

Klimatische Stabilität von Mittelgebirgsmooren

Schriftenreihe, Heft 1/2011



Auswirkungen des Klimawandels auf wasserabhängige Ökosysteme – Teilprojekt Erzgebirgsmoore

Frank Edom, Ingo Dittich, Karin Keßler, Albrecht Münch
Ronny Peters, Martin Theuerkauf, Dirk Wendel

Inhaltsverzeichnis

1	Anlass und Ziele	7
1.1	Vorbemerkung	7
1.2	Anlass	7
1.3	Ziele	8
2	Untersuchungsmethodik	9
3	Untersuchungsgebiet Mothhäuser Haide	11
3.1	Naturraum und Topografie	11
3.2	Geologie	11
3.3	Pedologie	11
3.4	Paläoökologische Informationen	12
3.4.1	Aufbau des Torfkörpers, Torfstratigrafie und Großrestdaten	12
3.4.2	Pollendaten und Datierung	13
3.4.3	Holozäne Vegetation im Einzugsgebiet des Moores	14
3.5	Aktuelle Vegetation	16
4	Klimaentwicklung (Proxies)	16
4.1	Holozän	17
4.2	Jahresringbreiten ab 950 und Witterung ab 1500	17
4.3	Klimaprognose – Analyse und Berichtigung	19
4.3.1	WEREX-IV-Daten	19
4.3.2	Fehlerhafte Datensätze	20
4.3.3	Statistische Abweichungen der Halbjahres- und Jahreswerte in den WEREX-IV-Daten	20
4.3.4	Statistische Abweichungen der Monatswerte	21
4.3.5	Anforderungen an die Korrektur der WEREX-IV-Daten	24
4.4	Eigene Ableitung des Zukunftsszenarios	24
4.5	Eigene Ableitung der Paläoszenarien	26
5	Projektspezifische Modellbildung	28
5.1	Spezifische Aspekte des Wasserhaushaltes von Mooren	28
5.1.1	Akro- und Katotelpparameter	28
5.1.2	Wasserstandsabhängige Moorverdunstung	31
5.1.3	Moorwaldverdunstung	33
5.1.4	Nebelniederschlag	35
5.1.5	Erstellung der vollständigen Wasserbilanz in Tagesschritten	35
5.2	Hydromorphologisches Grundmodell	35
5.2.1	Spezifische Profildurchflüsse	35
5.2.2	Durchströmte Transmissivitäten	36
5.2.3	Trophisch wirksamer Hangwasseranteil	36
5.2.4	Ableitung potenzieller Ökotope sowie hydromorphologisch-potenzieller FFH-Lebensraumtypen (hLRT)	37
5.3	Hydromorphologisches Verteilungsmodell	39
5.3.1	Grundansatz	39
5.3.2	Erweiterung auf beliebig viele Ökotope	41
5.3.3	Ableitung des Variationskoeffizienten der Transmissivität	41
5.4	Hydromorphologisches Wachstumsmodell	42
6	Das Wasserhaushalts- und Simulationsmodell AKWA-M®	44
6.1	Überblick zu AKWA-M®	44
6.2	Landnutzung bzw. Ökotope	46
6.3	Böden	47
6.4	Aufgabenspezifische Modellerweiterungen für AKWA-M®	48
6.4.1	Nebelniederschlag	48
6.4.2	Moormodul	48

6.5	Modellierung des Waldes.....	49
6.6	Szenarienüberblick	50
6.7	Datenaufbereitung für die Berechnung des Wasserhaushaltes und der Hydromorphologie.....	51
6.7.1	Diskretisierung	51
6.7.2	Vegetation.....	51
6.7.3	Boden	51
6.7.4	Relief.....	52
7	Ergebnisse der WHH-Berechnungen	53
7.1	Simulationsergebnisse Mothhäuser Haide.....	53
7.1.1	Landnutzungsszenarien für das Jetzt-Klima	54
7.1.2	Vergleich Klimaszenarien Jetzt-Paläo.....	54
7.1.3	Vergleich Klimaszenarien Jetzt-Zukunft.....	54
7.2	Schlussfolgerungen aus der Wasserhaushaltssimulation	55
8	Konsequenzen des Wasserhaushaltes – hydromorphologische Szenarien	55
8.1	Szenarienvergleich Gegenwart, Öffnung Görkauer Straße, Klimawandel	55
8.1.1	Profildurchflüsse (Anlagen 9 und 10).....	56
8.1.2	Transmissivitäten (Anlagen 11 und 12).....	57
8.1.3	Zeitliche Verteilungsparameter des Profildurchflusses und der durchströmten Transmissivität.....	58
8.1.4	Hangwasseranteile (Anlagen 14 und 15).....	59
8.1.5	Ökotopezonierungen und FFH-Lebensraumtypen (Anlagen 16 – 19).....	59
8.1.6	Zusammenfassung der hydromorphologischen Szenarien	60
8.2	Beginn der Moorbildung - Paläoszenarien	61
8.2.1	Profildurchflüsse (Anlage 20).....	61
8.2.2	Transmissivitäten (Anlage 21).....	62
8.2.3	Paläo-Ökotopezonierungen (Anlage 22).....	62
8.2.4	Schlussfolgerungen aus den Paläoszenarien im Vergleich zu den Ist-Szenarien.....	63
9	Klimasensitivität des Moorbuchstums	66
9.1	Nettoprimärproduktion	66
9.2	Moorhöhenwachstumsraten: regionaler und überregionaler Vergleich	66
9.2.1	Mothhäuser Haide.....	66
9.2.2	Mittleres Erzgebirge in unmittelbarer Nähe der Mothhäuser Haide.....	68
9.2.3	Böhmisches Elbsandsteingebirge	69
9.2.4	Zentralrussland bei Zapadnaja Dvina	70
9.3	Klimasensitivität des Moorhöhenwachstums innerhalb eines Moores	71
9.3.1	Turbenriet (Schweiz).....	71
9.3.2	Harzmoore	71
9.4	Folgerungen.....	71
10	Strategien und Maßnahmen für den Umgang mit Folgewirkungen des Klimawandels im Moorschutz des Erzgebirges.....	72
10.1	Mothhäuser Haide.....	72
10.2	Erzgebirgsmoore im Freistaat Sachsen	73
10.3	Weitere klimarelevante Aspekte des Moorschutzes im Freistaat Sachsen	74
11	Verwendete und weiterführende Literatur	75

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Übersichtsplan zur Lage der Mothhäuser Haide im Erzgebirge.....	8
Abbildung 2:	Pollendiagramm der Bohrung in der Mothhäuser Haide aus dem JAHR 2006 (THEUERKAUF et al. 2007a).....	14
Abbildung 3:	Index der Jahresringbreite der Eiche in Sachsen (pers. Mitt. KÖNIG 2007), ergänzt durch Glättung mit Fouriertransformation.	17
Abbildung 4:	Rekonstruierte Jahremitteltemperaturen 1500 – 1999 nach GLASER (2001) und Messwerte bis 2007 (Hohenpeißenberg ab 1781 und Fichtelberg ab 1882; Datenquelle DWD, ergänzt durch pers. Mitt. von FREYDANK 2007). Glättung aller Daten mittels Fouriertransformation.....	18
Abbildung 5:	Rekonstruierte Jahresniederschlagsmenge 1500 – 1999 für Mitteleuropa nach GLASER (2001) mit Glättung durch Fouriertransformation.	19
Abbildung 6:	Verteilung der Jahreswerte von Niederschlag und Lufttemperatur, Station Dresden.	21
Abbildung 7:	Verteilung der Juniwerte von Niederschlag und Lufttemperatur, Station Dresden, Darstellung wie Abbildung 6.....	23
Abbildung 8:	Verteilung der Dezemberwerte von Niederschlag und Lufttemperatur, Station Dresden, Darstellung wie Abbildung 6.	23
Abbildung 9:	Verteilung der Jahreswerte des Niederschlages und der Lufttemperatur, 1981-2000, Station Fichtelberg.	27
Abbildung 10:	Akrotelm-Aufbau von Bült- und Schlenken-Standorten. Oben: Foto aus einem Bült-Schlenken-Komplex in Katin Moch/Zentralrussland (Zeichnung aus SLOBODDA 1987; vgl. auch EDOM et al. 2007d; Fotos: R. UHLMANN & F. EDOM).	29
Abbildung 11:	Tiefenfunktionen der entwässerbaren Porosität n_e für Bült- und Schlenkenstandorte (obere bzw. untere Kurve), zusammengestellt aus IVANOV & NOVIKOV (1976) & SLOBODDA (1987).	29
Abbildung 12:	Verdunstung von wachsenden Sphagnen-Moorstandorten in Abhängigkeit vom Wasserstand und der Akrotelm-Horizontierung (zusammengestellt aus EDOM et al. 2007d, KALJUŽNYJ et al. 1988 und SLOBODDA 1987, Foto: R. Uhlmann, rote Linie = Grenze zwischen Akrotelm und Katotelm).....	31
Abbildung 13:	Spezifische Verdunstung α für die Monate Juni, Juli, August (verändert nach ROMANOV 1961).	32
Abbildung 14:	Verlauf der Sigmoiden im Übergangsbereich um z_{grenz}	33
Abbildung 15:	Wasserhaushalt von Moorbodenvegetation und Baumbestand (aus EDOM 1995).	34
Abbildung 16:	Stromsektor, unterteilt in Segmente, mit hydromorphologischen Größen.....	36
Abbildung 17:	Stromröhre mit Anteilen von silikatischem Einzugsgebiet und Moor.	40
Abbildung 18:	Teilgebietsgliederung der Mothhäuser Haide und deren Einzugsgebiet.....	45
Abbildung 19:	Niederschlag (links) und Verdunstung (rechts) [mm/a] in den Paläo- und Zukunftsszenarien im Moor West (Teilgebiet 7), Simulation mit AKWA-M [®] ; grau = Anteil Nebelniederschlag, grün = Transpiration, orange = Interzeption.....	54
Abbildung 20:	Vergleich der horizontalen Vegetationszonierung im nassen Paläoszenario mit der vertikalen Moorstratigrafie im Bohrtransekt.....	65
Abbildung 21:	Abschnittsweise lineare Höhenwachstumskurve im Zentrum der Mothhäuser Haide (aus THEUERKAUF et al. 2007a) mit einer Interpolationsmöglichkeit für wechselndes Höhenwachstum.	67
Abbildung 22:	Höhenwachstumskurven mittelerzgebirgischer Moore, die unter gleichen Klimabedingungen aufgewachsen sind. Daten aus THEUERKAUF et al. 2007a, SCHLEICH 2006, SCHLÖFFEL 2007 sowie SEIFERT-EULEN (zit. in SCHLÖFFEL 2007).	68
Abbildung 23:	Wachstumskurven von Mooren aus dem Elbsandsteingebirge. Daten aus KUNEŠ et al. (2005), POKORNY & KUNEŠ (2005), ABRAHAM (2006).	69
Abbildung 24:	Wachstumskurven von drei benachbarten Regenmooren aus dem Tiefland Zentralrusslands. Daten aus RAUBER (2002) mit Erlaubnis von Dr. A. SIRIN (2010).	70

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Leitbodentypen im Einzugsgebiet der Mothhäuser Haide.....	12
Tabelle 2:	Kriterien für die Auswahl der rezenten Witterung als Äquivalent für das Paläoklima.....	18
Tabelle 3:	Niederschlag an der DWD-Station Dresden, Abweichung der Mittelwerte der WEREX-IV-Daten von Messreihen und Standardabweichungen (Halbjahres- und Jahreswerte).....	20
Tabelle 4:	Niederschlag an der DWD-Station Dresden, Abweichung der Mittelwerte der WEREX-IV-Daten von Messreihen und Standardabweichungen (Monatswerte).....	22
Tabelle 5:	Korrekturwerte und -faktoren zur Erstellung des Zukunftsszenarios.....	25
Tabelle 6:	Nichtnormale Jahre als Paläoklimaszenarien, Station Fichtelberg.....	26
Tabelle 7:	Parameter zur Berechnung von α	32
Tabelle 8:	In der Ökotopprognose berücksichtigte Ökotoptypen.....	38
Tabelle 9:	Simulierte Teilgebiete der Mothhäuser Haide.....	45
Tabelle 10:	Vegetationsverteilung im Einzugsgebiet der Mothhäuser Haide (Flächenanteile in %).....	46
Tabelle 11:	Verteilung der Bodentypen im Einzugsgebiet der Mothhäuser Haide (Flächenanteil in %).....	47
Tabelle 12:	Parameter und Komponenten zur Simulation des Wasserhaushaltes auf Waldflächen.....	50
Tabelle 13:	Simulationsszenarien für den Wasserhaushalt Mothhäuser Haide.....	50
Tabelle 14:	In den Paläoszenarien berücksichtigte Ökotoptypen.....	62

Anlagenverzeichnis

1	Ortsbezeichnungen
2	Karte der Moormächtigkeiten
3	Holozänklima mit Jahresmitteltemperaturen, Juli- und Januartemperaturen sowie Jahresniederschlag als Abweichung vom aktuellen Klima im Gebiet von Zapadnaja Dvina (Abbildung mit freundlicher Genehmigung von Dr. A. Sirin, Moskau 2010)
4	Subatlantisches Klima mit Jahresmitteltemperaturen und Jahresniederschlag als Abweichung vom aktuellen Klima im Gebiet von Zapadnaja Dvina (Abbildung mit freundlicher Genehmigung von Dr. A. Sirin, Moskau 2010)
5	(5-1 bis 5-4) Klimatabellen für die Stationen Dresden, Fichtelberg und Marienberg sowie Statistische Parameter der Paläoszenarien
6	(6-1 bis 6-4) Simulierter Wasserhaushalt von Testflächen bei unterschiedlichen Klimaszenarien
7	Auswirkungen unterschiedlicher Reliefgrundlagen auf das Muster der prognostizierten Ökotope
8	Gefällekarte Ist-Zustand und Moorbasis
9	Szenarien der spezifischen Profildurchflüsse
10	Differenzvergleich Profildurchflüsse
11	Szenarien der potenziellen Transmissivität
12	Differenzen zwischen den einzelnen Szenarien für die spezifische Transmissivität
13	Standardabweichung und Variationskoeffizienten für das Szenario 2
14	Szenarien der trophischen Hangwasseranteile
15	Differenz der wirksamen trophischen Hangwasseranteile
16	Szenarien der Ökotopprognose
17	Differenzen zwischen einzelnen Szenarien der Ökotopprognose
18	Szenarien der potenziellen Lebensraumtypen
19	Differenzen zwischen den einzelnen Szenarien der potenziellen Lebensraumtypen
20	Paläoklimatische Szenarien der spezifischen Profildurchflüsse
21	Paläoklimatische Szenarien der potenziellen Transmissivität
22	Berechnete Ökotope der Paläoszenarien

1 Anlass und Ziele

1.1 Vorbemerkung

Die Idee, die hier vorgestellten Untersuchungen zu initiieren, geht auf Dr. habil. Siegfried Slobodda, einem ehemaligen Mitarbeiter des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG), zurück. Eine Reihe von Diskussionen zur methodischen Umsetzung zusammen mit Frank Edom (HYDROTELM Dresden) gingen dem FuE-Vorhaben „Auswirkungen des Klimawandels auf wasserabhängige Ökosysteme – Teilprojekt Erzgebirgsmoore“ voraus. Teile der hier vorgelegten Veröffentlichung (z. B. Modellbildung, Wachstumsmodell, Großrestanalyse) wurden von den Autoren zusätzlich zum FuE-Vorhaben erarbeitet. Nach Ansicht der Autoren wird nur die so realisierte Gesamtschau der praktischen und theoretischen Untersuchungen der Komplexität des aufgeworfenen Themas gerecht.

In dieser Veröffentlichung werden die wesentlichen Teile des FuE-Projektabschlussberichtes (EDOM et al. 2008) leicht gekürzt dargestellt. Die im originalen Projektbericht vorhandenen drei Anhänge (WENDEL 2007, THEUERKAUF et al. 2007a, THEUERKAUF 2007b) erscheinen in dieser Publikation aus Platzgründen nicht. Bei Bedarf sind diese Anhänge sowie der vollständige und ursprüngliche Projektbericht im Referat Landschaftsökologie des LfULG einsehbar.

Diverse Karten und Tabellen sind als separater Anlagenband beigelegt. Erklärende Abbildungen und Tabellen sind zum besseren Lesen nach Möglichkeit direkt in den Text integriert.

Die wasserabhängigen Ökosysteme und speziell die Moore besitzen im Kontext Klimaschutz, Klimawandel und Biodiversität eine sehr große Bedeutung. Nur intakte, wachsende oder sich regenerierende Moore können durch Torfbildung und damit Kohlenstoffakkumulation zum Klimaschutz beitragen. Austrocknende Moore sind dagegen i.d.R. Treibhausgasquellen. Im Zusammenhang mit den prognostizierten Klimaveränderungen stellt sich die Frage, ob die Moorökosysteme in einem wärmeren und trockeneren Klima ihren Charakter als Lebensraum einer schutzwürdigen und oft stark spezialisierten Flora und Fauna beibehalten bzw. welchen Veränderungen sie unterliegen. Daraus kann wiederum abgeleitet werden, welche Anstrengungen zum Schutz der Moorökosysteme sinnvollerweise ergriffen werden müssen, damit sie auch im Klimawandel ihre vielfältigen Ökosystemfunktionen erfüllen können.

1.2 Anlass

Für den Freistaat Sachsen wurde ein Klimawandel auf der Grundlage von Modellrechnungen prognostiziert (KÜCHLER & SOMMER 2005, SPEKAT et al. 2006). Diese vom Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie bereitgestellten Klimaprognosen sind einerseits Ergebnisse eines Rechenmodells mit gewissen Annahmen und spezifischen, festgelegten Randbedingungen und liegen andererseits als zehn gleichwahrscheinliche Realisierungen vor.

Unabhängig von der tatsächlichen Eintrittswahrscheinlichkeit der einen oder anderen simulierten Realisierung der zukünftigen Witterung ist es aus Gründen der Vorsorge interessant, ob Moore im Erzgebirge bei einem Klimawandel stabile Ökosysteme bleiben oder wie sie sich dadurch verändern.

Dieser Frage wird am Beispiel der Mothhäuser Haide am Erzgebirgskamm bei Reitzenhain-Kühnhaide nachgegangen.

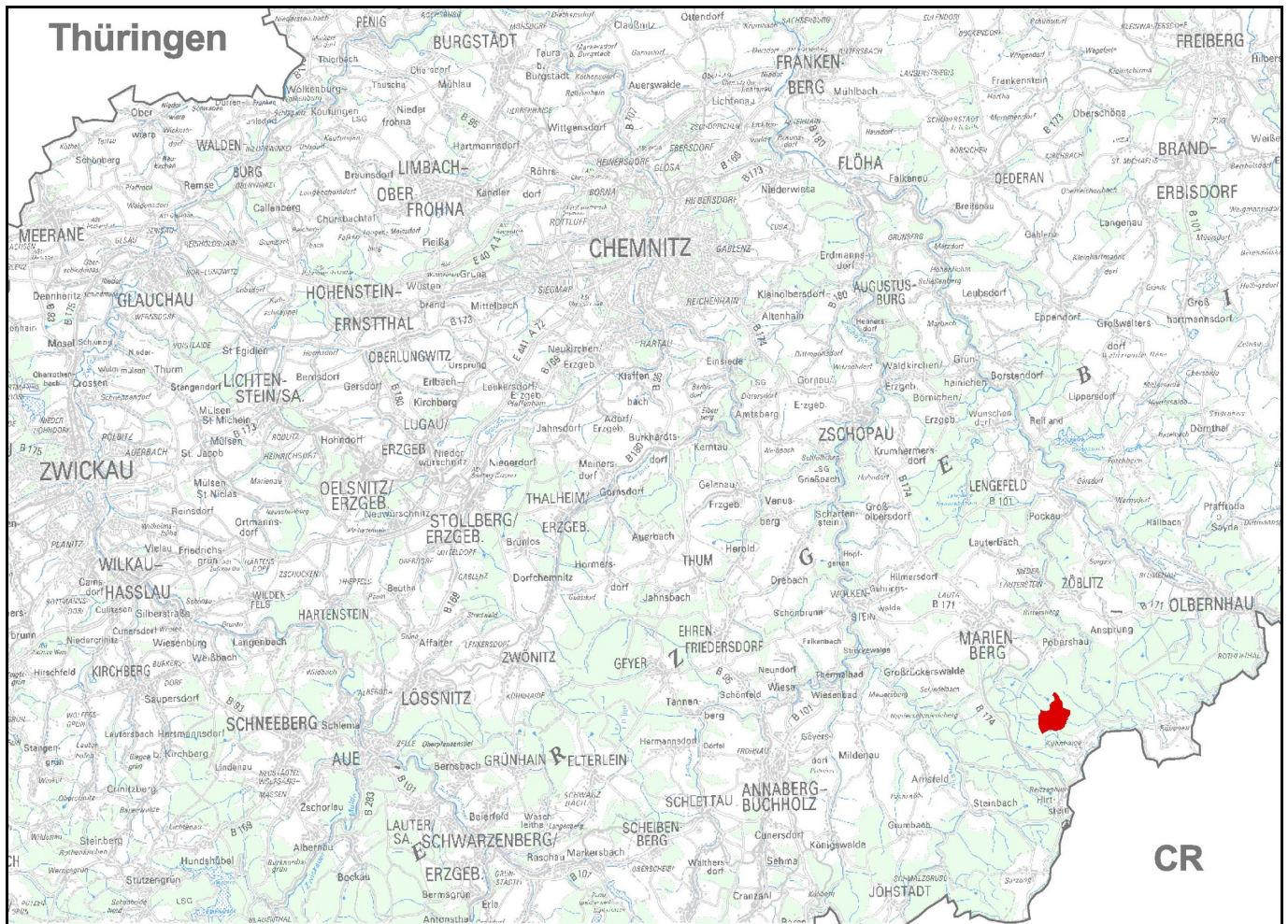


Abbildung 1: Übersichtsplan zur Lage der Mothhäuser Haide im Erzgebirge
 Herausgeber: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
 Geobasisdaten: © 2011, Staatsbetrieb Geobasisinformation und Vermessung Sachsen (GeoSN)

Die Ergebnisse unserer Untersuchungen sind damit strenggenommen nur für dieses Moorgebiet gültig, da bekannt ist, dass die zahlreichen Moore im Erzgebirge mit ihren Einzugsgebieten ein breites, jeweils örtlich spezifisches Spektrum von Eigenschaften und anthropogen bedingten Störungen aufweisen.

1.3 Ziele

Wir leiten anhand der Entwicklungsgeschichte der Mothhäuser Haide ab,

- wie dieses Ökosystem auf bisherige Klimaänderungen reagiert hat (retrospektive Analyse),
- welche physischen und sonstigen Indikatoren Aussagen über Stabilität oder klimabedingte Labilität der Moore zulassen (strukturelle Analyse),
- welche Spanne an Reaktionen des Moores zu erwarten ist (prognostische Analyse),
- wie variabel die Ökotoptzonierung ist und
- welche physikalisch begründeten, moorstrukturabhängigen Maßnahmen zum Schutz dieses und anderer Moore strategisch sinnvoll sind (naturschutzfachliche Synthese).

Angewendet werden dabei hydrophysikalische, insbesondere moorspezifische sowie moorkundliche Methoden, die quantitative Aussagen für Ökotoptypen und Moorwachstumsraten ermöglichen (IVANOV 1953, 1975; EDOM & GOLUBCOV 1996a,b, RAUBER 2002, EDOM et al. 2007a,b,c). Insofern unterscheidet sich diese Arbeit von der Untersuchung des Wildenhainer Bruches (SCHLUMPRECHT et al. 2006).

2 Untersuchungsmethodik

Wasserhaushalts-, geohydrologische und Abflussbildungsmodelle ermöglichen prinzipiell, die Wirkung von Klimaschwankungen und -änderungen auf das Regime der einzelnen Wasserhaushalts- und Abflusskomponenten sowie der Grundwasser-Verhältnisse zu simulieren. Werden solche hydrologischen Modelle mit ökosystemaren Denk- und Modellansätzen gekoppelt, lässt sich das Verhalten von Ökosystemen und Landschaften simulieren oder prognostizieren. Da ökosystemare Änderungen in längeren Zeiträumen (Jahrzehnte bis Jahrtausende) ablaufen, sind solche Simulationen, auch wenn sie plausibel sind, selten direkt innerhalb eines Menschenlebens prüfbar. Dieses Defizit unterstreicht die Notwendigkeit eines langfristigen Moormonitorings.

Aber es gibt Ökosysteme, die geologische Spuren hinterlassen oder sogar ökologische (und auch klimatische) Hinweise konservieren. Im besonderen Maße sind dies Moore. Der Torf selbst repräsentiert die Vegetationszusammensetzung der Vergangenheit, die unter bestimmten hydrologischen, hydrochemischen und klimatischen Bedingungen entstanden ist. Im weiteren speichert der Torf eine Reihe von Proxies (Pollen, Diatomeen, Reste unterschiedlicher Mikroorganismen, Insekten bis hin zu Leichen höherer Tiere und Menschen oder auch anorganische Ablagerungen wie Vulkanstäube [Laacher Tuff] oder Reste vergangener Luftverunreinigungen [Hüttenstäube]). Aus der Gesamtschau solcher Proxies lassen sich sowohl die Umweltbedingungen vergangener Zeiten als auch die ökologischen Zustände rekonstruieren.

Um den Einfluss eines Klimawandels auf erzgebirgische Moore festzustellen, verbinden wir die ökohydrologische Analyse mit unterschiedlichen paläoökologischen und paläoklimatischen Ansätzen. Die Analyse der Vergangenheit und Gegenwart gibt mehr Sicherheit, die ökosystemare Reaktionsbreite der Moore in der Zukunft abzuschätzen. Einige wesentliche Arbeitsschritte seien hier genannt:

- Analyse und Plausibilitätsprüfung der Klimadaten und Klimaszenarien
- Übertragung der durch den prognostizierten Klimawandel (Zeitspanne 2041 - 2060) bedingten Klimaänderung auf das aktuelle Klima 1981 - 2000
- Literaturrecherche zur holozänen Klimaentwicklung, Ansatz eines Paläoklimas
- Aufbau des GIS als Grundlage für das Wasserhaushaltsmodell AKWA-M[®], Teilflächengliederung nach Hydrotopen und Ökotopten
- Flächendifferenzierte Parametrisierung der Vegetation
Hierzu wurde Dirk Wendel beauftragt, aus seinen Vegetationskartierungen, Vegetationsaufnahmeflächen, Sukzessionsuntersuchungen sowie der Kartierung und Bewertung der FFH-Lebensräume (SCHINDLER et al. 2008) unterschiedliche Karten von Baumparametern sowie der für die Verdunstungsprozesse wesentlichen Bodenvegetation zu erstellen. Sie dienen als Grundlage für die hydrologische Modellierung. Zusätzlich führte er zur räumlichen Präzisierung einige Nachkartierungen durch (WENDEL 2007). Damit stehen jetzt zum ersten Mal für ein erzgebirgisches Moor-Naturschutzgebiet, wo normalerweise die Daten der Forsteinrichtung fehlen, flächendifferenzierte Vegetationsparameter für eine hydrologische Modellierung zur Verfügung. Die Daten von WENDEL wurden im GIS in Rasterdaten überführt und innerhalb der hydrologischen Modellierung für die Auswahl geeigneter mathematischer Ansätze der Verdunstung, Versickerung und Wasserströmung benutzt.
- Paläoökologische Analyse
Die Detailergebnisse der paläoökologischen Analyse, im wesentlichen durchgeführt von DUENE e.V. Greifswald (Aninstitut des Botanischen Institutes der Universität, Arbeitsgruppe Prof. Hans Joosten) sind in THEUERKAUF et al. (2007a) zu finden. Die Arbeit umfasste das Niederbringen einer paläoökologischen Spezialbohrung im Moorkern der Mothhäuser Haide (Bohrung 12 im Alten Hempel), die Datierung unterschiedlicher Schichten, eine eichende Pollenanalyse und den Abgleich mit dem Pollenprofil von Prof. Elsbeth Lange (LANGE & JOOSTEN 2005). Des Weiteren wurden durch überregionalen Vergleich aller verfügbaren Pollenprofile des Erzgebirges auf deutscher und tschechischer Seite und einer von THEUERKAUF entwickelten Methodik der GIS-basierten geostatistischen Analyse Standortzusammenhänge der Baumarten für unterschiedliche Phasen der erzgebirgischen Vegetationsgeschichte abgeleitet. Durch Übertragung dieser Zusammenhänge auf das Umfeld der Mothhäuser Haide wurde die standortspezifische Baumartenzusammensetzung der unterschiedlichen Phasen konstruiert.
- Zusätzlich wurde anhand des entnommenen Bohrkerns eine Großrestanalyse mit einer vertikalen Auflösung von 20 cm durchgeführt (THEUERKAUF 2007b). Dieses für das Erzgebirge erste Großrestprofil liefert weitere präzise Informationen über

die Vegetationsabfolge im Gebiet des heutigen Moorzentrums und eine Reihe interessanter Stabilitätsaussagen, die im Zusammenhang mit der schon vorhandenen Moorstratigrafie und paläoklimatischer Schwankungen ausgewertet werden.

- Für die hydrologische Modellierung von natürlichen soli- und ombrogenen Akrotelm-Durchströmungsmooren - in Deutschland erstmalig auf der Basis von Tagesschritten - wurde zusätzlich eine große Anzahl moorhydrologischer Literatur recherchiert und ausgewertet. Diese Ansätze wurden mittels analytischer mathematischer Ableitungen so weiterentwickelt und miteinander verknüpft, dass eine dynamische und räumlich verknüpfte, hydromorphologisch basierte Modellierung von Akrotelm- und Katotelmwasserhaushalt möglich ist. Mit Hilfe dieser neuen Modellansätze wurde ein Moormodul für das Wasserhaushaltsmodell AKWA-M[®] programmiert. Damit konnte die bisher übliche Modellierung natürlicher Moore auf der Basis von Monatswerten und empirisch verallgemeinerter Monatsparameter (AUTORENKOLLEKTIV 1976, EDOM & GOLUBCOV 1996a,b, EDOM 2001, EDOM et. al. 2005, 2006, 2007a,b, ZINKE & EDOM 2006) in Tagesschrittweite überführt werden. Zusammen mit der vertikal und horizontal differenzierten Vegetationsstruktur sind nun zeitlich höher aufgelöste Aussagen über den innerjährlichen Gang des Moorwasserhaushaltes möglich. Erste Schritte in diese Arbeitsrichtung erfolgten bereits früher (MÜNCH & DITTRICH 2001).
- Weiterhin wurde ein prozessbezogener Ansatz für die Abschätzung des Nebelniederschlages, der im Erzgebirge nicht unwesentlich ist, entwickelt und programmiert. Die berechneten Nebelniederschläge wurden anhand von Literaturwerten und von Messwerten der TU Dresden im Raum Zinnwald und Fichtelberg überprüft.
- Daten zur Validierung solcher moorspezifischen Modellansätze sind in Deutschland selten, da es kein hydrologisches Langzeitmonitoring in natürlichen Mooren Deutschlands mehr gibt und in Naturschutzprojekten selten solch ein Monitoring finanziert wird. Erwähnt sei, dass die Messungen in den Chiemseemooren eingestellt wurden und das Moorinstitut Bremen aufgelöst wurde. Die gewählten Modellansätze wurden anhand einer sechswöchigen Messperiode (September und Oktober 1992, SCHMIDT et. al. 1993) und auch an noch älteren Literaturwerten der nahegelegenen Moore von Hora Sv. Šebestiana (FERDA & PASAK 1969) geprüft.
- Der Wasserhaushalt wird zuerst für alle rezenten Ökotope anhand der Wetterdatenreihe 1981 - 2000 berechnet. Dann erfolgt die Wasserhaushaltsmodellierung für das Holozän. Die Berechnung des Wasserhaushaltes der Mooreinzugsgebiete erfolgt dabei mit den Baumparametern aus der paläoökologischen Analyse von THEUERKAUF et al. (2007a). Die Klimaparameter und ihre Variabilität werden aus der paläoklimatischen Analyse abgeleitet. Die Plausibilitätskontrolle erfolgt in Zusammenhang mit der hydromorphologischen Modellierung und Ökotopprognose, welche die in dem jeweiligen Zeitschritt vorgefundene Torfzusammensetzung als „prognostizierten“ Paläo-Ökotop abbilden muss.
- Nach dieser „paläoklimatischen und paläoökologischen Validierung“ des Modellkonzeptes gibt es größere Sicherheit, auch in die Zukunft zu extrapolieren. Somit erfolgt im nächsten Schritt die Simulation für ein Klimaszenario im vorgegebenen Zeitraum 2041 - 2060.
- Die simulierten Wasserhaushaltsgrößen der Vergangenheit, der Gegenwart und der Zukunft werden miteinander verglichen und in Beziehung gesetzt: Dann erst wird eingeschätzt, welche Klimaschwankungen wasserhaushaltsrelevant sind und wie die prognostizierte Wasserhaushaltsdynamik in Relation zur Gegenwart und zum Holozän war.
- Weiterhin definieren wir die stromlinienbezogene Vegetationszonierung in der Vergangenheit; verknüpfen den Wasserhaushalt mit der Hydrogenese sowie hydrogenetischen Entwicklungspfaden in Mooren und stellen die zeitliche Abhängigkeit der Entwicklungsphasen vom Klimaverlauf dar.
- Anschließend wird die prognostische Ökotopzonierung in den Mooren als Folge von Vegetations- und Klimaänderungen abgeleitet und mit der rezenten Zonierung verglichen. Damit können Indikatoren eines Klimawandels ermittelt und die lokalspezifische Klimasensitivität der Moorkörper bestimmt werden.
- Abschließend leiten wir Strategien zur verbesserten Klimastabilität von Mooren unter Einschluss ihrer Einzugsgebiete und der hydrogeologischen, geohydraulischen und pedologischen Randbedingungen ab.

3 Untersuchungsgebiet Mothhäuser Haide

Eine detaillierte Beschreibung des Naturraums, der Geologie und der Bodenverhältnisse ist in SCHINDLER et al. (2008) zu finden. Teile der Beschreibungen wurden dem Entwurf für den MAP-Abschlussbericht, der uns dankenswerter Weise zur Verfügung stand, entnommen. Zusätzlich wurden Beschreibungen aus EDOM & KESSLER (2006) und dem AUTORENKOLLEKTIV (2002) eingearbeitet.

In Anlage 1 sind wesentliche Orte oder spezielle Teilflächen der Mothhäuser Haide dargestellt, deren Namen bereits früher vergeben wurden (EDOM & KESSLER 2006, SCHINDLER et al. 2008) und auf die in den weiteren Kapiteln Bezug genommen wird.

3.1 Naturraum und Topografie

Die Mothhäuser Haide befindet sich ca. 6 km südöstlich von Marienberg im Mittleren Erzgebirgskreis unweit der Ortslage Kühnhaide und gilt als eines der ältesten Naturschutzgebiete Sachsens. Sie gehört zum Naturraum der Kühnhaiden Hochfläche des Mittleren Erzgebirges. Die schwach nach NNO geneigte flachwellige Hochfläche wird durch Bachtälchen und einzelne Kuppen zergliedert. Auf den gering geneigten Flächen haben sich zahlreiche Moore gebildet. Die Mothhäuser Haide gehört mit zum Reitzenhain-Kühnhaiden Moorkomplex, dem flächenmäßig bedeutendsten im sächsischen Erzgebirge (SCHMIDT et al. 2003).

Als Wasserscheidenmoor erstreckt sich der Torfkörper der Mothhäuser Haide über den Sattel zwischen dem Wildsberg im Norden und dem Ringelberg im Süden. Die beiden Berge liefern die Hangzuflüsse zum Torfkörper und begrenzen das ca. 143 ha große Einzugsgebiet. Die natürliche Entwässerungsrichtung verläuft zum einen nach Osten über den Krötenbach und Wellnerbach sowie nach Westen über den Mothhäuser Bach und den Nassen Brückenbach. Einzelne Rücken und Kuppen, wie z.B. der Sandberg im östlichen Teil des Einzugsgebietes, bilden kleinere Wasserscheiden zwischen den Bächen. Die höchste Erhebung befindet sich im Norden am Wildsberg mit 793 m ü. HN, die niedrigste am Wellnerbach im Nordosten mit ca. 729 m ü. HN.

Wesentliche anthropogene Strukturen sind:

- Zahlreiche Schneisen und befestigte Wege, insbesondere die Görkauer Straße, der Schwertflügel und der Reitsteig.
- Ein mehr oder minder dichtes Grabennetz zur Entwässerung des Moorkörpers. Es wurde allerdings seit 1875 nicht mehr beräumt, sodass in zentralen Bereichen der Mothhäuser Haide die natürliche Grabenverlandung bereits weit fortgeschritten bzw. teilweise nahezu abgeschlossen ist.
- Ein alter Torfstich westlich der Görkauer Straße.

3.2 Geologie

Das Grundgebirge wird ausschließlich von grobkörnig-flasrigen Orthogneisen gebildet, ist relativ großflächig und einfach strukturiert (BEIER 1986). NEBE (1964) zählt sie - bei ihm Rotgneise genannt - zu den Gesteinen geringer Nährstoffversorgung. CREDNER (1887) weist eine von Nordosten aus Richtung Krünigshaide hereinlaufende Störungsgrenze („Kriegwalder Verwerfung“) aus; sie tangiert die Mothhäuser Haide südlich und trennt den „Grossflasrigen Gneis“ (Gny) im Norden vom östlich anstehenden „langflasrigem Gneis“ (turmalinführend, gny). Grundwassernutzungen finden im Einzugsgebiet nicht statt.

3.3 Pedologie

Tabelle 1 zeigt den Anteil der einzelnen Leitbodentypen entsprechend der BKkonz im Einzugsgebiet der Mothhäuser Haide. Alle Senken, Tallagen und flachen Hänge sind mit einem mehr oder minder zusammenhängenden und für die Region sehr großflächigen Torflager bedeckt. Die Mothhäuser Haide ist mit einer Moorfläche von 78 ha und einer maximalen

Moormächtigkeit von 8,4 m der größte Moorkomplex in der Region Kühnhaid. Im Übergangsbereich zwischen Torf und terrestrischem Einzugsgebiet treten Moor-Stagnogley, Anmoor-Pseudogley und Humus-Pseudogley auf.

Tabelle 1: Leitbodentypen im Einzugsgebiet der Mothhäuser Haide

Leitbodentyp	Fläche	
	[ha]	[% der Gesamtfläche]
Torf und Anmoor	78,8	55,2
Braunerden-Podsol	38,9	27,3
Moor-Stagnogley	15,1	10,6
Anmoor-Pseudogley	7,1	4,9
Braunerde	2,8	2,0

Auf unvernässten Kuppen und Hängen finden sich Braunerden-Podsol und Braunerden. Den Ergebnissen der forstlichen Standortkartierung FSK (KARST et al. 1979 & KARST 1988) zufolge haben sich die Mineralböden überwiegend in pleistozänen Schuttdecken entwickelt. Die Bodenbildung erfasste dabei nicht direkt das anstehende Gestein, sondern das durch Verlagerung umgebildete, z.T. durch Zuführung (z.B. Solifluktion) ortsfremden Materials überprägte Substrat. Periglaziale, laterale und vertikale Verlagerung sowie Filtergerüstumbau ließen Umlagerungszonen entstehen.

Zur periglazialen Normalserie gehören die mäßig nährstoffversorgten Lokalbodenformen (LBF) „Pfaffrodaer Gneis-Braunerde“ (gesteinsarm, tiefgründig, leichte Mulden), „Oelsengrunder Gneis-Braunerde“ (im Unterboden steinig) und „Rothenthaler Gneis-Braunerde“. Typisch für diese Böden ist, dass sie oft verlagerten, ehemaligen Löss enthalten und mittel- bis tiefgründig sind. Das resultierende Substrat ist ein steiniger, stark grusig-sandiger Lehm, Lehm oder lehmiger Schluff, teilweise mit höherem Steingehalt im Unterboden. Trotz gewisser Reliefunterschiede wurden ausschließlich „mittelfrische“ Ausprägungen kartiert. Zur periglazialen Decknormalserie gehören der „Neuhausener Gneis-Braunpodsol“ (flachgründig, Rücken) und der „Kühnhaidener Gneis-Braunpodsol“ (mittelgründig). Typisch ist eine steinige Umlagerungszone im oberen Bodenprofil, welche die Nährkraft des Bodens absenkt. Auch hier wurden nur „mittelfrische“ Ausprägungen erfasst. Letztgenannte LBF dominiert die terrestrischen Standorte.

3.4 Paläoökologische Informationen

3.4.1 Aufbau des Torfkörpers, Torfstratigraphie und Großrestdaten

Anlage 2 zeigt die aus der alten Torferkundung von 1881 abgeleitete Torfmächtigkeitskarte, die bei EDOM (1991) sowie EDOM & WENDEL (1998) erläutert ist. Diese Karte ist eingebettet in die von der Bodenkonzeptkarte ausgewiesenen Moorböden, die ein etwas größeres Gebiet umfasst. Unschärfen in der Übereinstimmung vor allem im nördlichen Randbereich ergeben sich aus den damals noch nicht georeferenzierten und handgezeichneten Karten, die Verzerrungen aufweisen können. Die 1881 ermittelte maximale Torfmächtigkeit von 8,4 m wurde in dem dargestellten Bereich nicht mehr gefunden, der Erstautor hat im Kernbereich maximal 8,1 m erbohrt (ARCHIV FELDDATEN EDOM 1992).

Für die Mothhäuser Haide liegen Stratigrafien und Pollenanalysen vor, die Einblicke in die Genese des Moores gewähren (SUCCOW & EDOM 2001, LANGE et al. 2005).

Im Bereich des bei SUCCOW & EDOM (2001) dargestellten Bohrtransektes begann die Moorbildung unterhalb der Görkauer Straße am Fuß eines Steilabfalls. Das Liegende wird von stark tonigem Gneiszersatz gebildet. Quellaustritte und ein großer Hangwasseranteil des damals noch kleinen Moores ermöglichten das Aufkommen von Seggengesellschaften, zu denen später Bruchwälder kamen („Älterer Waldtorf“). Zunehmende Entfernung zum mineralischen Untergrund und vermutlich erhöhte Wasserspeisung brachten einen Wandel zu Gesellschaften aus *Carex* und *Phragmites*, später aus *Sphagnum* und *Carex*. Der Hangmoorcharakter blieb also erhalten, evtl. gab es Flachrüllen. Im Oberkantenlagg, dem Stau des höherwachsenden Moores,

wuchsen Torfe auf, die von *Phragmites*, *Carex* und Braunmoosen gebildet wurden und die zeitweilig auch mit *Alnus*, *Betula* und *Pinus* bestanden waren. Das so hangaufwärts wachsende Oberkantenlagg ermöglichte durch seine Filterwirkung (Nährstoffadsorption) auch das Hangaufwärtswachsen der Torfmoosgesellschaften. Das Aufwärtswandern minderte in gleichem Zug den Anteil des mineralischen Einzugsgebietes und damit der Hangwasserspeisung. Gehölzanteile und Zersetzungsgrade des Torfes nehmen folglich hangaufwärts zu. Der Zentralbereich, zwischen Görkauer Straße und Reitsteig befindlich, wurde von Gesellschaften aus *Sphagnum* und *Eriophorum* beherrscht, *Carex*-Arten hatten einen gewissen Anteil. Holzhaltige Torfe fehlen im Zentralbereich komplett, was für die bisher erkundeten, erzgebirgischen Moorprofile eher ungewöhnlich ist (vgl. RUDOLPH & FIRBAS 1924). Am unteren Randgehänge ist eine Zunahme der *Carex*- und Gehölzanteile (Trophie) und der Zersetzungsgrade festzustellen. Hier verursachen erhöhtes Oberflächengefälle eine stärkere natürliche Drainage, höhere Torfzersetzung und Trophie. Mit fortschreitendem Wachstum vereinigten sich offensichtlich mehrere Moorbildungen über die Wasserscheide hinweg zu einem Moor, der absolut holzfreie Mooranteil wanderte im Laufe der Zeit immer näher zur Wasserscheide. Generell lässt sich festhalten, dass das Moor nie gänzlich waldfrei gewesen ist. Absolut holzfreie Torfe konnten nur im Bereich maximaler Moormächtigkeiten und damit langfristig günstigster Torfwachstums-Bedingungen festgestellt werden. Insgesamt ist der holzfreie Kern hangaufwärts gewandert, d. h. zu Stellen mit geringerem Gefälle. Ein „Grenz-Horizont“ zwischen Jüngerem und Älterem Moostorf („Jüngerer Waldtorf“), bestehend aus Stubben von Kiefern und Fichten, wie er gewöhnlich für das Erzgebirge postuliert wird, konnte nur an einer Bohrstelle gefunden werden (vgl. SUCCOW & EDM 2001).

