

TELMA	Band 36	Seite 71 - 94	6 Abb., 6 Tab.	Hannover, November 2006
-------	---------	---------------	----------------	-------------------------

Schwarzerlenbestockung in wiedervernässten Flusstalmooren Mecklenburg-Vorpommerns: Wasserverbrauch und hydrologische Standorteignung

Black alder afforestation of rewetted fens in river floodplains of Mecklenburg-Vorpommern: Water consumption and hydrological site suitability

RALF DANNOWSKI und OTTFRIED DIETRICH

Zusammenfassung

Eine Literaturlauswertung und eigene Modellrechnungen führten zu der begründeten Einschätzung, dass Erlenbestände in wiedervernässten Niedermooren in der Jahressumme und bei vergleichbaren Wasserständen kaum mehr Wasser verbrauchen als intensiv genutztes Grasland. Hauptgrund dafür ist der mäßige Blattflächenindex ($LAI \leq 5$) der Schwarzerle. Damit besteht ein Zusatzwasserbedarf von 180 bis 220 mm/a, der den Flächen aus Zuflüssen des ober- und unterirdischen Einzugsgebietes bereitstehen muss.

Mit dem erprobten und bewährten Wasserbilanz-Grundwasserstand-Modell WABI wurden Szenariorechnungen zu unterschiedlichen klimatischen Verhältnissen (mittleres Jahr, Trockenjahr) für die Niedermoorflächen eines 855 ha umfassenden repräsentativen Talmoorausschnitts an der mittleren Trebel durchgeführt. Moorschonender Erlenanbau erscheint möglich in flussparallelen Streifen, die zwischen den häufig überstauten Feuchflächen in Flussnähe und den trockeneren Standorten an den Talrändern liegen.

Abstract

Based on literature and own model calculations, the assessment was substantiated that, in the annual sum and at comparable water levels, groves of black alder within rewetted fen lowlands will hardly consume more water than intensified grasslands. The main reason was found in the moderate leaf area index ($LAI \leq 5$) of this deciduous tree species. Thus, an annual surplus of 180 to 220 mm of water is required to be charged to those areas from ground and surface water resources of the catchment.

Scenario calculations were performed for different climatic conditions (mean vs. dry year) by means of a proved and tested water balance/groundwater table model (WABI) for the fen area of a representative 855 ha clipping from the middle Trebel river floodplain. Peat conserving alder cultivation appears feasible in sections midway along the river, between the often inundated wetland sites beneath the river and the dryer sites along the edges of the valley.

1. Einleitung

Wiedervernässte Niedermoore Nordostdeutschlands müssen nach Aufgabe ihrer früheren Grünlandnutzung nicht alternativlos im Rahmen von Schutzprogrammen (vgl. UM-MV 2000) einer Renaturierung zugeführt werden. Vielmehr gewinnen umweltverträgliche Nutzungsformen an Bedeutung (WICHTMANN & KOPPISCH 1998). Eine der bereits untersuchten Nutzungsalternativen auf wiedervernässten Niedermoorstandorten ist der Anbau von Schilf zur stofflichen Verwertung, auch unter Einsatz von gereinigtem Abwasser (SUCCOW & HAMPICKE 2004). Jetzt untersuchte der interdisziplinäre Forschungsverbund ALNUS den Anbau von Schwarzerlen (*Alnus glutinosa* [L.] GAERTN.) auf Niedermoorstandorten zur Wertholzerzeugung.

Ein Problem vieler Wiedervernässungsvorhaben ist unter den hydroklimatischen Bedingungen Nordostdeutschlands mit mittleren Gesamtabflusshöhen von 80 bis 150 mm/a die mangelnde Wasserverfügbarkeit, d. h. die Diskrepanz zwischen dem hohen Wasserbedarf der Niedermoorstandorte und dem begrenzten Wasserdargebot. Der Wasserbedarf ergibt sich aus Transpiration und Interzeption der Vegetation sowie der Evaporation von vegetationslosen Flächen. Er wird aus dem Wasserdargebot aus Niederschlag und zuströmendem Grund- und/oder Oberflächenwasser gedeckt. Unzureichende Deckung des Wasserbedarfs in der Vegetationsperiode führt zur Ausschöpfung des Bodenspeichers und zum Absinken des (Grund-)Wasserstandes. Neben dem insgesamt geringen Wasserdargebot lassen sich auch die jahreszeitlichen Schwankungen von Wasserüberschuss im Herbst/Winter und Wassermangel in der Vegetationsperiode kaum ausgleichen. Wenn nicht auf den Niedermoorflächen selbst Wasser zurückgehalten werden kann (DIETRICH et al. 1996a), fehlt es in den Tieflandeinzugsgebieten meist an Speichermöglichkeiten.

Bei der früheren intensiven Grünlandnutzung mit drei Schnitten, für die die vorhandenen kulturtechnischen Anlagen bemessen sind, war von einer Evapotranspiration von 550 bis 700 mm/a, vergleichbar mit der Höhe der Gras-Referenzverdunstung, auszugehen (MUNDEL 1982). Das bedeutete einen Zusatzwasserbedarf von 150 bis 210 mm von Mai bis September (TGL 42812/07). Besonders kritisch stellt sich die Wasserhaushaltssituation dar, wenn die Wiedervernässung unter Anwendung von Flächenüberstau oder -überrieselung zur Etablierung und Nutzung von Schilf führen soll (DIETRICH et al. 2001). Die Evapotranspiration der so wiedervernässten Standorte kann in einzelnen Jahren mit mehr als 1.100 mm je Vegetationsperiode das 1,8-Fache der Gras-Referenzverdunstung übersteigen (DANNOWSKI et al. 2000, BEHRENDT et al. 2000, DANNOWSKI & BALLA 2004). Für eine alternative Nutzung der Niedermoorstandorte durch Anbau von Erlen stellt sich die Frage, wo zwischen intensiv genutztem Grünland und Schilf der Wasserbedarf der Erle einzuordnen ist.

Entscheidende Bedeutung für Transpiration und Interzeption eines Baumbestandes hat der Blattflächenindex (*LAI*). Angaben zum Blattflächenindex für Laubwald liegen meist

in einer breiten Spanne von 2 bis 8. Werte bis $LAI = 5$ werden als gering bis mäßig eingestuft. ESCHENBACH et al. (1996) führten am Beispiel eines 53 Jahre alten, 18 m hohen Bestandes am Belauer See in Schleswig-Holstein umfangreiche Arbeiten zur Transpiration der Schwarzerle durch. Dabei fanden sie das Blattflächenmaximum im August 1992 mit $LAI = 4,6$. Auch ENDE (2001) bestimmte im Juli 2000 für Erlenbestände unterschiedlichen Alters in der Wald-Lewitz (Westmecklenburg) Blattflächenindizes im Bereich 2 bis 4,2 und konnte diese Spanne durch weitere Literaturangaben (HERBST et al. 1999, JOHANSSON 1999) belegen. Darüber hinaus zeigte sich eine deutliche Tendenz zur Abnahme des mittleren Blattflächenindex mit zunehmendem Bestandesalter.

Die Transpirationmessungen von ESCHENBACH et al. (1996) ergaben für einen Strahlungstag 3,87 mm/d, für wolkiges Wetter 2,66 mm/d und für bedeckten Himmel 0,35 mm/d. ROBERTS (2001) bezifferte die Größenordnung des Wasserverbrauchs der Bodenvegetation mit 30 bis 50 % der Transpiration des Baumbestandes. Für die Interzeption gab er bei Laubwald 15 bis 20 % des Niederschlags an. Offen bleibt, wie der Wasserverbrauch innerjährlich schwankt und welche Konsequenzen Zeiten eingeschränkter Wasserverfügbarkeit für den Grundwasserstand haben.

Anforderungen an die Minderung des oxidativen Torfverzehr limitieren den zulässigen Grundwasserschwankungsbereich und sind damit eine wichtige Zielgröße bei der Untersuchung der Standorteignung für den Erlenanbau auf Niedermoor. Für moorschonende Wirtschaftsweisen bei gutem Holzzuwachs gelten Wasserstandsverläufe entsprechend den Wasserstufen 4+ bis 3+ nach SUCCOW & KOSKA (2001) bzw. den forstökologischen Feuchtestufen O2 bis O3 nach KOPP & SCHWANECKE (1994) als optimal (SCHÄFER & JOOSTEN 2005). Das bedeutet mittlere GW-Stände (Jahr) von 0 bis 0,45 m unter Flur bei mittleren Höchstständen (Winter/Frühjahr) zwischen 0,15 m über und 0,40 m unter Flur und mittleren Tiefstständen (Sommer/Herbst) zwischen 0,05 und 0,90 m unter Flur.

Der zur Gewährleistung dieser Zielgrundwasserstände zu deckende Zusatzwasserbedarf war in seiner zeitlichen Verteilung nicht bekannt. Daraus leitete sich die Aufgabe ab, den Wasserbedarf von Niedermoor-Feuchtgebieten mit Erlenbeständen weiter zu untersetzen. Auf dieser Grundlage waren dann gebietshydrologische Modellrechnungen zu den Möglichkeiten des moorschonenden Erlenanbaus am Beispiel eines repräsentativen Talmoorausschnitts in Mecklenburg-Vorpommern durchzuführen.

2. Methodik

2.1 Modellkonzept

Für die Modelluntersuchungen stand das Wasserbilanzmodell WABI (DIETRICH et al. 1996, 2006) zur Verfügung. In der hier angewendeten Version wurde es bereits mehrfach in Niedermoorgebieten Nordostdeutschlands (Friedländer Große Wiese, Rhinluch, Drömling) erprobt und eingesetzt (DIETRICH et al. 1996a, 1999, 2001, STEIDL et al. 2002).

Die Berechnung der Flächenwasserbilanz erfolgt in WABI auf der Grundlage der allgemeinen Wasserhaushaltsgleichung

$$\Delta S = P - ET + Q_{zu} - Q_{ab} \quad (\text{in mm}/\Delta t) \quad (1)$$

mit ΔS – Flächenspeicheränderung, P – Niederschlag, ET – reale Evapotranspiration, Q_{zu} – Summe aus ober- und unterirdischem Zufluss, Q_{ab} – Summe aus ober- und unterirdischem Abfluss, Δt – betrachtetes Zeitintervall.

Das Modell arbeitet rasterbasiert mit einem Zeitintervall von einem Monat. Voraussetzung für die Berechnung der Wasserbilanz und der Grundwasserstände ist eine Unterteilung des Modellgebietes in Teilflächen („Staubereich“ = kleinste im Wasserstand regulierbare Flächeneinheit), in denen die Grundwasseroberfläche als horizontal angenommen werden kann. Als Eingangsgrößen benötigt WABI folgende gebietsspezifische Datengrundlagen:

- digitales Höhenmodell des Untersuchungsgebietes,
- Staubereichseinteilung des Modellgebietes,
- korrigierter Niederschlag als Zeitreihe,
- Zeitreihen der Zuflüsse aus den Teileinzugsgebieten, aufgeteilt auf die Staubereiche,
- Wasserverbrauch der Vegetation in Abhängigkeit von der Zeit und vom Grundwasserflurabstand,
- Anfangsgrundwasserstand für alle Staubereiche und
- Vorgaben für Zielgrundwasserstände, die angestrebt werden und nicht überschritten werden können, als Zeitreihen für alle Staubereiche.

Ausgehend vom Anfangszustand und den gegebenen Zielgrundwasserständen berechnet WABI monats- und staubereichsweise Verdunstung, Abfluss und Grundwasserstand. Durch Differenzbildung mit der Geländehöhe ergibt sich der Grundwasserflurabstand jeder Rasterzelle. Er wird im Zeitschritt als Input für die Wasserverbrauchsbestimmung und als Output zur Interpretation der Rechenergebnisse verwendet.

Die Berücksichtigung des Wasserbedarfs eines Erlenbestandes in Monatswerten machte eine gesonderte Modellbetrachtung erforderlich. Die Tageswerte der Transpiration der Erlen folgen in Anlehnung an ESCHENBACH et al. (1996) zum einen der täglichen Sonnenscheindauer, zum anderen der jahreszeitlichen Entwicklung des Blattflächenindex.

$$T_{Erle}(\Delta t) = \sum_{i=1}^{\Delta t} (T_{Erle,Aug} \times C_{rad})_i \times (LAI_i / LAI_{Aug}) \quad (\text{in mm}/\Delta t) \quad (2)$$

Unter Bezug auf die eingangs mitgeteilten Transpirationswerte $T_{Erle,Aug}$ zur Zeit des Blattflächenmaximums im August 1992 wird entsprechend Gleichung (2) eine Verteilung der Tageswerte der Transpiration über die Vegetationsperiode der Erle mit anschließender Aggregation zu Monatssummen erzeugt. C_{rad} steuert neben der Berücksichtigung der astronomischen Sonnenscheindauer die Übersetzung der täglich beobachteten relativen Sonnenscheindauer in die drei Klassen der Strahlungscharakteristik gemäß Tabelle 1. Die angenommene zeitliche Entwicklung des Blattflächenindex für einen Erlenbestand ist in Tabelle 2 dargestellt. Die Auswertung von Gleichung (2) erfolgte am Beispiel der meteorologischen Station Neubrandenburg anhand von Tageswerten für die Jahresreihe 1977-2000.