Beim Zusammenwachsen über die Wasserscheide im Bereich des heutigen „Großen Wendel“ kam es zu einer Vermischung der ehemaligen Hangversumpfungs-Moore. Dabei hatte das südliche Moor (Hauptteil der Mothhäuser Haide) schon die ombrotrophe (Regenmoor-) Entwicklungsphase mit *Sphagnum*-Torfen erreicht, während der nördliche Teil sich noch in der mesotrophen Phase mit *Carex*-Torfen befand. Die Vermischung führte zur erneuten Eutrophierung, d.h. der Bildung von Seggentorfen, bis dann die ombrotrophe Entwicklung von neuem einsetzte. An der Bohrung 12 (EDOM 2000), die außerhalb des Bohrtransektes liegt, wurden in unterschiedlichen Tiefen größere Beimengungen von *Scheuchzeria*-Pflanzenresten gefunden, außerdem gehäuft muddige Torflagen. Beides spricht für das Vorherrschen sehr nasser Bedingungen (Schlenkentorfe) an der Wasserscheidenlage, d.h. der „Große Wendel“ war in der Moorgeschichte schon immer sehr nass.

Aus THEUERKAUF et al. (2007a) lässt sich entnehmen: Am Beginn der Moorbildung vor ca. 7800 cal. BP (= kalibrierte ¹⁴C-Jahre vor 1950, BP = Before Present) gab es eine sehr nasse Phase A mit Ablagerungen von Detritus. Bereits kurze Zeit später in der Phase B können sich *Carex rostrata* (Schnabel-Segge) sowie Farne und Schachtelhalme ausbreiten. Mit der zunächst noch begrenzten Ausbreitung von Torfmoosen entwickelt sich das Moor hin zu einem Zwischenmoor (Phase C) mit noch eindeutig mesotrophen Bedingungen. Die Ausbreitung von *Eriophorum vaginatum* (Scheidiges Wollgras) in der Phase C-2 zeigt jedoch eine zunehmende Verarmung der Vegetation. Das Moor wurde wahrscheinlich zunehmend von Regenwasser gespeist, nährstoffreicheres Zuflusswasser verlor an Bedeutung. Seit ca. 5900 Jahren cal. BP ist das Moor vollständig durch Torfmoose dominiert. Seggen und Zwergsträucher spielen offenbar nur eine geringe Rolle. Da auch Holzreste nur vereinzelt gefunden wurden, dürfte das Moor in der Umgebung der Spezialbohrung durchgehend waldfrei gewesen sein. Bemerkenswert ist der unterschiedlich hohe Anteil von Torfmoosen der Sectionen *Cuspidata* und *Acutifolia* in den Unterzonen. Der höhere Anteil von Section *Cuspidata* in den anschließenden Phasen D-1 und D-3 weist auf höhere Wasserstände am Bohrpunkt in diesen Phasen hin, der höhere Anteil von Torfmoosen der Section *Acutifolia* deutet dagegen auf etwas trockenere Bedingungen in Phase D-2. Ob diese Zonierung nassere und trockenere Phasen des gesamten Moores widerspiegelt, kann jedoch anhand nur eines Profils nicht entschieden werden. Diese Zonierung könnte auch kleinräumige Phänomene widerspiegeln. Möglicherweise bestand in Phase D-1 und D-3 am Bohrpunkt eine Schlenke, in Phase D-2 ein Bult.

3.4.2 Pollendaten und Datierung

Einblicke in den zeitlichen Verlauf des Moorwachstums gestatten sechs ¹⁴C-Datierungen und eine Stratigrafie und Pollenanalyse von LANGE et al. (2005). Im Bereich des heutigen Moorkernes begann die Torfakkumulation um 7880 cal. BP. Die Geschwindigkeit der Torfakkumulation war zunächst mit 0,8 mm pro Jahr gering. Sie stieg mit dem Übergang zu einer Torfmoos dominierten Vegetation um 6000 cal. BP auf ca. 1,5 mm pro Jahr. Das neue Pollendiagramm aus dem Jahr 2006 (THEUERKAUF et al. 2007a) ist zur Übersicht dargestellt:

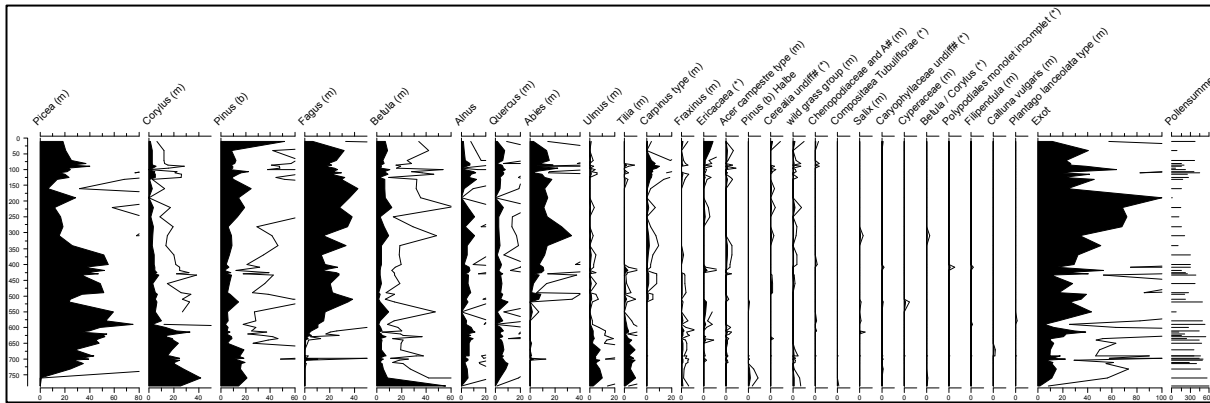


Abbildung 2: Pollendiagramm der Bohrung in der Mothhäuser Haide aus dem JAHR 2006 (THEUERKAUF et al. 2007a)

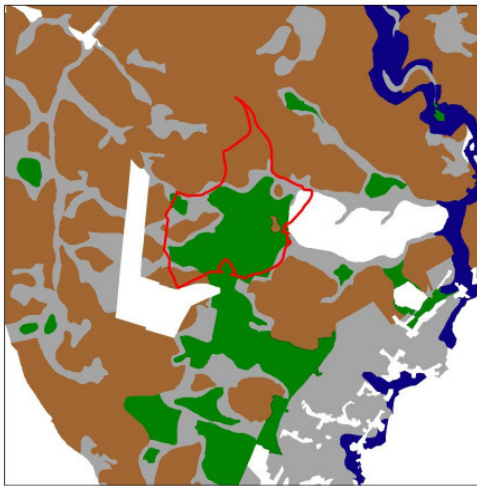
Die insgesamt geringe Bewaldungstendenz und das konstant rasche Wachstum seit mindestens 4000 Jahren sprechen für eine hohe Eigenstabilität des Moores. Dies lässt sich noch heute beobachten. Wie in keinem anderen Moor des sächsischen Erzgebirges befinden sich große Teile des Grabensystems in einer fortgeschrittenen Verlandung, treten Vernässungen auch in den Beständen auf. Dies ist allerdings nicht pauschal verallgemeinerbar, profitiert das Gebiet doch offensichtlich von seiner Größe, mit der eine Eigenstabilität verbunden ist. Weiterhin verdeutlichen die Beschreibungen, dass immer ein Hangwassereinfluss vorhanden war, es sich also um kein reines, sondern ein teilweise hangwassergespeistes Regenmoor handelt. Als solches benötigt es ein intaktes hydrologisches Einzugsgebiet und den Anschluss an dieses Einzugsgebiet.

3.4.3 Holozäne Vegetation im Einzugsgebiet des Moores

Die holozäne Vegetationsentwicklung wird hier zusammengefasst dargestellt, Einzelheiten sind bei THEUERKAUF et al. (2007a) zu finden. Unterschieden werden drei wesentliche Vegetationsphasen:

1. **PICEA-Phase (P, Alter: 6000-6800 cal. BP);** vor Anstieg der FAGUS-Kurve, hohe Werte von ULMUS, TILIA, QUERCUS und PICEA
2. **FAGUS-PICEA-Phase (FP, Alter: 4600-5400 cal. BP);** Phase mit hohen Werten von FAGUS und PICEA, vor Anstieg der ABIES-Kurve
3. **ABIES-FAGUS-PICEA-Phase (AFP, Alter: 550-3800 cal. BP);** Phase mit konstant hohen Werten von FAGUS und ABIES

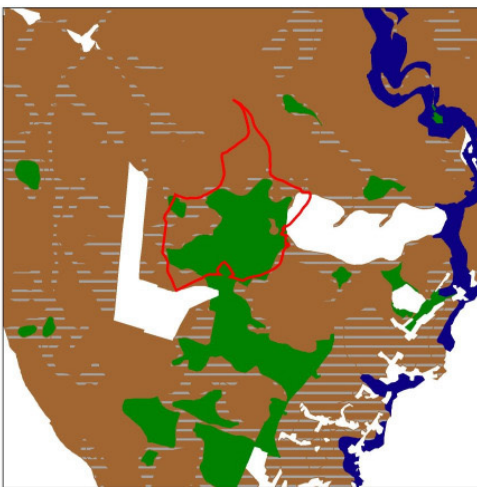
Karten der jeweiligen Vegetationsverteilungen und ihre kurze Erläuterung finden sich auf der folgenden Seite.



- Moore
- überwiegend Laubwälder mit Ulme, Linde, Eiche, Erle und Haselnuss
- überwiegend Fichtenwälder
- Auen mit Erle und Haselnuss

Phase P

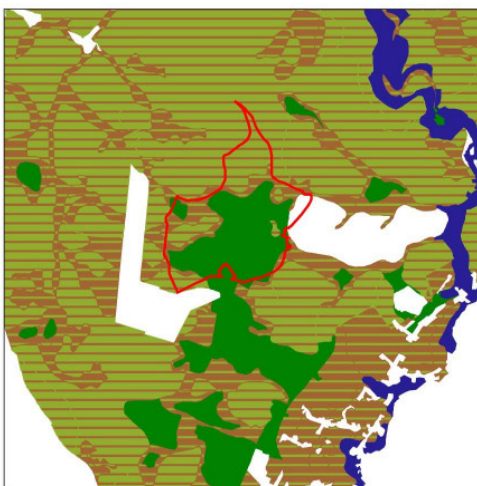
Die dominante Art in der Umgebung der Mothhäuser Haide ist die Fichte. Insgesamt besiedelt sie wahrscheinlich mehr als die Hälfte der Fläche. Ihre Vorkommen konzentrierten sich auf die Standorte mit bindigen Substraten. Auf diesem Substrat kommen auch Ulme und Linde in größerer Deckung vor. Sie besiedeln vor allem die staunassen Standorte, die Fichte dagegen die besser drainierten Podsole und Braunerden. Die Auen werden vor allem von Erle und Hasel besiedelt.



- Moore
- Mischwälder, überwiegend Fichte, Haselnuss, Eiche, Erle
- überwiegend Fichtenwälder, geringer Anteil Buche
- Auen mit Erle und Haselnuss

Phase FP

Die Fichte hat in dieser Phase noch größere Bedeutung als zuvor. Sie kann nun auch die staunassen Standorte auf Lehm besiedeln. Die Laubbäume, die diese Standorte zuvor dominierten, sind stark zurück gegangen. Haselnuss, Erle und möglicherweise Eiche verbleiben in geringen Anteilen. Die Buche erreicht in der näheren Umgebung der Mothhäuser Haide nur geringe Bedeutung, möglicherweise kann sie sich vor allem auf den gut drainierten Standorten in geringen Anteilen etablieren. Die Auen wurden von Erle und Haselnuss besiedelt.



- Moore
- überwiegend Nadelwald, dominiert von Fichte
- überwiegend Nadelwald, dominiert von Tanne, daneben Buche
- Auen mit Erle und Haselnuss

Phase AFP

In der jüngsten Phase übernimmt die Tanne deutliche Anteile der Vegetation. Ihr Anteil von 14 bzw. 20 % im Pollenniederschlag unterschätzt wahrscheinlich den tatsächlichen Anteil der Tanne in der Vegetation, denn aufgrund ihres relativ schweren Pollen ist die Tanne im Pollenniederschlag unterrepräsentiert. Die Tanne dominierte wahrscheinlich unter Beteiligung der Buche die besser drainierten Standorte. Die Fichte konnte sich vor allem auf den staunassen Standorten halten. Die Auen wurden weiterhin durch Erle und Haselnuss besiedelt.

weiße Flächen: in Bodenkarte BKKonz nicht kartiert

3.5 Aktuelle Vegetation

Aufgabe der von WENDEL (2007) durchgeführten Vegetationskartierung war es, die Parameterzuordnung für die Wasserhaushaltsberechnungen mit AKWA-M[®] zu ermöglichen. Lebensraumtypen wurden nicht kartiert. Allerdings lassen sich Aussagen zur aktuellen Vegetations- und Standortsstruktur ableiten.

Die Bestände im Zentralbereich des Moores werden seit 130 Jahren nicht mehr oder nur sporadisch genutzt, während in den Moorrandbereichen bis in die 1990er Jahre noch forstsanitäre Maßnahmen stattfanden. Die natürliche Grabenverlandung ist in großen Teilen weit fortgeschritten und im Moorinneren nahezu abgeschlossen. Die dadurch einsetzende Wiedervernässung führte im Komplex mit Immissionsschäden zur Auflichtung und zum Absterben insbesondere älterer und hoher Bäume. Das Verlandungsareal deckt sich in etwa mit der Verbreitung von *Pinus rotundata* (meist in Form der baumartigen „Moor-Spirke“, im Moorinneren auch als strauchförmige „Latsche“), hohen Torfmoosdeckungsgraden und lichten Waldbeständen. In einigen Teilflächen wie dem Alten Hempel und Schmidts Zapfen kommt es sogar zur absoluten Dominanz (> 90 %) von *Pinus rotundata*. In den Moorrandbereichen ist sie zunehmend mit *Picea abies* (Gemeine Fichte) vergesellschaftet. Fehlende forstliche Nutzung, Wiedervernässung und immissionsbedingte Störungen bewirkten horizontal stark strukturierte und teils plenterartige Waldbestände. Alle Baumarten verjüngen sich spontan. Altbäume und Jungbäume sind auf gleicher Fläche anzutreffen, nur in den Randbereichen existieren noch Reste von einschichtigen Altersklassenwäldern. Die Bodenvegetation der Torfstandorte wird überwiegend durch *Vaccinium myrtillus* (Heidelbeere) und *Sphagnum*-Arten (Torfmoose) bestimmt. Die nässezeigenden Bodenvegetationstypen mit *Eriophorum vaginatum* (Scheidiges Wollgras) bzw. *Carex nigra* (Braun-Segge) und *C. canescens* (Grau-Segge) finden sich nur im oligotrophen Moorkern und auf der Wasserscheide bzw. im vernässenden, mesotrophen Moorrandbereich.

Das gesamte silikatische Einzugsgebiet des Moores ist bewaldet. Forstliche Einflüsse treten durch Stubben, Rückegassen, Pflanzungen, einschichtige Bestände und gebietsfremde Baumarten wie *Pinus contorta* (Murray-Kiefer) hervor. Die prägende Baumart, überwiegend in Reinbeständen, ist *Picea abies* (Gemeine Fichte). Ihr Anteil ist gegenüber ihrer natürlichen Verbreitung (vgl. Potenzielle Natürliche Vegetation, SCHMIDT et al. 2002) und zu Lasten von *Fagus sylvatica* (Rot-Buche) erhöht. Die Bodenvegetation wird durch *Calamagrostis villosa* (Wolliges Reitgras) und *Deschampsia flexuosa* (Draht-Schmiele) bestimmt.

4 Klimaentwicklung (Proxies)

In den letzten Jahrzehnten brachte die Forschung u.a. zum Klima des Holozäns auf der Erde einen immensen Wissenszuwachs. Die einschlägige Literatur umfasst hunderte Arbeiten, einige davon haben wir näher ausgewertet. Untersuchungsorte und Nachweise von Klimaproxies findet man verteilt über ganz Europa. Erhebliche regionale Unterschiede des Paläoklimas selbst in Europa sind aufgrund der Landmassenverteilung und der jeweils vorherrschenden atmosphärischen Zirkulationsmuster erkennbar, eine einfache Übertragung solcher Daten aus anderen Regionen auf das Erzgebirge ist spekulativ. Nach unserem Wissen fehlt das Erzgebirge bisher in einer „Paläoklima-Nachweisliste“, sieht man von den spärlichen Altersdatierungen und Wachstumskurven dortiger Torfe ab. Lokalen Bezug besitzen die Arbeiten von J. KÖNIG (z.B. 2006) zur Altersdatierung von Holzproben und zum Jahresringbreitenindex von Eiche und Fichte, sie beginnen bei der Eiche allerdings erst nach 950 n.Chr.

Eine weitere Schwierigkeit, solche Daten für Wasserhaushaltsmodellierungen nutzbar zu machen, besteht darin, dass Zeitreihen des Holozänklimas bis hin zum rezenten Klima unterschiedlich lang sind und zu unterschiedlichen Zeiten beginnen und enden. Dabei wird in den allermeisten Fällen z.B. die Lufttemperatur oder der Niederschlag als Abweichung von einem Bezugswert, meist einem „heutigen Mittelwert“, angegeben. Oft fehlt die Angabe des „Mittelwertes“ selbst und seines Bezugszeitraumes, weshalb sich nur die Schwankungen, aber nicht die Absolutgrößen erschließen und einordnen. Angaben über Luftfeuchtigkeit oder Sonnenscheindauer fehlen. Allerdings liegen zahlreiche Proxy-Informationen über die Sonnenstrahlung, in den letzten Jahrzehnten zunehmend direkte Messungen, vor. Eine direkte Kopplung dieser Strahlungs-Proxies an die Globalstrahlung unterschiedlicher zeitlicher Diskretisierung, die u.a. für eine Wasserhaushaltsmodellierung

geeignet wäre, würde eine gesonderte Arbeit darstellen. Es sei darauf hingewiesen, dass ein Zusammenhang solarer Prozesse mit dem Klima der Erde besteht.

Die folgenden Kapitel zeigen: Es gibt kein konstantes „Klima“. Vielmehr ist „Klima“ das Ergebnis einer Berechnung von statistischen Parametern einzelner Wetterelemente über einen vorgewählten Zeitabschnitt. Geophysikalische Prozesse (Kontinental-, Gletscher- und sonstige Massenbewegungen, Meeresströmungen, Wetter, Abflüsse usw.) sind in höchstem Maß und auf unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Skalen grundsätzlich instationär (KLEMEŠ 2001). Instationär bedeutet, dass z.B. Mittelwert und Standardabweichung einer Größe zeitlich variabel sind. Das Einzige, was uns heute für das Gebiet der Mothhäuser Haide mit hinreichender Sicherheit bekannt ist, sind Klima, Witterung und Wetter der jüngeren Vergangenheit, an nahegelegenen Wetterstationen gemessen bzw. aus den entsprechenden Messdaten abgeleitet. Dazu kommen noch hydrologische Daten, deren unmittelbare Übertragung auf das Untersuchungsgebiet nur sehr beschränkt möglich ist.

4.1 Holozän

Das Torfwachstum in der Mothhäuser Haide begann etwa vor 7900 Jahren. Die Anlagen 3 und 4 geben dazu einen Überblick über die Temperatur- und Niederschlagsschwankungen im Holozän seit 10500 BP bzw. im Subatlantikum seit 2500 BP. Unabhängig davon, dass hier Werte aus Westrussland dargestellt sind, zeigt sich: Die Jahresmittel bzw. die Monatsmittel im Sommer und im Winter schwanken in der Spanne von ± 2 K, die Jahresniederschläge in der Spanne von ± 50 mm um ihren heutigen Mittelwert. Dies ist angesichts der rekonstruierten oder gemessenen Witterung in der jüngeren Vergangenheit (Kapitel 4.2) wenig. Allerdings gibt es z.B. auch andere Rekonstruktionen der Holozänlufttemperaturen mit größeren Schwankungen wie von ANTONSON (2006) für drei Standorte in Zentral- und Südschweden. Den meisten hier nicht dargestellten Rekonstruktionen ist aber gemeinsam, dass es im Boreal verhältnismäßig kalt war, im Atlantikum eine warme Witterung mit höheren Niederschlägen herrschte und schließlich die Temperatur ganz allmählich abnahm.

4.2 Jahresringbreiten ab 950 und Witterung ab 1500

KÖNIG (2006) veröffentlichte Jahresringbreiten der Fichte und stellte uns ergänzend den Jahresringbreitenindex der trockenheitsempfindlichen Eiche ab dem Jahr 950 n.Chr. zur Verfügung (pers. Mitt. 2007). Es ist wahrscheinlich, dass die längerfristigen Schwankungen der Eichenringbreite - ausgedrückt durch die Fouriertransformationen mit 10 und 50 Jahren Bandbreite - Ausdruck von mehreren Wachstumseinflüssen (Temperatur, Niederschlag, sonstige Umweltfaktoren) sind.

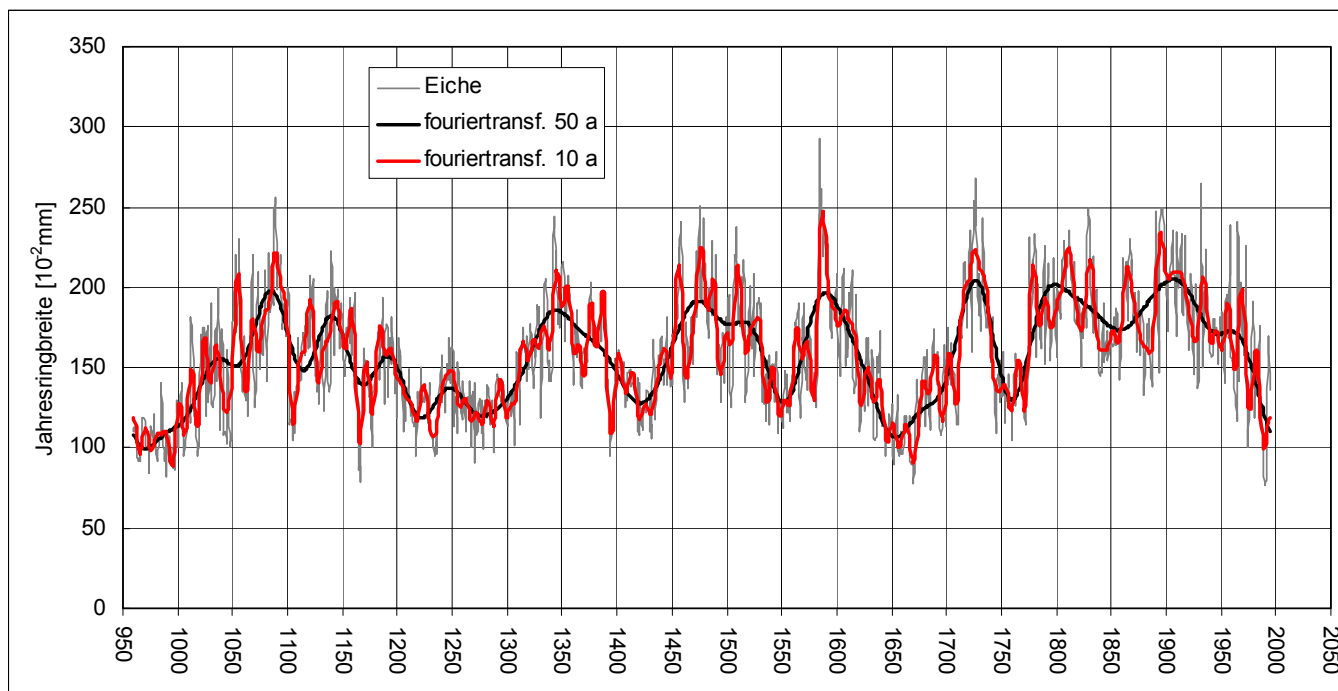


Abbildung 3: Index der Jahresringbreite der Eiche in Sachsen (pers. Mitt. KÖNIG 2007), ergänzt durch Glättung mit Fouriertransformation

Die von GLASER (2001) aus historischen Aufzeichnungen und Messwerten rekonstruierte Jahresmitteltemperatur ab 1500 für Mitteleuropa und die Messwerte vom Hohenpeißen- und Fichtelberg zeigt Abbildung 4.

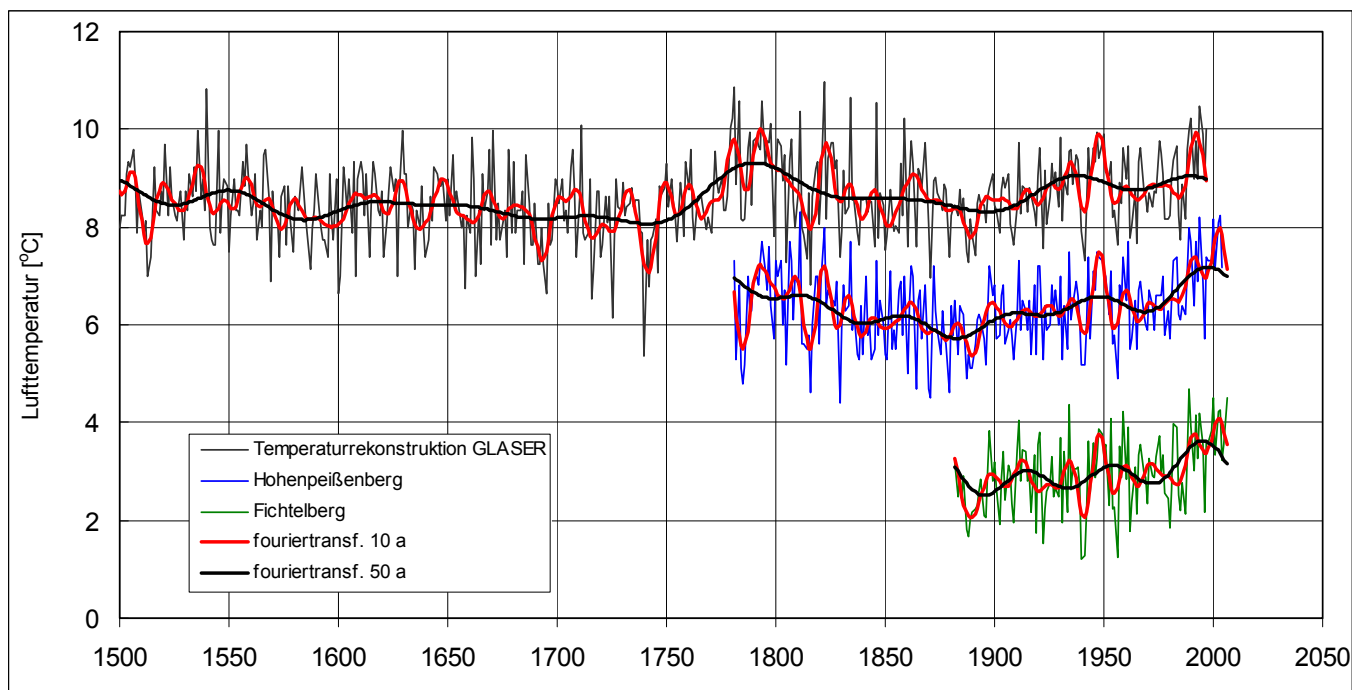


Abbildung 4: Rekonstruierte Jahresmitteltemperaturen 1500 – 1999 nach GLASER (2001) und Messwerte bis 2007 (Hohenpeißenberg ab 1781 und Fichtelberg ab 1882; Datenquelle DWD, ergänzt durch pers. Mitt. von FREYDANK 2007). Glättung aller Daten mittels Fouriertransformation

- Erstens fällt auf, dass die Fichtelberg- und Hohenpeißenberg-Messwerte einen übereinstimmenden Gang besitzen und nach höheren Temperaturen am Beginn der Messreihe bis etwa 1880 sanken, dann bis in die Gegenwart wieder anstiegen. Momentan gibt es Lufttemperaturen, die dem Zeitraum um 1800 entsprechen. Die GLASER-Kurve dieses Zeitabschnittes beinhaltet natürlich auch die Hohenpeißenberg-Daten, weshalb sie weitgehend parallel zu letzteren verläuft. Wie die kommenden Jahrzehnte ausfallen werden, wagt niemand mit Sicherheit vorherzusagen. Prognosen verwenden das Verb „kann“ in diesem Zusammenhang.
- Zweitens hat das Temperaturmaximum um 1780 kältere Vorläufer.
- Drittens zeigen sich langfristige Temperaturfluktuationen, wie sie ähnlich bei der Eichen-Jahresringbreite zu finden sind.
- Auch der Niederschlag als wichtige Wasserhaushaltsgröße wies stets kurz- und langfristige Schwankungen auf (Abbildung 5).

Deshalb ziehen wir den pragmatischen Schluss, dass unsere heutige, beobachtete Witterung Eigenschaften bzw. Einzeljahre besitzt, die der holozänen Witterung entsprechen. Die vergleichende Wasserhaushaltsmodellierung hat das Ziel, Spannweiten und Mittelwerte der wesentlichen Größen Niederschlag, Verdunstung und Abfluss der Mothäuser Haide im klimatologischen Ist-Zustand, im Zukunftsszenario und im Holozänklima abzuschätzen. Hierfür reicht es, wenn wir das im Detail unbekannte Holozänklima durch Merkmalskombinationen des heutigen Wetters gemäß folgender Matrix repräsentieren (vergl. Kapitel 4.5):

Tabelle 2: Kriterien für die Auswahl der rezenten Witterung als Äquivalent für das Paläoklima

Wetter- element	Ausprägung	Lufttemperatur	
		kalt	warm
Niederschlag	nass	X	X
	trocken	X	X

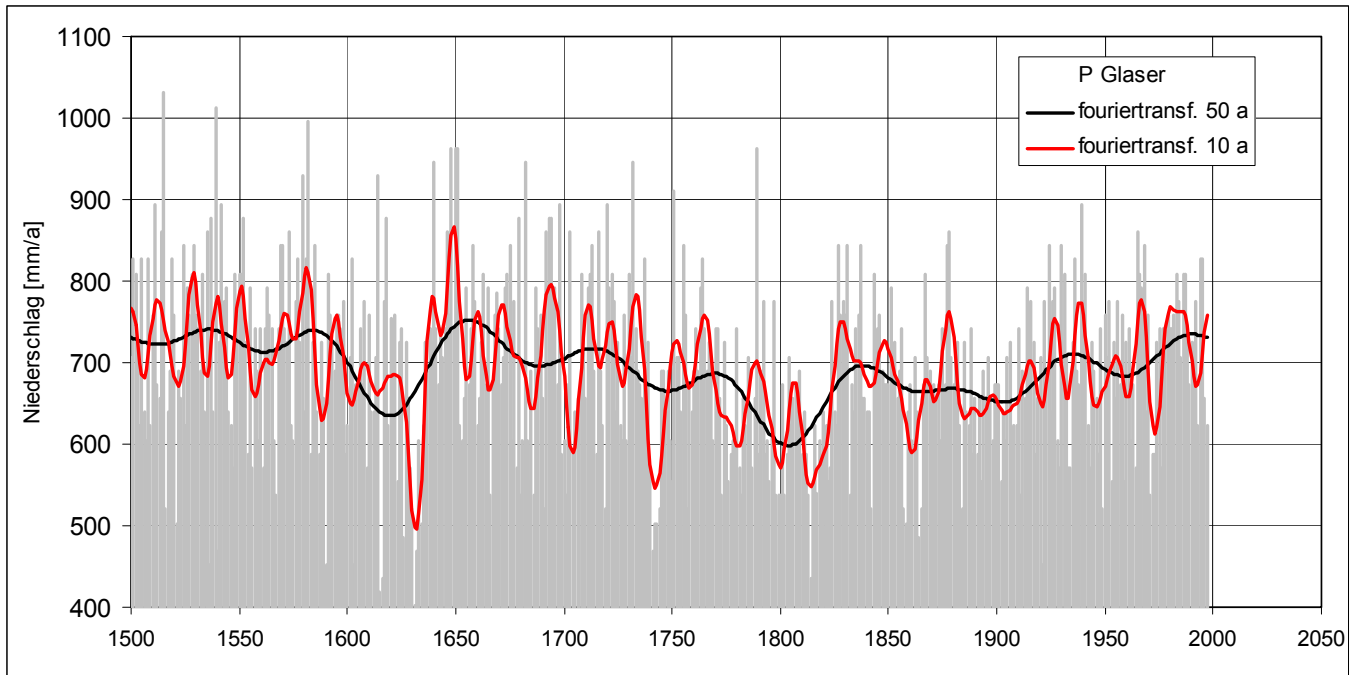


Abbildung 5: Rekonstruierte Jahresniederschlagsmenge 1500 – 1999 für Mitteleuropa nach GLASER (2001) mit Glättung durch Fouriertransformation

4.3 Klimaprognose – Analyse und Berichtigung

4.3.1 WEREX-IV-Daten

Im Laufe der letzten Jahre wurden Methoden der quantitativen Beschreibung möglicher Klimaänderungen entwickelt und Downscalingverfahren verfeinert. Den verwendeten Stand der Klimasimulationen stellen die IPCC-Szenarienrechnungen des ECHAM5-Modells dar (IPCC 2001). Nach SPEKAT et al. (2006) ist die Qualität des Klimamodells ECHAM5 auf sehr kleinräumigen Skalen nicht hinreichend.

Im Auftrag des LfULG erstellte CEC Potsdam GmbH für die Emissionsszenarien A1B, A2 und B1 mit der WEREX-IV-Methode kontinuierliche Datenreihen für ausgewählte Niederschlags- und Klimastationen in Sachsen (SPEKAT et al. 2006). Dabei wurde entsprechend zugeordneter Zirkulationsmuster innerhalb von Rechteckboxen mit 3° und 4° meridionaler und zonaler Distanz (ca. 330 km x 270 km) eine räumliche Verteilung der Klimagrößen zeitsegmentweise aus gemessenen Reihen der Vergangenheit übertragen. Als Resultat wurden für ausgewählte Wetterstationen kontinuierliche, instationäre (transiente) Zeitreihen für die Jahre 1961 - 2100 abgeleitet.

Für unsere Untersuchungen erhielten wir vom LfULG die WEREX-IV-Daten einiger gebietsbezogener Wetterstationen, so z. B. für Dresden, Marienberg, Fichtelberg und Nova Vez v Horach (CZ). Neben den gemessenen Klimaparametern gibt es eine WEREX-IV-Simulation des gleichen Zeitraums (Kontrollzeitraum). Diese Simulationsergebnisse sollten dabei den gemessenen Daten (Ist-Zustand) statistisch ähneln. Die Simulationsdaten der Zukunft basieren auf einer kontinuierlichen Erhöhung der Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre gemäß dem IPCC-Emissionsszenario A2.

Einige Datenreihen dieser Stationen prüften wir im Detail. Dabei wurden die WEREX-IV-Kontrolldaten den gemessenen Reihen dieser Stationen im gleichen Zeitraum gegenübergestellt. Nachfolgend beschreiben wir einige besondere Auffälligkeiten und Unterschiede zwischen den Datenreihen. Es sei erlaubt darauf hinzuweisen, dass eine Kontrolle der Simulationsergebnisse und eine tiefgründige Datenprüfung vor deren Weiterverwendung angebracht ist, da sonst ggf. falsche Schlussfolgerungen gezogen werden.

4.3.2 Fehlerhafte Datensätze

Die WEREX-IV-Daten beinhalten einige gravierende Fehler. Ein Teil davon konnte bereits von der CEC Potsdam GmbH als Lieferant der WEREX-IV-Simulationen identifiziert werden, wie uns telefonisch bestätigt wurde. In den von uns geprüften Reihen traten folgende Fehler auf:

- Der unkorrigierte Jahresniederschlag in Zinnwald-Georgenfeld beträgt für die Jahre 1971 - 2000 im Mittel 967 mm (DWD-Daten). Das Jahresmittel der WEREX-IV-Daten des gleichen Zeitraumes beträgt nur 635 mm. Dieser Fehler war den Mitarbeitern des CEC bislang unbekannt.
- Die Windgeschwindigkeit am Fichtelberg beträgt im Mittel 8,8 m/s (1981 - 2000, DWD). Im Vergleichszeitraum ergibt sich bei den WEREX-IV-Daten ein Mittelwert von 6,3 m/s. Dieser Fehler war vom CEC bereits erkannt und beruht auf einer Verwechslung der Maßeinheit. Da von Werten in Beaufort ausgegangen wurde, sind die simulierten Daten bei 12 m/s abgeschnitten worden. Weil am Fichtelberg relativ häufig höhere Windgeschwindigkeiten auftreten, widerspiegelt sich diese falsche Korrektur sehr deutlich im Mittelwert. Eine korrigierte Fassung konnte uns jedoch nicht geliefert werden. Dieses Problem tritt wahrscheinlich bei allen Klimastationen auf (z. B. Marienberg), bei denen die Tageswerte der Windgeschwindigkeit 12 m/s übersteigen.

Da die Datenprüfung nur stichprobenweise erfolgte, ist diese Zusammenstellung möglicherweise unvollständig.

4.3.3 Statistische Abweichungen der Halbjahres- und Jahreswerte in den WEREX-IV-Daten

Beispielhaft für die Station Dresden zeigen wir systematische statistische Abweichungen der Daten auf, die an anderen Stationen in geringerer oder stärkerer Form gleichfalls zu finden sind. In Tabelle 3 sind die Niederschlagswerte als wichtigste Klimagröße für den Wasserhaushalt zusammengefasst. In Spalte 1 stehen die jeweiligen Halbjahres- und Jahresmittel des gemessenen Niederschlages für die Jahre 1981 bis 2000. Die Spalten 2 und 3 enthalten die prozentualen Abweichungen der WEREX-IV-Niederschlagsmittel für Kontrollzeitraum und Zukunftsszenario von den äquivalenten Werten der DWD-Reihe. In den Spalten 4 bis 6 sind die Standardabweichungen der Datenreihen, normiert auf den jeweiligen Mittelwert der Messreihe (Spalte 1), aufgeführt.

Tabelle 3: Niederschlag an der DWD-Station Dresden, Abweichung der Mittelwerte der WEREX-IV-Daten von Messreihen und Standardabweichungen (Halbjahres- und Jahreswerte)

Zeitspanne	1	2	3	4	5	6
	Mittelwert	Mittelwert / Spalte 1		Standardabweichung / Spalte 1 (Variationskoeffizient)		
	DWD 1981-2000	WEREX (1981-2000) - DWD (1981-2000)	WEREX (2041-2060) - DWD (1981-2000)	DWD 1981-2000	WEREX 1981-2000	WEREX 2041-2060
	[mm] (= 100%)	[% von Sp. 1]	[% von Sp. 1]	[% von Sp. 1]	[% von Sp. 1]	[% von Sp. 1]
Winter	284	-10,5	-3,3	24,7	21,1	17,1
Sommer	377	2,0	-7,9	24,7	13,7	19,6
Jahr	659	-3,0	-5,8	20,1	10,6	13,2

Für Halbjahreswerte muss festgestellt werden: Wenn die WEREX-IV-Niederschlagssummen des Winterhalbjahres im Kontrollzeitraum der gleichen Grundgesamtheit angehören wie die Messwerte, dann ist auch die simulierte Veränderung in der Zukunft nicht relevant.

Bei der Betrachtung der Jahreswerte ist festzuhalten:

- Die Jahressummen der WEREX-IV-Simulationen streuen deutlich weniger als die Messreihen (Spalte 4 vs. Spalten 5 und 6). Bei Monatswerten (s. Tabelle 4) ist dies nicht der Fall. Das heißt, dass in den gemessenen Jahren offenbar stabilere Wettersituationen vorherrschen, die zu einer Häufung trockener bzw. nasser Monate innerhalb eines Jahres führen und damit auch für extremere jährliche Wasserbilanzen sorgen.

■ Gemessen an der tatsächlichen Streuung der Jahreswerte (Spalte 4) ist die zu erwartende Veränderung der Jahresniederschläge (Spalte 3 gegenüber Spalte 2) gering. Diese Veränderung ist annähernd so groß, wie die Abweichung der WEREX-IV-Jahresmittel für den Kontrollzeitraum von den Messwerten (Spalte 2).

Um diese drei Datensätze einordnen zu können, werden in Abbildung 6 die einzelnen Jahreswerte der Niederschläge und Temperaturen gegenübergestellt. Dabei wird das Verfahren nach JUNGHANS (1974) angewendet, wobei die Jahre in normale und nichtnormale unterteilt werden, je nachdem, ob sich der Wert inner- oder außerhalb der Spanne Mittelwert \pm Standardabweichung befindet. So beinhaltet das mittlere Feld eines solchen Fensters die für beide Klimagrößen normalen Jahre. Die Zahlen in der jeweiligen Feldmitte geben die Anzahl der Jahre in diesem Feld an. Je größer die Streuung von Niederschlag und Temperatur ist, desto größer ist das dargestellte Fenster. Demnach macht Abbildung 6 deutlich: Die gemessenen Werte beider Größen streuen deutlich mehr als die simulierten Reihen im Kontrollzeitraum und im Zukunftsszenario.

In Anlage 5-1 und 5-2 sind analog zu Tabelle 3 alle für die Wasserhaushaltssimulation benötigten Klimagrößen der Stationen Marienberg und Fichtelberg aufgeführt. Neben dem ausführlich diskutierten Niederschlag und der fehlerhaften Ableitung der Windgeschwindigkeit fällt eine wenig zufriedenstellende Wiedergabe der Sonnenscheindauer durch die WEREX-IV-Daten auf: Die Sonnenscheindauer wird bei den WEREX-IV-Szenarien gegenüber den DWD-Daten um ca. 6,4 bis 9,3 % überschätzt. Inwieweit es sich um einen systematischen Fehler handelt, ist unklar, da für Zinnwald-Georgenfeld (hier nicht dargestellt) eine Unterschätzung von 16,6 % festgestellt wurde. Auch hier ist eine geringere Standardabweichung bei den WEREX-IV-Daten auf Jahres- und Halbjahresbasis zu erkennen.

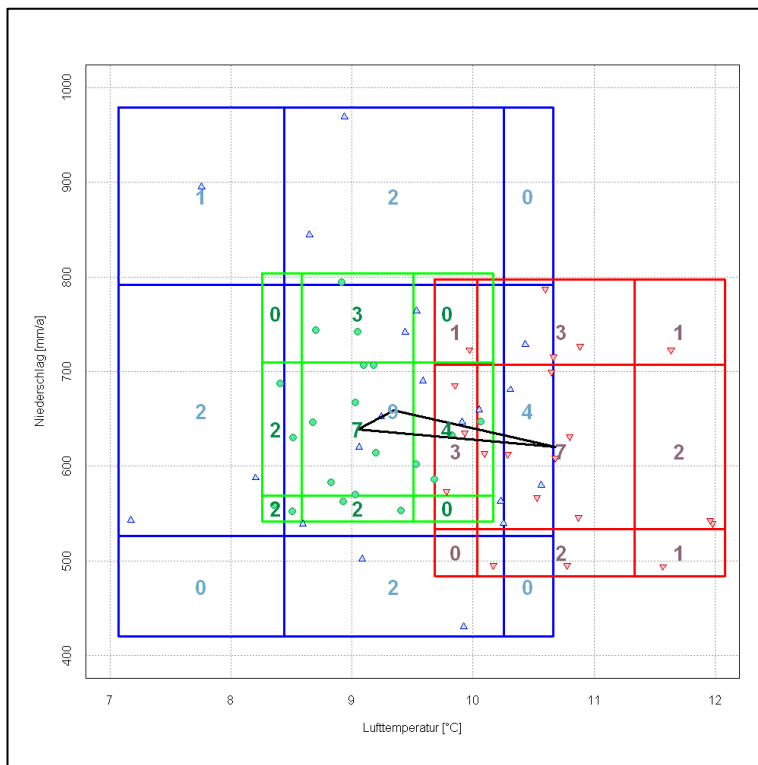


Abbildung 6:
Verteilung der Jahreswerte von Niederschlag und Lufttemperatur, Station Dresden

blau: DWD-Messwerte 1981-2000
grün: WEREX-IV 1981-2000
rot: WEREX-IV 2041-2060

äußeres Rechteck: Wertebereich
inneres Rechteck: Mittelwert \pm Standardabweichung
schwarzes Dreieck: Mittelwerte

4.3.4 Statistische Abweichungen der Monatswerte

Die Standardabweichungen der WEREX-IV-Daten (Tabelle 4, Spalten 5-6) in Prozent des Mittelwertes der Messreihen haben die gleiche Größenordnung wie bei den DWD-Daten (Spalte 4).