Tab. 1: Strahlungscharakteristik und zugeordnete Spanne der relativen Sonnenscheindauer
Radiation characteristics as related to the percentage of sunshine duration

Strahlungscharakteristik	SD/SD_{astr} in %
Strahlungstag	> 60
wolkiges Wetter	20 bis 60
bedeckter Himmel	< 20

Tab. 2: Entwicklung des Blattflächenindex (LAI) der Schwarzerle im Jahr 1992 (ESCHENBACH et al. 1996)
Leaf area index progression of black alder in 1992 (ESCHENBACH et al. 1996)

	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov
<i>LAI</i>	0	1,9	3,1	4,1	4,6	3,9	2,2	0
<i>LAI/LAI_{Aug}</i>	0	0,41	0,67	0,89	1,0	0,85	0,48	0

Um zur Bestandsverdunstung zu kommen, waren gemäß DVWK (1996) die mittleren Monatssummen der Transpiration durch monatliche Interzeptionswerte für Laubwald nach BENECKE & VAN DER PLOEG (1978), basierend auf den Tageswerten des Niederschlages für Neubrandenburg (mittl. $P = 517$ mm/a), zu ergänzen. Zur Wasserverbrauchsschätzung der Bodenvegetation wurde der von ROBERTS (2001) angegebene Höchstwert von 50 % der Transpiration der Erlen angenommen, um dem mäßigen Blattflächenindex der Erle und den Feuchteverhältnissen am Standort Rechnung zu tragen. Als Näherung für die Verdunstung des Schwarzerlenbestandes während der Vegetationsruhe ($LAI = 0$) kam die Gras-Referenzverdunstung in Ansatz.

2.2 Modellgebiet

Als repräsentativer Talmoorausschnitt für Modelluntersuchungen zur Standortwahl für die Erlenaufforstung bot sich in Abstimmung mit dem Landesamt für Umwelt, Natur und Geologie (LUNG) Mecklenburg-Vorpommern in Güstrow die Fläche zweier Polder im Flusstalmoor der mittleren Trebel an, die 1996/97 im Rahmen eines EU-LIFE-Projekts renaturiert wurden (Abb. 1, 2). Die Renaturierung beinhaltete neben dem Verschließen des östlich verlaufenden Trebelkanals und der Reaktivierung der abschnittsweise stark mäandrierenden Alten Trebel auch den weitgehenden Rückbau des vorhandenen Entwässerungssystems.

Grundlage für die vorgenommene hydrologische Gebietsanalyse waren Gutachten, Studien, Diplomarbeiten, thematische Karten sowie meteorologische und gewässerkundliche Zeitreihen und die zugehörigen Hauptzahlen aus dem Einzugsgebiet der mittleren Trebel. Als Folge der Renaturierungsplanung, aber auch im Ergebnis der wissenschaftlichen Begleitforschung (HENNEK 2000, VEGELIN 2002, TIEMEYER 2003), liegen Gebietsdaten in überdurchschnittlicher Dichte und Exaktheit vor.

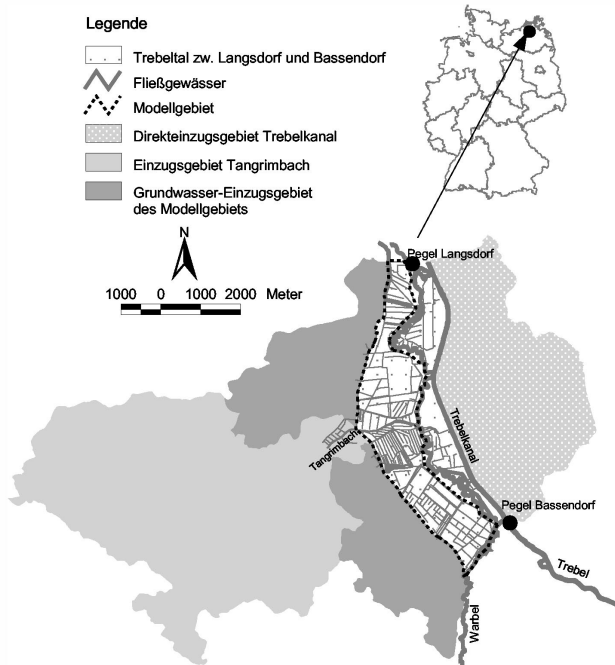


Abb. 1: Hydrologisches Einzugsgebiet der mittleren Trebel und Einordnung des repräsentativen Talmoorausschnitts in das Trebeltal
Hydrologic catchment of the middle Trebel river and integration of the clipped representative peat area into the Trebel river valley