Die prozentualen Abweichungen der Mittelwerte der WEREX-IV-Daten im Kontrollzeitraum (Tabelle 4, Spalte 2) weichen bei einigen Monaten sehr stark von den Monatsmitteln der DWD-Reihe ab:

- Auffällig sind insbesondere die Monate Juni und Dezember.
- Die Abweichung des Mittelwertes der **Juni**-Niederschläge liegt in der gleichen Größenordnung wie die Standardabweichung der DWD-Reihe (Spalte 4). In Abbildung 7 sind beispielhaft die Juniwerte der einzelnen Jahre dargestellt. Der Mittelwert des Niederschlages für das Zukunftsszenario (schwarzes Dreieck, rechte Ecke) ist noch leicht höher als der Mittelwert der DWD-Reihe (untere Ecke), wenngleich im Vergleich zur WEREX-IV-Reihe des Kontrollzeitraumes (obere Ecke) eine Abnahme der Juniniederschläge um 25 mm zu verzeichnen ist.
- Die WEREX-IV-Niederschläge für **Dezember** liegen systematisch 30 % unter denen der DWD-Reihe, die Zunahme um 20 % im Zukunftsszenario führt immer noch zu niedrigeren Werten als im tatsächlichen Ist-Zustand.

Tabelle 4: Niederschlag an der DWD-Station Dresden, Abweichung der Mittelwerte der WEREX-IV-Daten von Messreihen und Standardabweichungen (Monatswerte)

Monat	1	2	3	4	5	6
	Mittelwert	Mittelwert / Spalte 1		Standardabweichung / Spalte 1 (Variationskoeffizient)		
	DWD 1981-2000	WEREX (1981-2000) - DWD (1981-2000)	WEREX (2041-2060) - DWD (1981-2000)	DWD 1981-2000	WEREX 1981-2000	WEREX 2041-2060
	[mm] (= 100%)	[% von Sp. 1]	[% von Sp. 1]	[% von Sp. 1]	[% von Sp. 1]	[% von Sp. 1]
Januar	45	7,8	10,9	56,2	62,0	56,9
Februar	37	-10,5	16,8	44,2	47,3	71,4
März	47	4,1	-8,8	64,8	55,4	31,2
April	47	-12,1	-22,9	35,8	57,2	36,2
Mai	62	-2,1	-15,4	53,1	41,5	38,9
Juni	64	42,0	2,9	49,0	69,9	38,7
Juli	88	-13,5	-9,5	58,7	43,4	51,8
August	80	-9,9	-18,9	49,2	46,9	47,9
September	45	-13,4	-8,6	39,3	44,3	47,0
Oktober	40	19,0	12,2	58,0	43,4	45,9
November	51	-12,5	2,9	44,4	44,7	47,5
Dezember	55	-30,1	-11,1	61,3	32,7	29,7

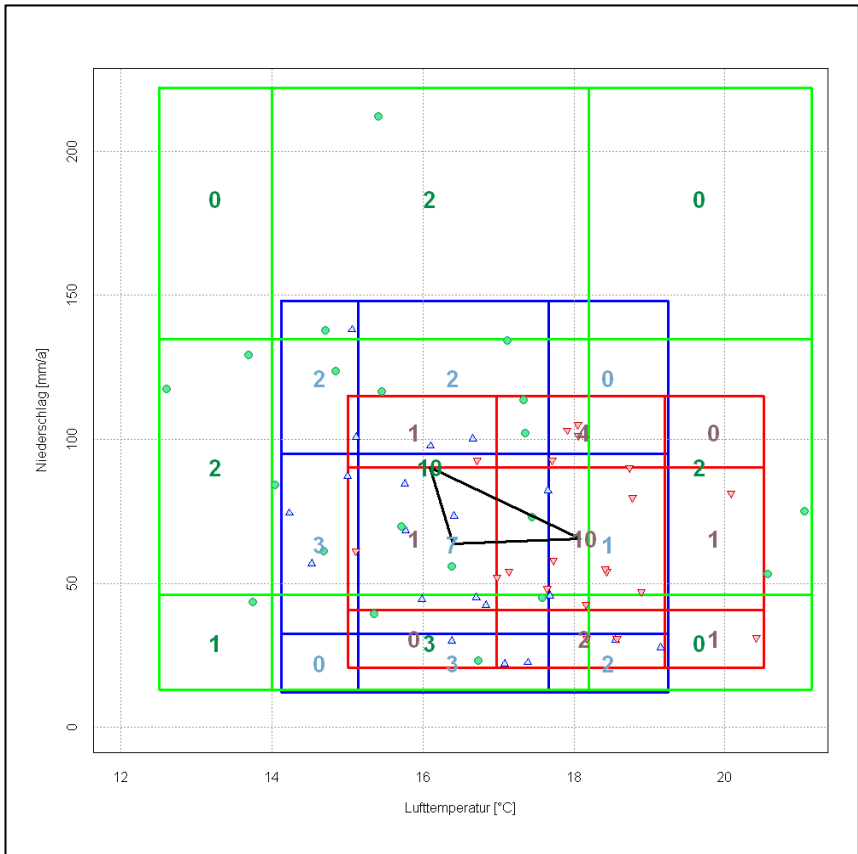


Abbildung 7:
Verteilung der Juniwerte von
Niederschlag und Lufttemperatur, Station
Dresden, Darstellung wie Abbildung 6

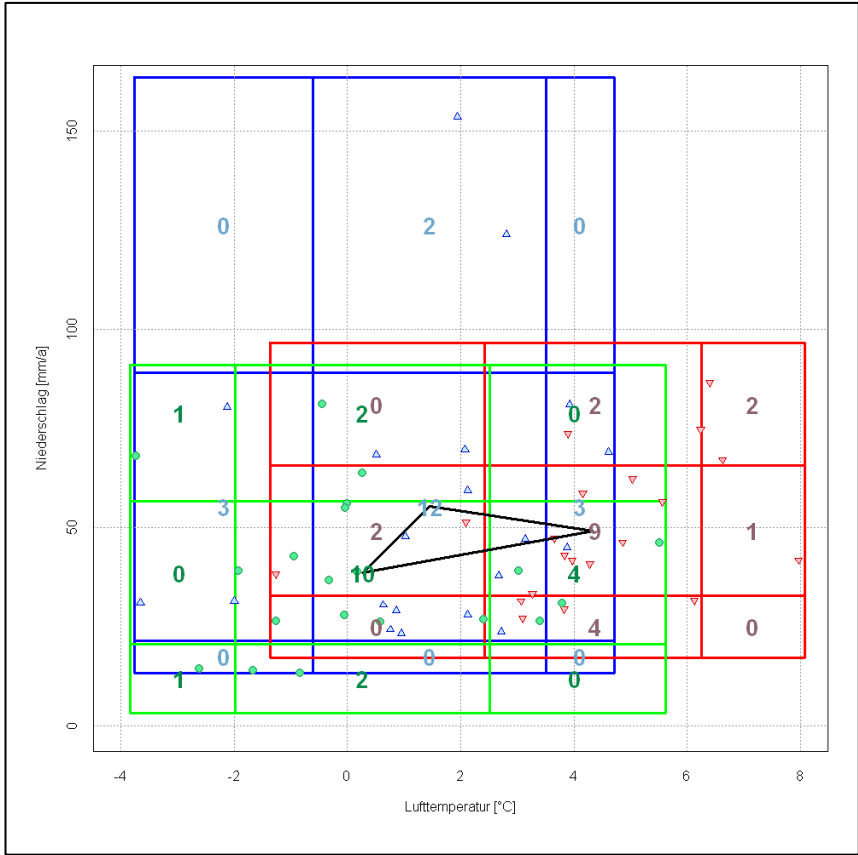


Abbildung 8:
Verteilung der Dezemberwerte von
Niederschlag und Lufttemperatur, Station
Dresden, Darstellung wie Abbildung 6

4.3.5 Anforderungen an die Korrektur der WEREX-IV-Daten

Diese Betrachtungen haben gezeigt, dass insbesondere die Streuung auf Jahreswertbasis bei den WEREX-IV-Reihen systematisch geringer ist als bei den gemessenen DWD-Daten (Abbildung 6). Das würde für eine Wasserhaushaltsmodellierung der Zukunft bedeuten, dass die Wasserhaushaltskomponenten einen ausgeglicheneren Verlauf und weniger Extreme haben würden. Die großräumigen Klimaszenarien sagen aber genau das Gegenteil aus.

In den Anlagen 5-1 und 5-2 sind analog zu den Tabellen 3 und 4 statistische Parameter für die Klimagrößen Niederschlag, Lufttemperatur, relative Luftfeuchte und Sonnenscheindauer an den Stationen Dresden, Fichtelberg und Marienberg aufgeführt. Neben den fehlerhaften Datensätzen und den ausgeführten Problemen bei der Wiedergabe der Niederschläge durch die WEREX-IV-Daten des Kontrollzeitraumes sind weiterhin die generelle Überschätzung der Sonnenscheindauer (und die Wiedergabe der Windgeschwindigkeiten – hier nicht dargestellt) als nachteilig zu bewerten.

Um sinnvolle Aussagen für eine künftige Entwicklung des Wasserhaushaltes unter den Annahmen des Emissionsszenarios treffen zu können, müssen nach unserer Ansicht

- der Ist-Zustand zu Vergleichszwecken realistisch abgebildet und
- die künftige Entwicklung des Klimas entsprechend der Emissionsszenarien berücksichtigt werden.

4.4 Eigene Ableitung des Zukunftsszenarios

Um die erste Anforderung zu erfüllen, werden angesichts der beschriebenen Probleme für das gegenwärtige Klima die Messreihen des DWD verwendet. Für die Zeitspanne 2041 bis 2060 werden anschließend die gemessenen Reihen entsprechend der Entwicklung in den WEREX-IV-Simulationen verändert. Dazu werden die Faktoren bzw. Differenzen im jeweils letzten Block der Anlagen 5-1 und 5-2 verwendet. Temperatur und Luftfeuchte der Jahre 1981 bis 2000 werden für die Zukunftsperiode mit diesen monatlichen Werten in [°C] bzw. [% Luftfeuchte] beaufschlagt, für die anderen drei Größen kommt ein Proportionalitätsfaktor zur Anwendung, da für Niederschlag, Sonnenscheindauer und Windgeschwindigkeit das Minimum von Null erhalten bleiben muss. Gemessen an der Größe der unterschiedlichen Fehler der Datenreihen ist die Abweichung der Korrekturwerte für die drei dargestellten Stationen untereinander gering. Für diese Studie verwenden wir als Korrekturwert jeweils den Mittelwert der für die Stationen Dresden und Marienberg berechneten Korrekturen. Bei der Anwendung des Korrekturfaktors war zu beachten, dass die maximal mögliche Sonnenscheindauer oder der Maximalwert der relativen Luftfeuchte mit 100 % nicht überschritten werden.

Aus den Mittelwerten dieser Faktoren und Differenzen ergibt sich im Überblick die Zusammenstellung gemäß Tabelle 5. Damit wurden nun für die Spanne von 2041 bis 2060 Zeitreihen der Klimagrößen generiert,

- die statistisch sinnvoll sind, da sie auf gemessenen Daten basieren und
- einen Klimatrend gemäß der aktuellen Modellrechnungen mit der Emissionsentwicklung gemäß IPCC-Szenario A2 enthalten.

Die relative Luftfeuchte und die Sonnenscheindauer sind durch einen Maximalwert begrenzt. Deshalb gilt:

- Die Daten der relativen Luftfeuchte dürfen 100 % nicht überschreiten. Da die monatlichen Werte der Änderung in der Zukunft alle negativ sind, ist diese Forderung immer erfüllt.
- Die Sonnenscheindauer darf die astronomisch maximal mögliche nicht überschreiten. Da alle Faktoren größer als 1 sind, treten aber solche Tage in den Datenreihen auf. Um zu gewährleisten, dass einerseits die maximal mögliche Sonnenscheindauer nicht überschritten wird, andererseits aber eine monatliche Erhöhung der Sonnenscheindauer um den angegebenen Faktor zu erreichen, wurde folgendermaßen vorgegangen:
 - 1) Multiplikation der Werte der DWD-Reihe (Ist-Zustand) mit dem jeweiligen Monatsfaktor,
 - 2) Begrenzung der Werte auf die maximal mögliche Sonnenscheindauer,
 - 3) Berechnung der Differenz der tatsächlichen Monatswerte der Sonnenscheindauer der Zukunftsdaten und der mit dem Faktor angestrebten Monatswerte,
 - 4) Berechnung eines neuen monatlichen Faktors zum Ausgleich dieser Differenz,

- 5) Multiplikation der Werte der berechneten Zukunftsdaten mit diesem neuen Monatsfaktor,
- 6) zurück zu 2).

Diese Schleife wurde solange durchlaufen, bis ein Gesamtfehler von einer Stunde in der 20-jährigen Reihe bei allen Stationen unterschritten wurde.

Tabelle 5: Korrekturwerte und -faktoren zur Erstellung des Zukunftsszenarios

Monat	Niederschlag	Temperatur	relative Luftfeuchte	Sonnenscheindauer	Windgeschwindigkeit
	[Faktor]	[+ °C]	[+ % rLF]	[Faktor]	[Faktor]
Januar	1,03	1,51	-1,76	1,16	0,96
Februar	1,21	3,02	-2,16	1,04	0,93
März	0,93	0,94	-2,45	1,11	0,95
April	0,93	1,46	-5,17	1,16	1,02
Mai	0,90	1,02	-2,28	1,09	1,00
Juni	0,66	1,89	-6,49	1,28	0,92
Juli	0,97	1,22	-4,31	1,12	0,97
August	0,91	0,94	-3,47	1,11	0,96
September	1,02	0,56	-2,81	1,01	0,86
Oktober	0,95	0,96	-2,18	1,02	0,83
November	1,11	1,70	-2,20	1,38	0,81
Dezember	1,17	3,78	-0,88	1,03	0,94

4.5 Eigene Ableitung der Paläoszenarien

Wie zuvor deutlich gemacht wurde, besitzt das heutige Klima einzelne Jahre, deren Kenngrößen dem Paläoklima adäquat gewesen sind. Wir treffen dementsprechend folgende pragmatische Annahme: Der Wasserhaushalt unter dem Einfluss des Paläoklimas kann als Spanweitenabschätzung für kalte, warme, trockene und feuchte Szenarien dargestellt werden.

Abbildung 9 stellt die einzelnen Jahreswerte der Niederschläge und Temperaturen beispielhaft für die Station Fichtelberg mit dem Verfahren nach JUNGHANS (1974) gegenüber. Das mittlere Feld beinhaltet die für beide Klimagrößen normalen Jahre, die Eckfenster jeweils die nichtnormalen, also eher extremen Kombinationen. Die nichtnormalen Jahre werden ausgewählt (Tabelle 6). Da beispielsweise nur drei Jahre als nass gelten würden, wird 1988 als viertes nasses Jahr genutzt. Bei den kalten Jahren werden nur die fünf kältesten Jahre verwendet. Die Folge der Jahre wurde jeweils vier- bis fünfmal wiederholt, um für die Modellierung eine Zeitreihe von 20 Jahren zur Verfügung zu haben.

Tabelle 6: Nichtnormale Jahre als Paläoklimaszenarien, Station Fichtelberg

nass	trocken	kalt	warm
1981	1982	1981	1982
1988	1985	1984	1989
1995	1989	1985	1992
1998	1991	1987	1994
-	-	1996	2000

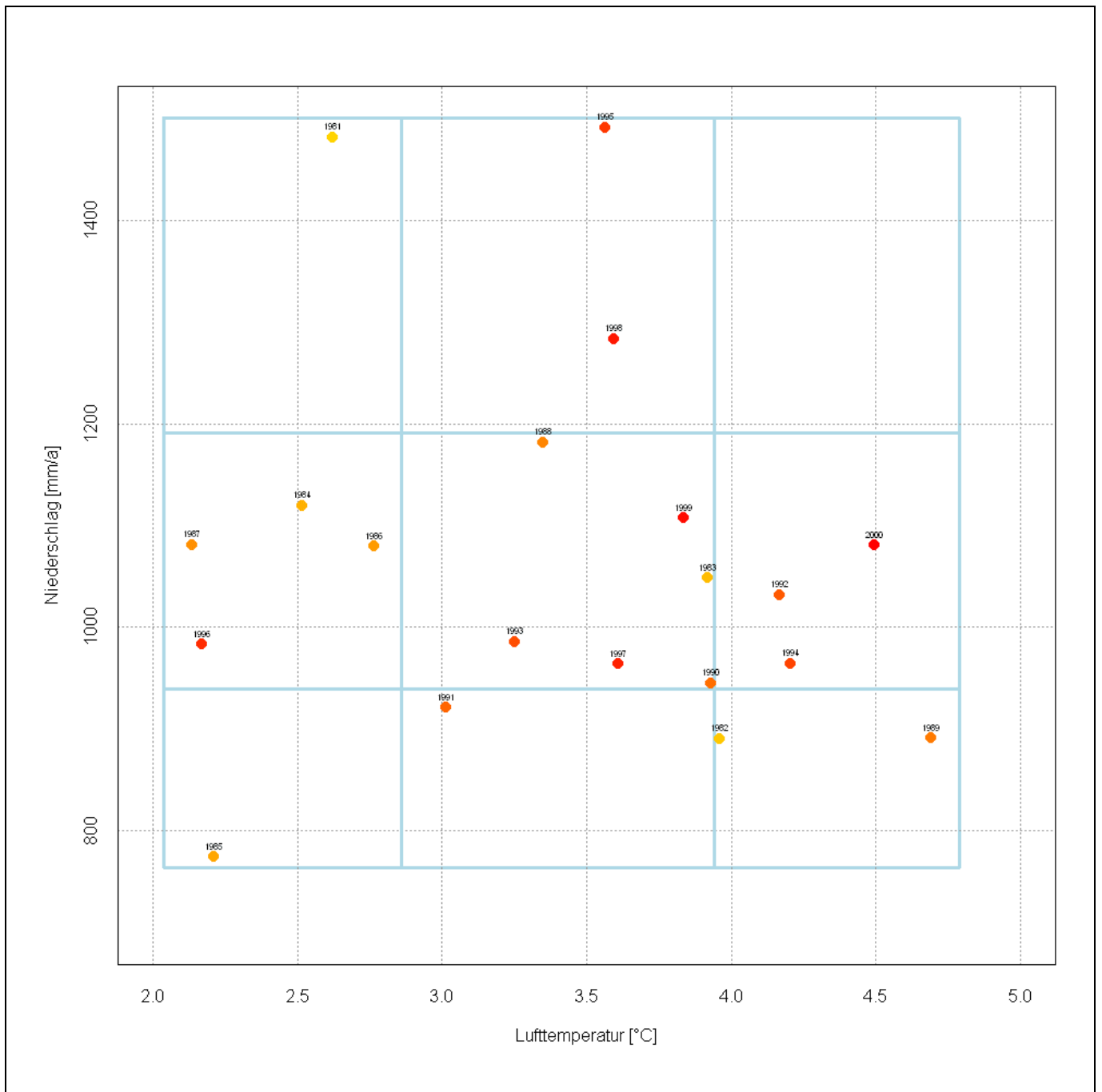


Abbildung 9: Verteilung der Jahreswerte des Niederschlages und der Lufttemperatur, 1981 - 2000, Station Fichtelberg

Bemerkenswert ist, dass diese so postulierten und extrem unterschiedlichen Paläoszenarien im klimatischen Schwankungsbereich der letzten 20 Jahre liegen und z. T. durch aufeinanderfolgende Jahre repräsentiert sind (z.B. 1981 nass, 1982 trocken). Erkennbar in Abbildung 9 ist außerdem, dass der Unterschied zwischen dem trockenen und nassen Paläoszenario extremer ist als zwischen dem Jetzt- und dem Zukunftsszenario. Es wird also im Vergleich der Paläoszenarien eine größere Schwankungsbreite der Wasserbilanz angenommen als sie durch die WEREX-IV-Daten gegenüber dem Ist-Zustand vorhanden sein sollte. In Anlage 5-3 und 5-4 sind die statistischen Parameter der so generierten Paläoklimaszenarien zusammengefasst.

5 Projektspezifische Modellbildung

Da bei der Modellierung des Wasserhaushaltes naturnaher soli- und ombrogener Akrotelm-Durchströmungsmoore auf der Basis von Tagesschritten deutschlandweit keine Erfahrungen vorliegen, hielten wir die Entwicklung spezieller Berechnungsansätze, auch wenn nicht beauftragt, für notwendig. Weitere Neuentwicklungen ergaben sich aufgrund der besonderen Rolle des Nebelniederschlages in den Kammlagen des Erzgebirges. Des Weiteren bestand bei uns das Bedürfnis einer verallgemeinerten Beschreibung der Wirkung des Moores auf die zeitliche Verteilung von Wasserhaushaltskomponenten. Schließlich ergab sich aus den Ergebnissen der paläoökologischen Analyse die Notwendigkeit, die Sensitivität von Moorwachstumsparametern in bezug auf Klimaschwankungen zu erklären.

5.1 Spezifische Aspekte des Wasserhaushaltes von Mooren

Bevor auf die Wasserhaushaltsprozesse eingegangen wird, sollen zunächst wichtige strukturelle Eigenschaften der Moore erklärt werden, ohne die der Wasserhaushalt nicht zu verstehen ist.

5.1.1 Akro- und Katotelmparameter

Die Bedeutung der Begriffe „Akrotelm“ und „Katotelm“ wurde in Deutschland erst sehr spät verstanden (JOOSTEN 1993, SCHMIDT et al. 1993, EDOM & GOLUBCOV 1996a, b, SLOBODDA 1998), obwohl

- die grundlegende russischsprachige und darauf aufbauende englischsprachige Literatur seit Jahrzehnten in deutschen Bibliotheken vorhanden ist sowie
- eine eigenständige deutschsprachige Erklärung der Phänomene durch SLOBODDA (1987) vorliegt.

STEGMANN et al. (2001b, S. 42) definieren in Anlehnung an oben genannte Literatur sowie in Rückbesinnung auf IVANOV (1975) und INGRAM (1978): „Akrotelm ist der obere Bereich wachsender Moorökotope und umfasst den Moorboden ... und die Vegetationsschicht (v.a. Moose), sofern in dieser Porenströmung stattfinden kann. Katotelm ist der ständig wassergesättigte Bereich des Torfkörpers mit relativ geringer biologischer Aktivität.“ Wichtig ist zu verstehen, dass gemäß IVANOV (1975) Akrotelm an Torfbildung („wachsende Moorökotope“) gebunden ist. Findet im mehrjährigen Mittel rezente keine Torfbildung statt, gibt es demnach kein Akrotelm. Es können aber durchaus akrotelmähnliche hydraulische Bodenstrukturen vorkommen, wie es in vielen nicht torfbildenden Sümpfen, in vielen bewaldeten Moorstandorten sowie in regenerierenden Sukzessionsphasen oft der Fall ist.

Obwohl seit 2001 diese Grundlagen nun auch in deutscher Sprache veröffentlicht sind (STEGMANN et al. 2001 a, b, EDOM 2001), wurden sie in hydrologischen Modellierungen von Mooren bisher kaum angewandt. Die meisten entwickelten Moore des Erzgebirges sind aufgrund der *Sphagnen*-Dominanz in den Torfen bei nicht allzu hoher Zersetzung in den „Jüngeren Moostorfen“ potenziell zu den akrotelmdurchströmten Mooren zu rechnen. Abbildung 10 vermittelt eine bildliche Vorstellung über die unterschiedliche Porenverteilung in Akrotelmen unterschiedlicher Ausprägung.

Innerhalb eines Akrotelms fallen in den oberen Dezimetern die hydraulische Leitfähigkeit k_f und die entwässerbare Porosität n_e mit zunehmender Tiefe z ziemlich stark ab, bis sie dann im Katotelm verhältnismäßig geringe Werte erreichen (IVANOV 1975, VAN DER SCHAAF 1996, Zusammenfassung in EDOM 2001). Die Katotelmwerte entsprechen meist den im Rahmen von Torfabbau und Moorentwässerung erhobenen Werten (z.B. BADEN & EGGELSMANN 1963, PÄIVÄNEN 1973, RYCROFT et al. 1975a, b; LIŠTVAN et al. 1985, ZEITZ 2001), wobei bei verlandenden oder stark durchströmten („schwammsumpfigen“) Ökotope die Katotelmwerte auch wesentlich größer als in der Literatur sein können.

Abbildung 11 zeigt detailliert gemessene Tiefenfunktionen der entwässerbaren Porosität n_e für unterschiedliche Akrotelme. Bemerkenswert sei, dass SCHLUMPRECHT et al. (2006) ausschließlich mit Katotelm- n_e -Werten von 0,2 im Wildenhainer Bruch gerechnet haben. Dieser Wert liegt somit an der Untergrenze des Wertebereiches und übt erheblichen Einfluss auf die Modellergebnisse aus: Wasserspiegelschwankungen werden zu groß modelliert. Prozesse der hydrologischen Selbstregulation im Akrotelm

(IVANOV 1975, JOOSTEN 1993, EDM 2001) werden nicht berücksichtigt, die Klimasensitivität des modellierten Moores wird überschätzt.



Abbildung 10: Akrotelm-Aufbau von Bült- und Schlenken-Standorten; oben: Foto aus einem Bült-Schlenken-Komplex in Katin Moch/Zentralrussland (Zeichnung aus SLOBODDA 1987; vgl. auch EDM et al. 2007d; Fotos: R. UHLMANN & F. EDM)

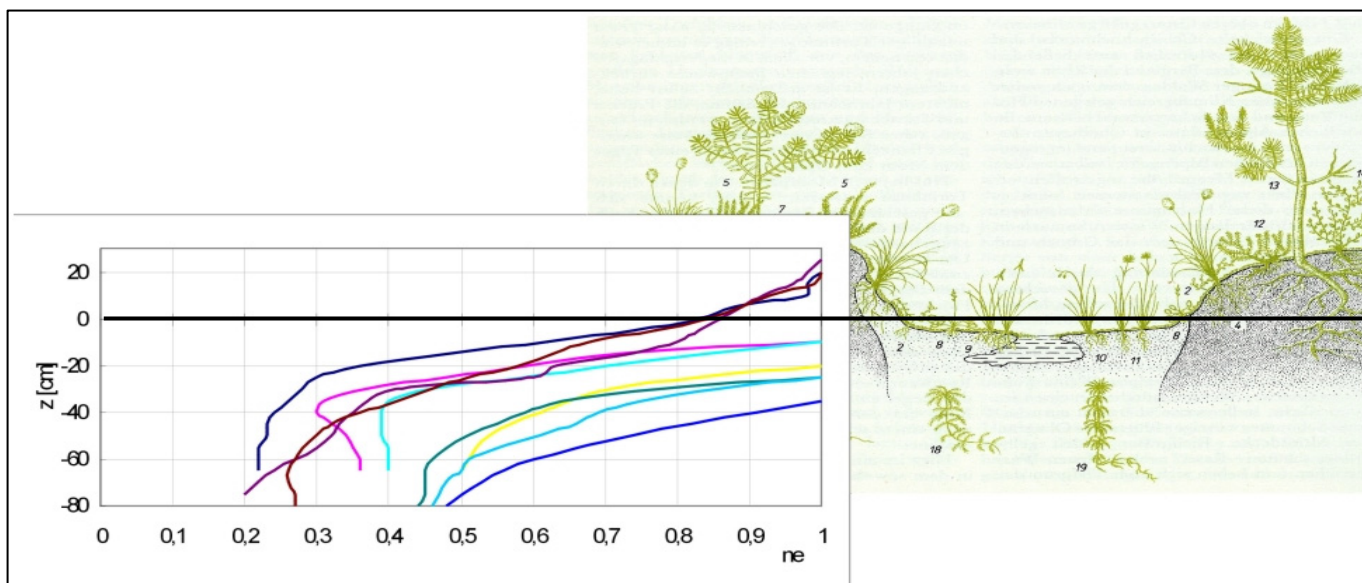


Abbildung 11: Tiefenfunktionen der entwässerbaren Porosität n_e für Bült- und Schlenkenstandorte (obere bzw. untere Kurve), zusammengestellt aus IVANOV & NOVIKOV (1976) & SLOBODDA (1987)

Anhand einer Reihe von Messwerten von ROMANOV, BAVINA, IVANOV & NOVIKOV wurden ökotopspezifische Tiefenfunktionen des folgenden Typs parametrisiert (WAGNER 2005):

$$\text{Entwässerbare Porosität } n_e: \quad n_e(z) = n_{kat} + (n_{Ofl} - n_{kat}) e^{-\frac{z}{m_n}} \quad (1)$$

z ... Tiefe, nach unten gerichtet positiv

n_{kat} ... entwässerbare Porosität im Katotelm

n_{Ofl} ... entwässerbare Porosität an der Oberfläche (des Akrotelms)

m_n ... Abklingkonstante der Porosität

$$\text{Gesättigte hydraulische Leitfähigkeit } k_f: \quad k_f(z) = k_{Kat} + (k_{Ofl} - k_{Kat}) e^{-\frac{z}{m_k}} \quad (2)$$

k_{kat} ... gesättigte hydraulische Leitfähigkeit im Katotelm

k_{Ofl} ... gesättigte hydraulische Leitfähigkeit an der Oberfläche (des Akrotelms)

m_k ... Abklingkonstante der Leitfähigkeit

Da für eine bestimmte torfbildende Vegetation der Abfall von Porosität und Leitfähigkeit mit der Tiefe synchron verlaufen, wurden die Gleichungen (1) und (2) miteinander gekoppelt.

Integriert man Gleichung (1) über die gesamte Katotelmmächtigkeit (Moormächtigkeit) z_u bis zum aktuellen, im Akrotelm liegenden Wasserstand z , so erhält man den Inhalt des Moorspeichers S :

$$S(z) = \int_z^{z_u} n_e(z) dz = n_{kat} (z_u - z) + m_n (n_{Ofl} - n_{kat}) \cdot \left(e^{-\frac{z}{m_n}} - e^{-\frac{z_u}{m_n}} \right) \quad (3)$$

Analog erhält man für die durchströmte Transmissivität T bei einem bestimmten Wasserstand z :

$$T(z) = \int_z^{z_u} k_f(z) dz = k_{Kat} (z_u - z) + m_k (k_{Ofl} - k_{Kat}) \cdot \left(e^{-\frac{z}{m_k}} - e^{-\frac{z_u}{m_k}} \right) \quad (4)$$

Will man die durchströmte Gesamttransmissivität in eine durch die Torfschichtung bestimmte Katotelm-Transmissivität T_{Kat} und eine durch die aktuelle Moorvegetation bestimmte Akrotelm-Transmissivität T_{Akr} trennen, so ergibt sich:

$$T(z) = T_{Akr}(z) + T_{Kat} \quad (5)$$

und aus Gleichung (2) analog zu Gleichung (4) bei der Tiefe der Akrotelm-Katotelm-Grenze (= Akrotelm-Mächtigkeit) z_{ak} :

$$T_{Akr}(z) = k_{Kat} (z_{ak} - z) + m_k (k_{Ofl} - k_{Kat}) \cdot \left(e^{-\frac{z}{m_k}} - e^{-\frac{z_{ak}}{m_k}} \right) \quad (6)$$

Der aktuelle spezifische Profildurchfluss q beim Wasserstand z ergibt sich beim Gefälle I schließlich zu:

$$q(z) = I \cdot T(z) \quad (7)$$

Damit sind die hydraulisch determinierten horizontalen Wasserhaushaltsgrößen moorspezifisch abgeleitet.

5.1.2 Wasserstandsabhängige Moorverdunstung

Die wasserstandsabhängige Verdunstung ET von Moorstandorten berechnen wir nach ROMANOV (1961), KALJUŽNYJ (1974), AUTORENKOLLEKTIV (1976) und KALJUŽNYJ et. al (1988) mit der Romanov-Formel:

$$ET = \alpha \cdot RN + Adv \quad (8)$$

- RN Strahlungsbilanz der Mooroberfläche
- Adv durch Advektion erzeugter Verdunstungsanteil
- α ökotop- und wasserstandsabhängige spezifische Verdunstung

Aufgrund des stark humiden Klimas im oberen Erzgebirge und der durch Wälder geprägten, stark verdunstenden Umgebung der Mothhäuser Haide während der gesamten holozänen Entwicklungsgeschichte des Moores kann in Übereinstimmung mit oben genannten Autoren das advective Glied gleich Null gesetzt werden. Damit vereinfacht sich Gleichung (8) zu:

$$ET = \alpha \cdot RN \quad (9)$$

Zum Verständnis der Verdunstungsprozesse in einem *Sphagnen*-bestimmten Moor sei nun auf Abbildung 12 verwiesen.

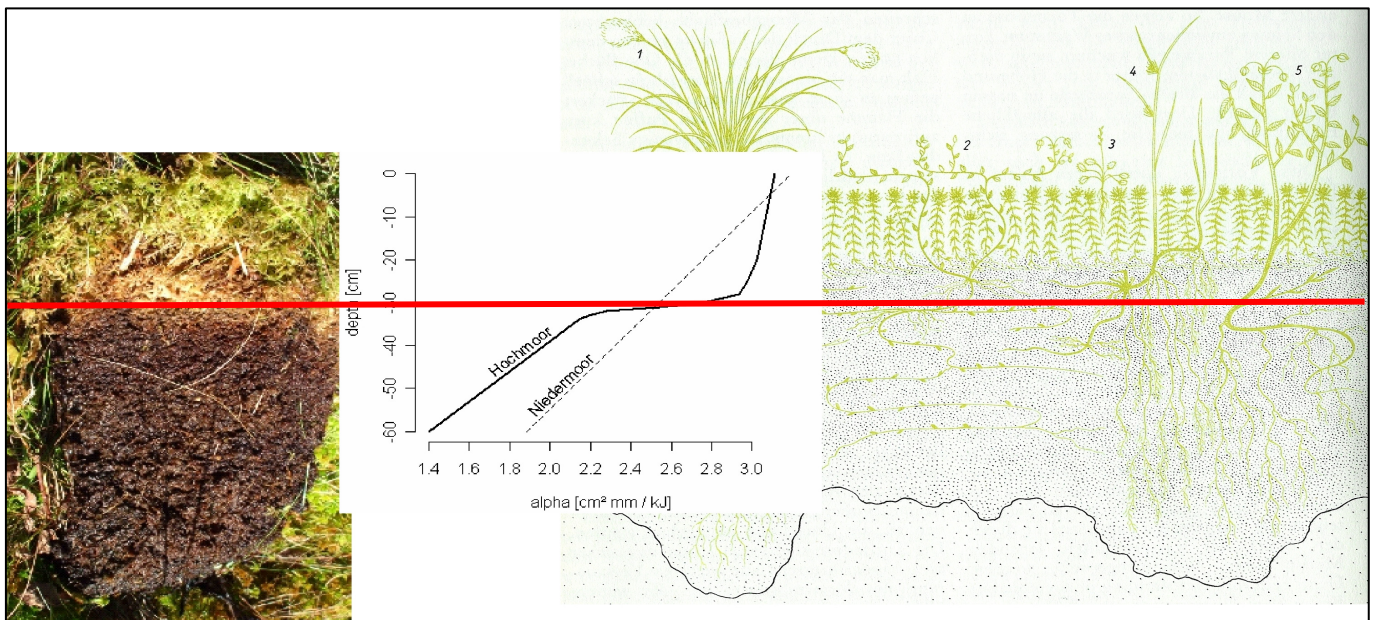


Abbildung 12: Verdunstung von wachsenden Sphagnen-Moorstandorten in Abhängigkeit vom Wasserstand und der Akrotelm-Horizontierung (zusammengestellt aus EDM et al. 2007d, KALJUŽNYJ et al. 1988 und SLOBODDA 1987, Foto: R. Uhlmann, rote Linie = Grenze zwischen Akrotelm und Katotelm)

Solange der Moorwasserstand innerhalb der grünen (oder bunten) lebenden Sphagnum-Pflanzen (sogenannte „euphotische Zone“, s. CLYMO 1992a,b; STEGMANN et al. 2001b) liegt, nimmt die Verdunstung nur geringfügig mit der Tiefe ab. Im Bereich der sogenannten „oberen Zersetzungszone“ (ebd.), dessen Grobporen keinen Kapillarwasseraufstieg zulassen, kommt es zu einer abrupten Abnahme der spezifischen Verdunstung α . Innerhalb der von höheren Pflanzen durchwurzelten „unteren Zersetzungszone“ sowie der „Wurzeleindringzone“ (ebd.) kommt es dann entsprechend der mit abnehmendem Wasserstand immer weniger durchfluteten Wurzelmasse torfbildender Pflanzen, deren Wurzeln im gesättigten Bereich das Wasser aufnehmen, zu einer weiteren (im wesentlichen linearen) Abnahme der spezifischen Verdunstung. Bei fehlenden wurzellosen *Sphagnen*, z. B. in Niedermooren, herrscht im gesamten von lebenden und torfbildenden Wurzeln durchwachsenden Bereich nach ROMANOV (1961) eine lineare Abnahme.

Für den Fall der *Sphagnen*-geprägten Akrotelme, wo z. B. Zwergsträucher, Wollgräser oder einzelne Seggen in eine Wurzeleindringzone hineinwachsen, ist also die Ableitung einer prozesswichtigen Tiefenfunktion für α wichtig. Aus diesem

Grunde sei die Abbildung von KALJUŽNYJ et al. (1988) noch einmal größer dargestellt (Abbildung 13). Die Grenze der beiden linearen Bereiche liegt nach dieser Darstellung bei etwa $z = -30$ cm, kann natürlich in Abhängigkeit weiterer möglicher Vegetation und verschiedener *Sphagnen*-Typen regional variieren; für Mitteleuropa gibt es keine diesbezüglichen Daten.

Die beiden Bereiche werden von uns einzeln durch eine lineare Abhängigkeit des Parameters α von der Tiefe z beschrieben:

$$\alpha_i = a_i \cdot z + b_i \tag{10}$$

Damit wird für die beiden Parametersätze (a_i, b_i , für $i = 1:2$) jeweils ein α berechnet. Diese beiden α werden daraufhin durch eine Sigmoidenfunktion gewichtet:

$$w = \frac{1}{1 + e^{\frac{z_{\text{grenz}} - z}{\tau}}} \quad \text{mit} \quad \alpha = (1 - w) \cdot \alpha_1 + w \cdot \alpha_2 \tag{11 und 12}$$

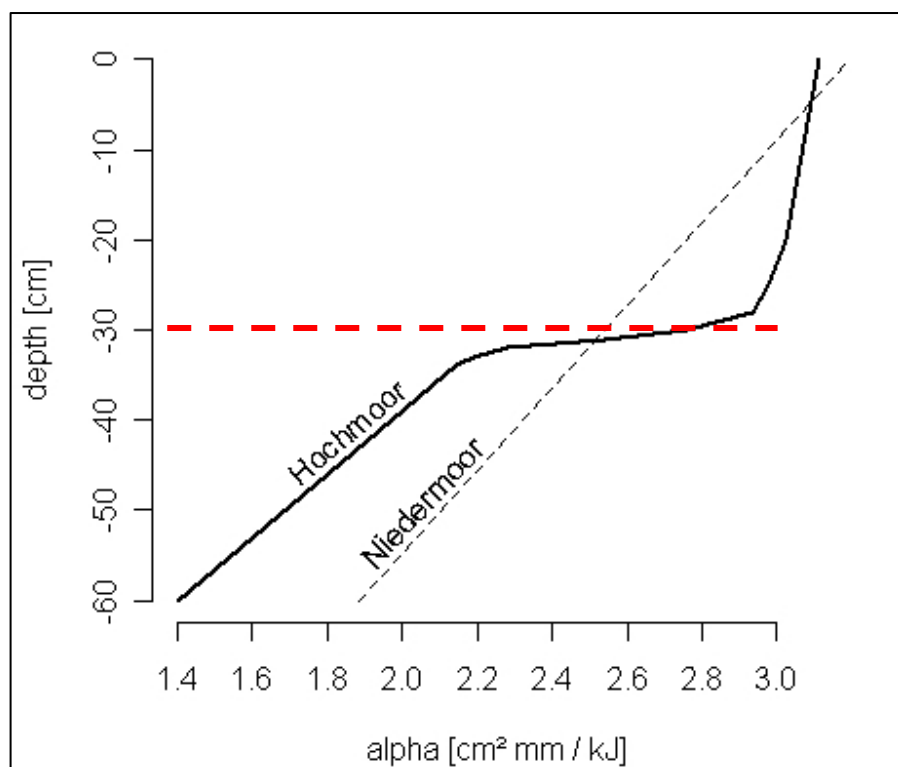


Abbildung 13: Spezifische Verdunstung α für die Monate Juni, Juli, August (verändert nach ROMANOV 1961)

Der Parameter $z_{\text{grenz}} \sim -30,5$ cm definiert die Tiefe, bei der sich das Verdunstungsregime ändert (vermutlich die Untergrenze der oberen Zersetzungszone). Die Größe $\tau = 0,8$ cm ist ein Maß für den maximalen Anstieg der Sigmoide. Es lassen sich die in Tabelle 1 dargestellten Parametersätze bestimmen. Abbildung 14 veranschaulicht die Sigmoide für den Übergangsbereich um z_{grenz} .

Tabelle 7: Parameter zur Berechnung von α .

Monat	a_1	a_2	b_1	b_2
Mai	0.01548	0.002381	1.6905	1.6905
Juni, Juli, August	0.02848	0.004381	3.1105	3.1105
September	0.007738	0.00119	0.8452	0.8452

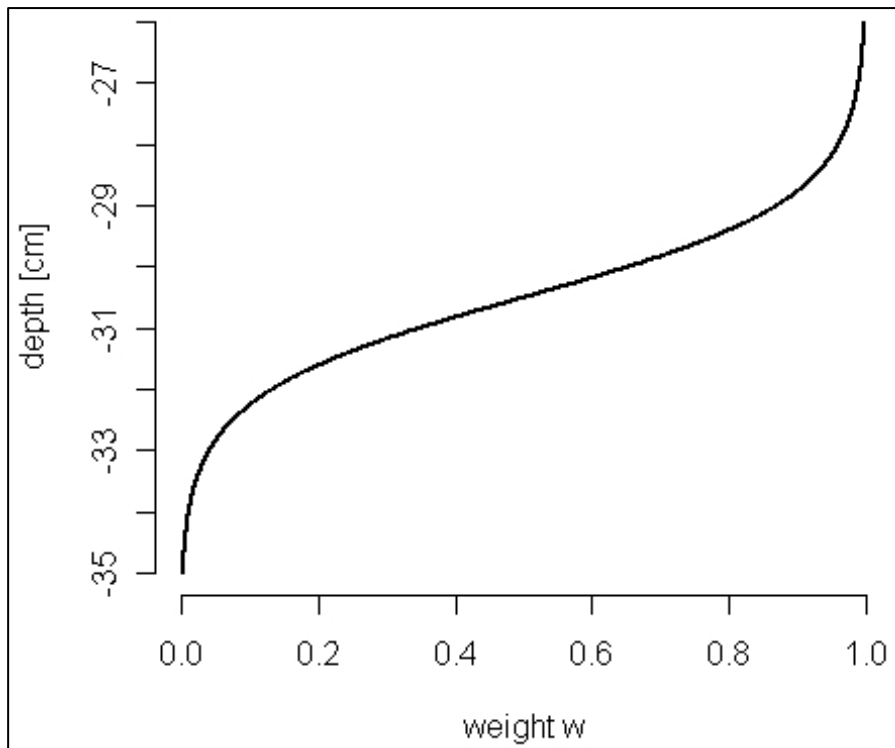


Abbildung 14: Verlauf der Sigmoiden im Übergangsbereich um z_{grenz}

Da sich die Abhängigkeit der spezifischen Verdunstung α von der Tiefe des Wasserspiegels nur durch eine unterschiedliche monatliche Skalierung der α -Achse unterscheidet, kann alternativ auch ausschließlich mit einer Parametrisierung gerechnet werden. Die resultierende spezifische Verdunstung ist dann mit einem monatsabhängigen Faktor zu multiplizieren. Bezogen auf die spezifische Verdunstung für den Mai ergeben sich:

$$\alpha_{\text{juni, juli, august}} = 1.84 \cdot \alpha_{\text{mai}} \quad \text{und} \quad \alpha_{\text{september}} = 0.5 \cdot \alpha_{\text{mai}} \quad (13 \text{ und } 14)$$

Im Moormodul unseres Modells AKWA-M[®] wurde für den Parameter α ein Monatsgang programmiert, der durch die zusätzliche Bindung an den Blattflächenindex LAI auch eine Berechnung über die genannten Monate hinaus ermöglicht. Für unser „nur“ subkontinentales Klima im Erzgebirge, wo die Sommer-Winter-Abgrenzung nicht so scharf ist wie im kontinental-borealen Russland, sind bei möglichen Klimaänderungen variable Längen der Vegetationsperioden möglich. Dieses kann mit dieser Modellimplikation berechnet werden, außerdem auch kurzzeitige schnee- und frostfreie Phasen.

Die spezifische Verdunstung von Kleinseggenriedern ist hingegen linear (ROMANOV 1961) und nicht für einzelne Monate differenziert. Hier gilt die Beziehung

$$\alpha = a \cdot z + b \quad \text{mit} \quad a = 0.0219 \quad \text{und} \quad b = 3.198. \quad (15)$$

Kleinseggenrieder kommen in der Mothhäuser Haide nur äußerst kleinflächig vor, deswegen wird hier nicht weiter darauf eingegangen.

5.1.3 Moorwaldverdunstung

Messungen zur Verdunstung von Moorwäldern fehlen in Mitteleuropa bisher völlig. Im Unterschied zu Waldstandorten auf silikatisch geprägten Sickerwasserstandorten befinden sich die Wurzeln der Moorbäume im Grenzbereich zum wassergesättigten Moor, sie durchwurzeln Teile des Akrotelms oder der Torfdegradierung unterliegende Horizonte. Dieser durch den wassergesättigten Torf begrenzte Wurzelraum wird in starken Maß oft gänzlich von den Baumwurzeln durchwachsen. In nasser Mooren ist dieser Wurzelraum auf obere Schichten beschränkt, deswegen herrscht eine große Wurzelkonkurrenz. Die Gehölzbestände werden mit zunehmender Nässe lichter, die Baumhöhen geringer, es bilden sich kleine Wuchs- und Krüppelformen aus, was für mehrere Baumarten bekannt ist (PJAVČENKO 1963). Krautige torfbildende Moorpflanzen (z. B. Seggen, Schilf, Wollgras) reichen mit ihren Wurzeln in den wassergesättigten Bereich hinein. Steigt der Moorwasserstand

zeitweilig in den durchwurzelten Bereich der Bäume, so geraten diese mit Ausnahme der Erlen unter Feuchtestress. Hält dieser Feuchtestress lange an, kommt es zum Absterben von Nadeln oder Blättern. Das zeigt sich in der hohen Zahl der im Moor absterbenden oder schütter belaubten Bäume. Deswegen muss im Gegensatz zur krautigen Moorvegetation bei Mooregehölzen mit einer abnehmenden Verdunstung (Baumtranspiration) bei steigendem Wasserstand gerechnet werden. Über diese Prozesszusammenhänge gibt es in Mitteleuropa zu wenig Daten, dennoch wurde dieser Effekt berücksichtigt. Einige Zusammenhänge sind in Abbildung 15 dargestellt.

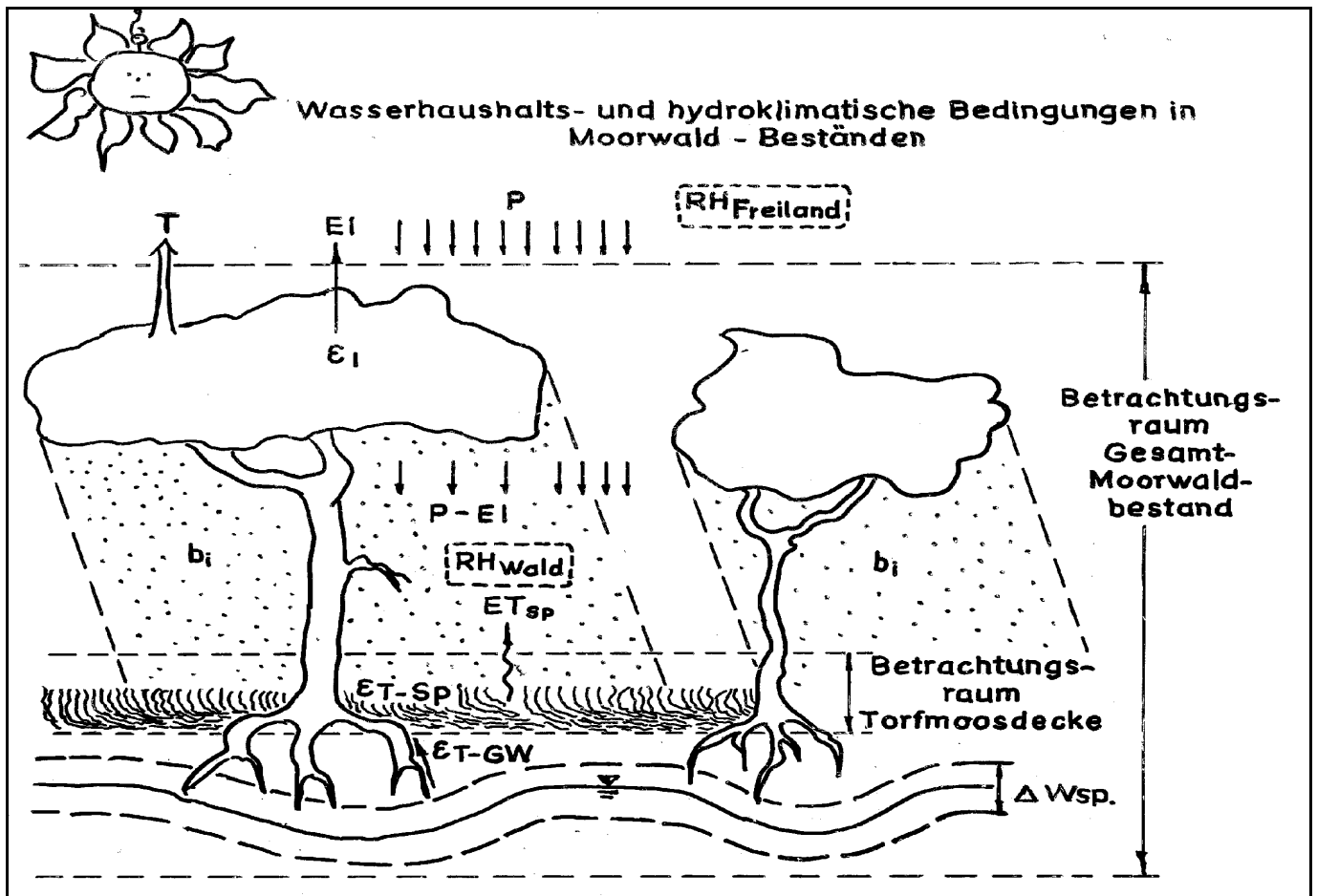


Abbildung 15: Wasserhaushalt von Moorbodenvegetation und Baumbestand (aus Edom 1995)

(b_i beschatteter Bodenflächenanteil, RH Relative Luftfeuchte, RH_{Wald} ... Relative Luftfeuchte im Gehölzbestand, P ... Niederschlag, T ... Transpiration der Baumschicht, EI ... Evaporation des Interzeptionswassers, P-EI ... Bestandsniederschlag oder durchtropfender Niederschlag, ET_{sp} ... Evapotranspiration der Torfmoosdecke, ΔW_{sp} Schwankungsbereich des Moorgrundwasserspiegels, ϵ ... auf den beschatteten Bodenflächenanteil bezogene Rate der Interzeption I sowie der Verdunstung aus der Torfmoosdecke T-Sp und aus dem Grundwasser T-GW)

In AKWA-M[®] wurde die zweischichtige Betrachtung der Moorwälder wie folgt realisiert:

Die Verdunstung der Moorbodenvegetation (in Abb. 15 ET_{sp}) wird nach der ROMANOV-Formel (Gleichung 9) berechnet. Die von der Klimastation stammenden Freiland-Klimadaten (z.B. die relative Luftfeuchte des Freilandes $RH_{Freiland}$) werden entsprechend der Eigenschaften der Baumschicht (Blattflächenindex, Kronenschlussgrad, Wuchshöhe) in ein Bestandesklima (z.B. Luftfeuchte im Wald RH_{Wald}) transferiert. Dazu werden die Daten von WENDEL (2007) verwendet. Die Transpiration T der Bäume wird nach PENMAN-MONTEITH berechnet, obwohl dies physikalisch unbefriedigend ist. Die Stomatawiderstände werden aufgrund des Wasserstresses bei steigenden Wasserständen erhöht.

Die Interzeption EI der Bäume wird entsprechend der bereits in AKWA-M[®] implementierten Ansätze berechnet (MÜNCH 1994, 2007, MÜNCH et al. 2005).

5.1.4 Nebelniederschlag

Nebelniederschlag ist ein zum gefallenem Niederschlag zusätzlicher Wassereintrag, der durch das Heranströmen feuchter Luft in ein Einzugsgebiet gelangt und sich dort an Oberflächen absetzt, insbesondere durch Bäume „herausgekämmt“ wird und abtropft. Normalerweise wird er mit gewöhnlichen Messgeräten (z. B. nach HELLMANN) nicht erfasst, d. h. in den für die Simulation verwendeten Niederschlagsreihen ist er nicht enthalten.

Im mitteleuropäischen Raum spielt der Nebelniederschlag vor allem in Küstennähe und in Gebirgen ab 500 m Geländehöhe eine Rolle (FOJT 1970, FLEMMING 2001). Vor allem in Wäldern an exponierten Hängen und in Kammlagen ergeben sich oft Mengen, die für die Wasserhaushaltsbilanz bedeutsam sind. GRUNOW (1964) gibt für einzelne Messstationen in Deutschland Jahreswerte von mehreren hundert Millimetern an, FLEMMING (1983) schätzt den Jahresnebelniederschlag für mitteleuropäische Wälder auf 80 mm in 600 m Höhe und auf 240 mm in 1.000 m Höhe.

Für das in der Nähe des Erzgebirgskamms liegende Einzugsgebiet der Mothhäuser Haide wurde deshalb ein prozessbezogener Modellansatz zur Abschätzung des Nebelniederschlags entwickelt und in das Modell AKWA-M[®] implementiert (s. Kap. 6.4.1).

5.1.5 Erstellung der vollständigen Wasserbilanz in Tagesschritten

Die vertikale Versickerung unter den Torfkörper wird anhand der Katotelm-Leitfähigkeiten berechnet. Sie ist bei hohen Moormächtigkeiten innerhalb des Jahres kaum veränderlich. Als Restglied ergibt sich eine tägliche Speichervorratsänderung. Mit Hilfe der in Kapitel 5.1.1 dargestellten Tiefenfunktionen ergibt sich der neue Wasserstand für den nächsten Tag.

5.2 Hydromorphologisches Grundmodell

Jedes Moor weist sein eigenes Mesorelief auf, das im Laufe der Moorentwicklung entstanden oder auch durch anthropogene Einflüsse verändert worden ist. Für eine **hydromorphologische Analyse** muss als erster Schritt das Relief erfasst werden, entweder durch flächendeckende terrestrische Vermessung oder durch Fernerkundungsverfahren. Es lassen sich nun **Höhenkarten** und **Gefällekarten** herstellen. Senkrecht zu den Höhenlinien kann man für (potenziell) wassergesättigte Moore das **Netz der Stromlinien** konstruieren. Die Stromlinien zerteilen das Moor in Stromsektoren, die durch die Höhenlinien in Segmente unterteilt werden (EDOM et al. 2007a,b,c).

In den Stromlinienbildern zeigen sich **divergente, parallele und konvergente Situationen**. Die Einbettung unterschiedlicher natürlicher und anthropogener Strukturen in die gegebene hydromorphologische Situation ergibt schon einige Möglichkeiten qualitativer Erklärungen. So führen konvergente Situationen meist zu einer Zunahme des Profildurchflusses. Rüllen und moorinnere Bäche finden sich meist in konvergentem Relief. Divergentes Relief beherbergt oft typische ombrogene Standorte.

5.2.1 Spezifische Profildurchflüsse

Nimmt man eine oberflächennahe Strömung im wachsenden (selbstregulierten) Moorkörper an, fließt das Wasser in Richtung der Stromlinien. Die Verteilung der langjährig mittleren **spezifischen Profildurchflüsse** q_s lassen sich nun für jedes Segment i flächendeckend berechnen:

$$q_s(i) = \frac{q_{CM} \cdot b_{CM}}{b(i)} + \frac{\sum_{j=1}^i [A_j \cdot (P_j - ET_j + q_{GW}(j))]}{b(i)} \quad (16)$$

mit: q_{CM} = langjährigem mittleren Zufluss aus dem silikatischen Einzugsgebiet in das erste Segment $j=1$ eines Moorsektors mit der Breite $b_{CM} = b_0$; A_j = Fläche des Segmentes j , $(P_j - ET_j + q_{GW}(j))$ = langjährig mittlere vertikale Wasserbilanz des Moor-Segmentes j . P = Niederschlag; ET = Verdunstung; q_{GW} = vertikaler Grundwasseraustausch, im Falle vertikaler Versickerung mit $q_{GW} = -Q_{GW}$ bezeichnet. Abbildung 16 zeigt die Grundsätze der hydromorphologischen Berechnung.

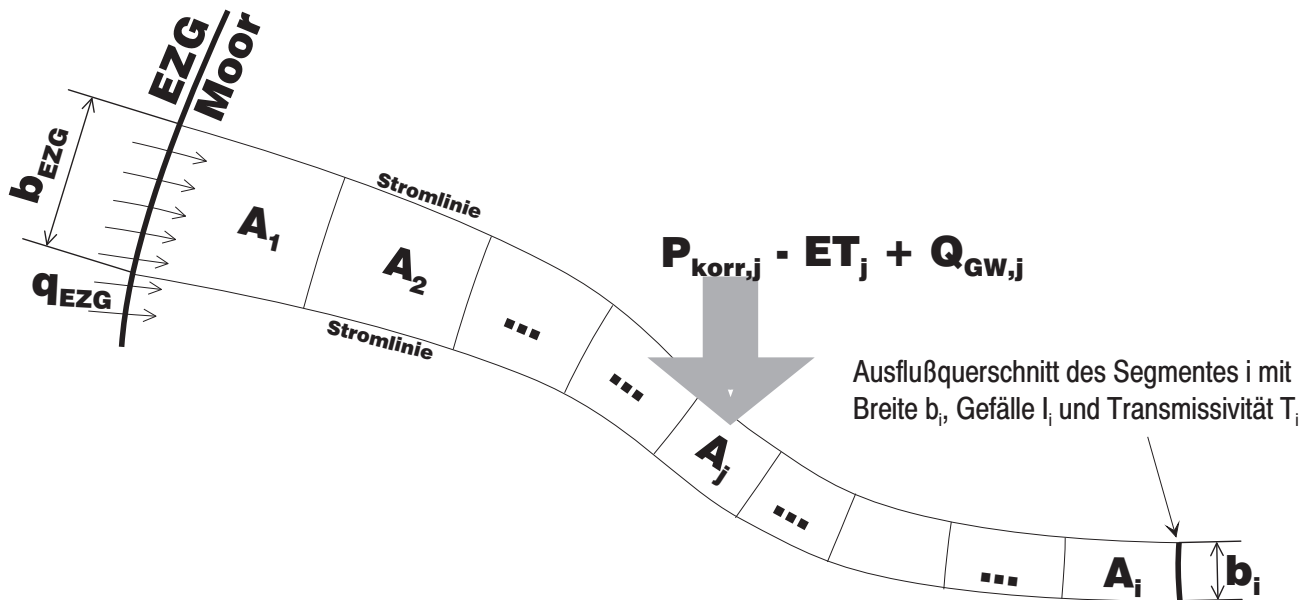


Abbildung 16: Stromsektor, unterteilt in Segmente, mit hydromorphologischen Größen

Es ergibt sich eine **Karte** der räumlichen Verteilung der horizontalen **Profildurchflüsse** durch den Moorkörper oder - bei entsprechenden Moortypen - durch das Akrotelm. Nach unseren Erfahrungen im Erzgebirge sind in Mooren mit ungestörtem Relief die Profildurchflüsse ziemlich gleichverteilt (DITTRICH et al. 2004a,b; EDMOND et al. 2005, 2006, 2007a,b,c; EDMOND & KEHLER 2006). Zonen höherer Wasserflüsse gibt es in natürlichen Abflussstrukturen wie Rillen oder Bächen sowie in gestörten Bereichen.

5.2.2 Durchströmte Transmissivitäten

Durch das unterschiedliche Gefälle gliedert sich die Zonierung der Transmissivitäten stärker. Wird Gleichung (16) durch das

Gefälle $\frac{dy}{dl}(s)$ eines Segmentes (Länge s in Gefällerrichtung l) dividiert, erhält man die Transmissivität $T_z(i)$ des im langjährigen Mittel durchflossenen Schichtpaketes des Moorsegmentes i bei einem langjährig mittlerem Wasserstand z_m :

$$T_z(i) = \frac{q_s(i)}{\frac{dy}{dl}(i)} = \frac{q_{CM} \cdot b_{CM}}{b(i) \cdot \frac{dy}{dl}(i)} + \frac{\sum_{j=1}^i [A_j \cdot (P_j - ET_j - Q_{GW}(j))]}{b(i) \cdot \frac{dy}{dl}(i)} \quad (17)$$

Entsprechend erhält man eine **Karte** der Verteilung der durchströmten (selbstregulierten) **Transmissivitäten**. Weil in wachsenden Mooren die Moorvegetation und der von ihr gebildete Torf das durchströmte poröse Medium darstellen, also die hydraulischen Eigenschaften bestimmen, ist die Transmissivität eng korreliert mit langfristig stabilen Vegetationsformen. Wenn sich also die Wasserspeisung oder die Klimabedingungen ändern, reagiert die Vegetation mit Selbstregulationsmechanismen, die zur Änderung der Transmissivität führen (JOOSTEN 1993).

5.2.3 Trophisch wirksamer Hangwasseranteil

Die Bewertung des langjährig mittleren hydrochemischen Einflusses in einem Moorsegment gestaltet sich schwieriger. Eine methodisch einfachere Lösung ist die Berechnung von Mischungsverhältnissen der Wassermengen unterschiedlicher Herkunft. Unterschieden werden minerogene Wassermengen, die vor Durchströmung des Moorkörpers schon mit einer silikatischen Gesteinsmatrix Kontakt hatten, und ombrogene Wassermengen, die direkt auf den Torfkörper auftreffen. Nimmt man an, dass alles verdunstende Wasser mit seinem lokalen Gehalt an Nährstoffionen zur dauerhaften Akkumulation dieser Ionen in der

Pflanzendecke oder im Torf führt, erhält man ein Mischungsverhältnis, das wir den trophisch wirksamen Hang- und Quellwasseranteil oder den **Minerotrophie-Quotient** $H_U(i)$ genannt haben (EDOM et al. 2007a,c):

$$H_U(i) = \frac{q_{CM} \cdot b_{CM} + \sum_{J=1}^i [A_J \cdot q_{GW}(j)]}{q_{CM} \cdot b_{CM} + \sum_{J=1}^i [A_J \cdot (P_J + q_{GW}(j))]} \quad (18)$$

Nimmt H_U den Wert 1 an, ist das Wasser vollständig minerotroph. Ist der Wert gleich Null, handelt es sich um ombrotrophe Standorte. Mit Gleichung (18) lassen sich **Karten der Hang- und Quellwasseranteile** berechnen.

5.2.4 Ableitung potenzieller Ökotope sowie hydromorphologisch-potenzieller FFH-Lebensraumtypen (hLRT)

Für die Ableitung resultierender Ökotoptypen, die das standörtlich mögliche Spektrum an Vegetationstypen repräsentieren, wurde eine Matrix aus Klassen der Torfmächtigkeit, der Transmissivität und der trophisch wirksamen Hangwasseranteile erstellt (EDOM & KEßLER 2006, EDOM et al. 2006). Grundlage ist eine Parallelisierung russischer und erzgebirgischer Vegetationstypen (EDOM & GOLUBCOV 1996a,b; ZINKE & EDOM 2006) sowie die kontinuierliche Einbindung geobotanischer Erfahrungen. Es ergeben sich **Karten der potenziellen Ökotoptzonierung** von wachsenden Mooren unter aktuellen Relief- und Wasserhaushaltsbedingungen.

In einem aktuell wachsenden Moor mit stromlinienförmig abgestimmten Akrotelmen entspricht dies der aktuellen Ökotoptzonierung. In solchen Mooren ist es möglich, die Modellansätze durch Kartierung der Vegetation oder der hydraulischen Parameter zu eichen. In einem regenerierenden Moor oder einem durch Maßnahmen zu revitalisierenden Moor ist dies eine prognostische Ökotoptzonierung. Die prognostische Ökotoptzonierung zeigt die Entwicklungsrichtung der Sukzession regenerierender Moore (EDOM & WENDEL 1998, EDOM 2001) bzw. im Falle zu planender Naturschutzmaßnahmen ein realistisch anzustrebendes (und nicht durch Wunschvorstellungen überzogenes) Leitbild. Da Regenerationsprozesse im oberen Erzgebirge bis zu drei Jahrhunderte dauern können, sind Beweise der prognostizierten Ökotoptzonierung nur sehr langfristig möglich. Dies erfordert ein Monitoring. In den bisher hydromorphologisch analysierten Mooren des Erzgebirges häufen sich aber aus unterschiedlichen Geländebeobachtungen, Kartierungen der Vegetation und der Moorstratigrafie Belege über die Richtung der Ökotoptentwicklung.

Viele Ökotope natürlicher Moore sind Lebensraumtypen (LRT) des Anhangs I der FFH-Richtlinie. Für das Erzgebirge sind das die LRT 3160 (Dystrophe Stillgewässer), 7110* (Lebende Hochmoore), 7120 (Regenerierbare Hochmoore), 7140 (Übergangs- und Schwingrasenmoore), 7150 (Torfmoor-Schlenken), 91D1* (Birken-Moorwälder), 91D3* (Bergkiefern-Moorwälder), 91D4* (Fichten-Moorwälder) sowie einige torfmoos- oder seggenreiche Ausprägungsformen des LRT 9410 (Montane Fichtenwälder). Da man jetzt **Karten der hydromorphologisch-potenziellen FFH-LRT (hLRT)** herstellen kann, liefert die hydromorphologische Analyse Planungsgrundlagen für das FFH-Management. In diesem Projekt gibt die Analyse der hLRT Hinweise darüber, **wie mit der FFH-Richtlinie im Kontext möglicher Klimaänderungen umzugehen wäre.**

Trotz der in Tabelle 8 verwendeten Bezeichnungen zur Vegetation wird in dieser Studie das Konzept des **Ökotops** verfolgt, d.h. der Einheit von Biotop und Geotop (Hydrotop, Pedotop). Dies ist vergleichbar mit dem topischen Moornaturraumtyp von SUCCOW (1988) bzw. der „mikrolandšaft“ von GALKINA (1946, 1959) bzw. IVANOV (1975). Das bedeutet, dass bei einer Vegetationsbezeichnung für einen Ökotopt unterschiedliche Pflanzengesellschaften möglich sind. Diese unterschiedlichen Pflanzengesellschaften bilden die Akrotelme vergleichbarer Transmissivitäten, kommen bei vergleichbaren Hangwasseranteilen und Torfmächtigkeiten vor und bekommen den Namen einer für das mittlere Erzgebirge typischen oder wahrscheinlichen Pflanzenvergesellschaftung. Das heißt aber nicht, dass die entsprechende Vegetation absolut so eintritt wie berechnet, vielmehr ergibt sich eine der berechneten Transmissivität und Trophie entsprechende Vegetationszusammensetzung. Die Benennung der Vegetationszusammensetzung entspricht einer für das Erzgebirge wahrscheinlichen Vegetation. Die Ableitung von Ökotopten erfolgte nur für die Moorstandorte. Folgende Ökotope, die nicht immer pflanzensoziologischen Vegetationstypen entsprechen müssen, wurden einbezogen und den FFH-Lebensraumtypen zugeordnet:

Tabelle 8: In der Ökotopprognose berücksichtigte Ökotoptypen

Abkürzung	Erläuterung	LRT-Nr.
WBSK	Wasserreicher Bült-Schlenken-Komplex oder Kolk-Komplex	7110*
BSK	Bült-Schlenken-Komplex	
SphZwWllgr	Sphagnum-Zwergstrauch- oder Sphagnum-Scheidenwollgras-Rasen	
Sph	Reine Sphagnen-Decken	
SphScheuch	Sehr nasse Sphagnum-Decken mit Blasenbinse; Blasenbinse auch in Schlenken (Die Blasenbinse kann, da sie rezent nicht mehr vorkommt, durch andere Arten des sehr nassen Standortes ersetzt werden, wie z.B. <i>Sphagnum cuspidatum</i>)	
SphWllgr	Sphagnum-Scheidenwollgras-Rasen	
Wllgr	Scheidenwollgras-Rieder, vor allem bei der Primärversumpfung	
SphSeg	Sphagnum-Rasen mit Seggen oder <i>Eriophorum angustifolium</i> , auch <i>Betula nana</i> Standorte möglich	7140
SegSph	Kleinseggenried mit <i>Sphagnen</i> , auch <i>Eriophorum angustifolium</i> -Ried mit <i>Sphagnen</i> möglich, z.T. Flachrüllen und baumfreie Seitenkantenlaggs bildend	
Seg	Seggen-Ried, auch <i>Eriophorum angustifolium</i> -Ried möglich	
SegSphPhr	Seggenried mit <i>Sphagnum</i> und <i>Phragmites</i>	
SphPhr	Sphagnum-Rasen mit <i>Phragmites</i> , oder ins Schilf eindringende <i>Sphagnen</i> durch Verlandung oder Verringerung des Zuflusses	kein LRT
SegPhr	Seggen-Ried mit Schilf	
LaZw	Moorkiefern-Moorgehölz, zwergstrauchreiche Ausprägungsform	91D3*
LaSphWllgr	Moorkiefern-Moorgehölz, nasse Ausprägungsform mit Schlenken, <i>Sphagnen</i> oder Wollgras	
LaBiWllgr	Latschen-Moorbirken-Bestand, nasse Ausprägungsform mit Wollgras	
LaBiZw	Latschen-Moorbirken-Bestand, trockene Ausprägungsform mit Zwergsträuchern	91D1*
BiWllgr	Moorbirkenwald, nährstoffärmere Ausprägungsform, bei geringen Torfmächtigkeiten	
BiSeg	Moorbirkenwälder, typische mesotrophe Ausprägungsform	91D1*
ErlSegEqi	Erlenwälder mit Seggen und/oder Schachtelhalm	kein LRT
ErlSegPhr	Erlenwälder mit Seggen und Schilf	
FiErlSegE	Fichtenwald mit Erlen, Seggen oder Schachtelhalm	
FiSegEqi	Fichtenwald mit Seggen und Schachtelhalm (eutrophe Versumpfung)	91D4*
FiSph	Sphagnum-Fichtenwald, teilweise mit Seggen ausgebildet	
FiZw0	Sphagnum-Fichtenwald, zwergstrauchreiche Ausprägungsform ohne Scheidenwollgras und ohne Trunkelbeere	kein Moor-LRT
FiZw1	Sphagnum-Fichtenwald, zwergstrauchreiche Ausprägungsform mit Scheidenwollgras und Trunkelbeere	91D4*

FiMol0	Molinia-Fichtenwald, <i>Molinia</i> -dominiert	kein Moor-LRT
FiMol1	Molinia-Fichtenwald, mit Scheidenwollgras	91D4*
FiW	Wollreitgras-Fichtenwald	9410

Die Ökotopprognosen gelten vorbehaltlich noch ausstehender Untersuchungen zur Torfschichtung und zu den Moorböden, da aus der flächendeckenden Analyse der lokalen Torfschichtung die hydrogenetischen Entwicklungspfade sowie hydraulisch-wasserhaushaltliche Eigenschaften abgeleitet werden können. Insofern sind die in dieser Veröffentlichung abgeleiteten Prognosen unsicher und verbesserungsfähig. Andererseits gibt es aber auch keine besseren Möglichkeiten aufgrund des vorliegenden lokalen Erkundungsstandes und des Standes der Wissenschaft.

5.3 Hydromorphologisches Verteilungsmodell

Die in Kapitel 5.2 dargestellten Analyse- und Berechnungsmethoden basieren auf langjährigen Mittelwerten der Wasserhaushaltsgrößen. Das ist insofern plausibel, da sich in erster Linie ein stabiler Ökotoptyp mit entsprechender torfbildenden bzw. torfzerstörender Vegetation erst innerhalb mehrerer Jahre etabliert und mehrjährig mittlere Verhältnisse charakterisiert. Dies ist die Einschränkung der Aussage aus den so abgeleiteten Ergebnissen, die bei höherem Wissensstand der örtlichen Geländeerkundung sowie der wissenschaftlichen Theorie und Parametrisierung verbessert werden muss.

Um die Aussagen einzuengen bzw. zu relativieren, wird im folgenden eine Methode zur Analyse der mehrjährigen Schwankungsbreite, die auch extreme Trocken- und Nassjahre umfasst, entwickelt. Dabei wird davon ausgegangen, dass sich die aus langjährigen Mittelwerten in der Theorie von Kapitel 5.2 getroffenen Aussagen durch Verteilungsfunktionen der Ausgangsgrößen (Klima) und berechneten (hydromorphologischen) Parameter und Prozessgrößen beschreiben lassen, welche die mehrjährige Schwankung der Klimagrößen widerspiegeln. Es soll der Frage nachgegangen werden, wie durch die hydromorphologischen Eigenschaften des Moores die zeitlichen Verteilungsparameter transformiert (abgewandelt) werden und was dies für die Moorentwicklung bedeutet. Dabei wird auf die Methoden der „Stochastischen Systemtheorie“ zurückgegriffen.

5.3.1 Grundansatz

Gleichung (17) wird für diesen Ansatz verändert zu:

$$T_i = \frac{A_{M,i} \cdot R_M + A_{EZG,i} \cdot R_{EZG}}{b_i \cdot I_i} \quad (19)$$

Weiterhin wird das Stromlinienkonzept auf das silikatische Einzugsgebiet ausgedehnt. Der Abfluss R_{EZG} als Restglied der Wasserbilanz auf der Fläche $A_{EZG,i}$ zwischen den Stromlinien im silikatischen Einzugsgebiet berechnet sich äquivalent zum Abfluss R_M auf der Moorfläche $A_{M,i}$ zwischen den Stromlinien oberhalb der durchströmten Breite b_i (Abbildung 17).

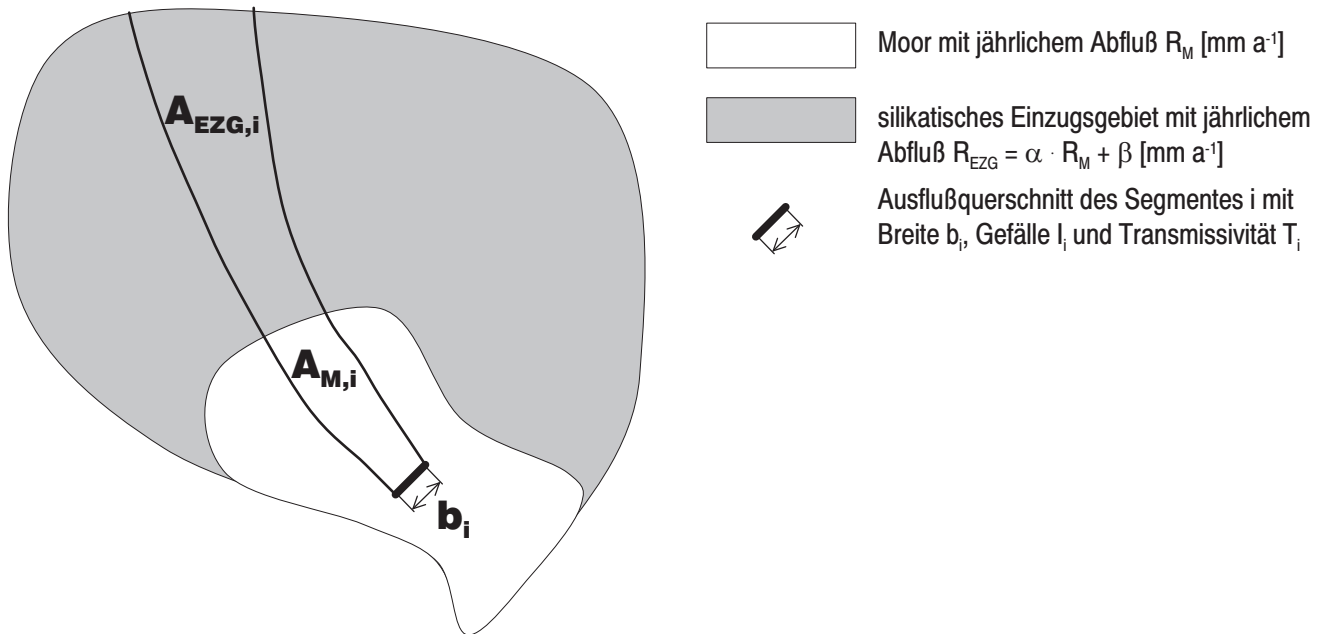


Abbildung 17: Stromröhre mit Anteilen von silikatischem Einzugsgebiet und Moor

Für stationäre Klimaverhältnisse wird angenommen, dass sich die vertikale jährliche Wasserbilanz des Einzugsgebietes R_{EZG} aus der des Moores R_M durch eine Linearbeziehung ableiten lässt:

$$R_{EZG} = \gamma \cdot R_M + r \quad (20)$$

γ und r sind dabei vom Klimaszenario abhängige, gebietsspezifische Größen. Aus (19) und (20) ergibt sich:

$$T_i = m_{1,i} \cdot R_M + m_{2,i} \quad (21)$$

mit den für das Klima und den Ort i konstanten Parametern:

$$m_{1,i} = \frac{\gamma \cdot A_{EZG,i} + A_{M,i}}{I_i \cdot b_i} \quad \text{und} \quad m_{2,i} = \frac{z \cdot A_{EZG,i}}{I_i \cdot b_i} \quad (22a \text{ und } 22b)$$

Unter der statistisch zu testenden Annahme, dass die jährliche Wasserbilanz R_M über die Zeit t normalverteilt ist (mit Mittelwert μ_M und Standardabweichung σ_M), ist auch T_i normalverteilt. Die Parameter μ_{T_i} und σ_{T_i} ergeben sich dabei als:

$$\mu_{T_i} = m_{1,i} \cdot \mu_M + m_{2,i} \quad \text{und} \quad \sigma_{T_i} = m_{1,i} \cdot \sigma_M \quad (23a \text{ und } 23b)$$

Wahrscheinlichkeitsdichte und die Verteilungsfunktion der Jahreswerte der durchströmten Transmissivität lassen sich darstellen als:

$$f(T_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot m_{1,i} \cdot \sigma_M} \cdot e^{-\frac{(m_{1,i} \cdot \mu_M + m_{2,i} - T_i)^2}{(m_{1,i} \cdot \sigma_M)^2}} \quad (24a)$$

$$F(T_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot m_{1,i} \cdot \sigma_M} \cdot \int_{-\infty}^{T_i} e^{-\frac{(m_{1,i} \cdot \mu_M + m_{2,i} - t)^2}{(m_{1,i} \cdot \sigma_M)^2}} dt \quad (24b)$$

Wenn man also die Verteilungsfunktionen der Wasserbilanzen kennt, lässt sich die Verteilung der Transmissivitäten ortsbezogen berechnen, und zwar ausschließlich anhand morphologischer Parameter des Einzugsgebietes und klimaspezifischer Wasserbilanzen des Moores und des Einzugsgebietes. Daraus lassen sich direkt Rückschlüsse auf die Zusammensetzung der Moorökotope und damit auf die Entwicklung des Moores unter veränderlichem oder verändertem Klima ziehen.

5.3.2 Erweiterung auf beliebig viele Ökotope

Bisher wurden die Segmente nur in "Moor" und "silikatisches Einzugsgebiet" unterteilt. Diese Einteilung erfolgt wegen der unterschiedlichen Wasserbilanzen. Diese Wasserbilanzen sind aber prinzipiell für jeden Ökotyp unterschiedlich und können mit der neuen Modellstruktur von AKWA-M[®] berechnet werden. Die Unterscheidung in die beiden Typen nach Gleichung (19) kann auf n unterschiedliche Ökotypen erweitert werden:

$$T_i = \frac{\sum A_{n,i} \cdot R_n}{b_i \cdot I_i} \quad (25)$$

Gleichung (20) stellt die Wasserbilanz des Einzugsgebietes in Abhängigkeit von der Wasserbilanz des Moores dar. Allgemein kann eine beliebige vertikale Bezugswasserbilanz R_B eines Bezugsökotops (z.B. *Sphagnum*-Zwergstrauch) definiert werden, auf welche die anderen ökotypischen vertikalen Wasserbilanzen R_n bezogen werden:

$$R_n = \gamma_n \cdot R_B + r_n \quad (26)$$

Damit ergibt sich äquivalent zu Gleichung (21):

$$T_i = m_{1,i} \cdot R_B + m_{2,i} \quad (27)$$

$$\text{mit } m_{1,i} = \frac{\sum \gamma_n \cdot A_{n,i}}{I_i \cdot b_i} \quad \text{und} \quad m_{2,i} = \frac{\sum r_n \cdot A_{n,i}}{I_i \cdot b_i} \quad (28a \text{ und } 28b)$$

Diese Verallgemeinerung erlaubt eine differenziertere örtliche Betrachtung sowohl der Moorökotope als auch der Ökotope im silikatischen Einzugsgebiet. Unter der Voraussetzung, dass das Klima und damit die Verteilungsfunktion der jährlichen Wasserbilanzen im jeweiligen Ökotyp konstant bleibt, können damit auch mehrjährig wirkende Rückkopplungseffekte zwischen vertikaler Wasserbilanz und vorherrschenden Ökotypen berücksichtigt werden.

5.3.3 Ableitung des Variationskoeffizienten der Transmissivität

Als Variationskoeffizient $cv(T)$ ergibt sich mit (27), (28a) und (28b):

$$cv(T) = \frac{\sigma_{T_i}}{\mu_{T_i}} = \frac{\sigma_{T_i}}{T_i} = \frac{m_{1,i} \cdot \sigma_B}{m_{1,i} \cdot R_B + m_{2,i}} = \frac{\sigma_B \cdot \sum_n (A_{n,i} \cdot \gamma_n)}{\sum_n ((A_{n,i} \cdot (\gamma_n \cdot \mu_B + r_n)))} \quad (29)$$

Je kleiner $\sum_n (r_n \cdot A_{n,i})$ ist, desto größer wird $cv(T)$. Analog führt ein größtmögliches $\sum_n (\gamma_n \cdot A_{n,i})$ zu einem minimalen

Variationskoeffizienten der Transmissivität. Das bedeutet, dass der Variationskoeffizient maximal ist, wenn das Einzugsgebiet des Punktes i dem Standorttyp mit dem kleinsten r_n entspricht und minimal mit dem Standorttyp mit größtem r_n . Besteht das Einzugsgebiet des Ortes i aus einem einzigen Standorttyp x, vereinfacht sich Gleichung (29) zu:

$$cv(T) = \frac{\gamma_x \cdot A_{x,i} \cdot \sigma_B}{\gamma_x \cdot A_{x,i} \cdot \mu_B + r_x \cdot A_{x,i}} = \frac{\gamma_x \cdot \sigma_B}{\gamma_x \cdot \mu_B + r_x} = cv(x) \quad (30)$$

Der Variationskoeffizient der Transmissivität $cv(T)$ bewegt sich also in den Grenzen der Variationskoeffizienten der jährlichen vertikalen Wasserbilanzen der vorhandenen Standorttypen. Ferner hängt die räumliche Variabilität von $cv(T)$ nicht von örtlichen Parametern wie dem Gefälle ab, sondern ausschließlich von der Ökotopausprägung und Größe des Einzugsgebietes. Folglich werden die Wasserhaushaltsschwankungen in unterliegenden Ökotope von den Schwankungen der oberliegenden Ökotope bestimmt. Anders ausgedrückt: Die stochastischen Impulse, durch Standardabweichungen bzw. Variationskoeffizienten gegeben, pflanzen sich hangabwärts durch die dort befindlichen Segmente und Ökotope fort. In jedem Segment bzw. Ökotope wird dieser aus den höher liegenden Gebiet fortgepflanzte stochastische Impuls durch einen lokalen, klimabedingten Impuls überlagert. Diese Impulsfortpflanzung kann ebenfalls in Karten der Verteilungsparameter dargestellt werden.

5.4 Hydromorphologisches Wachstumsmodell

Um zu beurteilen, wie sich hydromorphologische Eigenschaften und Wasserbilanzen auf das örtliche Wachstumsverhalten eines Moorstandortes auswirken, soll das als **CLYMO-Gesetz** formulierte Wachstumsmodell (EDOM et al. 2007c) analysiert werden. Es gilt für das Höhenwachstum der Akrotelm-Katotelmgrenze h_{ak} (näherungsweise die Moormächtigkeit, gerechnet von der Moorbasis) in der Zeit t in einer Stromröhre an der Stelle s :

$$\frac{dh_{ak}}{dt}(s) = p_{k-h} - \alpha_k \cdot h_{ak} \quad (31)$$

p_{k-h} ist die Torfneubildungsrate (als Höhenwachstum) im Akrotelm, die von Akrotelmparametern abhängt:

$$p_{k-h} = \frac{\frac{dy}{dl}(s) \cdot b_s}{A_s^2} \cdot \int_{z_m}^{z_u} \frac{\Delta c_a(z) \cdot k_f(z)}{ch(z) \cdot \rho(z)} dz \quad (31a)$$

α_k ist die Katotelmabbaurate, die neben der Hydromorphologie hauptsächlich von Katotelmparametern bestimmt wird:

$$\alpha_k = \frac{dy}{dl}(s) \cdot \frac{b_s}{A_s^2} \cdot \frac{1}{h_{ak}} \cdot \int_0^{h_{ak}} \frac{\Delta c_k(h) \cdot k_f(h)}{ch(h) \cdot \rho(h)} dh \quad (31b)$$

Dabei sind:

$\frac{dy}{dl}(s)$	Gefälle des Wasserspiegels und der Mooroberfläche an der Stelle s ;
b_s, A_s	Breite bzw. Fläche des durchströmten Segmentes;
z_m, z_u	langjährig mittlerer Wasserstand im Akrotelm bzw. Akrotelmuntergrenze unter der Mooroberfläche;
$\Delta c_a(z), \Delta c_k(h)$	Wasserchemieparameter in der Tiefe z (Akrotelm) bzw. der Höhe h über der Torfbasis (Katotelm), siehe IVANOV (1988), EDOM (2001), EDOM et al. (2007c);
$ch(z), ch(h)$	Torfchemieparameter im Akrotelm bzw. Katotelm in einer bestimmten Tiefe;
$k_f(z), k_f(h)$	gesättigte hydraulische Leitfähigkeit im Akrotelm bzw. Katotelm in einer bestimmten Tiefe;
$\rho(z), \rho(h)$	Dichte im Akrotelm bzw. Katotelm in einer bestimmten Tiefe.

Um die Abhängigkeit von Hydromorphologie und Wasserhaushalt klar zu machen, werden einige tiefenabhängige Parameter zusammengefasst. So die langjährig mittlere Akrotelm- sowie Katotelmtransmissivität T_a und T_k , welche in der Summe die langjährig mittlere Gesamttransmissivität $T_i = T_s$, berechnet nach den Gleichungen (17) bzw. (19), ergeben:

$$T_a = \int_{z_m}^{z_u} k_f(z) dz \quad T_k = \int_0^{h_{ak}} k_f(h) dh \quad (32a \text{ und } 32b)$$

$$T_i = T_s = T_a + T_k \quad (32c)$$

Die anderen tiefenabhängigen Parameter werden zur besseren Übersicht durch Gesamtparameter β , jeweils wieder für Akrotelm mit β_a bzw. Katotelm mit β_k zusammengefasst, indem definiert wird:

$$\beta_a = \frac{1}{T_a} \cdot \int_{z_m}^{z_u} \frac{\Delta c_a(z) \cdot k_f(z)}{ch(z) \cdot \rho(z)} dz \quad (33a)$$

$$\beta_k = \frac{1}{T_k} \cdot \int_0^{h_{ak}} \frac{\Delta c_k(h) \cdot k_f(h)}{ch(h) \cdot \rho(h)} dh \quad (33b)$$

Mit den Gleichungen (31a), (31b), (32a), (32b), (33a) und (33b) erhalten wir aus Gleichung (31) die vollständige Höhenwachstumsgleichung:

$$\begin{aligned} \frac{dh_{ak}}{dt}(s) &= \frac{dy}{dl}(s) \cdot \frac{b_s}{A_s^2} \cdot [\beta_a \cdot T_a - \beta_k \cdot T_k] \\ &= \frac{dy}{dl}(s) \cdot \frac{b_s}{A_s^2} \cdot [(\beta_a + \beta_k) \cdot T_a - \beta_k \cdot T_s] \\ &= \frac{dy}{dl}(s) \cdot \frac{b_s}{A_s^2} \cdot [\beta_a \cdot T_s - (\beta_a - \beta_k) \cdot T_k] \end{aligned} \quad (34)$$

Sie erlaubt grundlegende Schlüsse:

- Die Wachstumsgeschwindigkeit eines Moores ist in starkem Maße von der Wechselwirkung der Eigenschaften des Katotelms k und Akrotelms a abhängig.
- Je größer die Katotelm-Transmissivität im Verhältnis zur Gesamttransmissivität ist, desto geringer ist die Wachstumsgeschwindigkeit.
- Weil die Akrotelmtransmissivität in ombrotroph geprägten (hochmoorartigen) Moorstandorten mit einer schroffen Akrotelm-Katotelm-Zonierung im allgemeinen hoch ist, sind deren Wachstumsraten oft größer als Wachstumsraten von mehr minerotroph geprägten Zwischen- und Niedermoorstandorten.