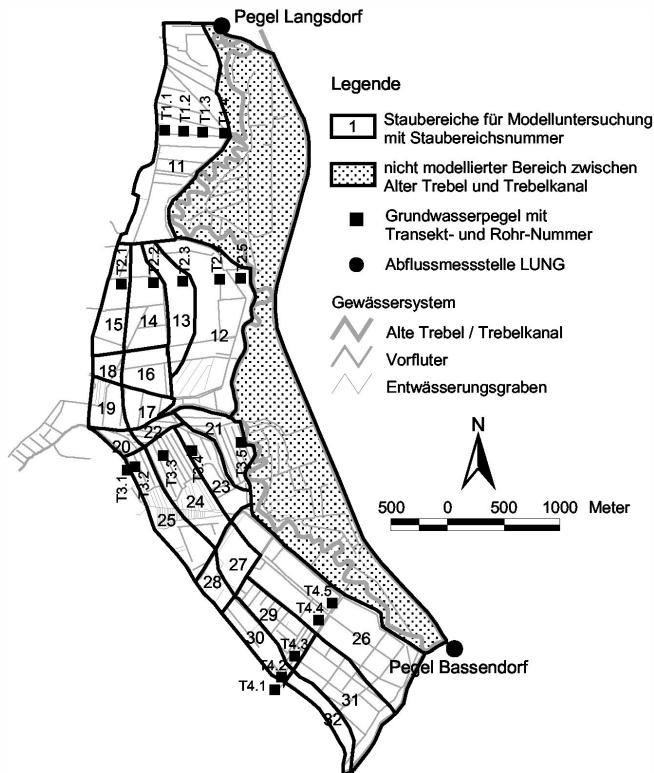


Abb. 2: Repräsentativer Talmoorausschnitt mit Modellgebiet, vorhandenem hydrologischem Messnetz und Staubereichseinteilung (Tx.y: Grundwasserbeobachtungsrohr y in Transekt x)
 Clipped representative peat area showing the model area, existing hydrologic monitoring network and partitioning into WABI subareas (Tx.y: observation well no. y in transect no. x)

Abbildung 1 zeigt das hydrologische Einzugsgebiet mit den ober- und unterirdischen Teileinzugsgebieten der wichtigsten Zuflüsse. Das Untersuchungsgebiet ($12^{\circ}44' E$, $54^{\circ}02' N$) liegt im maritim beeinflussten Klimabereich Nordmecklenburgs. Seine klimatische Wasserbilanz ergibt sich aus den langjährigen Mittelwerten von korrigiertem Niederschlag (653 mm/a) und Gras-Referenzverdunstung (550 mm/a) zu 103 mm/a .

Das Talmoor ist von einem sehr gut wasserdurchlässigen, relativ mächtigen sandig-kiesigen Grundwasserleiter unterlagert. Dieser steht in hydraulischer Verbindung zum quaritären Grundwasserleiterkomplex der westlichen Hochflächen, welcher der Niederung Grundwasser aus dem unterirdischen Einzugsgebiet zuführt. Im Bereich der Trebelniederung liegen dem Aquifer muddunterlagerte degradierte Niedermoortorfe teilweise großer Mächtigkeit auf, die den Grundwasseraufstieg in die oberflächennahen Horizonte deutlich behindern. Das Grabensystem hat nach Rückbau der Staueinrichtungen nur geringe ent- oder auch bewässernde Wirkung.

Die Datengrundlage für detaillierte Aussagen zum Grundwasserregime der Niedermoorflächen bildeten vorhandene Aufzeichnungen 14-täglicher Messungen des Grundwasserstandes von 1995 bis 2001 an den vier Grundwassertranssekten des EU-LIFE-Projekts (Abb. 2). Die zugehörigen Trebelwasserstände wurden aus den Pegelwerten am Gebiets-ein- und -ausgang interpoliert. Die Auswertung dieser Daten ergab für den nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes ein sehr geringes Grundwassergefälle vom westlichen Niederungsrand in Richtung Trebel. Die Differenz zwischen den Grundwasserständen an den vier Messrohren des Transsekts T1 betrug im Mittel aller Messungen nur 0,15 m. Die weiter südlich gelegenen drei Transsekte wiesen auf ein stärkeres, zum Gelände paralleles Grundwassergefälle in Richtung Trebel hin.

2.3 Modellaufbau, Parameterisierung und Kalibrierung des Wasserbilanzmodells WABI

Im Zuge der Gebietsanalyse ließ sich der zu modellierende Talmoorausschnitt weiter einschränken (Abb. 2): Aufgrund der Größe des Einzugsgebietes im Oberlauf des Untersuchungsgebietes kann für die auf Trebelniveau liegenden Niederungsflächen zwischen Alter Trebel und Trebelkanal von ständiger Wasserverfügbarkeit ausgegangen werden. Die Wasserstände dieser Flächen werden somit allein von den Wasserständen der Trebel und der Wasserdurchlässigkeit des Torfkörpers bestimmt; eine Ableitung von Grundwasserständen aus der Wasserbilanzbetrachtung mit WABI erübrigt sich. Alle nachfolgenden Modellaussagen beziehen sich daher auf die Bereiche westlich der Alten Trebel, im Weiteren als Modellgebiet bezeichnet. Die einbezogene Talmoorfläche umfasst 855 ha. Das digitale Höhenmodell für das Modellgebiet wurde auf der Basis einer Vermessung aus dem Jahre 1996 erstellt. Seine Rasterweite beträgt in Anlehnung an das Modell der Landesbehörden 25 m x 25 m.

Die Unterteilung eines Modellgebietes in Staubereiche erfolgt i. d. R. anhand der vorhandenen hydrotechnischen Anlagen (Gräben, Staue, Schöpfwerke). Der weitgehende Rückbau der Staubauwerke im vorliegenden Modellgebiet hätte zu recht großflächigen Staubereichen geführt, doch herrscht in weiten Teilen der Niederung ein deutliches Gefälle im Grundwasser und an der Geländeoberfläche. Um den Fehler der Modellvereinfachung infolge Annahme einer horizontalen Grundwasseroberfläche innerhalb eines Staubereichs zu verringern, war daher mit Ausnahme des nördlich gelegenen Staubereichs 11 eine feinere Gebietseinteilung erforderlich. So ergaben sich als Kompromiss zwischen Genauigkeit und Aufwand für das Modellgebiet insgesamt 22 WABI-Staubereiche (Abb. 2). Dabei weisen die Grundwasserflurabstände aller am Niederungsrand gelegenen Staubereiche aufgrund des größeren Geländegefälles größere Spannen als die zentral gelegenen Staubereiche auf.

Zeitreihen der Zu- und Abflüsse liegen für das Untersuchungsgebiet nicht in der benötigten örtlichen und innerjährlichen Differenzierung vor; langjährige Abflussmessungen finden nur 21 km oberhalb am Trebelpegel Kirch Baggendorf statt. Deshalb wurde anhand einer ABIMO-Modellrechnung (STEIDL 2004) zunächst für jedes Teileinzugsgebiet der mittlere Gesamtabfluss bestimmt, dem anschließend ein innerjähriger Gang aufzuprägen war. Dazu diente für alle oberirdischen Zuflüsse die zu monatlichen MQ-Werten zusammengefasste Abflussganglinie von Kirch Baggendorf sowie für den separierten Grundwasserzufluss eine Zeitfunktion, die aus den monatlichen MNQ-Werten dieses Pegels abgeleitet und auf das Untersuchungsgebiet übertragen wurde.