Will man die Wirkung von langjährigen (Paläo-)Wasserbilanzen zum Zeitpunkt t auf die Wachstumsrate beurteilen, empfiehlt sich die Kombination der Gleichungen (17) bzw. (19) mit (34) unter Berücksichtigung von $T_s = T_i$:

$$\begin{aligned} \frac{dh_{ak}}{dt}(s) &= \frac{dy}{dl}(s) \cdot \frac{b_s}{A_s^2} \cdot [\beta_a \cdot T_s - (\beta_a - \beta_k) \cdot T_k] = \\ &= \frac{b_s}{A_s^2} \cdot \left[\beta_a \cdot \frac{\sum_{j=1}^i [A_j \cdot (P_{korr,j} - ET_j - Q_{GW,j})] + q_{EZG} \cdot b_{EZG}}{b_s} - \frac{dy}{dl}(s) \cdot (\beta_a - \beta_k) \cdot T_k \right] \end{aligned} \quad (35)$$

Höhenwachstum = (wasserbilanzbedingtes Wachstum) – (gefälle- und katotelmbedingte Schrumpfung).

Gleichung (35) ist der mathematische Ausdruck für eine triviale Folge eines Klimawandels:

- Moore in einem nasserem Klima reagieren mit höheren Wachstumsraten, ein trockenes Klima führt zu größeren Schrumpfungsraten.
- Mit steigendem Gefälle oder steigender Katoteltransmissivität nimmt die Wachstumsrate ab.

Aus diesem Grund haben Moore im Gebirge mit geringerem Gefälle größere Moormächtigkeiten. Bei zu starkem Gefälle oder zu großer Katoteltransmissivität kann der zweite negative Term den ersten positiven Term überwiegen, was in der Praxis bedeutet, dass das Nettowachstum Null ist oder gar eine Moorphöhenschumpfung auftritt. Dazu muss nach Gleichung (35) die Wasserbilanz nicht einmal negativ sein.

Bei Wasserbilanzänderungen in der Moorentwicklungsgeschichte können demnach je nach hydromorphologischer Situation (d. h. Einbettung ins Stromlinienetz) Wachstums- und Schrumpfungsphasen einander abwechseln, was sich in paläoökologischen Analysen (z. B. Pollenanalysen) in sogenannten Schichtlücken („Hiatus“) äußern kann (z. B. POKORNY & KUNEŠ 2005, ABRAHAM 2006). SCHLÖFFEL (2007) fand einen solchen Hiatus in der Lehmhaide, die in nur wenigen Kilometer Entfernung von der Mothhäuser Haide offensichtlich unter völlig anderen hydromorphologischen Bedingungen aufwuchs. Außerdem gibt es Moore, die aufgrund dieser klimatischen Wechselhaftigkeit nur wenige Dezimeter mächtig (EDOM et al. 2003) und dennoch einige tausend Jahre alt sind (ABRAHAM 2006).

Diese hier abgeleiteten Zusammenhänge werden hinsichtlich der im Mächtigkeitzentrum der Mothhäuser Haide (Alter Hempel) ermittelten Höhenwachstumsraten (THEUERKAUF et al. 2007a) diskutiert (Kapitel 9.2, 9.3).

6 Das Wasserhaushalts- und Simulationsmodell AKWA-M[®]

6.1 Überblick zu AKWA-M[®]

Für die Simulation des Wasserhaushaltes im Einzugsgebiet der Mothhäuser Haide nutzen wir unser Modell AKWA-M[®]. Es wurde insbesondere für das sächsische Mittelgebirge und Hügelland entwickelt und getestet (GOLF 1981, GOLF & LUCKNER 1991, MÜNCH 1994, GOLF et al. 1993, MÜLLER & MÜNCH 2002). In den vergangenen Jahren erfuhr es bei Dr. Dittrich & Partner Hydro-Consult GmbH zahlreiche Neuerungen. So konnte das Modell auch mit Daten forstlicher Versuchsflächen getestet und für die Simulation von Hochwasserwellen eingerichtet werden (MÜNCH et al. 2005, MÜNCH 2007).

AKWA-M[®] simuliert den Wasserhaushalt und die Hochwasserabflüsse von Einzugsgebieten und transformiert damit die differenzierten Prozesse vom Standort in die Fläche. Es enthält sowohl physikalisch begründete als auch konzeptionelle Ansätze. Die Verwendung einfacherer Ansätze wird durch den Übergang von kleinen zu großen Flächeneinheiten sinnvoll (Wechsel von der lokalen zur regionalen Skala; KLEEBERG et al. 1999, BRONSTERT 2005 u.a.). Flächendaten und -parameter (z. B. für die Böden) für physikalisch begründete Modelle sind meist nicht mehr in der erforderlichen Auflösung vorhanden. Im weiteren gibt es konzeptionelle Ansätze, die sich zur Beschreibung der Abflussbildungs- und -konzentrationsprozesse für Einzugsgebiete bewährt haben (DYCK & PESCHKE 1995, SCHWARZE & DRÖGE 1998).

Die Eigenschaften eines Einzugsgebietes werden in AKWA-M[®] über Teilflächen (Hydrotope) beschrieben, die entsprechend ihres Abflussverhaltens zu Teilgebieten (Teileinzugsgebiete) zusammengefasst werden. Die Teilflächen als kleinste Einheit enthalten die jeweiligen Standorteigenschaften, für die die Verdunstungs- und Abflussbildungsprozesse simuliert werden. Teilflächen werden im Präprozessing so bestimmt, dass in ihnen Flächen mit hydrologisch ähnlichem Verhalten zusammengefasst werden (Hydrotope als Teilkomponente der Ökotope). Teilgebiete repräsentieren geomorphologische Einheiten (z. B. Hänge, kleine Einzugsgebiete), die vor allem die Abflusskonzentration und den Abflussverlauf in Gewässern und Gräben beschreiben. Bilanzgebiete integrieren die Ergebnisse der Teilgebiete bis zu den jeweils interessierenden Bilanzpunkten (z. B. Gewässerpegel, Gesamteinzugsgebiet). Die Mothhäuser Haide wurde in acht Teilgebiete mit insgesamt

2.510 Teilflächen gegliedert (Tabelle 9, Abbildung 18). Die Teilflächen wurden auf Basis des digitalen Höhenmodells DGM als Raster mit einer Gitterweite von 25 m x 25 m erstellt.

Tabelle 9: Simulierte Teilgebiete der Mothhäuser Haide

ID	Name	Entwässerungsrichtung	Fläche [ha]	Teilflächen
1	Zuflussfläche SW	Moor West (7)	4,688	75
2	Zuflussfläche SO	Moor Ost (3)	2,688	43
3	Moor Ost		64,938	1039
4	Nebenfläche N	nicht in den Moorkörper	27,000	432
5	Zuflussfläche N	Moor Ost (3)	2,125	34
6	Zuflussfläche NW	Moor West (7)	5,625	90
7	Moor West		27,250	436
8	Nebenfläche W	nicht in den Moorkörper	22,563	361
gesamt			156,877	2510

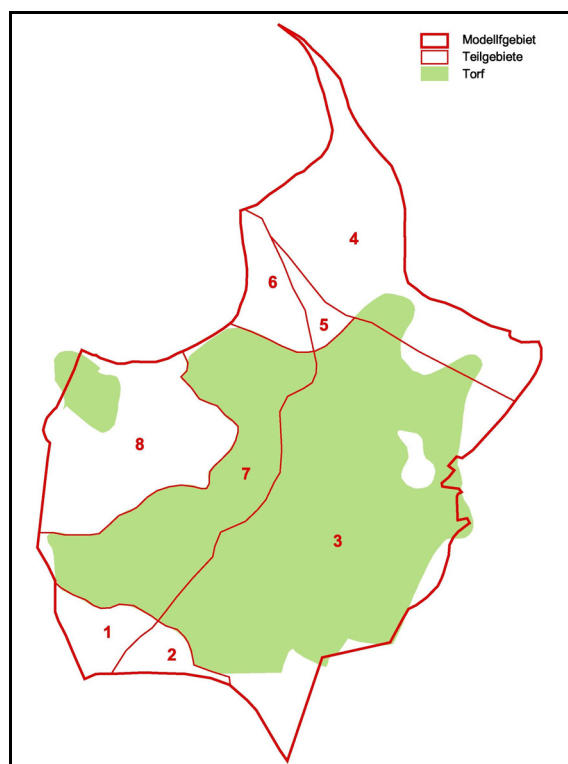


Abbildung 18: Teilgebietsgliederung der Mothhäuser Haide und deren Einzugsgebiet

In AKWA-M[®] werden laterale Fließvorgänge über die Teilgebiete realisiert, eine Kopplung der einzelnen Teilflächen zur Beschreibung des horizontalen Zu- und Abflusses je Teilfläche erfolgt jedoch nicht. Um dennoch die horizontalen Wechselwirkungen in der erforderlichen Auflösung einzubeziehen und daraus Vegetationsprognosen ableiten zu können, wurden entsprechende GIS-Tools verwendet und mit dem simulierten mittleren Wasserhaushalt einer jeden Teilfläche verknüpft.

6.2 Landnutzung bzw. Ökotope

In AKWA-M[®] sind zahlreiche Landnutzungen mit ihren jeweils typischen Parametersätzen integriert. Darunter sind auch Reinbestände sowie Kombinationen unterschiedlicher Baumarten als Mischbestände, die als „Waldtypen“ bezeichnet werden. Die Waldtypen decken ein großes Spektrum gegenwärtiger und zukünftiger Waldgesellschaften im Osterzgebirge ab und wurden in Zusammenarbeit mit dem Staatsbetrieb Sachsenforst abgeleitet (MÜNCH et al. 2005).

Eine konkrete Waldfläche wird in AKWA-M[®] durch Hauptbaumart, Nebenbaumart und Bodenvegetation sowie ihre jeweiligen Flächenanteile charakterisiert. Die Vegetationsparameter Albedo, Blattflächenindex, Bestandeshöhe, Wurzeltiefe und Vegetationsbedeckung werden für die Waldtypen jeweils für einen gesunden, geschlossenen Baumholzbestand (Standardzustand) gesetzt. Davon abweichende Bestandesstrukturen können über drei Bestandesparameter (Bestandesdichte, Wuchsklasse sowie Beeinflussung) berücksichtigt werden. Diese Modellparameter wichten und variieren die o. g. fünf Vegetationsparameter.

Um die in der Mothhäuser Haide vorherrschenden Landnutzungen bzw. Ökotope simulieren zu können, wurde der Baumartliste die Moor-Kiefer (*Pinus rotundata*) hinzugefügt und der Waldtyp „Hochmoor mit Moorkiefer-Fichten-Bestockung“ definiert. Dieser Waldtyp wird standardmäßig durch einen lichten Mischbestand aus 70 % Moor-Kiefer und 30 % Fichte mit 100 % *Sphagnum*-Zwergstrauch-Bodenvegetation charakterisiert.

In der konkreten Landnutzungszuordnung aller Teilflächen im Einzugsgebiet erfolgte für diesen Waldtyp und alle anderen Landnutzungen eine Differenzierung nach Baumart, Höhe, Kronenschluss, Bodenvegetation, Deckungsgrad entsprechend der Erhebungen und Klassifizierung nach WENDEL (2007). Diese Landnutzungsverteilung wurde für das Ist-Szenario als auch in identischer Weise für das Zukunfts-Klimaszenario verwendet (Tabelle 10).

Für die Simulationen des Paläo-Klimas wurde von einer flächendeckenden, plenterwaldartigen Birken-Kiefern-Population ausgegangen, die im Durchschnitt älter und dichter ist als der Ist-Zustand. Dominant sind die Birke auf den zur Vernässung neigenden Böden (zukünftige Moorflächen) sowie die Kiefer auf den übrigen mineralischen Böden (Tabelle 10).

Zur Abschätzung der Auswirkungen eines Waldumbaus wurde ein Waldumbau-Szenario erstellt, bei dem alle Nichtmoorflächen mit einem Buchen-Fichten-Mischwald (65/35, d.h. 65 % Buche und 35 % Fichte) ersetzt wurden. Es wurden die gleichen Parameter für Bestandesstruktur und Baumalter wie im Ist-Zustand verwendet, sodass ein direkter Vergleich der Ergebnisse möglich ist.

Tabelle 10: Vegetationsverteilung im Einzugsgebiet der Mothhäuser Haide (Flächenanteile in %)

Teilgebiet	1	2	3	4	5	6	7	8	gesamt
Landnutzung	Zufluss- fläche SW	Zufluss- fläche SO	Moor Ost	Neben- fläche N	Zufluss- fläche N	Zufluss- fläche NW	Moor West	Neben- fläche W	
Ist-Zustand									
Fichte	97,3	100,0	47,1	81,2	100,0	91,1	30,1	95,0	61,6
Lärche	2,7	-	-	13,7	-	-	-	-	2,4
Murray-Kiefer	-	-	2,6	-	-	-	-	-	1,1
Hochmoor mit Moorkiefer-Fichten-Bestockung	-	-	50,3	5,1	-	6,7	69,9	2,2	34,4
Buchen-Fichten-Mischwald	-	-	-	-	-	2,2	-	2,5	0,4
Moorwald Birke-Fichte	-	-	-	-	-	-	-	0,3	0,1

Paläo-Wald

Birken-Kiefern-Mischwald (70/30)	24,0	2,3	94,4	29,2	38,2	15,2	100,0	60,7	72,0
Kiefern-Birken-Mischwald (80/20)	76,0	97,7	5,6	70,8	61,8	84,8	-	39,3	28,0

Waldumbau-Szenario

Hochmoor mit Moorkiefer-Fichten-Bestockung	-	-	50,3	5,1	-	6,7	69,9	2,2	34,4
Buchen-Fichten-Mischwald	100,0	100,0	49,7	94,9	100,0	93,3	30,1	97,8	65,6

6.3 Böden

Der Boden wird in AKWA-M[®] über horizontweise Bodenspeicher beschrieben, die durch die Bindungskräfte des Wassers an die Bodenmatrix (Porosität, Feldkapazität) sowie die gesättigte hydraulische Leitfähigkeit (k_f -Wert) charakterisiert werden. Die Wasserbewegung geschieht vornehmlich vertikal. Bei Überschreitung der Infiltrationskapazität, an stauenden Schichten und an der Bodenbasis im Übergang zum Festgestein können laterale Abflusskomponenten wie Oberflächen-, Sättigungsflächen- oder hypodermischer Abfluss entstehen.

Die Leitbodentypen (Tabelle 11) wurden der Konzeptbodenkarte BkKonz entnommen. Auf den zum Moor zusammengefassten Teilgebieten dominiert das Hochmoor, während in den restlichen Teilgebieten mineralische Böden zu finden sind, die unterschiedlich stark vom Wasser beeinflusst werden (Podsolierung, Vergleyung, beginnende Moorbildung).

Tabelle 11: Verteilung der Bodentypen im Einzugsgebiet der Mothhäuser Haide (Flächenanteil in %)

Teilgebiet	1	2	3	4	5	6	7	8	gesamt
Leitbodentyp (Code nach BkKonz)	Zufluss- fläche SW	Zufluss- fläche SO	Moor Ost	Neben- fläche N	Zufluss- fläche N	Zufluss- fläche NW	Moor West	Neben- fläche W	
Ist-Zustand									
Anmoorstagnogley SSm (1309f)	-	-	3,0	20,6	-	-	-	-	4,7
Braunerde-Podsol BB-PP (1310f)	-	-	-	59,5	61,8	84,4	-	-	14,1
Norm-Braunerde BBn (1312f)	-	-	2,5	3,5	-	-	-	0,8	1,8
Braunerde-Podsol BB-PP (1313f)	76,0	97,7	3,1	7,9	-	-	-	38,5	12,1
Norm-Hochmoor HHn (1872f)	-	2,3	79,6	6,9	-	-	96,8	0,6	51,1
Hochmoor HH (1880f)	-	-	10,2	-	-	-	-	11,6	5,9
Moorstagnogley Sgo (1905f)	24,0	-	1,6	1,6	38,2	15,6	3,2	48,5	10,3
Paläo-Wald									
Braunerde-Podsol BB-PP (1310f)	-	-	-	59,5	61,8	84,4	-	-	14,1
Norm-Braunerde BBn (1312f)	-	-	2,5	3,5	-	-	-	0,8	1,8
Braunerde-Podsol BB-PP (1313f)	76,0	97,7	3,1	7,9	-	-	-	38,5	12,1
Norm-Stagnogley SGn (1481f)	24,0	2,3	94,4	29,1	38,2	15,6	100,0	60,7	72,0

Zur Simulation des Paläo-Zustandes wurden alle Hochmoor- und Moorstagnogleyböden durch einen Norm-Stagnogley ersetzt und so die organischen Bodenanteile auf das Maß eines mineralischen Bodens reduziert, die Merkmale eines zur Vernässung neigenden Bodens aber beibehalten. Als Geländeoberfläche wurde die Moorbasis in Ansatz gebracht, wodurch sich geringfügige Änderungen in der Höhe und Ausrichtung der Teilflächen ergaben.

Die aus den BKkonz-Daten ableitbare Nachbildung der Moorflächen ist für die Zielstellung dieser Studie zu grob und zu ungenau. Der Moorkörper würde nur über zwei bis drei Horizonte verfügen, deren Bodenparameter wie Porosität oder k_f -Wert jeweils innerhalb des Horizontes konstant ist. Für die Moorentwicklung sind außerdem Grundwasserflurabstände und deren Schwankungsverhalten entscheidend. Aus diesem Grunde wurde ein ergänzendes Moormodul entwickelt (siehe Kapitel 6.4.2).

6.4 Aufgabenspezifische Modellerweiterungen für AKWA-M[®]

Um die Wirkungen bzw. Sensitivität der nachfolgend beschriebenen Modellerweiterungen aufzuzeigen, wurde zunächst ein horizontaler Modellstandort simuliert und jeweils nur das betreffende Merkmal variiert. Der Standort hat mit 760 m NN die mittlere Höhe der Mothhäuser Haide und wurde mit den Klimadaten der Gegenwart (1981 bis 1990) verknüpft. Die Ergebnisse enthält Anlage 6.

6.4.1 Nebelniederschlag

Erste Erläuterungen zum Nebelniederschlag erfolgten schon in Kap. 5.1.4. In das Modell AKWA-M[®] wurde er folgendermaßen implementiert:

Anhand der Tagesniederschlagssumme und der relativen Luftfeuchte wird bestimmt, ob für den betreffenden Tag eine Nebelneigung zu erwarten ist. Werden dabei Grenzwerte überschritten, berechnet sich der tägliche Nebeleintrag in Abhängigkeit von der Geländehöhe der Teilfläche und der Landnutzung. Je höher und struktureicher dabei deren Oberfläche ist, desto größer ist der Eintrag; zu Details wird auf MÜNCH (2007) verwiesen.

Die Ergebnisse für unterschiedliche Vegetations- bzw. Moortypen enthält Anlage 6-1 (Grafik links oben). Zu dem gemessenen Jahresniederschlag von 1.034 mm kommen unterschiedlich große Nebeleinträge hinzu. Der Fichtenaltbestand erreicht erwartungsgemäß mit 115 mm den größten Jahreswert. Für die eher kleinwüchsige Moor-Kiefer werden bei einem dichten Bestand 43 mm berechnet, auf einer offenen *Sphagnum*-Zwergstrauch-Fläche 4 mm. Im Vergleich dazu beträgt der mittlere Nebeleintrag auf einer Grünlandfläche 14 mm.

6.4.2 Moormodul

Der Grundwasserflurabstand mit seinem saisonalen Schwankungsverhalten ist für den Moorwasserhaushalt und die Entwicklung der Moor- bzw. Baumvegetation eine entscheidende Größe. Er richtet sich nicht nur nach den geohydraulischen Randbedingungen (Rüllen, Abflussmulden, Drängräben), sondern wird zudem auch von der Torfstruktur, der Ausschöpfung durch die Vegetation (Verdunstung), dem Konvergenz-Divergenz-Verhalten seiner Stromröhren und dem möglichen Zufluss bzw. Zustrom aus oberhalb liegenden Flächen bestimmt.

Auf Grundlage vielfältiger Literatur wurde ein Moormodul entwickelt, indem wichtige moorhydrologische Prozesse miteinander verknüpft sind:

- Zur Berechnung der Moorverdunstung wird die Formel nach ROMANOV (1961) verwendet und auf die Geländeoberkante bezogen. Diese Formel errechnet sich aus einer spezifischen Verdunstung, die proportional zum Grundwasserflurabstand ist (s. Kap. 5.1.2). Die spezifische Verdunstung ist zudem von der Moorstruktur und der Jahreszeit abhängig. In der Literatur werden Hoch- und Niedermoor unterschieden und Zuschläge für Bult-Schlenken-Komplexe gemacht (KALJUŽNYJ 1974).
- Interzeption und Transpiration von Bäumen werden über den Standardansatz für Waldvegetation (hier PENMAN-MONTEITH) berechnet. Dabei bewirkt eine Reduktionsfunktion eine Einschränkung der Transpiration bei geringen Grundwasserflurabständen (s. Kap. 5.1.3).
- Die Gesamtverdunstung ergibt sich je nach Flächendeckung des Waldes gewichtet aus Wald- und Moorverdunstung.
- Die Versickerung aus dem Moor in den Untergrund wird als minimal angesetzt (10^{-9} m/s).

- Der Abfluss aus dem Moor wird als hypodermischer Abfluss definiert, der mit sinkendem Grundwasserflurabstand abnimmt und spätestens mit dem Übergang vom Akrotelm zum Katotelm Null wird.
- Zur Berechnung von Direktabfluss und Grundwasserflurabstand werden über die Bodentiefe variable Parameter (entwässerbare Porosität, k_f -Wert) verwendet. Diese werden über Tiefenfunktionen beschrieben, die im Akrotelm einen moorvegetationsspezifischen Verlauf besitzen, der sich mit der Tiefe den Katotelmwerten des entsprechenden Torfes nähert (IVANOV 1975, EDMOND 2001, s. Kapitel 5.1).

Anlage 6-1 zeigt die simulierten mittleren Jahreswerte von Verdunstung und Abfluss eines Modellstandortes mit den Moortypen Seggen, Sphagnum-Zwergstrauch, Sphagnum-Zwergstrauch-Wollgras, Sphagnum-Seggen-Wollgras-Zwergstrauch sowie unterschiedliche Deckungsgrade des Sphagnum-Zwergstrauch-Typs mit Moor-Kiefer im Vergleich zu einem Fichtenaltbestand, z. B. im Einzugsgebiet der Moore, bzw. Grünland auf mineralischem Boden:

- Die mittlere Jahresverdunstung liegt für die unbewaldeten Moortypen einheitlich zwischen 450 und 460 mm. Mit wachsender Bewaldung steigt auch die Verdunstung, wobei sich der Anteil der Interzeption deutlich zu Ungunsten der Transpiration/Moorverdunstung verschiebt. Der maximale Wert wird für einen ca. 75 % geschlossenen Moorkiefernbestand erreicht. Dichtere bzw. geschlossene Bestände schirmen offensichtlich die Mooroberfläche so ab, dass die Moorverdunstung reduziert wird.
- Aufgrund der definierten dichten Moorbasis gibt es nur eine geringe Versickerung in den Untergrund, die sich auf 37 mm beläuft. Der Abfluss findet vorwiegend oberflächennah statt und ist bei den unbewaldeten Moortypen mit 518 bis 543 mm am größten. Mit zunehmender Bewaldung nimmt der Abfluss ab.
- In der Anlage 6-1 (Grafik rechts unten) ist das mittlere Schwankungsverhalten des Grundwasserflurabstandes angegeben. Für die unbewaldeten Moortypen liegt der mittlere Flurabstand zwischen 8 und 12 cm. Sowohl die Schwankungsbreite als auch die Tiefststände des Grundwassers nehmen mit zunehmender Bewaldung deutlich zu.

Den Einfluss des Oberflächengefälles auf den Wasserhaushalt eines nach Süden gerichteten Moor-Modellstandortes mit Kiefern-Sphagnum-Zwergstrauch-Vegetation zeigt Anlage 6-2:

- Bei gleichem Niederschlag wächst mit zunehmender Hangneigung und Einstrahlung die Verdunstung leicht. Der Abfluss sinkt entsprechend leicht.
- Die geringste Verdunstung und der größte Abfluss ergibt sich für eine mit $2,5^\circ$ schwach geneigte Moorfläche.
- Eine horizontale Moorfläche besitzt wegen des behinderten lateralen Abflusses den kleinsten mittleren Grundwasserflurabstand. Er sinkt nur ganz leicht mit wachsendem Gefälle.

Mit diesen wenigen Modellstandort-Beispielen wird deutlich, dass eine wechselseitige Rückkopplung besteht zwischen dem Wasserhaushalt von Moorflächen und den Entwicklungsstadien der Moorflächen selbst. Jede Änderung der Oberflächenform und -eigenschaften beim Aufwachsen des Moores ändert Verdunstung, Interzeption, Nebelniederschlag und Abfluss der jeweiligen Flächen und führt innerhalb der Stromlinien zu flächenhaft neuen Vegetations-Wasserhaushalts-Gleichgewichten. Diese langfristige Dynamik drückt sich retrospektiv betrachtet in den Torfprofilen aus und wird quantitativ mit den hydromorphologischen Gleichungen beschrieben.

6.5 Modellierung des Waldes

In AKWA-M[®] sind eine Anzahl von Landnutzungen mit ihren Parametersätzen integriert, darunter auch Baumarten (Reinbestand) sowie ihre Kombinationen (Mischbestände). Die als „Waldtypen“ bezeichneten Kombinationen decken das Spektrum gegenwärtiger und zukünftiger Waldgesellschaften im Osterzgebirge ab und wurden in Zusammenarbeit mit dem damaligen Landesforstpräsidium Sachsen abgeleitet. Ihre Parameter wurden anhand typischer Ausprägungen der Waldgesellschaften geschätzt, aus der Literatur entnommen und z.T. auch anhand gemessener Daten bzw. mit Ergebnissen des Standortmodells COUPMODEL (JANSSON & KARLBERG 2001) geeicht.

Tabelle 12: Parameter und Komponenten zur Simulation des Wasserhaushaltes auf Waldflächen

Parameter/Komponente	Verhalten	Wirkung
Albedo*	Jahresgang	Energieeintrag (Verdunstung)
Blattflächenindex*	Jahresgang	Interzeption, Transpiration
Spezifischer Interzeptionsspeicher*	konstant	Interzeption
Stammflächenspeicher*	konstant	Interzeption
Max. Stomataleitfähigkeit*	konstant	Transpiration
Bestandshöhe*	konstant	Transpiration
Wurzeltiefe*	konstant	Transpiration, Tiefe der Bodenwasserausschöpfung
Kronenschluss/Bestandsdichte*	konstant	Interzeption, Transpiration sowie Deckung der Bodenvegetation und deren Verdunstung bzw. Streuverdunstung
Wuchsklasse*	konstant	
Beeinflussung*	konstant	
Bodenvegetation*	Jahresgang	Interzeption, Transpiration, Bodenverdunstung
Deckung der Bodenvegetation*	konstant	
Mächtigkeit der Streuschicht*	konstant	Streuverdunstung, Bodenverdunstung
Humusanteil in der Bodenschicht	konstant	Bodeneigenschaften (Speicherung, Infiltration, Versickerung)
Makroporen	konstant	Bodeneigenschaften (Speicherung, Infiltration, Versickerung)

* Diese Parameter sind im Modell für die Waldtypen vereinbart. Simuliert wurde jeweils für die Wuchsklasse „Altbestand“ und die Beeinflussung „ohne“ (Waldschäden o.ä.).

6.6 Szenarienüberblick

Tabelle 13 enthält die drei Landnutzungsszenarien in ihrer Kombination mit den drei Klimaszenarien. Die Ableitung des Zukunfts- und des Paläoklimas ist in Kapitel 4.4 und 4.5 beschrieben. Das Paläoklima beinhaltet die vier Ausprägungen „kalt“, „warm“, „trocken“ und „nass“.

Tabelle 13: Simulationsszenarien für den Wasserhaushalt der Mothhäuser Haide

	Landnutzung	Topografie	Klimaszenario		
			Jetzt 1981-2000	Zukunft 2041-2060	Paläo 1981-2000
IST	bestandesdifferenzierte Gehölzverteilung nach WENDEL (2007)	heutige Geländeoberfläche	•	•	
PAL	Birken-Kiefern-Altbestand auf zukünftigen Moorflächen (70/30) Kiefern-Birken-Altbestand auf mineralischen Böden (80/20)	Moorbasis als Geländeoberfläche vor der Moorentstehung	•		•
pnV	Umbau der Bestände auf mineralischen Böden zu Buchen-Fichten-Beständen	wie IST	•	•	

6.7 Datenaufbereitung für die Berechnung des Wasserhaushaltes und der Hydromorphologie

6.7.1 Diskretisierung

Sowohl die Datenaufbereitung für die Wasserhaushaltsberechnung mit AKWA-M[®] als auch die hydromorphologische Berechnung wurde mit dem Geographischen Informationssystem (GIS) ArcView 3.2a und der Erweiterung Spatial Analyst durchgeführt.

Grundlage für die Wasserhaushaltsberechnung sind die Parameter Bodenart, Landnutzung bzw. Vegetation und die Reliefparameter Höhe, Neigung und Ausrichtung. Aus ihnen werden Teilflächen oder Hydrotöpfe gebildet, die jeweils für sich ähnliche hydrologische Eigenschaften aufweisen. Dazu können im GIS entweder die einzelnen Ebenen (Shape-Dateien) miteinander verschnitten und Hydrotöpfe gebildet werden oder aber in Rasterdaten umgewandelt werden. Jede Rasterfläche ist dann durch einen bestimmten Boden mit einer bestimmten Vegetation und bestimmten Reliefparametern gekennzeichnet.

Der Wasserhaushalt wird für drei Zeiträume berechnet:

- Gegenwart (Vegetationskartierung, aktuelles Relief, aktuelles Klima)
- Beginn des Moorwachstums (Vegetationsverteilung anhand der Torfstratigrafie, Pollenanalyse, Relief der Moorbasis, holozänes und historisches Klima)
- Prognose Klimawandel (Vegetationskartierung, aktuelles Relief, Klimaprognose)

Änderungen der Parameter, wie z. B. der Landnutzung und der Vegetation zu unterschiedlichen Zeitpunkten, führen beim Verschnitt der Eingangsfächendaten zu vollkommen neuen Teilflächen. Bei der rasterbasierten Auswertung ändern sich hingegen lediglich die Datensätze für jede Rasterzelle. Die Modellstruktur (Zuordnung der Teilflächen zu Teilgebieten etc.) bleibt damit erhalten, was für die Wasserhaushaltsmodellierung zu unterschiedlichen Entwicklungszeitpunkten des Moores und damit unterschiedlichen Ökotopezonierungen und Reliefausbildungen gegenüber der Hydrotöpausgrenzung ein entscheidender Vorteil ist.

Die Shape-Dateien mit der räumlichen Verteilung der einzelnen Parameter wurden in Raster von 25 x 25 m umgewandelt und über eine Schnittstelle an AKWA-M[®] übergeben. Die Modellergebnisse können über eine eindeutige ID wieder zurück auf die jeweilige Rasterzelle übertragen werden und dienen neben dem Digitalen Geländemodell (DGM) als Eingangsdaten für die hydromorphologische Analyse.

6.7.2 Vegetation

Die detaillierten Vegetationsaufnahmen sind WENDEL (2007) zu entnehmen. Die flächenhafte Verteilung der Parameter

- Kronenschlussgrad
- Baumartenanteil
- Bestandshöhe
- Dominanztypen der Bodenvegetation
- Deckungsgrad der Bodenvegetation
- Deckungsgrad der *Sphagnen*

wurden als kartografische Darstellungen in Form von Shape-Dateien übernommen und in Rasterdaten umgewandelt.

6.7.3 Boden

Die Verbreitung der Bodenarten und die Verbreitungsgrenzen des Moores wurden aus der Bodenkonzeptkarte (BKkonz) des Freistaates Sachsen übernommen. Weiterhin standen die bei EDOM (1991) und EDOM & WENDEL (1998) aus der alten Torferkundung von 1881 abgeleitete Torfmächtigkeitkarte sowie die Karte der Torfbasis zur Verfügung. Unschärfen in der Übereinstimmung zwischen der BKkonz und den historischen Kartierungen vor allem im nördlichen Randbereich ergeben sich aus den damals noch nicht georeferenzierten und handgezeichneten Karten, die Verzerrungen aufweisen können, und müssen hingenommen werden.

6.7.4 Relief

Relief der aktuellen Mooroberfläche

Für die Mothhäuser Haide liegt eine Reliefkarte der 1992 noch mit einfachen Mitteln (DALTHA-010A, Nivellier) durchgeführten Vermessung vor (SCHMIDT et al. 1993). Weiterhin stand das ATKIS® DGM25 der Qualitätsstufe 2 vom Oktober 2004 zur Verfügung. Die Höhen sind in beiden Quellen in m HN angegeben. Ein Vergleich der Höhendaten untereinander sowie mit den Angaben der TK25 an ausgewählten Punkten im silikatischen Einzugsgebiet ergab meist eine gute Übereinstimmung mit Abweichungen bis zu 0,5 m. Ausnahme hiervon bildet allerdings der Sattel zwischen Krötenbach und Wellner-Bach am Ostrand des Untersuchungsgebietes. Der höchste Punkt lässt sich hier aus der TK25 mit 758,4 m ablesen, das DGM25 liegt mit 757,5 m um 0,9 m unter, die Vermessung von 1992 mit 759 m um 0,6 m über dem Wert der TK25.

Für die Wasserhaushaltsberechnungen mit AKWA-M® hat das Mesorelief einen geringen Einfluss. Für die hydromorphologischen Berechnungen und die daraus abgeleitete Ökotopprognose ist es hingegen eine entscheidende Eingangsgröße. Eine realitätsnahe Berechnung der Wasserflüsse setzt die genaue Erfassung der kleinräumigen Strukturen voraus. Deutlich wird der Einfluss bei einem Vergleich von Ökotopprognosen anhand unterschiedlicher DGM in Anlage 7. Zum Vergleich wurde ebenfalls die mit der Stromlinienmethode und der Vermessung von 1992 in EDM & KEßLER (2006) erstellte Ökotopprognose dargestellt. Erwartungsgemäß entspricht die anhand der Vermessung 1992 (DGM1992) rasterbasiert prognostizierte Ökotopverteilung im wesentlichen den Ergebnissen der Stromlinienmethode. Leichte Veränderungen sind auf den Methodenwechsel zurückzuführen.

Demgegenüber weist das räumliche Verteilungsmuster der anhand des DGM25 prognostizierten Ökotope deutliche Unterschiede auf. So sind der Große Wendel und der Raubsumpf im Szenario DGM25 weniger deutlich ausgeprägt, hingegen werden am Alten Hempel und im nördlicheren Bereich der Mothhäuser Haide für Rinnenstrukturen Bült-Schlenken-Komplexe prognostiziert. Der im Szenario DGM1992 prognostizierte Torfmoos-Fichtenwald (LRT 91D4*), der sich östlich vom Großen Wendel in einem Bogen nach Süden erstreckt, verläuft im DGM25-Szenario in östlicher Richtung.

Bei der Beurteilung der Plausibilität der Ergebnisse ist die Datenqualität der DGM zu berücksichtigen. Im Freistaat Sachsen stellte zum Bearbeitungszeitpunkt die digital-photogrammetrische Auswertung von Luftbildern im Maßstab 1 : 16.000 die hauptsächliche Erfassungsmethodik für das DGM25 dar. In der photogrammetrischen Geländehöhenmessung verbleiben jedoch bei Bewaldung und sehr engflächiger Bebauung Lücken. Hier erfolgt die Erfassung der Daten durch Reliefdigitalisierung der TK10 bzw. in interaktiver Bearbeitung. Da das gesamte Einzugsgebiet der Mothhäuser Haide bewaldet ist, muss vermutet werden, dass zumindest in Teilbereichen das DGM25 mit Hilfe der Reliefdigitalisierung der TK10 ergänzt wurde. Die Rasterweite des DGM25 beträgt 20 m. Derzeit werden für Sachsen Laserscan-DGM erstellt. Diese besitzen nach heutigen Erkenntnissen (2010) auch für bewaldete Gebiete eine große Genauigkeit. Nach Angaben von Mitarbeitern des Landesvermessungsamtes Sachsen müssen die Laserscan-DGM aber auch punktuell durch terrestrische Vermessung überprüft werden. So können offene Wasserflächen aufgrund der Reflexion mit dem Laserscan-Verfahren nicht erfasst werden. Zum Zeitpunkt der Modellierung lagen diese räumlich hochaufgelösten Daten noch nicht vor und konnten bei den Vergleichsrechnungen nicht berücksichtigt werden.

Ogleich die 1992 durchgeführte terrestrische Vermessung noch nicht die hydromorphologische Analyse zum Ziel hatte, wird sie von uns als repräsentativer eingestuft als das DGM25. Allerdings wurden damals offenbar nicht alle relevanten Strukturen erfasst. So ist im Gelände in der Nähe der Wasserscheide ein kleiner Hügel östlich der Görkauer Straße vorhanden, der in der Reliefkarte nicht korrekt eingetragen ist und bei den hydromorphologischen Berechnungen nicht mit berücksichtigt wurde. Gerade in diesem Bereich erfolgt aber eine wesentliche Verteilung der Wasserflüsse, womit sich Ungenauigkeiten im DGM deutlich auf das Modellergebnis auswirken. So erstreckt sich nach der Vegetationskartierung von WENDEL (2007) entlang der Wasserscheide von der Görkauer Straße bis zum Großen Wendel eine Auflichtungszone. Diese und auch der Große Wendel liegen jedoch näher an der Görkauer Straße als prognostiziert. Die Ursache hierfür könnte zum einen in einer zu ungenauen Vermessung liegen (Hügel auf Wasserscheide etc.). Zum anderen wurde die Prognose unter der Bedingung erstellt, dass alle künstlichen Gräben verlandet sind. Gerade in den Randbereichen der Mothhäuser Haide besitzen jedoch die Gräben auch heute noch eine deutliche entwässernde, in anderen Bereichen wieder bewässernde Funktion. In zentraleren Teilen des Moores ist die Grabenverlandung schon weitgehend abgeschlossen. So befinden sich im Umfeld der kartierten

Auflichtungszone einige sehr große, weitgehend verlandete Grabenkreuzungen, die in der gegenwärtigen Phase der Moorregeneration dort besonders zur Auflichtung führen.

Aufgrund der Sensitivität der hydromorphologischen Berechnungen bezüglich der Geländestrukturen ist die Qualität der verwendeten Vermessungsdaten bzw. des verwendeten DGM von enormer Bedeutung für die Qualität der Berechnungsergebnisse.

Relief der Moorbasis

Für die Rekonstruktion des Reliefs zu Beginn der Moorbildung wurde angenommen, dass sich das Relief außerhalb der Torfauflagen nicht verändert hat. Somit werden für das silikatische Einzugsgebiet die DGM25-Daten verwendet.

Die Moorbasis unter den Torfauflagen war für den im Jahr 1881 durch Sondierungen erkundeten Teil der Mothhäuser Haide in Relation zu einem Punkt A bekannt. Für den Punkt A gibt es keine absolute Höhenangabe. Deswegen wurde zunächst die Höhenlage von Punkt A aus dem DGM25 abgegriffen und anhand dieser Höhe ein DGM der Moorbasis erstellt. Zur Plausibilitätsprüfung wurde die Moormächtigkeit als Differenz zwischen DGM25 und Moorbasis berechnet und mit der Moormächtigkeitkarte von 1881 verglichen. Es zeigte sich, dass die berechnete Moormächtigkeit mit ca. 6 m im Moorkern deutlich geringer ausfällt als die 1881 kartierten 8,4 m und auch die von den Autoren und THEUERKAUF et al. (2007) erbohrten 8,15 m. Weiterhin liegt die berechnete Moorbasis im nordöstlichen Untersuchungsgebiet 1 - 2 m, im Extremfall bis zu 3 m über der heutigen Geländeoberfläche.

In einem zweiten Ansatz wurde die Moormächtigkeit von der heutigen Geländeoberfläche abgezogen. Die so ermittelte Moorbasis ist in ihren Grundstrukturen (Verlauf von Rinnen etc.) der 1881 kartierten ähnlich, liegt jedoch ca. 2 m unterhalb der zuvor konstruierten Moorbasis und weist einen scharfen Übergang zum mineralischen Einzugsgebiet auf.

Da sich die Mooroberfläche aufgrund von Entwässerung seit 1881 zum einen gesenkt, aufgrund von Vernässung und Regeneration aber auch wieder gehoben haben kann, diese Prozesse kleinräumig nebeneinander stattfinden sowie der Betrag der Oberflächenänderung örtlich sehr variiert, stellt die nach dem ersten Ansatz erstellte Moorbasis ein in sich geschlosseneres und plausibles Bild dar. Verschiebt man nun die 1881 kartierte Moorbasis um 1 m weiter nach unten (Bezugspunkt A), kann ein relativ harmonischer Übergang zum mineralischen Einzugsgebiet hergestellt werden. Das so erstellte DGM wurde für die Berechnungen zu Beginn der Moorbildung vor ca. 8.000 Jahren verwendet.

7 Ergebnisse der WHH-Berechnungen

7.1 Simulationsergebnisse Mothhäuser Haide

Die Tageswerte aller Wasserhaushaltskomponenten und die mittlere Wasserhaushaltsbilanz liegen für alle Teilflächen als Rasterwerte vor. Aus der mittleren Bilanz wird die GIS-basierte Vegetationsentwicklung abgeleitet. Exemplarisch sind die wesentlichen Bilanzergebnisse für zwei Teilgebiete zusammengefasst (s. Abbildung 18 und Tabelle 9 bzw. Tabelle 10):

■ Anlage 6-3 für die Moorfläche Ost (Teilgebiet 3)

■ Anlage 6-4 für die Zuflussfläche N (Teilgebiet 4).

Aufgrund der heterogenen Vegetationsstruktur werden die in den Modellstandorten gefundenen Unterschiede (Kapitel 6.4) nicht mehr so scharf abgebildet.

In den oberen drei Grafiken dieser beiden Anlagen sind Niederschlag, Verdunstung und Abfluss für neun Szenarienkombinationen nach Tabelle 13 abgebildet, während die unteren drei Grafiken den mittleren Jahresgang des Wasserhaushaltes der Landnutzungsszenarien für das Jetzt-Klima enthalten.

7.1.1 Landnutzungsszenarien für das Jetzt-Klima

Auf der Moorfläche sind die Unterschiede zwischen IST und pnV sehr gering, da der Anteil der Flächen, auf denen ein Waldumbau von Fichtenwald in pnV-Wald stattfinden könnte, klein ist. Deutlicher werden die Unterschiede für die mineralischen Mooreinzugsgebietsstandorte (Teilgebiet 5, hoher Anteil an Waldumbau). Es ist sowohl ein Rückgang des Niederschlages in der Nichtvegetationszeit (verminderter Nebelneintrag) als auch eine Erhöhung der Verdunstung in der Vegetationszeit zu verzeichnen. In der Folge sinkt der mittlere Abfluss um 17 mm (pnV). Die Abflussreduktion konzentriert sich dabei auf die Sommermonate und beträgt ca. 6 bis 10 % des Monatsabflusses von IST.

Im Paläo-Wald (PAL) wird sowohl in der Moorfläche Ost, wo das zukünftige Moor entsteht, als auch in der Zuflussfläche N weniger Nebelniederschlag eingetragen und es verdunstet im Sommer weniger als im Ist-Zustand. Der Abfluss nimmt um 34 bzw. 25 mm (Teilgebiet 3 bzw. 5) ab. Durch den mineralischen Untergrund ist das Abflussverhalten von Teilgebiet 3 verändert. Es zeigt sich, dass das Moor den Abfluss vergleichmäßigt und die Abflussspitze vom März in den April verlagert.

7.1.2 Vergleich Klimaszenarien Jetzt-Paläo

Die größten Unterschiede werden für das Paläoklima „trocken“ und „nass“ erhalten. Bereits beim Niederschlag betragen die Differenzen zum Jetzt-Klima -192 mm bzw. +156 mm. Da die Werte der Jahresverdunstung nicht allzusehr voneinander abweichen, finden sich diese Differenzen deutlich im Abfluss wieder: für „trocken“ reduziert er sich um -197 mm, für „nass“ steigt er um +149 mm.

7.1.3 Vergleich Klimaszenarien Jetzt-Zukunft

Das Zukunftsklima (trockener, wärmer) liefert bereits einen über 100 mm geringeren Niederschlag. Es wird die größte Verdunstungsmenge aller Szenarien errechnet (+43 bzw. +52 mm für die Moorfläche Ost bzw. die Zuflussfläche N), der Abfluss nimmt entsprechend um 149 bzw. 164 mm ab. Die Änderung fällt auf der Moorfläche etwas günstiger aus.

Abbildung 19 zeigt, dass die Verdunstung in den unterschiedlichen Klimaszenarien dennoch relativ konstant bleibt. Die Verdunstung ist in dieser Gebietslage und -höhe durch Strahlung und Lufttemperatur limitiert (MÜNCH & DITTRICH 2001).

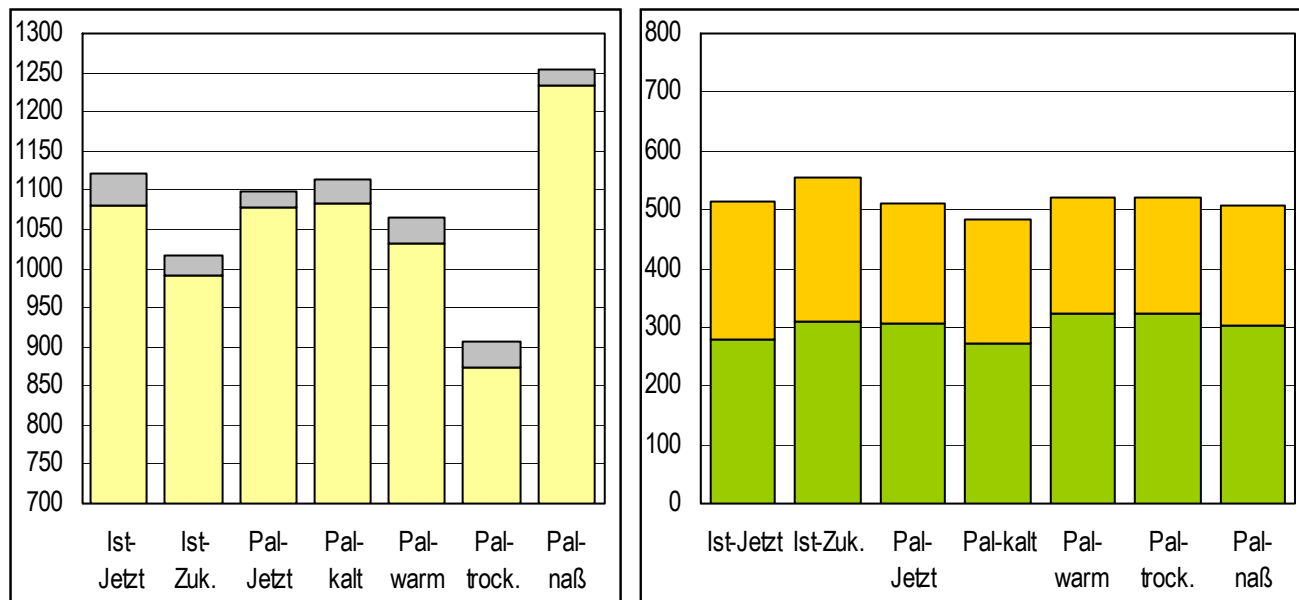


Abbildung 19: Niederschlag (links) und Verdunstung (rechts) [mm/a] in den Paläo- und Zukunftsszenarien im Moor West (Teilgebiet 7), Simulation mit AKWA-M[®]; grau = Anteil Nebelniederschlag, grün = Transpiration, orange = Interzeption

7.2 Schlussfolgerungen aus der Wasserhaushaltssimulation

Für die Mothhäuser Haide und ihr Einzugsgebiet lassen sich die Ergebnisse der Wasserhaushaltssimulation wie folgt zusammenfassen:

- Das Moor verändert durch seine hohe Speicherkapazität das Abflussverhalten, sodass Abflussspitzen verzögert und gedämpft werden.
- Im Paläo-Zustand (kein Moor, mineralischer Untergrund, ähnliche Vegetation) hat die potenzielle Moorfläche eine vergleichbare Wasserbilanz wie die übrigen Flächen des Einzugsgebietes. Entscheidend für die Moorentstehung sind deshalb – neben dem Klima – lokale Faktoren (Mikrorelief, Mulden, stauende Böden u.ä.).
- Das Zukunftsklima (weniger Niederschlag, wärmer) bewirkt im gesamten Einzugsgebiet eine höhere Verdunstung und verringerte Abflüsse. Auf der Moorfläche reduziert sich der Abfluss um 25 %, im übrigen Einzugsgebiet beträgt die Abflussreduktion 25 bis 32 %.
- Ein Waldumbau auf den mineralischen Standorten zu naturnahen Buchen-Fichten-Mischwäldern führt zu einem etwas höheren Wasserverbrauch im Sommer und damit zu geringeren Abflüssen in Richtung Moor (im Mittel 3 %, maximal 10 %). Bei einem Waldumbau sollte daher der Anteil von Tiefwurzlern nicht zu dominant sein und neben der Buche andere Baumarten beigemischt sein. Außerdem ist denkbar, die Bestände aufzulockern.

8 Konsequenzen des Wasserhaushaltes – hydromorphologische Szenarien

8.1 Szenarienvergleich Gegenwart, Öffnung Görkauer Straße, Klimawandel

Die Görkauer Straße durchschneidet die Mothhäuser Haide und wirkt dort als Wasserbarriere. Ein Teil des Abflusses, welcher im westlichen Hangeinzugsgebiet sowie im oberhalb der Straße gelegenen Moorteil gebildet wird, kommt in den zentralen Teilen des Moores nicht an, was dort zu einem begrenzten Entwicklungspotenzial führt. Durch EDOM & KEßLER (2006) wurden die Konsequenzen eines möglichen Rückbaus, d. h. einer Öffnung der Görkauer Straße, untersucht.

Im folgenden erfolgt ein Vergleich der Szenarien

- „Gegenwart mit geschlossener Görkauer Straße“ (Szenario 1),
- „Gegenwart mit geöffneter Görkauer Straße“ (Szenario 2) und
- „Prognostizierter Klimawandel mit geöffneter Görkauer Straße“ (Szenario 3).

Verglichen werden die berechneten hydromorphologischen Parameter Profildurchfluss, potenzielle Transmissivität, trophisch wirksamer Hangwasseranteil sowie die daraus abgeleiteten Ökotopzonierungen und FFH-Lebensraumflächen. Szenario 1 wird entnommen aus EDOM & KEßLER (2006), dort erfolgte auch der Vergleich von Szenario 1 und 2. Szenario 2 und 3 wurden für diese Studie neu berechnet entsprechend der vorgegebenen Zeitreihen sowie der speziell für diese Studie erarbeiteten und differenzierteren Methodik (moorspezifische Berechnung auf Tagesbasis mit AKWA-M[®], Rasteranalyse im GIS).

Szenario 1 beruht auf der Berechnung mit langjährig mittleren Monatsdaten des Klimas von 1951 bis 1980 und auf einer Stromlinienberechnung, die räumlich geringer aufgelöst ist (EDOM & KEßLER 2006). Insofern ist Szenario 1 mit den Szenarien 2 und 3 methodisch nur bedingt vergleichbar, ein Abgleich durch Neuberechnung von Szenario 1 war aber vom Auftraggeber nicht gewünscht. Da der Vergleich der Szenarien 1 und 2 auf der Basis der einfachen Methodik bereits in EDOM & KEßLER (2006) erfolgt ist, liegt in dieser Studie der Schwerpunkt auf dem Vergleich der Szenarien 2 und 3.

Besser vergleichbar, zumindest in prinzipiellen Größenordnungen, sind die Differenzkarten der Szenarien, welche mit einer einheitlichen Methodik erstellt wurden. Dies sind die Differenzkarten zwischen Szenario 1 und 2 (Vernässung durch Öffnung der Straße) aus EDOM & KEßLER (2006) sowie zwischen Szenario 2 und 3 (Austrocknung durch Klimaänderung bei geöffneter Straße) aus den Modellberechnungen dieser Studie. Dabei betrifft die Differenz D 2-1 (aufgrund des Wirkungsbereiches der Straße) ausschließlich die westlichen Bereiche des Untersuchungsgebietes, während die Differenz D 2-3 aufgrund der überall wirkenden Klimaänderungen das gesamte Untersuchungsgebiet betrifft.

8.1.1 Profildurchflüsse (Anlagen 9 und 10)

Bei Szenario 1 sieht man, dass die meisten Teile des Moorkörpers Profildurchflüsse zwischen 2 und 5 l/(s·km) aufweisen (dunkelgelbe Farbe). Diese Werte scheinen für Erzgebirgsmoore unter ähnlichen Niederschlagsverhältnissen typisch zu sein (DITTRICH et al. 2004a, 2007), während sie im Raum Carlsfeld und Johanngeorgenstadt schon in den hellgrünen Bereich (5 bis 10 l/(s·km)) tendieren (EDOM et al 2005, 2006). Die räumliche Dominanz dieser Profildurchflüsse besteht in der Mothhäuser Haide bei allen Szenarien, sie nimmt bei Öffnung der Görkauer Straße zu und bei Klimaänderungen wieder ab.

Die Differenzierung in spezifische Profildurchflüsse unterschiedlicher Größenordnungen ergibt sich erfahrungsgemäß zum einen durch natürliche Entwässerungsstrukturen der Moore (Laggs, Rüllen) und zum anderen durch anthropogene Einflüsse, wie Konzentration oder Abschirmung der Abflüsse durch Zerschneiden des Moores (Gräben, Wege, Straßen) sowie anthropogene Reliefänderungen (Torfstiche, Moorschrumpfungen und -sackungen). So ist entlang der Görkauer Straße in Szenario 1 die abschirmende Wirkung der Straße erkennbar. Im weiteren wirkt sich in allen Szenarien die Reliefveränderung aufgrund des ehemaligen Torfstiches sowie der Lasteintrag der Görkauer Straße aus (EDOM & KEßLER 2006). Besonders markante Folgen dieser anthropogenen Reliefänderung sind die Ausbildung des Raubsumpfes (sekundäre Vernässung), des Patricia-Schatzes (Austrocknung) sowie der Entzug ehemals stärker ausgeprägter Wasserströme aus dem Alten Hempel (dem ehemaligen Moorkern; vgl. mit Anlage 1). Die Struktur des Raubsumpfes mit den erhöhten Profildurchflüssen ist deswegen bemerkenswert, weil sie unterhalb nicht in ein Fließgewässersystem übergeht. **Der tiefer liegende Torfstich hat mit seiner entwässernden Wirkung über mehrere Jahrhunderte im Bereich des Raubsumpfes zu einer Moorschrumpfung geführt, sodass sich die Gefällrichtung in südliche Richtung verschoben hat.** Viel Wasser, das beim ursprünglichen Moorrelief gleichverteilt in die zentralen Bereiche des Alten Hempel und der Golubcover Weite geflossen ist, wird jetzt in Richtung Raubsumpf umgeleitet (s. Kapitel 3.4).

Bereiche erhöhter Profildurchflüsse > 5 l/(s·km) (grün markiert) mehr natürlichen Ursprunges befinden sich außerdem in den Zuflussbereichen der das Moor entwässernden Bäche. Am Kartenrand werden dann z.T. dunkelgrüne Bereiche erreicht ($q > 50$ l/(s·km)), welche schon als Überrieselungsrüllen bzw. beginnende Fließgewässer zu deuten sind. Das betrifft den Mothhäuser Bach, Krötenbach, Edombach und Wellnerbach. Bei Öffnung der Straße nehmen die Flächen hoher Durchflüsse zu, bei klimatisch bedingter Austrocknung nehmen sie ab.

Große Flächen geringer Profildurchflüsse befinden sich auch am Sloboda. Dieses ergibt sich aufgrund einer geringen Aufwölbung und der Tatsache, dass dieses Gebiet, bedingt durch den Krötenbach und seiner Zubringergräben, kaum an das nördliche Einzugsgebiet angeschlossen ist.

Die Differenzkarten der Profildurchflüsse (Anlage 10) zeigen, dass von der Öffnung der Görkauer Straße nur ein Teilbereich des Moores (westlicher Bereich) profitiert, während von einer möglichen klimabedingten Austrocknung alle Moorbereiche betroffen sind. Die größte „Klima-Betroffenheit“ ergibt sich an Orten mit ohnehin großen Profildurchflüssen, d.h. bei stark konvergierendem Relief und/oder großem Teileinzugsgebiet der Fläche. Hingegen sind aufgewölbte Bereiche oder Flächen im stark divergierenden Netz weniger „betroffen“, dies betrifft den Patricia-Schatz, die nördlichen Teile des Großen Wendels sowie die zentralen Bereiche am Sloboda. Vergleicht man die Differenzkarten 2-1 und 2-3, so zeigt sich Folgendes:

Es gibt Teilflächen, die profitieren stärker von der Öffnung der Görkauer Straße als sie unter der Klimaänderung leiden werden. Dies betrifft vor allem Teile des Großen Wendels sowie den Raubsumpf.

Die Mehrheit der Moorflächen des Untersuchungsgebietes haben aber durch die angenommene Klimaänderung weniger Wasser zur Verfügung als sie durch die Öffnung der Straße gewinnen. Dies betrifft vor allem die Golubcover Weite, den Alten Hempel, Schmidts Zapfen, alle Bachzuflüsse sowie den ganzen Nordteil des Moores außerhalb des Teilmoorkernes am

Sloboda. Dennoch wird sich, wenn momentan die Regeneration noch nicht abgeschlossen ist, aufgrund von Grabenverlandungen auch in diesen Bereichen die Situation noch verbessern.

Die klimabedingte Verringerung der Profildurchflüsse in den Zuflussbereichen vom Wellnerbach, Edombach und Mothhäuser Bach kann dort zu einer Initiierung oder Beschleunigung der Grabenverlandung führen, da nicht mehr „zuviel“ Wasser in den entsprechenden Gräben fließt. Somit wird es parallel Austrocknungs- und Vernässungsprozesse geben.

8.1.2 Transmissivitäten (Anlagen 11 und 12)

Während die mittleren Profildurchflüsse gleichverteilt in der Moorfläche sind (s. vorn), differenzieren sich die langjährig mittleren durchflossenen Transmissivitäten entsprechend der örtlichen Gefälle deutlich stärker. Bei geringerem Gefälle fließt das Wasser langsamer ab, deswegen bilden sich dort bei gleichen Wassermengen durchlässigere Ökotope aus.

Dominant in allen Szenarien sind rötliche Farben, d. h. im allgemeinen geringe Transmissivitäten, welche Moorwäldern und Gehölzstadien (mit Fichte, Spirke, Latsche, Birke) bei geringem bis hohem Kronenschlussgrad entsprechen. Bei Transmissivitäten kleiner $0,5 \text{ cm}^2/\text{s}$ (dunkelrot) handelt es sich gemäß den verfügbaren Literaturdaten um degradierende Standorte, in denen keine Torfbildung mehr stattfinden kann. Wichtig ist, dass der Alte Hempel, der ehemalige offene Moorkern, in allen Szenarien im Bereich der Transmissivitäten liegt, welche gehölzbestandene Moore kennzeichnen. Wie auch die paläoökologischen Untersuchungen zeigen (s. Kapitel 3.4), hat dort die anthropogen ausgelöste Reliefentwicklung mehr Effekt als ehemalige oder prognostizierte Klimaänderungen.

Im weiteren gibt es linienhafte bzw. inselartige Strukturen mit hohen Transmissivitäten (gelbe und grüne Farben), die weitgehend offenen gehölzfreien (mit Ausnahme der Zwergsträucher und kniehohen Kussel-Baumformen, auch *Betula nana* möglich) Moorstandorten entsprechen. Dabei handelt es sich entweder um Standorte hoher Stromröhrendivergenz bei gleichzeitig geringem Geländegefälle (z. B. am Großen Wendel) oder um Standorte extremer Konvergenz bei gleichzeitig großem Einzugsgebiet. Dies sind z. B. der im Süden gelegene Raubsumpf, das Seamanns-Lagg sowie die Zuflussstrukturen zum Wellnerbach, Edombach, Mothhäuser Bach und Krötenbach. Am Großen Wendel, im Raubsumpf sowie im Zuflussbereich des Wellnerbaches (Wellnerrülle) sind bisher am deutlichsten die Regenerationsprozesse in Form von sich auflichtenden Gehölzbeständen erkennbar. Weniger sieht man dies in den anderen Zuflussstrukturen, weil dort das Grabensystem noch sehr aktiv ist (EDOM 1991, EDOM & WENDEL 1998, SCHINDLER et al. 2008). Allerdings ist für das mehr trockene Szenario 3 zu erwarten, dass - aufgrund der sinkenden Wassermengen - die Verlandungsprozesse in den Gräben auch dort beginnen, wo gegenwärtig die Wasserflüsse für eine autogene Grabenverlandung zu hoch sind. Aufgrund der höheren Auflösung bei der rasterbasierten hydromorphologischen Berechnung (im Gegensatz zu EDOM & KEßLER 2006, aber in Übereinstimmung zu EDOM & GOLUBCOV 1996a,b) zeigen sich bei Szenario 2 außerdem noch kleinere gehölzfreie Strukturen am Seamannslagg sowie am Sloboda.

Die Differenzkarten der potenziellen Transmissivitäten (Anlage 12) zeigen, dass von der Öffnung der Görkauer Straße (D 2-1) hauptsächlich der Große Wendel und der Raubsumpf profitiert. Von einer möglichen klimabedingten Austrocknung (D 3-2) sind hingegen fast alle Teile des Moores mit Ausnahme der ohnehin trockenen Standorte betroffen. Die größte „Klima-Betroffenheit“ ergibt sich an Orten mit großen Transmissivitäten, d.h. bei stark konvergierendem Relief, äußerst geringem Gefälle und/oder großem Teileinzugsgebiet der Fläche. Hingegen sind aufgewölbte Bereiche oder Flächen im stark divergierenden Netz weniger „betroffen“, dies betrifft z.B. den Patricia-Schatz, die Bereiche am František-Graben und Wunderlichen Uhl sowie die westlichen und östlichen Bereiche am Sloboda. Vergleicht man die Differenzkarten 2-1 und 2-3, so zeigt sich Folgendes:

- Der Raubsumpf ist die einzige Teilfläche, die stärker von der Öffnung der Görkauer Straße profitiert als sie von der prognostizierten Klimaänderung betroffen sein wird. Deswegen ist es wichtig, dieses **Potenzial durch die Öffnung der Görkauer Straße auszuschöpfen** (EDOM & KEßLER 2006).
- Eine moderate Klima-„Betroffenheit“ (D 2-3) mittlerer Differenzen tritt in den größten Teilen des Moores auf und kann dort auch kaum durch eine Öffnung der Straße (D 2-1) kompensiert werden: am Verborgenen Ihl, bei Schmidts Zapfen, in der Golubcover Weite, am Alten Hempel und im zentralen Sloboda. Diese Gebiete sind in der Mehrheit von Moorkiefern-Moorgehölzen (Latschen) und Spirken-Moorwäldern dominiert. In diesen Teilgebieten ist es besonders wichtig, **den Ablauf der autogenen Regenerationsprozesse** bis zu ihrer Vollendung zu **garantieren**, da dadurch noch eine gewisse Kompensation möglich ist. Der Erhalt des Alten Hempels als offenen Moorkern erscheint unter den angenommenen Klimaänderungen als unwahrscheinlich.

- Die Klimabetroffenheit (D 2-3) des Großen Wendels liegt in derselben Größenordnung wie die mögliche Verbesserung durch Öffnung der Straße (D 1-2). **Damit ist die Öffnung der Görkauer Straße als Kompensation dieser möglichen Verschlechterung notwendig.**
- Neben Großem Wendel und Raubsumpf sind die Strömungsrinnen zum Wellnerbach, Edombach, Mothhäuser Bach und Krötenbach am stärksten klimabetroffen (D 2-3). Die abnehmenden Transmissivitäten geraten aber in einen Bereich, in dem Grabenverlandung besser möglich ist, weil der Wasserfluss nicht mehr so groß ist. Eine Entwicklung zu offenen Flachrullen dürfte dadurch beschleunigt werden.

Fazit: Auch bei prognostizierten Klimaänderungen wird es sowohl Teilgebiete mit Vernässung (aufgrund weiterer oder gar beschleunigter Moorregeneration) als auch Teilgebiete mit Austrocknung geben. Um noch genügend Gebiete mit Regenerations- und Vernässungsprozessen aufrechtzuerhalten sowie klimabedingte Austrocknungen zumindest teilweise zu kompensieren, sollte die Öffnung der Görkauer Straße vorangetrieben werden.

8.1.3 Zeitliche Verteilungsparameter des Profildurchflusses und der durchströmten Transmissivität

Für das Szenario 2 (Klima 1981 - 2000 bei geöffneter Görkauer Straße) wurde die Standardabweichung der Jahreswerte von durchströmter Transmissivität und Profildurchfluss (transformierter Verteilungsparameter nach der Theorie von Kapitel 5.3) berechnet und in Anlage 13 dargestellt. Ergänzend wurde der für beide Größen identische Variationskoeffizient eingetragen.

Die Standardabweichung der durchströmten Transmissivität zeigt offenbar ein ähnliches oder gleiches Verteilungsmuster wie der langjährige Mittelwert der durchströmten Transmissivität bei Szenario 2 in Anlage 11. Dies bedeutet bei gegebenem Relief, dass nässere Ökotope eine stärkere Schwankungsbreite der Transmissivität aufweisen, was sich auch bereits in den Parametergrenzen der Ökotope ausdrückt (IVANOV 1975, IVANOV & NOVIKOV 1976, ZINKE & EDOM 2006). Zum einen sollten nässere Ökotope folglich stärkere Schwankungen aushalten oder ein höheres Selbstregulationsvermögen aufweisen (IVANOV 1975, JOOSTEN 1993, EDOM 2001). Zum anderen kann dies bedeuten, dass sich innerhalb der nassen Ökotope aufgrund der stärkeren Schwankungen stärkere räumliche Differenzierungsprozesse in hydraulischen Eigenschaften ausbilden, was sich ja auch in dem Muster der Bült-Schlenken-Komplexe als nässeste betrachtete Ökotope ausdrückt. Neben der Musterbildung ist die Ausbildung stark oszillierender Moorökotope („Mooratmung“) eine Möglichkeit des Ausgleichs von Schwankungen.

Auch das Raummuster der Standardabweichung des Profildurchflusses ergibt ein ähnliches Musterbild wie beim Profildurchfluss des Szenarios 2 (Anlage 9), d.h. wachsende Standardabweichungen mit wachsendem Profildurchfluss. Hohe Transmissivitäten können sowohl bei geringem als auch hohem Gefälle auftreten, d.h. gleiche Transmissivitäten existieren bei unterschiedlichen Profildurchflüssen. Daraus ergeben sich unterschiedliche Konsequenzen der hydraulischen Selbstregulation:

- Nasse Ökotope mit geringem Gefälle oder starker Reliefdivergenz haben geringe Profildurchflüsse und auch geringe Schwankungen des Profildurchflusses, also eine ziemlich gleichmäßige Wasserbilanz. Hier erfolgt stärker die Ausbildung homogener nasser Ökotope.
- Nasse Ökotope mit starkem Gefälle oder starker Reliefkonvergenz haben hohe Profildurchflüsse und hohe Schwankungen in Profildurchfluss und Wasserbilanz. Dieses führt entweder zur Ausbildung von Bült-Schlenken-Komplexen, Katotelm-Durchströmungsmooren (auch Flachrullen) oder bei extremen Schwankungen zur Bildung periodischer Überrieselungsmoore (z. B. Wollgrasrieder).

Diese Phänomene entsprechen der moorkundlichen Erfahrung, auch der Erfahrung hinsichtlich des Abflussverhaltens. Insofern sollte dieses Verteilungsmodell zukünftig noch weiter untersucht werden. Das sich herausbildende (potenzielle) hydraulische Muster (Bült-Schlenken-Komplex, Katotelmdurchströmung, Überrieselung) würde nämlich in der praktischen Konsequenz auch unterschiedliche Grabenverbautechnologien verlangen, d. h. es wäre zu klären, ob Grabenstau, Verfüllung oder autogene Grabenverlandung das entstehende potenzielle hydraulische Muster besser fördert.

Die Karte des Variationskoeffizienten zeigt eine hangabwärts gerichtete leichte Zunahme, wobei der Unterschied von 0,253 und 0,263 statistisch nicht signifikant ist (kurze Datenreihe von 20 Jahren). Es kann deswegen angenommen werden, dass der Variationskoeffizient unter dem gegebenen Relief relativ gleichverteilt ist. Dies bestätigt die Aussage aus der Analyse der Standardabweichung, dass stärker durchflossene Ökotope stärkere Wasserhaushaltsschwankungen aufweisen, wobei „stärker durchflossen“ nicht unbedingt „nasser“ bedeutet. Die Differenzierung in „nasser“ und „weniger nass“ erfolgt erst bei der Transmissivität. Teilt man die Standardabweichungen von Profildurchflüssen (d. h. Wasserhaushaltsschwankungen) durch die

Standardabweichungen der jährlich durchflossenen Transmissivität, so ergibt sich das Gefälle. Das heißt, Moorstandorte von geringem Gefälle weisen geringere Wasserhaushaltsschwankungen als Moorstandorte mit stärkerem Gefälle bei gleicher Transmissivität auf. Auch dies entspricht der Erfahrung zur Abflussbildung.

8.1.4 Hangwasseranteile (Anlagen 14 und 15)

In den Anlagen 14 und 15 sind die trophisch wirksamen Hangwasseranteile der Szenarien 1, 2 und 3 sowie die Differenzen dargestellt. Während die Öffnung der Görkauer Straße zu einer Erhöhung des Hangwasseranteils am Großen Wendel und im Raubsumpf führt (D 2-1), kommt es bei angenommenen Klimawandel (D 2-3) zu einer ganz geringfügigen Abnahme (unter 0,1) der Hangwasseranteile in den Randbereichen des Torfköpers, d.h. im Verborgenen Ihl, bei Schmidts Zapfen, im Seemannslagg sowie im Kolbemoor.

Der ombrotrophe Charakter des Hauptteils der Mothhäuser Haide bleibt bei allen Szenarien erhalten. Ob sich allerdings ein Hangwasseranteil von ein oder zwei Prozent (0,01 oder 0,02) schon in der Vegetation bemerkbar macht, muss ein Vegetationsökologe entscheiden. **Der wesentliche Effekt bei möglichen Klimaänderungen liegt in der Mothhäuser Haide demnach nicht in trophischen Veränderungen, sondern in Änderungen von Profildurchfluss und durchströmter Transmissivität.** Dies kann aber in Mooren mit höherem Einfluss minerogener Wasserspeisung anders sein.

8.1.5 Ökotopezonierungen und FFH-Lebensraumtypen (Anlagen 16 – 19)

Die Anlagen 16 und 18 zeigen die sich auf den Torfkörpern regenerierende Ökotopezonierung sowie die entsprechenden FFH-Lebensraumtypen (hLRT = hydromorphologisch potenzielle Lebensraumtypen) bei den drei Szenarien. Im wesentlichen spiegeln sich bei den Ökotopezonierungen die Änderungen in den Transmissivitäten wieder, weil sich die Hangwasseranteile weniger ändern. Bei den Differenzkarten (Anlagen 17 und 19) werden drei Szenariodifferenzen D unterschieden:

- D 2-1 beschreibt die durch eine Öffnung der Görkauer Straße entstehenden neuen, nasseren Ökotopeflächen bzw. LRT, welche an die Stelle der mehr trockenen Ökotope bzw. LRT treten,
- D 2-3 beschreibt die durch den angenommenen Klimawandel verlorenen nasseren Ökotope- bzw. LRT-Flächen, die durch trockenere Ökotope bzw. LRT ersetzt werden,
- D 3-2 beschreibt die durch den angenommenen Klimawandel neu entstehenden trockenere Ökotope- und LRT-Flächen, welche an die Stelle der nasseren Ökotope bzw. LRT treten.

Alle Szenarien beschreiben den Endzustand der Moorregeneration, die in Teilbereichen (z.B. Teile der Golubcover Weite) zwar abgeschlossen ist, aber an der Mehrheit der Standorte noch Jahre bis Jahrzehnte anhalten wird (SCHINDLER et al. 2008).

Durch die Öffnung der Görkauer Straße bei gegenwärtigem Klima wird die Fichtenbestockung (LRT 91D4*) unterhalb der Straße zurückgehen: Der Patricia-Schatz verkleinert sich, ein schmaler Offenbereich in Richtung des Großen Wendels kann entstehen (vgl. Anlage 16 und Tab. 8). Der Große Wendel und der Raubsumpf (LRT 7110*) dehnen sich räumlich aus, auch wasserreiche Bült-Schlenkenkomplexe (z.T. LRT 3160 und 7150, nach IVANOV (1975) mit einem Schlenken- oder Kolk-Anteil von über 40 % bzw. ombrotrophe Flachrüllen) können entstehen. Die Bohrdaten der Bohrung 12 bestätigen diese Prognose (EDOM 2000a, EDOM & KEßLER 2006): Unterhalb der Spuren der Moorentwässerung bestehen die oberen 2,5 m der Torfsäule aus sehr gering zersetzten Torfen des POST'schen Humifizierungsgrades 2 bis 3. Häufig kommen Lagen muddiger *Scheuchzeria-Sphagnum*-Torfe (d.h. in Schlenken gebildete Torfe, LRT 7150) vor. Auch sind in Bohrung 12 die Spuren der Entwässerung geringfügiger als an den Bohrungen des Bohrtrasse-sekts (s. Kap. 3.5.1).

Eine geringfügige Stabilisierung der Offenflächen am Alten Hempel ist durch die Straßenöffnung möglich. Die größten Effekte der Straßenöffnung ergeben sich am Großen Wendel, dem Bereich zwischen Großem Wendel und heutiger Straße sowie im Raubsumpf (D 2-1, s. auch EDOM & KEßLER 2006). In diesen Bereichen entspricht das etwa der Größenordnung von Ökotopeflächen, die durch den angenommenen Klimawandel verloren gehen (D 2-3). Deswegen ist die **Öffnung der Straße sinnvoll zur Kompensation** der möglichen Verluste für die genannten Flächen. Der Große Wendel ist zukünftig der großflächige offene Moorkern mit den besten Entwicklungschancen.

Der wasserreiche Bült-Schlenkenkomplex im Großen Wendel existiert bei Klimawandel wahrscheinlich nicht mehr (Szenario 2 und 3). Dennoch ist die Entstehung einzelner wasserreicher ombrotropher Moorflächen noch im Raubsumpf möglich (Szenario 3). Deswegen ist auch für diesen Bereich eine **Straßenöffnung als Ausgleichsmaßnahme** sinnvoll. Die Öffnung der Straße dient damit der mittelfristigen Stabilisierung des im Erzgebirge seltenen prioritären LRT 7110*.

Im Kolbemoor sind die Veränderungen aufgrund der starken Gefälle relativ kleinflächig. Trotzdem kommt es durch die Straßenöffnung zu einer Ausweitung des prioritären Lebensraumtypes 91D4*. Auch hier stellt die Straßenöffnung eine Kompensation möglicher klimabedingter Ökotopverluste dar.

Für die meisten Moorflächen der Mothhäuser Haide sind allerdings die Ökotopflächenverluste größer als der Zugewinn durch den Wegfall der Straße (Vergleich D 2-3 zu D 2-1). In den gehölzbestandenen Moorteilen nehmen bei angenommener Klimaänderung die Gehölzbedeckungen oder Baumhöhen zu, Latschen werden teilweise durch Spirken ersetzt, Spirken teilweise durch Fichten. Die Fichtenbereiche am Patriciaschatz, am Wunderlichen Uhl, im Sloboda und am František-Graben dehnen sich aus. Ein kleiner offener Moorkern im Zentralen Sloboda (Wasserscheidenbereich) scheint trotzdem erhalten zu bleiben.

Die größten Verluste durch den prognostizierten Klimawandel sind bei den Bergkiefern-Moorwäldern (LRT 91D3*) zu erwarten (D 2-3), die dann von Fichten-Moorwäldern (LRT 91D4*) abgelöst werden (D 3-2). Dies wird teilweise durch neu entstehende Bergkiefern-Moorwälder (91D3*) kompensiert (D 3-2), die aber aufgrund der Austrocknung von Hochmoor-Gesellschaften (LRT 7110*) entstehen (D 2-3). Die am meisten zu beklagenden möglichen Verluste betreffen aufgrund ihrer hohen Seltenheit und Gefährdung genau diese LRT 7110*-Flächen (D 2-3). Die wenigen neu entstehenden Hochmoorflächen 7110* (D 3-2) gehen aber auf Kosten noch feuchterer Flächen, die den Schlenken (7150) bzw. dystrophen Gewässern (3160), d.h. Moorkolken, zuzuordnen sind (D 2-3). Deswegen ist es wichtig, alle Maßnahmen zur möglichen Stabilisierung der 7110*- und 91D3*-Flächen zu ergreifen, was vor allem durch die Öffnung der Görkauer Straße zu erfolgen hat (D 2-1).

Da die autogenen Regenerationsprozesse (vor allem die Grabenverlandung) noch weiterhin anhalten, ist der prognostizierte Zustand auch bei den angenommenen Klimaänderungen feuchter als gegenwärtig. Ein großflächig offenes ombrotrophes Moor (7110*, 7150), wie es sich aus der Torfstratigrafie und der Großrestanalyse ableitet (Kapitel 3.4.2), ist aber in absehbarer Zeit nicht mehr zu erreichen, das trifft auch für das günstigste Szenario 2 zu. Die Eingriffe in das Relief durch Torfabbau, Bau der Straße und entwässerungsbedingten oxidativen Höhenverlust haben die größte Veränderung in der jüngeren Moorentwicklung herbeigeführt.

Trotz des prognostizierten Rückgangs an nasserem Ökotope bleibt bei dem angenommenen Klimawandel der Charakter als Moor erhalten. Denkt man in Größenordnungen von mehreren Jahrhunderten, so stellen sich in den potenziell gehölzfreien und ombrotrophen Moorkernen die höchsten Wachstumsraten ein, was zu einer Reliefänderung führt; in der Folge wird das Wasser wieder gleichmäßiger über die Moorflächen verteilt und damit die Ausbreitung offener Moorflächen wieder gefördert. Ein Bült-Schlenken-Komplex bleibt nach Daten von IVANOV (1975) selbst bei einem Rückgang der Wasserspeisung auf die Hälfte bis auf ein Drittel noch ein offenes ombrogenes Moor, d. h. beispielsweise ein *Sphagnum*-Zwergstrauch-Rasen oder ein Scheidenwollgras-Ried. Deswegen ist es die Aufgabe des Naturschutzes, die erforderlichen **Randbedingungen für diese freie Moorentwicklung sicherzustellen.**

Somit braucht die Regeneration eines Moores bis zur Ausbildung der Akrotelme mit großflächigen Torfbildungsraten, wie sie vor der anthropogenen Entwässerung und Reliefveränderung existiert haben, einen längeren Zeitraum. Dagegen ist die Regeneration kleinerer Flächen mit intensiver Torfbildung, wie sie durch die Ökotopprognose vorhergesagt werden, innerhalb weniger Jahrzehnte möglich. Die Regeneration kleiner Flächen ist aber die Voraussetzung der großflächigen Torfbildung.

8.1.6 Zusammenfassung der hydromorphologischen Szenarien

Die Ergebnisse des **Szenario 1** (aus EDOM & KEßLER 2006) zeigen ein plausibles Bild der Entwicklungsrichtung der Moorregeneration im Ist-Zustand, d. h. ohne Öffnung der Straße. An vielen Orten ist der prognostizierte Ökotop schon im Gelände vorhanden oder die Sukzession läuft in die angegebene Richtung. Bei den prognostizierten FFH-Lebensraumtypen sind die Übereinstimmungen aufgrund der gröberen Klassifikation entsprechend größer. Flächenunschärfen ergeben sich aus der begrenzten Genauigkeit der Vermessung des Jahres 1992. Die Bildung von lokalen Mulden an den Gräben sowie Erhöhungen zwischen den Gräben konnten damals nicht überall erfasst werden. Trotzdem bilden die berechneten hydrologischen Parameter sowie die abgeleiteten Ökotop- und LRT-Typen einen Mittelwert über nicht erfasste lokale Senken und Erhebungen ab. Genauere Vermessungen und flächendeckende Torfbohrungen können die Prognosesicherheit erhöhen. Die Prognosen verdeutlichen auch, dass die jahrhundertelange anthropogene Beeinflussung durch Torfstich, Straße und

Grabenentwässerung zu einer irreversiblen Änderung des Reliefs geführt haben, was zu einer abgewandelten Zonierung von Ökotope führen wird.

Die Ergebnisse des **Szenario 2** zeigen, dass durch vollständigen oder teilweisen Rückbau der Görkauer Straße Ökotopeentwicklungen zu mehr nasser und selteneren FFH-Lebensraumtypen (7110*, 7150, 3160) bewirkt werden können bzw. eine Reihe von Ökotope und Lebensräumen größere Stabilität erreichen können. Dabei ist das Ausmaß der Effekte räumlich unterschiedlich stark. Die flächig größten Effekte können am Wasserscheidenbereich (Großer Wendel) erzielt werden. Die insgesamt größten Veränderungen zum Ist-Zustand, d.h. Vernässungen, können im Raubsumpf erreicht werden. In den typischen Weiden des Moores (Golubcover Weide und Alter Hempel), wo jetzt schon Latschen- und Spirken-Bestände (91D3*) dominieren, kann durch Straßenöffnung eine Stabilisierung erreicht werden. Der ursprünglich offene Moorkern am Alten Hempel ist durch die irreversiblen Reliefveränderungen in seiner Deutlichkeit als Moorkern nicht wiederherstellbar. Das dort fehlende Wasser steht jetzt im Raubsumpf zur Verfügung.

Die Ergebnisse des **Szenario 3** zeigen, dass es unter den prognostizierten Klimaänderungen wieder zu einer Ausweitung trockener und einem Rückgang nasser Moorökotope kommen wird. Da allerdings die Prozesse der Moorregeneration noch andauern, enthält selbst der Zustand der Klimaänderungen flächig **noch mehr nasse Ökotope, als sie gegenwärtig** in der regenerierenden Mothhäuser Haide **vorzufinden** sind. Dementsprechend werden auch mit einem möglichen Klimawandel witterungsbedingte Austrocknungsprozesse und regenerationsbedingte Vernässungsprozesse parallel zu beobachten sein. Zum Ausgleich, zur Kompensation sowie zur Milderung der klimabedingten Verluste an aktuellen und potenziellen Ökotope ist es sinnvoll, das Moor wieder in seiner hydrologischen Durchgängigkeit zu entwickeln. Die wichtigste Maßnahme in dieser Hinsicht ist die hydraulische Öffnung der Görkauer Straße.

Weiterhin wurde durch die Szenarienvergleiche (Differenzkarten) deutlich, dass die einzelnen Teilgebiete der Mothhäuser Haide unterschiedlich sensitiv auf Klimaänderungen reagieren. Zum Umgang mit den einzelnen Reaktionen sind daher **individuelle Konzepte** für jede Teilfläche nötig, die aber in ein ganzheitliches Konzept der Moorentwicklung eingebettet sein müssen. Diese wurden aus den hydromorphologischen Analysen und Szenarien im Zusammenhang mit der hydrogenetisch-paläoökologischen Analyse abgeleitet. Gegebenenfalls sich ergebende Flächenunschärfen können durch vertiefende Arbeiten (z.B. detailliertere Vermessungen, flächendeckende Stratigrafien, Eichung an ungestörten Mooren, experimentelle Wasserhaushaltsuntersuchungen, mathematische Fehleranalysen) verkleinert oder ausgeräumt werden.

8.2 Beginn der Moorbildung - Paläoszenarien

Von den in Kapitel 4.5 abgeleiteten Szenarien des Paläoklimas wurden zuerst der Wasserhaushalt für das trockenste (mit der ungünstigsten Wasserbilanz) und das nasseste Szenario (mit der günstigsten Wasserbilanz) gerechnet. Das trockenste Szenario ist mit den Jahren 1982, 1985, 1989 und 1991 und das nasseste Szenario mit den Jahren 1981, 1988, 1995 und 1998 vergleichbar (Tabelle 6).

Als Grundrelief zur hydromorphologischen Modellierung wurde das Relief der Moorbasis aus Kapitel 6.7.4 verwendet. Dahinter verbirgt sich die Annahme, dass kein Teil des Moores älter ist als das datierte Profil. Ein Gegenbeweis zu dieser Annahme kann nur erbracht werden, wenn eine flächendeckende Datierung der Basistorfe erfolgen würde, wie sie z.B. bei SCHNEEBELI (1991) sowie BEUG et al. (1999) erfolgt ist. Die Untersuchungen von SCHNEEBELI (1991) machen allerdings unsere Annahme plausibel. Unter dieser Annahme ist auch der Hangwasseranteil zu Beginn der Moorbildung überall gleich 1. Somit werden im folgenden für beide Extremszenarien des Paläoklimas die Profildurchflüsse und die potenziellen Transmissivitäten der Basistorfe berechnet und miteinander verglichen und daraus im Anschluss die Ökotopezonierungen der Basismoorbildungen abgeleitet.

8.2.1 Profildurchflüsse (Anlage 20)

Bei beiden Szenarien, trocken und nass, ergibt sich eine stärkere Differenzierung in trockene (gelbe und weiße Farben) sowie nasse (grüne bis blaue Farben) Bereiche als in den Szenarien bei aktuellem Relief (Kapitel 8.1.1), in welcher mittlere Profildurchflüsse (gelbe Farben) dominieren. Eine ausgleichende Wirkung des Moorreliefs hat sich noch nicht herausgebildet. Besonders viel Wasser steht demnach in den Talbereichen zur Verfügung, wohingegen an den Wasserscheiden sehr wenig Wasserfluss herrscht.

Deutlich bilden sich im berechneten Geländeausschnitt in beiden Szenarien auch schon die entwässernden Bäche ab, die (bei den dunkelgrünen bis blauen Farben) auch damals schon existiert haben: Edombach, Wellnerbach, Mothhäuser Bach und Krötenbach. Das Tal des Edombaches war damals das wasserreichste. Im Zulaufbereich des Edombaches wären damit auch die Initialen der Moorbildung zu erwarten. Andererseits können auch dort die Profildurchflüsse zeitweilig bereits zu hoch sein, sodass die entstandene Moorbildung häufig wieder erodiert wird.

Das trockenste und nässeste Paläoszenario unterscheiden sich erwartungsgemäß in der Häufigkeit von Flächen mit hohen bzw. niedrigen Profildurchflüssen.

8.2.2 Transmissivitäten (Anlage 21)

In beiden Szenarien kristallisieren sich Bereiche mit hohen Transmissivitäten heraus:

- In den Senken und Tälern bei konvergierendem Relief: Im Bereich des heutigen Edombaches und Alten Hempels („Urhempel“), des heutigen Wellnerbaches („Urwellner“), des Mothhäuser Baches sowie des Krötenbaches („Urkrötensumpf“).
- In hinreichend großen gefällearmen Bereichen (oft Wasserscheiden) sowie deren Abflussbahnen: Am heutigen Großen Wendel („Urwendel“), am heutigen Zentralen Sloboda („Ursloboda“), am heutigen Schmidt-Zapfen („Urschmidt“).
- Somit hatten einige der heute vorhandenen Strukturen schon an der Moorbasis ihren Ausgangspunkt. Das deutlichste ursprüngliche Sumpfbild ist der Bereich hoher Transmissivitäten um den Urhempel („Hempelsumpf“) im Zustrombereich des Edombaches. Der Hempelsumpf hatte seine Quellzonen im Bereich des heutigen Raubsumpfes.
- Das trockene und nasse Szenario unterscheidet sich in der Ausbildung potenziell gehölzfreier Flächen (gelbe und grüne Farben) beträchtlich. Beide Szenarien können als Grenzbedingungen einer möglichen oder unmöglichen Moorbildung betrachtet werden.