Der Zufluss aus den Grundwassereinzugsgebieten teilt sich gleichmäßig auf alle Staubebereiche des jeweiligen Polders auf. Zusätzlich erhalten die an die Trebel grenzenden Staubebereiche in den Monaten, in denen ihr berechneter Grundwasserstand unter dem Trebelwasserstand liegt, Wasser aus der Alten Trebel. Der gemittelte Monatsniederschlag der Jahresreihe 1995-2003 und der des Trockenjahres 2003 wurden als korrigierte, für das Modellgebiet räumlich konstante Werte von der meteorologischen Station Tribsees Stadtwald (12°48' E, 54°05' N) übernommen.

Als Zielgrundwasserstände und als Wasserstände für die Validierung der Modellergebnisse dienten für jene WABI-Staubebereiche, denen Grundwasserbeobachtungsrohre des EU-LIFE-Projektes zugeordnet werden können, deren jeweilige mittlere monatliche Grundwasserstände. Die Stauziele aller anderen WABI-Staubebereiche orientierten sich an der Geländehöhencharakteristik des jeweiligen Staubeereiches (Wintermonate) bzw. am Grundwasserschwankungsbereich ihrer benachbarten Staubebereiche mit Vergleichs-Grundwasserbeobachtungsrohr.

Zur Kalibrierung waren die Default-Parameter des WABI-Modells für die Grasland-Verdunstung an die klimatischen Verhältnisse des Modellgebietes anzupassen. Schließlich galt es in einer Serie von Testrechnungen die Zielgrundwasserstände der einzelnen WABI-Staubebereiche und den Bodenwasser-Speicherkoeffizienten so zu modifizieren, dass sich das Modell – gemessen an den Wasserstandsverläufen der vier Grundwassertranssekte – möglichst gut an die Grundwasserdynamik des Modellgebiets anpasste.

Aussagen zur Validität des parameterisierten und kalibrierten WABI-Modells sind auf der Grundlage von gemessenen Wasserständen und Abflüssen möglich. Im Ergebnis konnte die Eignung des an die konkreten Gegebenheiten angepassten Modells für Szenarioanalysen mit modifizierten Eingangsdaten bewertet werden.

Tab. 3: Korrigierter Niederschlag und nutzbarer Zufluss (mm) der WABI-Staubereiche im mittleren Jahr sowie im ausgewählten Trockenjahr 2003
 Corrected precipitation and useable recharge (mm) of WABI subareas in the mean year as well as the selected dry year 2003

Staubereiche	Polder	Lage*	Nov	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt
Mittleres Jahr														
Niederschlag			55	57	51	34	45	44	53	71	75	63	59	46
Nutzbarer Zufluss	11-12	Nord	30	35	53	57	53	40	26	65	68	46	37	20
	13-19	Nord	30	35	53	57	53	40	26	20	18	16	17	20
	21, 26	Süd	31	36	55	59	55	42	27	66	68	47	38	21
	20, 22-25, 27-32	Süd	31	36	55	59	55	42	27	21	18	17	18	21
Trockenjahr 2003														
Niederschlag			64	14	55	7	14	28	78	47	55	33	70	64
Nutzbarer Zufluss	11-12	Nord	28	16	35	25	31	16	14	86	85	63	55	27
	13-19	Nord	28	16	35	25	31	16	14	6	5	3	5	7
	21, 26	Süd	29	16	37	26	33	16	15	87	85	63	55	27
	20, 22-25, 27-32	Süd	29	16	37	26	33	16	15	7	5	3	5	7

* Lage der Staubereiche im Modellgebiet (vgl. Abb. 2): T – an Alte Trebel grenzend, M – zwischen Alte Trebel und Niederungsrand, R – Randlage

2.4 Szenarioannahmen für den Erlenanbau: mittleres Jahr – Trockenjahr 2003

Als Szenarien wurden die meteorologischen und hydrologischen Randbedingungen für (1) zwei mittlere Jahre in Folge sowie (2) zwei aufeinander folgende Trockenjahre in der Ausprägung des Jahres 2003 gewählt. Die Grundwasserstände wurden jeweils für das zweite Jahr, nach Stabilisierung der modellierten Verhältnisse, ausgewertet. Damit war die Frage zu beantworten, ob und in welchen Bereichen des Modellgebietes die Standortverhältnisse für den Erlenanbau zu nass oder für den Moorschutz zu trocken sein bzw. die ausgewiesenen Grundwasserschwankungsbereiche den Anforderungen des Erlenanbaus **und** des Moorschutzes genügen würden. Kriterium für moorschonenden Erlenanbau war das Einhalten eines zulässigen Schwankungsbereiches gemäß Wasserstufe 4+ mit Grundwasserflurabständen zwischen 0,15 m über Flur (Winter/Frühjahr) und 0,30 m unter Flur (Sommer/Herbst).

Die Annahmen zu den hydrologischen Randbedingungen des mittleren Jahres entsprachen denen der Modellkalibrierung. Tabelle 3 gibt für beide Szenarien die Jahresverläufe des Niederschlages und des nutzbaren Zuflusses in Monatsschritten an.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Modellbetrachtung zum Wasserverbrauch der Schwarzerle

Nach Zusammenfassung der für die meteorologische Station Neubrandenburg ermittelten Tageswerte von Transpiration und Interzeption der Jahresreihe 1977-2000 ergaben sich die in Tabelle 4 dargestellten Mittelwerte über die Vegetationsmonate. Unter Hinzurechnung des geschätzten Verbrauchs der Bodenvegetation beträgt der gemittelte summarische Wasserverbrauch eines Erlenbestandes in der Vegetationsperiode 557 mm.

Zur Einordnung sind in Tabelle 5 neben diesen eigenen Ergebnissen zur Schwarzerle monatliche Wasserbedarfswerte für weitere niedermoortypische Nutzungsformen sowie für die meteorologische Station Neubrandenburg der Jahresgang der Gras-Referenzverdunstung zusammengestellt. Die Wasserverbrauchswerte des Erlenbestandes für die Monate April und Mai stimmen in auffälliger Weise überein. Als Ursache kommt eine Unterschätzung des Wasserverbrauchs im Mai infolge der Annahme nach ROBERTS (2001) zum Verbrauch der Bodenvegetation in Frage.