8.2.3 Paläo-Ökotopezonierungen (Anlage 22)

An der untersuchten Bohrung im Alten Hempel ist das Moor vor fast 7.900 Jahren BP (d. h. 7.900 Jahre vor 1950) entstanden (THEUERKAUF et al. 2007a). In dieser Zeit waren *Pinus* und *Betula* die dominanten Baumgattungen, wobei anhand der Pollen nicht die Arten unterschieden werden können. In der nahegelegenen Hühnerhaide wurde allerdings bei Bauarbeiten 2007 ein Stamm von *Pinus sylvestris* (Gemeine Kiefer) an der Moorbasis gefunden (mündl. Information HAUPT 2007). Insofern sind auch Waldkiefern-Wälder in dieser Zeit wahrscheinlich.

Picea und *Alnus* spielten in der Entstehungszeit des Moores noch eine untergeordnete Rolle bzw. sie waren überhaupt nicht vorhanden. Dies bedeutet, dass die entsprechenden Nischen in der Baumschicht durch *Pinus* und *Betula* besetzt waren. Dabei ist anzunehmen, dass *Betula* mit zunehmender Nässe und Trophie gegenüber von *Pinus* konkurrenzstärker wird, zumindest bei geringmächtigen Torfen an der Moorbasis, in denen ombrotrophe Verhältnisse noch nicht vorkommen. Die daraus abgeleiteten Ökotoptypen sind in Tabelle 14 dargestellt. Sie ist somit eine Verifizierung der Ökotopeprognose anhand der vor 7.900 Jahren tatsächlich möglichen Vegetationstypen, die aus Pollenanalyse und Großrestanalyse folgen.

Tabelle 14: In den Paläoszenarien berücksichtigte Ökotoptypen

Abkürzung	Erläuterung
Kie	Silikatischer Kiefernwald
BiKieWllgrSph	Kiefern- und/oder Birkenwald mäßiger Versumpfung
BiKieSegSph	Kiefern- und/oder Birkenwald starker Versumpfung (Seggen & Sphaggen)
BiSeg	Moorbirkenwälder mit Seggen
BiSegEqi	Birkenwälder mit Seggen und/oder Schachtelhalm
SegEqi	Seggenried (z.B. <i>Carex rostrata</i>) mit Schachtelhalm
SegPhr	Seggen-Ried mit Schilf

In Anlage 22 sind beide extreme Szenarien der Paläoökotope (trocken und nass) dargestellt. Weiterhin sind alle Torfbohrungen eingezeichnet, deren Schichtung aufgenommen wurde (SCHMIDT et al. 1993, EDOM 2000). Die abgebildete Linie kennzeichnet die Lage des bei EDOM & WENDEL (1998) sowie SUCCOW & EDOM (2001) dargestellten Bohrtransektes. Unmittelbar neben Bohrung 5 liegen außerdem die in THEUERKAUF (2007b) dargestellten Großrestdaten. Da bei EDOM & WENDEL (1998) sowie SUCCOW & EDOM (2001) einige Schichten zusammengefasst oder sehr kleine singuläre Schichten oder Beimengungen vernachlässigt wurden, wurde mit Hilfe der Originalfeldprotokolle von 1992 (Bohrungen 1 bis 11) bzw. 2000 (Bohrung 12 außerhalb des Transektes) sowie der Großrestanalyse die Zusammensetzung der untersten drei bis vier Dezimeter nachgeprüft, auch das Vorkommen vereinzelter Beimengungen (eine in der Profilzeichnung vernachlässigte Nebenkomponente im Torf kann auf die Nähe eines Übergangs zwischen zwei Ökotypen hindeuten!). Diese Analyse zeigte, dass die **Ökotopprognose für das Paläoszenario „nass“ mit den angetroffenen Basistorfen** am besten übereinstimmt (Abbildung 20). Das heißt, es ist zur angenommenen Entstehungszeit der Mothhäuser Haide vor ca. 7.900 BP-Jahren höchstwahrscheinlich sehr niederschlagsreich und gleichzeitig ziemlich kalt gewesen (Anlagen 3 und 4 als Beispiel).

Damit kann das Paläoszenario „trocken“ verworfen werden. Im folgenden wird das Ökotoptypbild des Paläoszenarios „nass“ interpretiert. Bei der Interpretation wird davon ausgegangen, dass die an den Basistorfen verifizierten Parameter überall gelten, wenn auch viele Teile des Moores später entstanden sind. Man kann aber annehmen, dass die besonders nassen Flächen recht frühzeitig versumpft sind, z. B. der Ur-Wendel, der Ur-Hempel, der Ur-Sloboda, der Schmidt'sche Ur-Zapfen, die Wellner-Rinne, Edom-Rinne, das Kolbemoor und der Ur-Krötensumpf.

Bemerkenswert ist, dass einige ehemals besonders nassen Riedmoorflächen wie der heutige Patricia-Schatz, der heutige Wunderliche Uhl und die František-Rinne durch die anthropogene Reliefänderung (Torfstich, Grabensackungen, Görkauer Straße) heutzutage besonders trocken sind und sich zu Moor-Fichtenwäldern entwickelt haben, die auch im Prozess der weiteren Moorregeneration stabil bleiben werden (s. Anlage 16).

Das Hauptgebiet der ursprünglichen Vermoorung liegt im Umfeld des Ur-Hempels in einer Rinne des silikatischen Untergrundes und erstreckt sich etwa bis zum Bereich der heutigen Görkauer Straße. Die heutigen Moormächtigkeitszentren (am Alten Hempel, im Östlichen Sloboda und am Beginn des Mothhäuser Baches) stellen alle in der Paläoprognose sehr nasse Ökotope (Seggensümpfe mit Schachtelhalm oder Schilf, z. T. mit Birke) dar. Dort sind separate Torfkörper entstanden, die sich im Laufe des Moorbildungsprozesses aller Wahrscheinlichkeit nach vereinigt haben (EDOM 1991).

Die trockeneren Flächen geringer Transmissivitäten (grüne Farben) können nach der ursprünglichen Versumpfung im Gefolge der zunehmenden Erwärmung wieder degradiert, erodiert bzw. weggeschrumpft und dann erst wieder beim Hangaufwärtswachsen des Moores erneut versumpft sein. Teilweise finden sich dort mittel oder hoch zersetzte Torfe an der Moorbasis.

8.2.4 Schlussfolgerungen aus den Paläoszenarien im Vergleich zu den Ist-Szenarien

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass

- die berechnete Paläoökotopzonierung ein plausibles Bild ergibt, das sich in den wenigen vorhandenen Torfbohrungen widerspiegelt,
- die Paläoszenarien stärkere räumliche Gradienten von nassen zu trockenen Ökotypen aufweisen als die Szenarien der Gegenwart oder der prognostizierten Zukunft.

Das Moor hat demnach in seinem senkenausfüllenden Wachstumsprozess eine räumliche Vergleichmäßigung der Abflussverhältnisse herbeigeführt. Diese reliefausgleichende Wirkung ergibt sich aus den unterschiedlichen Wachstums- bzw. Schrumpfraten der unterschiedlich nassen bzw. trockenen Ökotope und ihrer zunehmenden hydromorphologischen Wechselwirkung.

Im Umkehrschluss bedeutet dies: Greift der Mensch in die Reliefverhältnisse eines entwickelten Moores mit vergleichmäßigten Verhältnissen ein (z. B. durch Torfabbau, Wegebau, Entwässerungen und damit verbundener räumlich differenzierter Moorhöhenverlust), so überführt er das Moor wieder in ungleichmäßig zonierte Profildurchflüsse und damit zu stärker räumlich vom trockenen zum nassen zonierte Ökotypgradienten. Das zeigen vergleichbare Untersuchungen in einer Reihe weiterer erzgebirgischer Moore (DITTRICH et al. 2004a, b; ZINKE & EDOM 2006, EDOM et al. 2005, 2006, 2007 a, b). Damit ist im Laufe der Moorregeneration, wie sie bisher definiert wurde (EDOM & WENDEL 1998, EDOM 2001), ein ursprünglich vorhandenes

Moor nicht mehr regenerierbar. Ökotopprognosen nach dem in dieser Studie angewandten Verfahren beziehen sich auf erreichbare Ziele mit dem jetzt veränderten Relief. Erst nach Abschluss dieser Regenerationsprozesse stellen sich flächendeckend differenzierte Wachstums- bzw. (bei ganz trockenen Standorten) Schrumpfungsprozesse ein, die langfristig (mehrere Jahrhunderte bis Jahrtausende) wieder zu einem Reliefausgleich mit großflächiger Torfbildung führen. Vegetationsökologisch bedeutet dies, dass in den meisten erzgebirgischen Hang-Regenmooren, die alle anthropogen gestört sind, die ehemalige Großflächigkeit der gehölzfreien Regenmoorökotope auf absehbare Zeit nicht wiederherstellbar ist.

Naturschutzfachlich bedeutet dieser moorgenetisch große Zeithorizont, dass

- verbliebene intakte Moor- und Moorteilflächen unbedingt und sofort unter Schutz gestellt werden müssen,
- sie bezüglich ihrer hydrologischen Durchgängigkeit und ihrer Anbindung an das Einzugsgebiet saniert werden müssen, auch zur Absicherung gegenüber möglichen Klimaveränderungen,
- alle Möglichkeiten ergriffen werden müssen, wertvolle Moor- und Moorwaldflächen zu revitalisieren, und zwar auch dort, wo die bisher nur vegetationskundlich fundierte FFH-Ersterfassung keine Lebensraumtypen ausgewiesen hat, diese aber aus hydrologischen und hydrogenetischen Gründen regenerierbar sind.

Man kann also in die mittelfristige Entwicklung wertvoller Moorökotope keine erhöhten Erwartungen stellen, sollte aber alle hydromorphologisch-hydrogenetisch sinnvollen Schutz- und Entwicklungsmaßnahmen durchführen, um bestehende Flächen gegen Klimaänderungen zu stabilisieren sowie die langfristige Moorentwicklung in Richtung wertvoller Moorökotope einzuleiten.

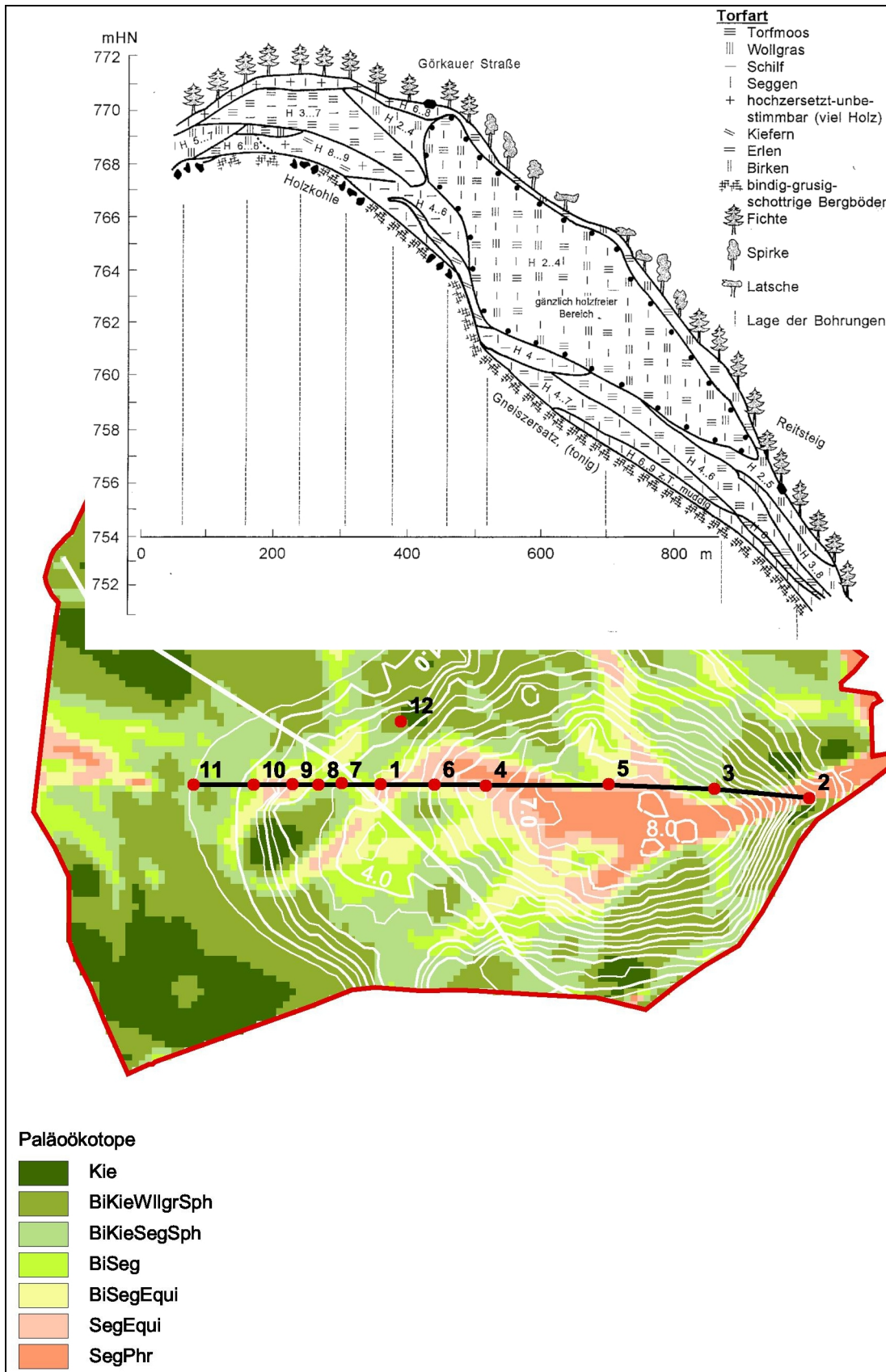


Abbildung 20: Vergleich der horizontalen Vegetationszonierung im nassen Paläoszenario mit der vertikalen Moorstratigrafie im Bohrtransekt (Erklärung der Paläoökotope in Tab. 14)

9 Klimasensitivität des Moorwachstums

Nachdem die Auswirkungen des Klimas zur Zeit der Moorentstehung sowie bei prognostizierten Klimaänderungen auf die Zonierung von hydrologischen Eigenschaften und Ökotope in Kapitel 8 umfassend analysiert wurden, soll nun die Abhängigkeit der Torfbildung und des Moorwachstums von den Klimabedingungen betrachtet werden. Grundlagen bilden auch hierbei die aus der hydromorphologischen Theorie von IVANOV (1975, 1988) abgeleiteten Zusammenhänge.

9.1 Nettoprimärproduktion

Ohne näher auf die theoretischen Hintergründe der Arbeit von GUNNARSSON (2005) eingehen zu können oder im Kontext die Arbeiten von CLYMO zu diskutieren, soll erwähnt werden, dass Torfmoos auf der Erde über einen weiteren Bereich von Niederschlag und Lufttemperatur wächst. Die *Sphagnum*-Nettoprimärproduktion ist bei geringen Niederschlägen und niedrigen Temperaturen sehr klein und erreicht ein Maximum bei Niederschlägen über 500 mm/a und Lufttemperaturen über 2 °C.

9.2 Moorhöhenwachstumsraten: regionaler und überregionaler Vergleich

In diesem Kapitel werden gemessene Moorwachstumsraten $\frac{dh_{ak}}{dt}$ anhand datierter Torfprofile in einem hydromorphologischen Zusammenhang der Gleichung (35) diskutiert, weshalb sie hier noch einmal aufgeführt wird:

$$\frac{dh_{ak}}{dt}(s) = \frac{b_S}{A_S^2} \cdot [\beta_a \cdot \frac{\sum_{j=1}^i [A_j \cdot (P_{kor,j} - ET_j - Q_{GW,j})] + q_{EZG} \cdot b_{EZG}}{b_S} - \frac{dy}{dl}(s) \cdot (\beta_a - \beta_k) \cdot T_k] \quad (35)$$

Das Höhenwachstum von Moorstandorten wird gewöhnlich als Zeit-Tiefen-Funktion dargestellt, die aktuelle Wachstumsrate entspricht dabei dem jeweiligen Anstieg der Kurve. Im Holozän abgelaufene Klimaänderungen manifestieren sich in Gleichung

(35) in dem über dem Bruchstrich stehenden Wasserbilanzterm. Je nach konkreter Morphologie (Parameter b_S , A_S , $\frac{dy}{ds}$),

Einzugsgebietseigenschaften ($q_{EZG} \cdot b_{EZG}$, A_j mit $j = 1(1)i$), dem erreichten Entwicklungsstand des Moores (Eigenschaften der Torfschichten im Katotelm: β_k , T_k) sowie der aktuellen Akrotelmausprägung β_a führt eine Wasserbilanzänderung zu einer mehr oder minder großen Änderung im Wachstumsverhalten. Je nach der örtlichen und aktuell konkreten Konstellation dieser Parameter reagieren Moorstandorte also unterschiedlich sensitiv.

9.2.1 Mothhäuser Haide

Die Zeit-Tiefen-Funktion (Wachstumskurve) der Mothhäuser Haide an der Probennahmestelle am Alten Hempel wurde bereits in THEUERKAUF et al. (2007a) diskutiert und ausgewertet. Hier soll nur noch einmal geprüft werden, ob in der Wachstumskurve eine Klimasensitivität erkennbar ist (Abbildung 21).

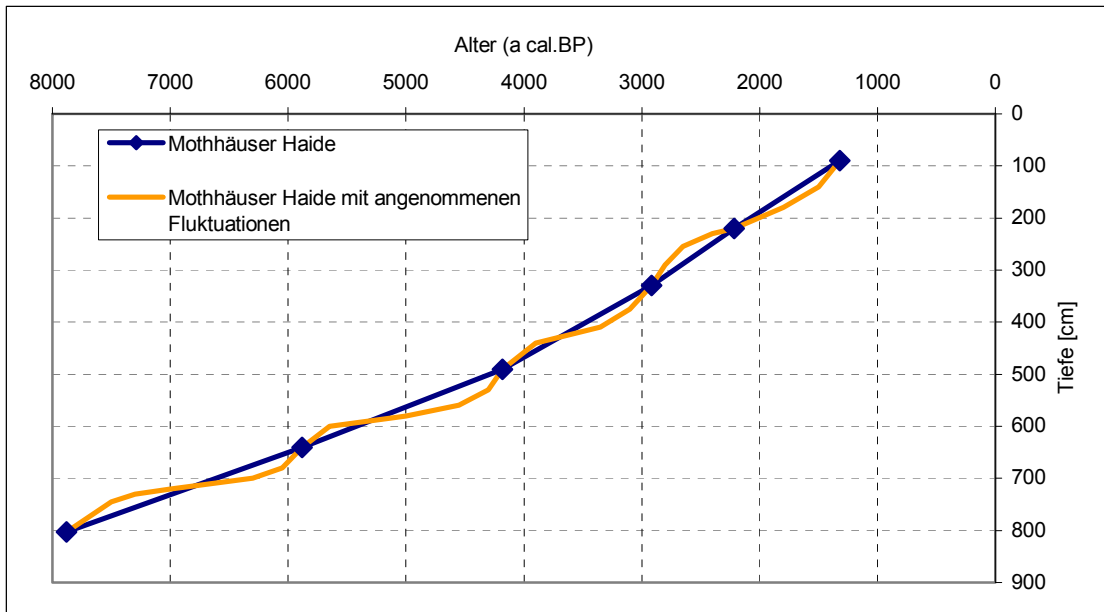


Abbildung 21: Abschnittsweise lineare Höhenwachstumskurve im Zentrum der Mothhäuser Haide (aus THEUERKAUF et al. 2007a) mit einer Interpolationsmöglichkeit für wechselndes Höhenwachstum

Verbindet man die Messpunkte der Datierungen linear (blau), so zeigen sich in der gesamten Entwicklungszeit des Moores ein relativ hohes Höhenwachstum von **0,81 bis 1,57 mm/a**. Die hohen Wachstumsraten werden nach Stabilisierung der ombrotroph geprägten Entwicklungsphase, d.h. bei Eintritt minimaler Hangwasseranteile, erreicht. Die höchste Wachstumsrate von 1,57 mm/a herrschte demnach vor etwa 2.900 bis 2.200 Jahren vor 1950 (cal. BP). Im Großrestdiagramm (THEUERKAUF 2007b) ist allerdings in diesem Zeitfenster nichts erkennbar, was auf eine höhere Nässe hinweist als in den hangenden (späteren) oder liegenden (früheren) Schichten. Offenbar war das Wachstum seit 4.000 Jahren gleichmäßig stark.

Verbindet man den obersten Datenpunkt im Diagramm mit dem Koordinatenursprung (0 m, 0 a), d.h. mit dem Jahr 1950, so wird deutlich, dass es in den letzten 1.300 Jahren zu einer deutlichen Abnahme des Moorwachstums oder gar einer Moorschrumpfung gekommen ist. Klar ist, dass seit 1529 die Görkauer Straße existiert (EDOM & KEßLER 2006) und spätestens im 18. Jahrhundert der Torfstich entstanden ist (EDOM & WENDEL 1998). Dadurch kam es zu einer Umleitung der Profildurchflüsse, was die Wasserspeisung für den Alten Hempel verringerte (s. Kapitel 8: Szenarien sowie EDOM & KEßLER 2006). Es spricht bei dem Verlauf der Wachstumskurve nichts dafür, dass sie bei weiterer ungestörter Entwicklung bis zur Gegenwart nicht weiterhin mit so hohen Wachstumsraten verlaufen wäre. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass bis zum Eingreifen des Menschen - mit seinen irreversiblen Folgen für die Moormorphologie - das Moor im Zentrum eine geringe Sensitivität gegenüber Klimaänderungen aufwies und vermutlich noch weiter so gewachsen wäre. **In dem Falle hatte die anthropogene Störung einen höheren Einfluss auf das Moorwachstum als abgelaufene Klimaänderungen.**

Man kann die Datenpunkte in Abbildung 21 auch mit einer gewellten Linie verbinden und somit klimatisch bedingte Fluktuationen unterstellen. Dies ist genauso statthaft wie eine lineare Interpolation. Allerdings gibt es aus dem Großrestdiagramm (THEUERKAUF 2007b) keinen Hinweis, dass eine solche Fluktuation aufgetreten ist. In den obersten fünf Dezimetern finden sich aber erstmals Hinweise wie Laubblattfragmente, Ericaceen sowie eine erhöhte Torfzersetzung, die eine Abnahme des Moorwachstums bedeuten. Dieses fällt wiederum mit dem Zeithorizont der seit mindestens 500 Jahren vorhandenen anthropogenen Einflussnahme zusammen.

Im Zentrum der Mothhäuser Haide scheint also der menschliche Einfluss massiver als die Klimaänderungen gewesen zu sein.

9.2.2 Mittleres Erzgebirge in unmittelbarer Nähe der Mothhäuser Haide

Alle in Abbildung 22 dargestellten Moorstandorte befinden sich im Raum Rübena-Kühnhaide.

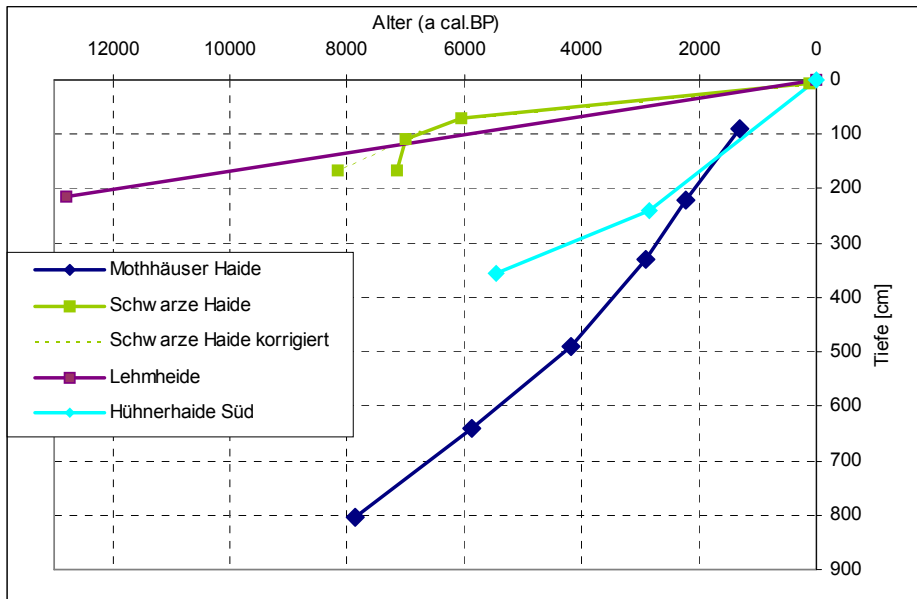


Abbildung 22: Höhenwachstumskurven mittelerzgebirgischer Moore, die unter gleichen Klimabedingungen aufgewachsen sind. Daten aus THEUERKAUF et al. 2007a, SCHLEICH 2006, SCHLÖFFEL 2007 sowie SEIFERT-EULEN (zit. in SCHLÖFFEL 2007)

Es ist davon auszugehen, sieht man von lokalen geländeklimatischen Effekten ab, dass alle diese Moore nahezu identischen Klimabedingungen unterlagen. Da außer in der Mothhäuser Haide allerdings bisher (2008) keine hydromorphologischen Untersuchungen vorliegen, kann eine präzise Ursachenanalyse des unterschiedlichen Wachstumsverhaltens nicht erfolgen.

Die mittleren Wachstumsraten der linear zwischen den Datierungspunkten interpolierten Kurven liegen zwischen **0,11 mm/a** (in den letzten 6.000 Jahren) in der Schwarzen Haide und **1,57 mm/a** vor 2.000 bis 3.000 Jahren in der Mothhäuser Haide. Die Mothhäuser Haide ist also unter gleichen Klimabedingungen ca. **14 mal** so schnell in die Höhe gewachsen wie die Schwarze Haide. Sicherlich gibt es auch in der Schwarzen Haide Schichtlücken (Hiatus) aufgrund zeitlich begrenzter Schrumpfungsphasen, diese sind aber durch eine zeitlich zu gering aufgelöste Datierung nicht identifiziert worden. Dennoch bedeutet dies, dass unter den gleichen mesoklimatischen Bedingungen in der Schwarzen Haide Schrumpfungsphasen, in der Mothhäuser Haide am Alten Hempel dagegen nicht auftraten.

In der Lehmhaide wurde nur die Basisprobe datiert, insofern war zwischen dem Basispunkt und der Mooroberfläche zu interpolieren, was für 12.800 Jahre ein mittleres Höhenwachstum von **0,17 mm/a** ergibt. Die Mothhäuser Haide wuchs „in ihrer besten Zeit“ somit immerhin **9 mal** so schnell. SCHLÖFFEL (2007) hat in dem Profil aber auch eine Schichtlücke festgestellt, sodass das Moorwachstum zeitweise gar zum Erliegen bzw. die abgelagerten Schichten durch Erosion oder Moorschrumpfung abgetragen wurden. Trotz der geringen Wachstumsgeschwindigkeit ist es erstaunlich, dass das Moor bereits vor 12.800 Jahren entstanden ist. Es kann aber auch bedeuten, dass wir die älteste Stelle der Mothhäuser Haide nicht beprobt haben und diese vielleicht nicht am Alten Hempel liegt.

Mittlere Wachstumsraten mit **0,44 bis 0,88 mm/a** weist die Hühnerhaide auf, die ca. 5.500 Jahre später entstand als die Mothhäuser Haide.

Das breite Spektrum der Wachstumsraten macht deutlich, dass die in populärwissenschaftlichen Schriften immer wieder auftauchenden Postulate, wonach „Hochmoore ca. 1 mm/a“ wachsen, wissenschaftlich ohne Wert sind. Vielmehr gilt:

Moorhöhenwachstum verläuft auch innerhalb einer klimatischen Höhenstufe differenziert nach hydromorphologischen Gesetzmäßigkeiten.

9.2.3 Böhmisches Elbsandsteingebirge

Pollenanalysen und Torfdatierungen aus dem Elbsandsteingebirge liegen bisher nur aus dem ostelbischen tschechischen Teil (Böhmische Schweiz) vor und sind bei KUNEŠ et al. (2005), POKORNY & KUNEŠ (2005) sowie ABRAHAM (2006) ausgewertet. Im wesentlichen handelt es sich um kalibrierte ^{14}C -Datierungen. Für die jüngere Zeit seit dem Jahr 1898 hat ABRAHAM (2006) zusätzlich sechs Proben in den obersten 25 Zentimetern mit dem Isotop ^{210}Pb datiert, sodass in der Kurve von Pyskyričný dul sogar ein Anstieg des Moorwachstums nachgewiesen werden konnte, der besonders seit 1952 massiv war (blaue Kurve in Abbildung 23). Da die Kalibrierung der ^{14}C -Daten sich auf das Jahr 1950 (vor den Atombombenversuchen) bezieht, gehen die durch ^{210}Pb -Datierung gewonnenen Daten über die Null-Zeit hinaus, d.h. bis zum Jahr -50 a cal. BP, was dem Jahr 2000 (Zeitpunkt der Probennahme) entspricht.

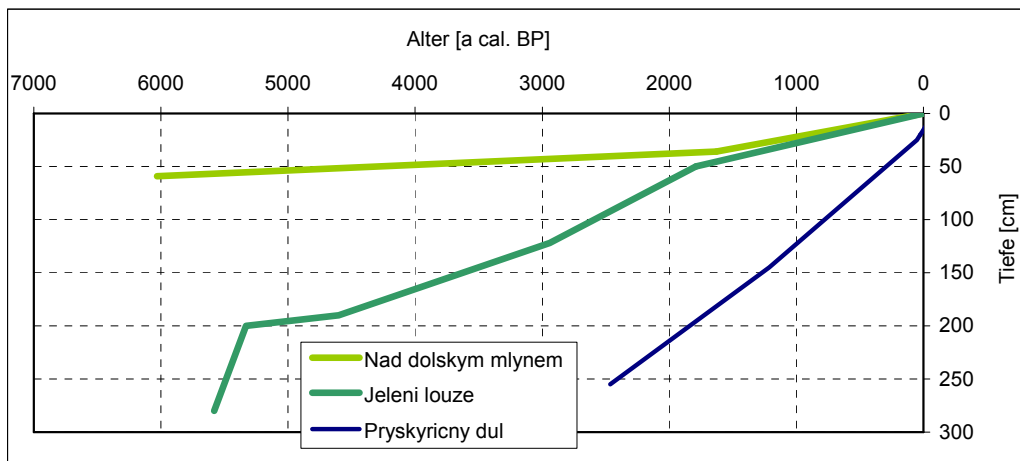


Abbildung 23: Wachstumskurven von Mooren aus dem Elbsandsteingebirge; Daten aus KUNEŠ et al. (2005), POKORNY & KUNEŠ (2005), ABRAHAM (2006)

In diesen Mooren liegen detaillierte moorkundliche und hydrogeologische Informationen vor (EDOM et al. 2002, 2003), weshalb sich die in Abbildung 23 dargestellten Wachstumskurven gut interpretieren lassen:

- Die genannten Moore existieren bei unterschiedlichen mittleren Jahresniederschlägen (unkorrigierte Werte): Nad dolskym mlynem bei 770 mm/a, Jeleni louže bei 820 mm/a und Pyskyričný dul bei 870 mm/a.
- Die geländeklimatische Einbettung, die auf die Verdunstung von der Moorfläche wirkt, ist unterschiedlich: Nad dolskym mlynem liegt in einem Kiefernwald auf einem Sattel, Jeleni louže ist ein Schluchtenmoor in West-Ost-Ausrichtung, Pyskyričný dul ist ein Schluchtenmoor in Nord-Süd-Ausrichtung in einem sehr tiefen Einschnitt, dessen Talgrund nur in den Mittagsstunden Sonne bekommt.
- Nad dolskym mlynem ist ein ebenes Stauwasser-Versumpfungsmoor ohne oberirdisches und ohne unterirdisches Einzugsgebiet. Bei den Schluchtenmooren gibt es unterirdische Einzugsgebiete, das bei Pyskyričný dul mehrfach größer ist als bei Jeleni louže.

Insofern unterscheidet sich in Gleichung (35) der Wasserbilanzterm maßgeblich, was zu den grundsätzlich unterschiedlichen Höhenwachstumskurven führt. Interessant ist dennoch, dass mit ungünstigerer Wasserbilanz und geringeren Wachstumsraten das Alter der Moorbildung steigt.

In Nad dolskym mlynem wurden von ABRAHAM (2006) außerdem Schichtlücken nachgewiesen, d.h. in diesem alten Moor haben sich Phasen des Wachstums mit Phasen der Schrumpfung abgewechselt.

Interessant ist außerdem, dass im Schluchtenmoor Jeleni louže die Wachstumsrate abnimmt, weil das Moor eine Schwelle des silikatischen Untergrundes überwächst, und in Pyskyričný dul die Wachstumsrate während der gesamten Moorgesichte zunimmt.

9.2.4 Zentralrussland bei Zapadnaja Dvina

Ein zeitlich sehr hoch aufgelöster paläoökologischer und paläoklimatischer Vergleich benachbarter Regenmoore liegt von RAUBER (2002) und anderen dort zitierten Autoren vor. Wir danken Dr. Andrej Sirin (Institut für Waldkunde der Russischen Akademie der Wissenschaften) für die Erlaubnis, die in Abbildung 24 dargestellten Daten zu verwenden. Die drei Moore sind jeweils nur einige Kilometer voneinander entfernt, was für die Zone der südlichen Taiga im zentralrussischen Tiefland bedeutet, dass sie unter nahezu einheitlichen Klimabedingungen existieren und aufgewachsen sind.

Die südlich der Kleinstadt Zapadnaja Dvina (Tverskaja Oblast') gelegenen Moore befinden sich geologisch in einem Bereich, in dem ein südlicher Ausläufer der Valdaj-Endmoräne in die südlich gelegenen Sandergebiete übergeht (SIRIN et al. 1997). Das Moor „Bolšoj Rogovskij Moch“ liegt vollständig über Moränenmaterial (Geschiebelehm) mit versickerungshemmenden Untergrund und „Usvjatskij Moch“ vollständig über Sandermaterial, wo in Trockenzeiten eine Versickerung auftritt. „Lamtjovskij Moch“ liegt teilweise über Moräne und teilweise über Sander, sodass die vertikalen Versickerungsverluste zwischen den Verlusten der beiden erstgenannten Moore liegen. Insofern unterscheidet sich in Gleichung (35) vor allem der Verlustterm Q_{GW} . Dies erklärt schon die grundsätzlich unterschiedlichen Wachstumskurven dieser drei Moore.

Die hochaufgelösten Wachstumskurven zeigen außerdem, dass **Wachstumsschwankungen nicht immer synchron** verlaufen: Während es im Bolšoj Rogovskij Moch vor ca. 2.300 Jahren einen starken Abfall der Wachstumsrate gibt, bleibt sie in den anderen beiden Mooren nahezu konstant. Diese Unterschiede sind nur durch die lokale Hydromorphologie im Zusammenhang mit dem damals erreichten Entwicklungsstadium der Moore (Stratigrafie) zu erklären. Dieses Beispiel zeigt genauso wie das Elbsandsteingebirge, dass selbst benachbarte Moore völlig anders auf Klimaänderungen reagieren können. **Eine zeitweilige und lokal registrierte Austrocknung kann zeitgleich, aber benachbart mit stabilem oder gar verstärktem Wachstum ablaufen.**

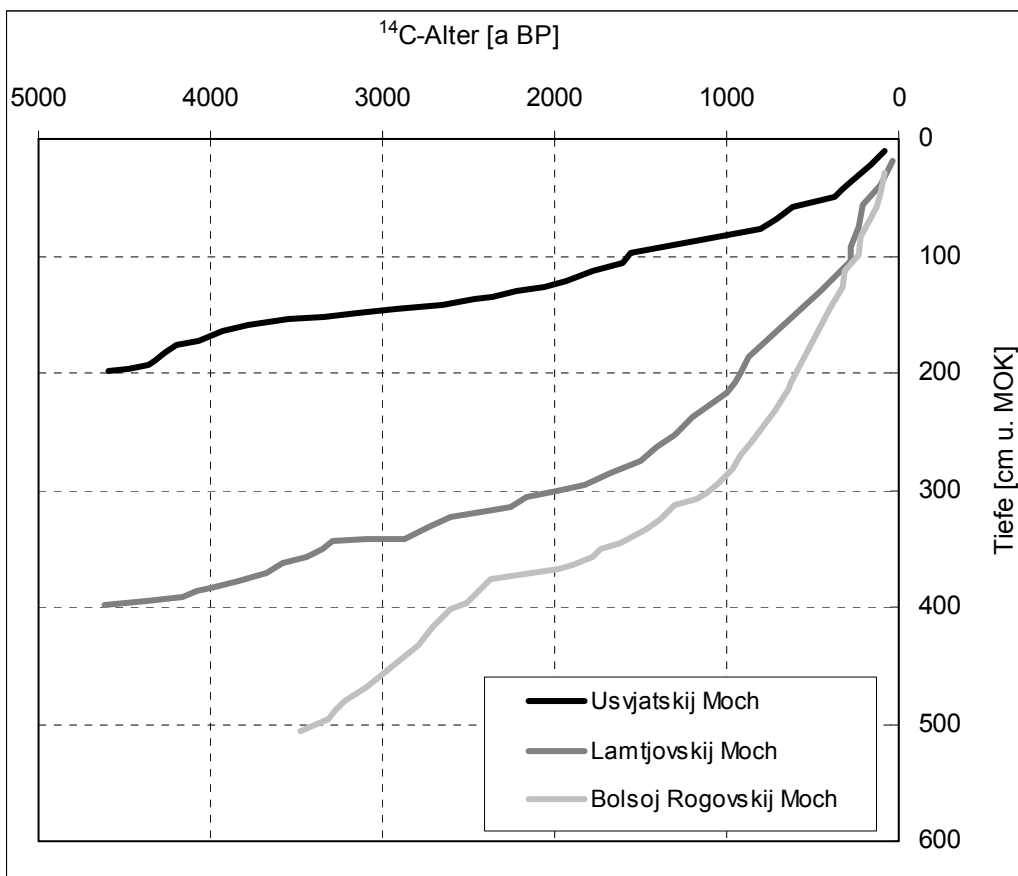


Abbildung 24: Wachstumskurven von drei benachbarten Regenmooren aus dem Tiefland Zentralrusslands; Daten aus RAUBER (2002) mit Erlaubnis von Dr. A. SIRIN (2010)

9.3 Klimasensitivität des Moorhöhenwachstums innerhalb eines Moores

9.3.1 Turbenriet (Schweiz)

Im Turbenriet, einem Hang-Regenmoor in der Schweiz, hat SCHNEEBELI (1991) in einem Raster insgesamt 75 Torfbohrungen niedergebracht. Für 13 dieser Profile wurden mittels absoluter ^{14}C - bzw. relativer Pollendatierung die Wachstumskurven erstellt (SCHNEEBELI 1991: Abb. 4.19) und damit das exakte vertikale sowie horizontale Wachstum des Moores rekonstruiert. Die stark differierenden Wachstumsraten und der teilweise unterschiedliche, zeitlich nicht synchrone Verlauf konnte von SCHNEEBELI (1991: S. 83-85) nicht hinreichend erklärt werden. Die bei EDOM et al. (2007c) und in Kapitel 5.4 dargestellte hydromorphologisch fundierte Moorwachstumstheorie gab es damals noch nicht.

Die qualitativen Aussagen von SCHNEEBELI (1991) - abgeleitet an detaillierten Datierungen - stützen aber unsere in dieser Studie weiterentwickelte Wachstumstheorie. Außerdem zeigt dieses Beispiel, dass es Messungen gibt, an denen man die Gleichungen (31) bis (35) aus Kapitel 5.6 sehr fein aufgelöst verifizieren kann.

9.3.2 Harzmoore

Im Harz sind durch BEUG et al. (1999) für eine große Anzahl von Mooren, die z. T. im 25 m-Raster abgebohrt wurden, absolute ^{14}C - und relative Pollendatierungen der Basistorfe oder ganzer Profile ausgewertet. Dabei werden für jedes einzelne Moor die Herde (Ursprünge) der Moorentstehung und, eingeordnet in Etappen der holozänen Geschichte (u.a. Pollenzonen nach FIRBAS), die Ausbreitung der Moore dargestellt. Auch hierbei wird ersichtlich, dass die Moorausbreitung offenbar hydromorphologischen Gesetzmäßigkeiten folgt. Auch solche Daten sollte man zukünftig zur Verifizierung der in Kapitel 5 dargestellten, in Kapitel 8 angewandten sowie in Kapitel 9.2 diskutierten Modellvorstellungen benutzen.

9.4 Folgerungen

Die Beispiele zur Klimasensitivität des Moorwachstums lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Es gibt unter einheitlichen Klimabedingungen unmittelbar benachbarte Moore oder Moorteile, die unterschiedlich sensitiv auf Klimaänderungen reagieren.
- Die Reaktion von benachbarten Mooren oder Moorteilen ist nicht immer synchron und kann im Extremfall sogar entgegengerichtet sein.
- Die Gründe für solche Erscheinungen sind die lokale Hydromorphologie, das erreichte Entwicklungsstadium der Moore (Hydrogenese) und die lokalen hydrogeologischen Verhältnisse. Die lokalen Verhältnisse lassen sich mit Gleichung (35) beschreiben.
- Somit ist jedes Moor individuell. Spezifische, für jedes Moor individuelle Schutz- und Entwicklungskonzepte sind erforderlich.
- Für ein Moor müssen die hydrologischen und moorkundlichen Grundlagen bekannt sein, um seine Reaktion auf interne Prozesse und externe Einflüsse zu verstehen. Ohne dieses Wissen ist ein adäquater Schutz oder die erfolgreiche Revitalisierung von Mooren nicht möglich.

Moorwachstums- bzw. -schrumpfungprozesse stehen in einem sehr engen Zusammenhang zu Kohlenstoffakkumulation bzw. -freisetzung (CO_2 , DOC). Deswegen sollten großflächige Hochrechnungen der bisher noch sehr wenigen Feldmessungen vorsichtig betrachtet werden, solange die individuellen Eigenschaften der entsprechenden Moore nicht in die Erstellung einer allgemeinen Theorie einbezogen werden.

10 Strategien und Maßnahmen für den Umgang mit Folgewirkungen des Klimawandels im Moorschutz des Erzgebirges

Es konnte in dieser Studie gezeigt werden, dass die lokale Hydromorphologie und das erreichte Entwicklungsstadium maßgeblich darüber entscheiden, wie ein Moor in seiner Ökotopzonierung und in seinem Höhenwachstum auf Klimaschwankungen reagierte und prognostisch wahrscheinlich reagieren wird. Es gibt Moore und Teilgebiete von Mooren, die in gleichen Klimaräumen unterschiedlich sensitiv auf Klimaschwankungen reagiert haben und reagieren werden. In vielen Fällen hatten direkte anthropogene Einflüsse in die örtliche Hydromorphologie (d. h. Reliefänderungen), Hydrogenese (d. h. Abtorfungen) und hydrologische Durchgängigkeit (Wasserbarrieren, Gräben) größeren und nachhaltigeren Einfluss auf die Ökotopentwicklung und das Moorwachstum als die Klimaschwankungen selbst. Viele dieser Einflüsse sind irreversibel, d. h. sie werfen das Moor in seiner Entwicklungsgeschichte um Jahrhunderte bis Jahrtausende zurück. Dies bedeutet nicht, dass eine Moorentwicklung nicht wieder beginnen kann. Man kann in den allermeisten Fällen durch Maßnahmen des Flächenschutzes und/oder der initiiierenden Moor-Revitalisierung einen besseren und weniger klimasensitiven Zustand erreichen als es gegenwärtig der Fall ist.

Die in diesem Projekt weiterentwickelten Modellvorstellungen zeigen Möglichkeiten der Abschätzung von Erfolgsaussichten sowie realistischer Zielvorstellungen auf. Es handelt sich um eine physikalisch-hydrogeochemisch basierte Theorie, deren Parametrisierung durch viele Messungen verifiziert und deren Anwendbarkeit durch bessere ortskonkrete Erkundungen verbessert werden kann und muss.