Auffallend sind auch die gegenüber Saatgras mit hohem Grundwasserstand deutlich niedrigeren Verbrauchswerte der Erle in den frühen Sommermonaten, während der Wasserverbrauch von Erlenbeständen dann zwischen August und Oktober über dem von Saatgras liegt. Sehr deutlich wird ebenso der gegenüber Schilf niedrige Wasserverbrauch, besonders in den späten Sommermonaten, wenn das natürliche Wasserdargebot regelmäßigen Einschränkungen unterliegt.

Tab. 4: Mittlerer monatlicher Wasserverbrauch (mm) eines Erlenbestandes durch Transpiration, Interzeption und Bodenvegetation – eigene Auswertung (Vegetationsperioden 1977-2000)
 Mean monthly water consumption (mm) by transpiration, interception and understorey water use of an alder grove – own calculation (vegetation periods 1977-2000)

	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Summe
Transpiration	32	54	75	78	48	19	306
Interzeption	15 *	21	18	17	15	13 *	99
Verbrauch der Bodenvegetation	16	27	37	39	24	9	152
Wasserverbrauch Erlenbestand	63	102	130	134	87	41	557

* Werte aus Erweiterung des Modells von BENECKE & VAN DER PLOEG (1978)

Zusammenfassend ist festzustellen, dass auf wiedervernässten Niedermoorstandorten der Wasserverbrauch von Erlenbeständen in der Jahressumme den von Saatgrasland bei vergleichbaren Wasserständen nicht übersteigen wird. Das an den Blattflächenindex und die größere Durchwurzelungstiefe gekoppelte Verdunstungsmaximum der Erle im August kann jedoch lokal und temporär zu Versorgungsdefiziten und damit zum Unterschreiten der für Torferhalt oder -wachstum erforderlichen Grundwasserstände führen. Da besonders bezüglich des Wasserverbrauchs der Bodenvegetation einige Detailfragen offen bleiben mussten, soll in den nachfolgenden Modelluntersuchungen für Erlenbestände auf die bereits für die Friedländer Große Wiese (DIETRICH et al. 1996a) bewährten Wasserverbrauchszahlen für intensiv genutztes Saatgrasland zurückgegriffen werden. Diese sind in langjährigen Untersuchungen abgeleitet und in ihrer Gültigkeit wiederholt bestätigt worden.

3.2 Validierung des Wasserbilanzmodells WABI

Eine erste Möglichkeit der Modellvalidierung ergab sich anhand des Vergleichs der für den Jahresverlauf berechneten Grundwasserstände der entsprechenden WABI-Staubereiche mit den gemessenen Grundwasserständen der vier Transsekte. Abbildung 3 zeigt eine Auswahl der Validierungsergebnisse. Dafür wurden Grundwasserbeobachtungsrohre aus allen Transsekten so gewählt, dass sowohl der flache Teil des Modellgebiets nahe der Trebel als auch die ansteigenden Bereiche am Talrand abgedeckt werden. Die gemessenen und berechneten Grundwasserstände stimmen in den meisten Fällen gut überein. Bei detaillierter Auswertung fiel auf, dass die Abweichungen in den Staubereichen mit höherem Geländeniveau und -gefälle größer als die in den tiefer gelegenen Staubereichen sind. Die Ursachen liegen zum einen in der Modellvereinfachung „horizontale Grundwasseroberfläche im Staubereich“, zum anderen in der jeweiligen Position des Grundwasserbeobachtungsrohres im Staubereich: Angesichts des vorhandenen Grundwasser- und Geländegefälles liefert ein einzelnes Grundwasserbeobachtungsrohr nicht immer den Staubereichsmittelwert, auch kann der gemessene Grundwasserstand nicht als horizontale Grundwasseroberfläche auf den gesamten Staubereich übertragen werden. In der Fläche

Tab. 5: Wasserverbrauch wiedervernässter Niedermoorstandorte und Gras-Referenzverdunstung (mm), östliches Mecklenburg-Vorpommern und Nordost-Brandenburg
 Water consumption by rewetted fen sites and grass-reference evapotranspiration (mm) in eastern Mecklenburg-Western Pomerania and northeastern Brandenburg

Nutzung	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI-IV	V-X	Jahr
Erlen-Bestand	17	12	14	18	36	63	63	102	130	134	87	41	160	557	717
Gras * (GW hoch)	15	7	7	15	33	59	104	159	155	104	56	26	136	604	740
Gras * (GW tief)	10	5	5	10	22	38	67	103	101	67	36	17	90	391	481
Schilf (Biesenbrow) **						58	143	163	174	215	134	69		898	
Gras-Referenz (Neubrandenburg) ***	17	12	14	18	36	63	102	104	114	104	62	38	160	524	684

* DIETRICH et al. (1996); ** Mittel 1997-2001 (DANNOWSKI & BALLA 2004); *** Mittel 1961-1990 (BMU 1998)

ergeben sich damit zwangsläufig Abweichungen zum als Staubereichsmittelwert berechneten Grundwasserstand. Jahrgang und Schwankungsbereiche stimmen aber mit den gemessenen Werten gut überein.

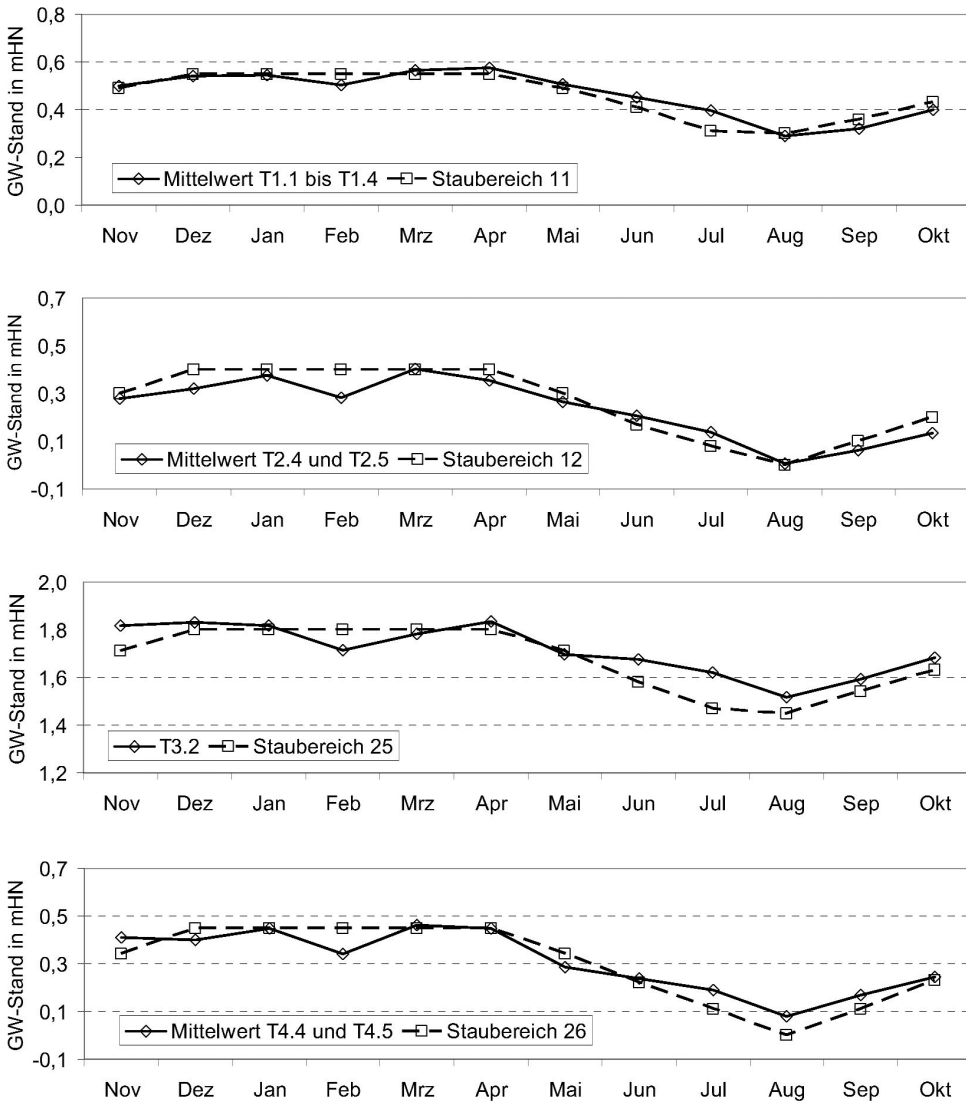


Abb. 3: Vergleich (mittlerer) gemessener Monatsgrundwasserstände (mHN) der Transekte T1 bis T4 mit den berechneten Wasserständen der zugeordneten WABI-Staubereiche
Comparison of (averaged) monthly groundwater levels (mHN) measured in transects T1 to T4 with water levels calculated by WABI for associated subareas

Mögliche Messfehler der Zeitreihen der Grundwasserstände in den Transsekten sollen hier nicht weiter diskutiert werden. Ausführlich werden diese von TIEMEYER (2003) behandelt. Auffällig ist in Abbildung 3 besonders das Absinken der Februarwerte in den meisten Grundwasserbeobachtungsrohren, das auf die Wirkung von Frostperioden hindeutet. Ein tatsächliches Absinken der Grundwasserstände von Januar zu Februar mit anschließendem Wiederanstieg im März scheint eher unwahrscheinlich.

Für Abflüsse aus dem Modellgebiet lagen keine Messergebnisse vor. Hier konnte lediglich die Plausibilität der WABI-Ergebnisse geprüft werden. So zeigt die Auswertung der berechneten Abflüsse, dass im Mittel der Jahre von November bis März der Niederschlag die tatsächliche Verdunstung übersteigt und es flächendeckend zu Abflussbildung kommt. Von Juni bis August werden Zuflüsse und Niederschlag vollständig in der Niederung verdunstet. Sie reichen dann auch nicht aus, den Wasserbedarf der Flächen zu decken. In der Folge wird der Grundwasserspeicher allmählich ausgeschöpft. Die Grundwasserstände sinken entsprechend, und Abfluss aus den Poldern zur Trebel kann nicht mehr stattfinden. Die trebelnahen Staubereiche erhalten gemäß ihrer Wasserstands Differenz zur Trebel einen Zufluss, der aber infolge der geringen Wasserdurchlässigkeit der degradierten Torfe auch nicht zur vollständigen Bedarfsdeckung führt.

Mit dem so für das mittlere Trebeltal validierten WABI-Modell war eine wesentliche Voraussetzung für die Durchführung von Szenarioanalysen zur beispielhaften Untersuchung der gebietshydrologischen Möglichkeiten des moorschonenden Schwarzerlerenanbaus auf Flusstalmoorstandorten erfüllt.

3.3 Szenariorechnungen zum Wasserhaushalt des Modellgebietes und zur Abgrenzung von Eignungsbereichen für den Erlenanbau

Tabelle 6 zeigt die Bilanzgrößen des Modellgebietes für beide Szenarien. Zugunsten einer vollständigen Übersicht wurden hier sowohl Eingangsgrößen aus der hydrologischen Gebietsanalyse als auch WABI-Ergebnisse zusammengestellt.

Der leichte Rückgang der errechneten aktuellen Evapotranspiration um 19 mm im Gebietsmittel ist auf die vergrößerten Grundwasserflurabstände im Trockenjahr 2003 zurückzuführen. Dank der Einzugsgebietsfläche von 411 km² (Pegel Langsdorf) stellt das Wasserdargebot der Trebel weder im mittleren noch im Trockenjahr eine Begrenzung für die erfolgreiche Wiedervernässung im Modellgebiet dar. Dennoch ist die Reduktion des verfügbaren Zuflusses aus der Trebel im gewählten Trockenjahr auf weniger als 50 % des mittleren Abflusses bemerkenswert. In dieser großen Schwankung, die durch die Messreihe am Pegel Kirch Baggendorf belegt ist, kommt ein geringer und wenig stabiler grundwassergespeicherter Basisabflussanteil aus dem Einzugsgebiet zum Ausdruck.