Insofern stellen die konkreten Ergebnisse für die Mothhäuser Haide einen Zwischenstand dar, der nach Vorliegen neuerer Untersuchungen aktualisiert werden kann. Wie Prognosen des Klimawandels sind Prognosen möglicher Ökotopentwicklungen mit Unsicherheiten behaftet, sie zeigen aber dennoch objektiv begründete Handlungsoptionen auf und helfen, Prioritäten zu setzen. Deswegen sollen maßgebliche Erkenntnisse noch einmal zusammengefasst werden.

10.1 Mothhäuser Haide

In der Mothhäuser Haide haben die anthropogenen Eingriffe spätestens seit dem 15. Jahrhundert (Görkauer Straße; Torfabbau; Moorhöhenverluste aufgrund des Torfstiches, der Grabenentwässerung und der Last der Straße) eine Veränderung des hydromorphologischen Gesamtsystems herbeigeführt:

- Diese anthropogen verursachten Veränderungen hatten und haben Ökotopverschiebungen, Veränderungen in den Entwicklungspotenzialen und Wachstumsraten (am Alten Hempel) zur Folge, welche die Wirkung holozäner Klimaschwankungen und auch des prognostizierten Klimawandels bei weitem überschreiten.
- In den nächsten Jahrhunderten erscheint die Regenerierbarkeit der ehemals großflächigen, offenen und gehölzfreien Moorökotope, wie sie aus Stratigrafie und Großrestanalyse ablesbar ist, nicht mehr realistisch.
- Dennoch kann die Moorregeneration zu einem naturschutzfachlich wertvolleren Ökotopbild, als es gegenwärtig der Fall ist, führen. Dies ist unbedingt abzusichern!
- Langfristig gesehen, d. h. im Zeithorizont mehrerer Jahrhunderte, wird sich durch räumlich unterschiedliche Wachstumsraten erneut ein zunehmender Ausgleich der Profildurchflüsse einstellen. Dann entstehen wieder größerflächig offene Moore.

Die möglichen Auswirkungen der angenommenen Klimaänderungen können durch die Öffnung der Görkauer Straße in Teilbereichen kompensiert werden. Detailliert sind die möglichen Maßnahmen und Maßnahmenbereiche bei EDOM & KEßLER

(2006) beschrieben. Im Rahmen der Umsetzungsplanung muss die Datendichte im näheren Umfeld der Görkauer Straße noch erhöht werden.

Die Wiedervernässung und Regeneration der umliegenden Moore, in erster Linie die Moore des FFH-Gebietes „Mothhäuser Heide“, trägt zur Stabilisierung des Artenbestandes in der eigentlichen Mothhäuser Heide sowie eines moorfrendlichen Lokalklimas bei (SCHINDLER et. al. 2008).

Die Mothhäuser Heide eignet sich aufgrund des vorhandenen Untersuchungsstandes auch weiterhin als Untersuchungs- und Monitoringgebiet zum Studium selbstregulativer Regenerations- und Moorentwicklungsprozesse. Die bisher mehr unregelmäßigen Untersuchungen sollten fester in Untersuchungs- und Monitoringprogramme des Freistaates Sachsen eingebunden werden. Die biotischen Elemente des FFH-Monitorings sind keinesfalls ausreichend, sie sollten durch abiotische Elemente (Hydrologie, Klima, Moorbodenentwicklung) ergänzt werden. Außerdem bietet sich an, die hydromorphologischen Analysen des Paläoklimas durch die Erhöhung der Dichte der Torfprofilaufnahmen zu verifizieren.

10.2 Erzgebirgsmoore im Freistaat Sachsen

Alle Moore auf der deutschen Seite des Erzgebirges sind in ihrer Hydromorphologie und/oder in ihrer hydrologischen Durchgängigkeit durch anthropogene Einflüsse gestört:

- Dies betrifft auch die in den Naturschutzgebieten gesicherten und als besonders naturnah angesehenen Moore.
- Revitalisierungsplanungen zeigen immer wieder, dass die Moore in ihrer hydrologischen Durchgängigkeit gestört sind. Teilweise liegen diese Störungen schon außerhalb des Moorkörpers im silikatischen Einzugsgebiet, wie z. B. Gräben oberhalb des Kleinen Kranichsees. Im Falle der Großen Brauckmann-Heide bei Johanngeorgenstadt wurde ermittelt, dass durch den im Mittelalter angelegten Hohlbauer Kunstgraben das Moor von 61 % seiner Wasserspeisung abgekoppelt wurde (EDOM et al. 2006).
- Dies ist mehr, als durch holozäne Klimaschwankungen an Wasserbilanzänderungen auftrat und mehr, als durch die prognostizierten Klimaänderungen auftreten wird.

Deswegen ist die Wiederherstellung der hydrologischen Durchgängigkeit, d.h. die Beseitigung der Gräben und Barrieren, unter Einschluss der silikatischen Einzugsgebiete der Moore die notwendige, dringlichste und effektivste Maßnahme.

Die unterschiedliche Sensitivität verschiedener Moore und Moorteile gegenüber Klimaänderungen erfordert **individuelle Konzepte für jedes Moor**. Durch hydromorphologische und hydrogenetische Analysen lassen sich die Potenziale und Leitbilder entwickeln, auch schützt diese Analyse vor überzogenen Erwartungen.

Der große Zeithorizont der Moorregeneration auch nach Revitalisierungsmaßnahmen sowie der noch größere Zeithorizont eines Reliefausgleichs durch differenziertes Moorwachstum führt zu folgenden Erfordernissen:

- Verbliebene, intakte Moor- und Moorteilflächen müssen unbedingt unter Schutz gestellt werden.
- Die geschützten Moore müssen bezüglich ihrer hydrologischen Durchgängigkeit und ihrer Anbindung an das Einzugsgebiet saniert werden, auch zur Absicherung bezüglich möglicher Klimaveränderungen.

Alle Möglichkeiten, wertvolle Moor- und Moorwaldflächen zu revitalisieren, müssen ergriffen werden, und zwar auch dort, wo die bisher nur vegetationskundlich fundierte FFH-Ersterfassung keine Lebensraumtypen ausgewiesen hat, diese aber aus hydrologischen und hydrogenetischen Gründen regenerierbar sind.

Durch kurzfristig realisierbare Wiedervernässungsmaßnahmen kann der Moorschwund und die damit verbundene CO₂-Freisetzung unterbunden oder zumindest wesentlich reduziert werden. Erst durch längerfristige Regenerationsprozesse und die darauf folgenden reliefausgleichenden Moorwachstumsprozesse entsteht allmählich wieder eine flächendeckende Kohlenstoff-Akkumulation mit einer positiven Bilanz der CO₂-Äquivalente klimarelevanter Gase. Kurzfristig wird durch richtig ausgeführte Wiedervernässungen eine deutliche Entlastung der CO₂-Emissionen aus Mooren erreicht werden, langfristig dienen diese Moore wieder als kostenlose, natürliche CO₂-Senke. Nach neuen Hochrechnungen betragen die CO₂-Emissionen aus Mooren

in Deutschland etwa 2,3 – 4,5 % der Gesamtemissionen, die verhältnismäßig kostengünstig verringert werden können (BfN 2008).

Diese langfristigen Entwicklungsprozesse sollten also unbedingt eingeleitet werden, damit nach gewisser Zeit wieder eine CO₂-Senke entsteht oder zumindest die Quellenfunktion stark zurückgeht. Ein zwischenzeitliches Methan-Problem durch zu starken Überstau ist aufgrund der Reliefverhältnisse im Erzgebirge nur in geringem Maße zu erwarten. Außerdem kann die Methode der räumlichen und zeitlichen Staffelung der Revitalisierungsmaßnahmen (EDOM et. al. 2007b), wenn sie noch auf Stoffhaushaltsprobleme abgestimmt wird, zur Minimierung des möglichen Methan-Peaks am Anfang der Wiedervernässung beitragen.

10.3 Weitere klimarelevante Aspekte des Moorschutzes im Freistaat Sachsen

Die in Kapitel 10.2 genannten Notwendigkeiten und Prioritäten gelten im Grundsatz auch für die Moore des sächsischen Tieflandes sowie des Elbsandsteingebirges. Dazu gehört die **Wiederherstellung der Senkenfunktion der Moore für Kohlenstoff bzw. die Reduktion der Quellenfunktion**. Aufgrund des häufigen Vorkommens von sulfathaltigen Grundwasser im sächsischen Tiefland ist vermutlich auch dort die Methanbildung wegen der vorrangig ablaufenden Sulfatreduktion von untergeordneter Bedeutung. Auch in diesen Mooren ist eine Kompensation stoffhaushaltlicher Probleme durch räumliche und zeitliche Staffelung der Maßnahmen möglich.

Die **energetischen Aspekte der Klimarelevanz** werden in der hiesigen Moorschutzdiskussion völlig vernachlässigt: Man kann eine lokale Klimakühlung durch erhöhte Verdunstung und Albedoänderung fördern, nach ersten eigenen Rechnungen ist dies besonders effektiv bei Großseggenriedern und Schilfröhrichten. Außerdem entsteht in einem entwässerten Torfkörper durch Kohlenstoffoxidation chemische Umwandlungswärme, die z. B. in den großflächigen entwässerten Mooren Russlands und Indonesiens die Entstehung von Moorbränden begünstigt. Eine Wiedervernässung der entwässerten Moore mindert also die Gefahr solcher Moorbrände, die im trockenen sächsischen Tiefland prinzipiell auch möglich sind. Zum anderen wird diese chemische Umwandlungswärme durch die Einengung des Reaktionsraumes bis zum angehobenen Wasserstand natürlich auch verringert. Entwässerte Moore bilden somit eine lokale Wärmequelle.

Dem **Moorschutz in den Bergbaufolgelandschaften** muss mehr Aufmerksamkeit gewidmet werden. Durch die Grundwasserabsenkung ausgetrocknete sowie durch den Bergbau zerschnittene Moorlandschaften sollten dort, wo es noch möglich ist, einer Regeneration zugeführt werden. Weiterhin bietet die Flutung der Tagebauseen die Chance, auch neue Moore mit Torfbildung entstehen zu lassen, zumal erhebliche Moorflächen vor allem im Bereich der heutigen Lausitzer Seenkette abgebaggert wurden. Dies ist von vornherein in die Planung und Gestaltung der Bergbaufolgelandschaft zu integrieren. Ein Moor mit Torfakkumulation ist für den Klimaschutz besser als ein Feuchtgebiet! Einzelne Moorpflanzen aus abzubaggernden Mooren in degenerierte, aber regenerierbare Moore zu verpflanzen, wie erst kürzlich am Tagebau Nochten geschehen, ist hinsichtlich der Kohlenstoffbilanz nicht nachhaltig und nicht ausreichend. Der Bergbau sollte rechtlich zur Kompensation der zerstörten Moore verpflichtet werden.

Ein weiterer klimarelevanter Aspekt, der bisher noch zu wenig diskutiert wird, ist die **Zerstörung großflächiger Moore außerhalb von Sachsen durch** die Benutzung und den Verkauf von **Torferden** für Gartenbau, Blumenindustrie, Grünflächengestaltung sowie private Bedürfnisse. Dieser Torf kommt heute hauptsächlich aus den neuen EU-Ländern des Baltikums. Dort ist eine großflächige Zerstörung von Moorlandschaften innerhalb weniger Jahrzehnte zu befürchten, wie er im vergangenen Jahrhundert in Niedersachsen und den Niederlanden bereits ablief. Im Falle der Neugestaltung oder Sanierung von Grünflächen werden oft ganze LKW-Ladungen von Torferde abgekippt. Wenn man zusätzlich die Mengen der in den Baumärkten Deutschlands lagernden Säcke der Torf-Blumenerden betrachtet, lassen sich unschwer große Moore vorstellen, die dafür abgetorft werden. Im Blumentopf kann man deutlich die oxidationsbedingte Torfschrumpfung studieren. Letztlich wandelt sich auch dieser Torf im Laufe einiger Jahre in Kohlendioxid um, taucht aber in Klimabilanzen kaum auf, da dieses kein offensichtliches Verbrennen ist. Die Preise der angebotenen Torferden mit nur wenigen EURO pro 10 l Torf (manchmal nur 2 €) sind extrem niedrig. Eine denkbare Verbrauchssteuer, die für die Kompensation dieser Moorverluste verwendet wird

(Revitalisierung und Neuanlage von Mooren), erhöht das verfügbare Kapital für den Moorschutz und lenkte die Verbraucher auf das Benutzen alternativer Materialien (s. z. B. www.imcg.net).

Am 7.11.2007 hat die Bundesregierung eine „Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt“ beschlossen, in der auch die Revitalisierung von Mooren zum Natur-, Gewässer- und Klimaschutz gefordert wird (BMU 2007). Weiterhin wird dort die **Erarbeitung von Moorentwicklungskonzepten in allen Bundesländern bis 2010** verlangt. Der Freistaat Sachsen sollte baldmöglichst beginnen, ein solches Konzept auszuarbeiten.

11 Verwendete und weiterführende Literatur

- ABRAHAM, V. (2006): Přirozená vegetace a její změny v důsledku kolonizace a lesnického hospodaření v Českém Švýcarsku. Dipl.-Arbeit, Universität Prag, 69 S. & Anl.
- ANTONSON, K. (2006): Holocene Climate in Central and Southern Sweden. Diss. Acta Universitatis Uppsalensis: Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology 168. Uppsala, 38 pp.
- AUTORENKOLLEKTIV (1976): Rekomendacii po rasčëtu isparenija s poverchnosti suši. (Empfehlungen zur Berechnung der Verdunstung von Festlands oberflächen). Gidrometeozdat, Leningrad, 96 S. & Anl.
- AUTORENKOLLEKTIV (2002): Naturraumeinheiten, Landschaftsfunktionen und Leitbilder am Beispiel von Sachsen. Sächsische Akademie der Wissenschaften zu Leipzig
- BADEN, W. & EGGELSMANN, R. (1963): Zur Durchlässigkeit der Moorböden. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung 4, S. 226-254
- BEIER, M. (1986): Hydrogeologisches Übersichtsgutachten – Kreis Marienberg. VEB Hydrogeologie, AS Freiberg
- BEUG, H.-J., HENRION, I. & SCHMÜSER, A. (1999): Landschaftsgeschichte im Hochharz: die Entwicklung der Wälder und Moore seit dem Ende der letzten Eiszeit. Papierflieger Verlag, Clausthal-Zellerfeld, 454 S.
- BfN (2008): Presseinformation: BfN – Symposium „Biodiversität und Klimawandel“, Bonn 3.04.2008
- BMU (2007): Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. BMU – Broschüre, Reihe Umweltpolitik, 178 S.
- BRONSTERT, A. (2005): Einfluß von Landnutzungsänderungen auf den Wasserhaushalt, insbesondere auf die Hochwasserentstehung. Tagungsband zum internat. Symposium „Wasserwirtschaft in der Fläche“ der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, S. 57-64
- CLYMO, R.S. (1992a): Productivity and decomposition of peatland ecosystems. In: Bragg, O.M. et al. (eds.): Peatland ecosystems and man: An impact assessment. Dept. of Biol. Sciences, Univ. of Dundee, S. 3-6
- CLYMO, R.S. (1992b): Models of peat growth. SUO 43, S. 127-136
- CREDNER, H. (1887): Erläuterungen zur geologischen Spezialkarte des Königreiches Sachsen. Section Kühnhaide-Sebastiansberg (Bl. 5445, Mtbl. 5445). Leipzig
- DITTRICH, I., EDOM, F. & DIENEMANN, K. (2004): Kritische Würdigung des Abschlußberichtes „Analyse der Auswirkungen regulierender Eingriffe in den Wasser- und Stoffhaushalt von Moor-Anmoor-Komplexen im Erzgebirge am Beispiel des Einzugsgebietes der Trinkwassersperrle Carlsefeld“, vorgelegt von Doz. Dr. habil. K. Grunewald, Dipl.-Geogr. A.K. Böhme & Dipl.-Geogr. J. Scheithauer, TU Dresden, Institut für Geographie, Januar 2004, erarbeitet im Auftrag der Landeswassersperrleverwaltung des Freistaates Sachsen. Im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie. Dr. Dittrich & Partner Hydro-Consult GmbH, Bannewitz & HYDROTELM Frank Edom, Dresden, 45 S.
- DITTRICH, I., EDOM, F. & GOLDBACKER, S. (2004a): Hydrologisches Gutachten für die wasserrechtliche Genehmigung von Entwicklungsmaßnahmen zur Revitalisierung des Mooregebietes Löffelsbach. Im Auftrag des Staatlichen Umweltfachamtes Chemnitz. Dr. Dittrich & Partner Hydro-Consult GmbH, Bannewitz & HYDROTELM Frank Edom, Dresden, 18 S., Anlage & Anh.
- DITTRICH, I., EDOM, F. & GOLDBACKER, S. (2004b): Hydrologisches Gutachten für die wasserrechtliche Genehmigung von Entwicklungsmaßnahmen zur Revitalisierung des Tuchermoores. Im Auftrag des Staatlichen Umweltfachamtes Chemnitz. Dr. Dittrich & Partner Hydro-Consult GmbH, Bannewitz & HYDROTELM Frank Edom, Dresden
- DITTRICH, I., EDOM, F., KESSLER, K., WENDEL, D., LANDGRAF, K. & GLASER, T. (2007a): FFH-Managementplan SCI DE 5445-303 „Moore und Moorwälder bei Satzung“. Zwischenbericht zum MaP. Im Auftrag des Regierungspräsidiums Chemnitz, Umweltfachbereich. Dr. Dittrich & Partner Hydro-Consult GmbH, Bannewitz & HYDROTELM Frank Edom, Dresden, 106 S. & Anl.

- DYCK, S. (Hrsg., 1978): Angewandte Hydrologie. Teil 2. 2. Aufl., Verlag für Bauwesen, Berlin, 544 S.
- DYCK, S. & PESCHKE, G. (1995): Grundlagen der Hydrologie. 3. Aufl., Verlag für Bauwesen, Berlin
- EDOM, F. (1991): Untersuchungen zum Wasserhaushalt des Naturschutzgebietes Mothäuser Heide als Beitrag zur Kenntnis gefährdeter Moorökosysteme des Erzgebirges. Dipl.-Arbeit TU Dresden, Abt. Wasserwesen, 87 S. & Anl.
- EDOM, F. (1995): Hydrologisch-klimatische Grundlagen der Verdunstungsminimierung und Schutzzonenausweisung für vorpommersche Regenmoorrelikte (dargestellt am Beispiel des Grenztalmoores). In: GREMER, D. & EDOM, F. (1995): Regenmoorschutzprogramm Mecklenburg-Vorpommern. Entwicklungskonzept Grenztalmoor. Bericht 1995. Botan. Institut der Univ. Greifswald im Auftr. des Ministeriums für Landwirtschaft und Naturschutz des Landes Mecklenburg-Vorpommern in Schwerin, S. 2-17 & 2 Anl.
- EDOM, F. (2000): Zur hydrogenetischen Interpretation von Bohrung 12 im NSG „Mothäuser Heide“. Im Auftr. des Inst. f. Allg. Ökologie und Umweltschutz der TU Dresden. Tharandt, 7 S. & Anl.
- EDOM, F. (2001): Moorlandschaften aus hydrologischer Sicht. Kapitel 5 in Succow & Joosten (2001), S. 185-228
- EDOM, F. & GOLUBCOV, A.A. (1996a): Prognose einer potentiell-natürlichen Ökotopezonierung für Mittelgebirgsregenmoore durch Berechnung hydrologischer Parameter. Festschrift zum Ehrenkolloquium „Wasser im System Boden - Pflanze - Atmosphäre“ zum 60. Geburtstag von Prof. G. Peschke, Internationales Hochschulinstitut Zittau. IHI-Schriften 2 (1996), S. 103-111
- EDOM, F. & GOLUBCOV, A.A. (1996b): Zum Zusammenhang von Akrotelmeigenschaften und einer potentiell natürlichen Ökotopezonierung in Mittelgebirgsregenmooren. Verhandl. der Gesellschaft für Ökologie 26, Stuttgart, S. 221-228
- EDOM, F. & WENDEL, D. (1998): Grundlagen zu Schutzkonzepten für Hang-Regenmoore des Erzgebirges. Schriftenreihe der Sächsischen Akademie für Natur und Umwelt in der Sächsischen Landesstiftung für Natur und Umwelt, Dresden, Heft 3: Ökologie und Schutz der Hochmoore im Erzgebirge, S. 31-77
- EDOM, F., SOLBRIG, B. & STEGMANN, H. (2002): Die Moore des böhmischen und sächsischen Elbsandsteingebirges. Teil 1: Hydrogeologische und klimatische Einbettung, hydromorphologische Struktur. (Ergebnisbericht 2002/1). Im Auftrag des Nationalparks Sächsische Schweiz. Dresden, 58 S., 18 Karten & 20 Anl.
- EDOM, F., CHMIELESKI, J. & STEGMANN, H. (2003): Die Moore des böhmischen und sächsischen Elbsandsteingebirges. Teil 3: Hydrogenese ausgewählter ostelbischer Moore sowie von Rajecke rašelinište 1. (Ergebnisbericht 2003). Im Auftrag des Nationalparks Sächsische Schweiz. Dresden, 31 S. & 20 Anl.
- EDOM, F., DITTRICH, I., KESSLER, K. & GOLDACKER, S. (2005): Hydrologisches Gutachten für die wasserrechtliche Genehmigung von Maßnahmen zur Wiedervernässung des Moorgebietes „Große Säure“. Im Auftrag des Regierungspräsidiums Chemnitz, Umweltfachbereich. Dr. Dittrich & Partner Hydro-Consult GmbH, Bannewitz & HYDROTELM Frank Edom, Dresden, 33 S. & 16 Anl.
- EDOM, F. & KESSLER, K. (2006): Hydrologische Auswirkungen der Görkauer Straße auf das FFH-Gebiet „Mothäuser Haide“. HYDROTELM Frank Edom, Dresden & Dr. Dittrich & Partner Hydro-Consult GmbH, Bannewitz, 46 S. & 14 Anl.
- EDOM, F., KESSLER, K. & DITTRICH, I. (2006): Hydrologisches und moorkundliches Gutachten für die wasserrechtliche Genehmigung von Maßnahmen zur Wiedervernässung der Großen Brauckmann-Haide am Steinbach (Landkreis Aue-Schwarzenberg). Im Auftrag des Regierungspräsidiums Chemnitz, Umweltfachbereich. Dr. Dittrich & Partner Hydro-Consult GmbH, Bannewitz & HYDROTELM Frank Edom, Dresden, 33 S. & 14 Anl.
- EDOM, F., DITTRICH, I., KESSLER, K., GOLDACKER, S., WAGNER, M. & GOLUBCOV, A.A. (2007a): Ökohydrologische Modellbildung auf der Grundlage von IVANOV's hydromorphologischer Theorie und Anwendungen im praktischen Naturschutz. Dresdener Schriften zur Hydrologie 5, S. 90-98
- EDOM, F., DITTRICH, I., GOLDACKER, S. & KESSLER, K. (2007b): Die hydromorphologisch begründete Planung der Moorrevitalisierung im Erzgebirge. In: Praktischer Moorschutz im Naturpark Erzgebirge/Vogtland und Beispiele aus anderen Gebirgsregionen – Methoden, Probleme, Ausblick. Schriftenreihe der Sächsischen Landesstiftung für Natur und Umwelt, Dresden, Heft 1/2007, S. 19-32
- EDOM, F., GOLUBCOV, A.A., DITTRICH, I., ZINKE, P. & SOLBRIG, B. (2007c): Using IVANOV's hydromorphological theory in mire-ecology – An introduction. In: Wetlands: Monitoring, Modelling, Management. Proceedings of the EU-conference about wetland-hydrology in Wierzba-Poland. Taylor & Francis Group, London, pp. 239-247
- EDOM, F., SCHLÖFFEL, M., MICHAELIS, D. & STEGMANN, H. (2007d): Erkundung zur Torfschichtung und den Moorböden im Schindelgesäuse/ Vogtland. Im Auftrag von Dipl.-Ing. R. Uhlmann, Chemnitz. HYDROTELM Frank Edom, Dresden, 17 S. & Anl.

- EDOM, F., DITTRICH, I., KESSLER, K., MÜNCH, A., PETERS, R., THEUERKAUF, M. & WENDEL, D. (2008): Auswirkungen des Klimawandels auf wasserabhängige Ökosysteme. Teilprojekt Erzgebirgsmoore. Im Auftrag des LfUG. Dr. Dittrich & Partner Hydro-Consult GmbH, Bannewitz, HYDROTELM Frank Edom, Dresden & DUENE e.V. Greifwald, 91 S., 22 Anl. & 3 Anh.
- FERDA, J. & PASAK, V. (1969): Hydrologická a klimatická funkce československých rašelinišť. (Hydrologische und klimatische Funktion tschechoslowakischer Moore). Vyzkumny ustav melioracii, Zbraslav n. Vlt., 358 S. & Anl.
- FLEMMING, G. (1982): Concerning the valuation and preparation of meteorological input data, especially of precipitation. *Journal of Hydrological Sciences* 2 (1-4), pp. 47-56
- FLEMMING, G. (1983): Verbesserung der Niederschlagsdaten im Saldenbachgebiet. Wissenschaftsbereich Hydrologie und Meteorologie der Technischen Universität Dresden
- FLEMMING, G. (2001): Angewandte Klimatologie von Sachsen. Tharandter Klimaprotokolle Bd. 4, 154 S.
- FOJT, W. (1970): Die Nebelverhältnisse der Bezirke Dresden, Karl-Marx-Stadt und Leipzig. *Abh. Meteor. Dienst DDR*, Bd. 13, Nr. 100, S. 59-79
- GALKINA, E.A. (1946): Bolotnye landšafy i prinzipy ich klassifikacii. (Moorlandschaften und die Prinzipien ihrer Klassifikation). *Cbornik naučnych rabot Botanič. Instituta Akademii Nauk SSSR, vpolnennych v period Velikoj Otečestvennoj Vojny 1941-1943 gg.* Leningrad
- GALKINA, E.A. (1959): Bolotnye landšafy Karelii i prinzipy ich klassifikacii. (Moorlandschaften Kareliens und die Prinzipien ihrer Klassifikation). *Trydy Karelskogo Filiala Akademii Nauk SSSR 15: Torfjanye bolota karelii.* Petrozavodsk, S. 3-48
- GLASER, R. (2001): *Klimageschichte Mitteleuropas.* Primus Verlag
- GOLF, W. (1981): Prinzipien der Bilanzierung des Wasserhaushalts mit einem Anwendungsbeispiel in der Mittelgebirgsregion der DDR. *Habil.-Schrift, Fakultät für Bau-, Wasser- und Forstwesen der Technischen Universität Dresden*
- GOLF, W. & LUCKNER, K. (1991): AKWA – ein Modell zur Berechnung aktueller Wasserhaushaltsbilanzen kleiner Einzugsgebiete im Erzgebirge. *Acta Hydrophysica* 32 (1), S. 5-20
- GOLF, W., LUCKNER, K. & MÜNCH, A. (1993): Berechnung der Waldverdunstung im Wasserhaushaltsmodell AKWA. *Meteorologische Zeitschrift* 2 (3), S. 99-107
- GROSSE-BRAUCKMANN, G. (1997): Moore und Moor-Naturschutzgebiete in Deutschland - eine Bestandsaufnahme. *TELMA* 27, S. 183-215
- GRUNOW, J. (1964): Weltweite Messungen des Nebelniederschlags nach der Hohenpeißenberger Methode. *Publ. Ass. Int. Sc. Hydr. No. 65*, S. 324-342
- GUNNARSSON, U. (2005): Global patterns of Sphagnum productivity. *Journal of Bryology*, Vol. 27, pp. 269-279
- HAUPT, A. & UHLMANN, R. (2004): Moore im Naturpark Erzgebirge/ Vogtland. *Naturpark-Spezial H. 6, Naturpark Erzg./Vogtl. Schlettau*, 31 S.
- IPCC (2001) / B. METZ, O. DAVIDSON, R. SWART & J. PAN (HRSG.): *Mitigation. Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge, New York, Oakleigh, Madrid, Cape Town: Cambridge University Press
- INGRAM, H.A.P. (1978): Soil layers in mires: Function and terminology. *J. Soil Sci.* 29, S. 224-227
- IVANOV, K.E. (1953): *Gidrologija bolot (Hydrologie der Moore).* Gidrometeoizdat, Leningrad
- IVANOV, K.E. (1975): *Vodoobmen v bolotnych landšaftach (Wasseraustausch in Moorlandschaften).* Gidrometeoizdat, Leningrad
- IVANOV, K.E. (1988): Trofnost' sredy obitanija rastitel'nogo pokrova bolot i gidro-geografičeskij metod ocenki nekotorych ej pokazatelej (Die Trophie der Wachstumsumgebung der Moorpflanzendecke und eine hydrogeographische Bewertungsmethode einiger ihrer Merkmale). *Trudy GGI, Gidrometeoizdat, Leningrad*, S. 3-22
- IVANOV, K.E. & NOVIKOV, S.M. (1976): *Bolota Zapadnoj Sibiri, ich stroenie i gidrologičeskij režim (Moore Westsibiriens, ihr Aufbau und ihr hydrologisches Regime).* Gidrometeoizdat, Leningrad
- JANSSON, P.E. & KARLSBERG, L. (2001): *Coupled heat and mass transfer model for soil-plant-atmosphere systems. COUPMODEL-Manual.* Royal Institute of Technology, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Stockholm
- JOOSTEN, H. (1993): Denken wie ein Hochmoor: Hydrologische Selbstregulation von Hochmooren und deren Bedeutung für Wiedervernässung und Restauration. *TELMA* 23, Hannover, S. 95-116
- JUNGHANS, H. (1974): Normale Monate und Jahre von Temperatur und Niederschlag. *Zeitschrift für Meteorologie*, Band 24, Heft 3-8, S. 232-242
- KALJUŽNYJ, I.L. (1974): *Isparenie s bolotnych massivov rasličnich bolotnych provincij SSSR.* Trudy GGI 222, S. 21-57
- KALJUŽNYJ, I.L., PAVLOVA, K.K., LAVROV, S.A. (1988): *Gidrofizičeskie issledovanija pri melioracii pereuvlažnennyh zemel' (Hydrophysikalische Untersuchungen bei der Melioration von Naßböden).* Gidrometeoizdat, Leningrad

- KARST, H., KÖHLER, S. & KATZSCHNER, W. (1979): Erläuterungen zur Standortskarte des Staatlichen Forstwirtschaftsbetriebes Marienberg. VEB Forstprojektion Potsdam, Betriebsteil Dresden
- KARST, H. (1988): Legende zu den Standortskarten des Staatlichen Forstwirtschaftsbetriebes Marienberg. VEB Forstprojektion Potsdam, Betriebsteil Dresden
- KÄSTNER, M. & FLÖSSNER, W. (1933): Die Pflanzengesellschaften der erzgebirgischen Moore. Verlag des Landesvereins Sächsischer Heimatschutz, Dresden, 206 S.
- KLEEBERG, H.-B., MAUSER, W., PESCHKE, G. & STREIT, U. (Hrsg., 1999): Hydrologie und Regionalisierung – Ergebnisse eines Schwerpunktprogramms (1992 bis 1998), Forschungsbericht, Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG). Wiley-VCH, Weinheim
- KLEMEŠ, V. (2001): Chapter 6 - Climate Change and Impact. In: Common Sense and other Heresies – Selected Papers on Hydrology and Water Resources Engineering. Ed.: C.D. SELLARS. Canadian Water Resources Association, Ontario, Canada.
- KÖNIG, J. (2006): Röntgendensitrometrisch multivariate Analysenmethode zur dendrochronologischen Auswertung bisher nicht datierbarer Holzproben der Baumart Fichte (*Picea abies* [L.] Karst.). Fakultät Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften, Techn. Univers. Dresden, Dissertation, 244 Seiten
- KÜCHLER, W. & Sommer, W. (2005): Klimawandel in Sachsen – Sachstand und Ausblick. Geschäftsbereich des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft (Hrsg.), Dresden, 111 S.
- KUNEŠ, P., POKORNÝ, P. & ABRAHAM, V. (2005): Rekonstrukce přirozené vegetace pískovcových skal NP České Švýcarsko a přilehlého pískovcového území formou pylových analýz, závěrečná zpráva projektu VaV/620/7/03 depon. In: katedra botaniky PŘFUK a MŽP.
- KÜSTER, H. (1999): Geschichte der Landschaft in Mitteleuropa. Verlag C.H.Beck, München
- LANGE, E., CHRISTL, A. & JOOSTEN, H. (2005): Ein Pollendiagramm aus der Mothäuser Heide im oberen Erzgebirge unweit des Grenzüberganges Reitzenhain. Beiträge zur Frühgeschichte und zum Mittelalter Thüringens 2, Sonderdruck, Beier & Beran. Archäologische Fachliteratur Langenweisbach, S. 153-169
- LIŠTVAN, I.I., BASIN, E.T. & KOSOV, V.I. (1985): Fizičeskie svojstva torfa i torfjanych zalezěj. Minsk (Nauka i tehnika)
- MÜLLER, G. & MÜNCH, A. (2002): Landnutzungsänderung und Wasserbilanz – Modellierung des Wasserhaushaltes mit dem Modell AKWA-M. Wiener Mitteilungen Wasser-Abwasser-Gewässer, Band 164, S. 7-17
- MÜNCH, A. (1994): Wasserhaushaltsberechnungen für Mittelgebirgseinzugsgebiete unter Berücksichtigung einer sich ändernden Landnutzung. Fakultät Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften, Techn. Univers. Dresden, Dissertation
- MÜNCH, A. & DITTRICH, I. (2001): Der Wasserhaushalt eines Hunsrück-Moores, simuliert mit dem Modell AKWA-M[®]. TELMA, Bd. 31, S. 211-220
- MÜNCH, A. (2007): Wasserhaushalts- und Niederschlags-Abfluß-Modell AKWA-M[®]. Anwenderhandbuch und Dokumentation, Version 4.6. Dr. Dittrich & Partner Hydro-Consult GmbH, Bannewitz
- MÜNCH, A., DITTRICH, I., GOLDACKER, S. & WAHREN, A. (2005): Hochwasserminderung und Wasserhaushaltsänderung durch Aufforstung und Waldumbau in den Einzugsgebieten des Osterzgebirges. Im Auftrag der Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen. Dr. Dittrich & Partner Hydro-Consult GmbH, Bannewitz
- NEBE, W. (1964): Die chemische Zusammensetzung der wichtigsten Grundgesteine Sachsens als Grundlage für eine Beurteilung der Nährstoffverhältnisse in Waldböden. Jb. Staatl. Mus. Mineral. u. Geol. Dresden, S. 351-386
- PJAVČENKO, N.I. (1963): Lesnoje Bolotovedenie (Wald-Moorkunde). Isdat. Akademii Nauk SSSR, Moskva, 185 S.
- POKORNÝ, P. & KUNEŠ, P. (2005): Holocene acidification process recorded in three pollen profiles from Czech sandstone and river terrace environments. Ferrantia Vol. 44, pp. 101-107
- RAUBER, C. (2002): Stability of raised bogs to climatic changes - a case study. Dissertation, Lehrstuhl für Vegetationsökologie der Techn. Univers. München. In: Berichte aus der Geowissenschaft. Shaker Verlag, Aachen
- OVERBECK, F. (1975): Botanisch-geologische Moorkunde. Wachholtz-Verlag, Münster, 720 S.
- PÄIVÄNEN, J. (1973): Hydraulic conductivity and water retention in peat soils. Acta forestalia fennica 129, S. 5-68
- ROMANOV, V.V. (1961): Gidrofizika bolot. Gidrometeoizdat, Leningrad, 358 S.
- RUDOLPH, K. & FIRBAS, F. (1924): Die Hochmoore des Erzgebirges. Beih. z. Bot. Zentralblatt, Bd. 41, Abt. II
- RYCROFT, D.W., WILLIAMS, D.J.A. & INGRAM, H.A.P. (1975a): The transmission of water through peat. Review. Journal of Ecology 63, S. 535-556
- RYCROFT, D.W., WILLIAMS, D.J.A. & INGRAM, H.A.P. (1975b): The transmission of water through peat. Field experiments. Journal of Ecology 63, S. 557-568

- SCHAAF, S. VAN DER (1996): Acrotelm conditions in two Irish Midland raised bogs as affected by surface slope and superficial drainage. Proc. 10th Intern. Peat Congr. Bremen, Schweizerbart, Stuttgart, Vol. 2, S. 121-127
- SCHAAF, S. VAN DER (2005): Wie schnell fließt Wasser aus einem Hochmoor? – Eine alte Diskussion wiederbetrachtet. TELMA Bd. 35, S. 61-70
- SCHINDLER, T., WENDEL, D., LANDGRAF, K., RICHTER, F., SCHIMKAT, J., LORENZ, J., STOLZENBURG, U., EDOM, F., BAUMANN, M., MÜLLER, F., GRASSELLT, A., WENDT, U. (2008): FFH-Managementplan SCI DE 5345-302 „Mothhäuser Heide“. Entwurf des Abschlussberichtes zum MaP. Im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie, Freiberg
- SCHLEICH, N.C. (2006): Tiefenverteilung von Radionukliden in Fichtenwald- und Hochmoorböden. Dissertation, TU Bergakademie Freiberg, 215 S. & Anl.
- SCHLÖFFEL, M. (2007): Die postglaziale Waldgeschichte der Lehmheide. Rekonstruktion spät- und postglazialer Umweltbedingungen an einem Torfprofil aus dem Erzgebirge. Diplomarbeit, Inst. für Geographie, Techn. Univers. Dresden
- SCHLUMPRECHT, H., LAUBE, J., SCHNEIDER, P. & LÖSER, R. (2006): Auswirkungen des Klimawandels auf wasserabhängige Ökosysteme. Im Auftrag des Sächs. Landesamtes für Umwelt und Geologie. Büro für ökologische Studien GdbR, Chemnitz und CuE GmbH Chemnitz
- SCHMIDT, P.A., EDOM, F., GOLOMBEK, E. & GOLUBCOV, A. (1993): Erarbeitung wissenschaftlicher Grundlagen zum Ökosystemverhalten geschützter und unterschiedlich genutzter Erzgebirgsmoore sowie Ableitung von Schutzkonzepten bzw. Grundsätzen einer ökologisch ausgerichteten Bewirtschaftung. Projektbericht der TU Dresden, Inst. f. Allg. Ökologie u. Umweltschutz an die BFANL, 136 S. & Anlage
- SCHMIDT, P.A., HEMPEL, W., DENNER, M., DÖRING, N., GNÜCHTEL, A., WALTER, B. & WENDEL, D. (2002): Potentielle Natürliche Vegetation Sachsens mit Karte 1 : 200.000. In: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hrsg.) - Materialien zu Naturschutz und Landschaftspflege, Dresden
- SCHMIDT, P.A., HEMPEL, W., DENNER, M., DÖRING, N., GNÜCHTEL, A., GROßER, K.-H., JENEMANN, K., WALTER, B. & WENDEL, D. (2003): Digitale Fachdaten zur Potentiellen Natürlichen Vegetation Sachsens. In: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hrsg.) - Materialien zu Naturschutz und Landschaftspflege, Dresden
- SCHNEEBELI, M. (1991): Hydrologie und Dynamik der Hochmoorentwicklung. Dissertation, ETH Zürich, Nr. 9366
- SCHWARZE, R. & DRÖGE, W. (1998): Regionalisierung von Abflußkomponenten, Verweilzeiten und Umsatzräumen für kleine Mittelgebirgseinzugsgebiete. Endbericht Schwerpunktprogramm „Regionalisierung in der Hydrologie“, Techn. Univers. Dresden, Institut für Hydrologie und Meteorologie
- SIRIN, A.A., SHUMOV, D.B. & VLASOVA, L.S. (1997): Investigation of Bog Water Circulation Using ³H Analysis Data. Water Resources 24, pp. 625-633
- SLOBODDA, S. (1987): Pflanzengemeinschaften und ihre Umwelt. 2. Aufl., Urania, Leipzig, Jena, Berlin, 254 S.
- SLOBODDA, S. (1998): Entstehung, Nutzungsgeschichte, Pflege- und Entwicklungsgrundsätze für erzgebirgische Moore. Schriftenreihe der Sächsischen Akademie für Natur und Umwelt in der Sächsischen Landesstiftung für Natur und Umwelt, Dresden, Heft 3: Ökologie und Schutz der Hochmoore im Erzgebirge, S. 10-30
- SPEKAT, A., ENKE, W. & KREIENKAMP, F. (2006): Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für den Freistaat Sachsen und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die Szenarios B1, A1B und A2 (WEREX IV). Im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie. CEC GmbH, Potsdam
- STEGMANN, H., EDOM, F. & KOSKA, I. (2001a): Bodenkundliche Betrachtung von Mooren. In: SUCCOW, M. & JOOSTEN, H. (2001), S. 41-42
- STEGMANN, H., EDOM, F. & KOSKA, I. (2001b): Bodenbildende Prozesse wachsender Moore. In: SUCCOW, M. & JOOSTEN, H. (2001), S. 42-49
- SUCCOW, M. (1988): Landschaftsökologische Moorkunde. Gustav Fischer Verlag, Jena, 340 S.
- SUCCOW, M. & JOOSTEN, H. (Hrsg., 2001): Landschaftsökologische Moorkunde. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung Stuttgart, 2. Aufl., 622 S.
- SUCCOW, M. & EDOM, F. (2001): Regenmoore (Genese). Kap. 7.8 in SUCCOW, M. & JOOSTEN, H. (2001), S. 391-398
- THEUERKAUF, M., JOOSTEN, H., HABERL, A. & WULF, K. (2007a): Holozäner Vegetationswandel im Einzugsgebiet der Mothhäuser Haide/ Erzgebirge. DUENE e.V. Greifswald im Auftrag von Dr. Dittrich und Partner Hydro-Consult GmbH, 56 S. & 1 Anl.
- THEUERKAUF, M. (2007b): Großrestdiagramm Mothhäuser Haide. Ergänzung zum Bericht THEUERKAUF et al. (2007a), 4 S.
- WAGNER, M. (2005): Ableitung und Diskussion einer hydromorphologischen Impulsantwortfunktion zur Beschreibung des Abflußverhaltens naturnaher Mittelgebirgsmoore. Diplomarbeit, TU-Dresden

- WENDEL, D. (2007): Vegetationsparameter von Mothhäuser Haide, Kolbemoor und Bärenlochhaide einschließlich der Einzugsgebiete dieser Moore. Im Auftrag von Dr. Dittrich & Partner Hydro-Consult GmbH. Tharandt, 23 S.
- ZEITZ, J. (2001): Physikalisch-hydrologische Kennzeichnung. Kap. 3.4 in Succow, M. & Joosten, H. (2001): S. 85-92
- ZINKE, P. & EDOM, F. (2006): Hydraulische und hydrologische Erklärung von Ökotoptstrukturen am Regenmoor Kriegswiese im mittleren Erzgebirge. Archiv Naturschutz & Landschaftsforschung 45 (2), S. 43-60

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Telefon: + 49 351 2612-0
Telefax: + 49 351 2612-1099
E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de
www.smul.sachsen.de/lfulg

Autoren:

Frank Edom (HYDROTELM Dresden), Dr. rer. nat. Ingo Dittrich, Karin Keßler, Dr. rer. nat. Albrecht Münch, Dr. rer. nat. Ronny Peters (Dr. Dittrich & Partner Hydro-Consult GmbH Bannewitz), Martin Theuerkauf (DUENE e.V. Greifswald), Dirk Wendel (Tharandt)

Ansprechpartner:

Frank Edom
HYDROTELM Dresden
Naundorfer Str. 18, 01139 Dresden
Telefon: + 49 351 8567176
E-Mail: frank.edom@t-online.de

Redaktion:

Abteilung Naturschutz, Landschaftspflege/Referat Landschaftsökologie
Dr. Maik Denner, Dr. habil. Siegfried Slobodda
Halsbrücker Str. 31a, 09599 Freiberg
Telefon: + 49 3731 294-280
Telefax: + 49 3731 22918
E-Mail: maik.denner@smul.sachsen.de

Foto Titelseite: Dirk Wendel

Das Foto aus dem nördlichen Teil der Mothhäuser Haide zeigt vor dem Hintergrund eines Fichtenmoorwaldes (auf entwässertem Hochmoorkern) einen breiten, verlandeten Graben mit Torfmoos-Seggenried. Bei den Personen handelt es sich um Frank Edom (links) und Dr. habil. Siegfried Slobodda.

Redaktionsschluss:

31.01.2011

ISSN:

1867-2868

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei unter <http://www.smul.sachsen.de/lfulg/6447.htm> heruntergeladen werden.

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.