Ein vergleichbares Verhalten zeigt in Tabelle 6 der verfügbare Grundwasserzufluss zum Modellgebiet. Damit impliziert die Übertragung der Abflusscharakteristik von Kirch Baggendorf auf das Modellgebiet einen veränderten Grundwasserhaushalt für den Bereich der mittleren Trebel, sind doch die Flusstäler des Lockergesteinsbereiches im Allgemeinen durch permanenten Grundwasserzstrom gekennzeichnet, der eine wesentliche Speisungskomponente im Wasserhaushalt der Talmoore besonders in Trockenjahren darstellt. Aussagen zum zögerlichen und witterungsabhängigen Vernässungserfolg im Zuge des EU-LIFE-Projektes (VEGELIN 2002) weisen aber ebenfalls auf solche Abweichungen hin. Möglicherweise haben auch klimatische Besonderheiten der letzten Jahre zu einem zeitweilig verringerten und schwankenden Grundwasserzufluss geführt. Hier besteht weiterer Aufklärungsbedarf, bei dem Wasserhaushaltsrechnungen mit dem kalibrierten WABI-Modell von Nutzen sein können. Festzuhalten bleibt der geringe Grundwasserzufluss im Szenario Trockenjahr 2003, der in den Modellergebnissen wirksam wird.

Tab. 6: Wasserbilanzgrößen des Modellgebietes mittleres Trebeltal (855 ha)
Water budget quantities of the middle Trebel river model area (855 ha)

Bilanzgröße	Mittleres Jahr	Trockenjahr 2003
Niederschlag (mm/a) *	653	529
aktuelle Evapotranspiration (mm/a)	714	695
genutzter Zufluss – gesamt (mm/a)	178	216
gebildeter Abfluss (mm/a)	120	56
Verfügbarer Zufluss aus GW-EZG (Mio. m ³ /a) *	3,36	1,67
Verfügbarer Zufluss aus Trebel-EZG (Mio. m ³ /a) *	74,54	36,20
genutzter Zufluss aus GW-EZG (Mio. m ³ /a)	1,04	0,91
genutzter Zufluss aus Trebel-EZG (Mio. m ³ /a)	0,49	0,94

* Eingangsgrößen aus der hydrologischen Gebietsanalyse; alle anderen Angaben sind Modellergebnisse; GW-EZG: Grundwassereinzugsgebiet

Interessant ist die Zunahme der genutzten Zuflüsse im Trockenjahr, die angesichts des reduzierten Grundwasserzuflusses ausschließlich aus der Trebel gedeckt werden, damit aber auch nur den an die Trebel grenzenden Staubereichen zugute kommen. Hier ändern sich die errechneten Grundwasseramplituden nur geringfügig. Ursache für die Zweiteilung ist das zum Talrand ansteigende Gelände. Trebelfernere Flächen sind in ihrem Wasserhaushalt ohne aufwändige Bewässerungsmaßnahmen allein auf Niederschläge und den Grundwasserzufluss angewiesen. Diese reichen in der Jahressumme sowohl im mittleren als auch im Trockenjahr für die Einhaltung der Vernässungsziele aus, und auch in den Sommermonaten des mittleren Jahres kommt es nur zu geringfügigen, lokalen Unterschreitungen der angestrebten Grundwasserstände (Abb. 4, links). Im Trockenjahr führt der sommerliche Rückgang des (Grund-)Wasserdargebots allerdings zu einem ausgeprägten Wasserdefizit der in Randlage befindlichen Staubereiche mit Grundwasseramplituden > 0,55 m (Abb. 4, rechts).

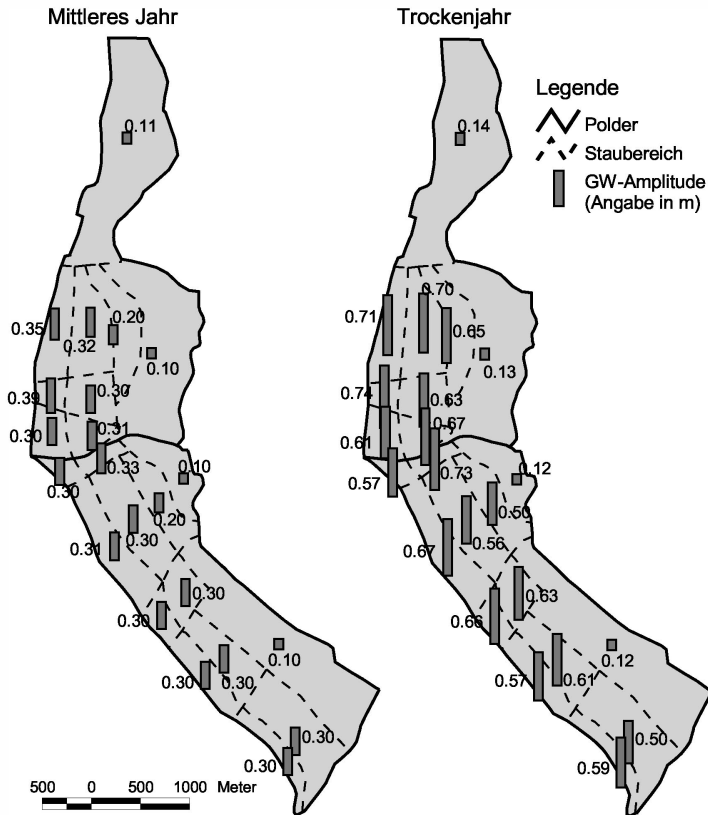


Abb. 4: Berechnete Grundwasseramplitude (m) zwischen Winterhöchst- und Sommertiefststand, jeweils für das zweite mittlere (links) und Trockenjahr (rechts) in Folge
 Calculated amplitude of groundwater fluctuation (m) between highest (winter) and lowest (summer) level each for the second of two mean (left) and dry years (right)

Höhere Winterstauziele verbessern grundsätzlich den Wasserrückhalt im Gebiet, doch ist eine Stauzieländerung nur für die mit der Trebel in Verbindung stehenden Staubereiche realistisch. Besonders auf den stärker geneigten, höher gelegenen Flächen würde zusätzlicher Wasserrückhalt wasserbauliche Maßnahmen voraussetzen. Zwar könnte der größere Wasservorrat im Gebiet zu einem späteren Absinken der Sommerwasserstände und insgesamt feuchteren Verhältnissen beitragen, doch würden sich in lokalen Senken auch größere Wassertiefen einstellen, und die erhöhte reale Evapotranspiration infolge verringerter Grundwasserflurabstände hätte eine größere Grundwasseramplitude zwischen Winter- und Sommerhalbjahr zur Folge. In den trebelnahen Staubereichen dagegen könnte ein maßvolles Tieferlegen der Winterstauziele, gleichbedeutend mit reduziertem Rückhalt von Winterniederschlägen, bei verbesserter Ausnutzung des verfügbaren Trebelzuflusses zu einer Verringerung der Grundwasseramplitude führen.

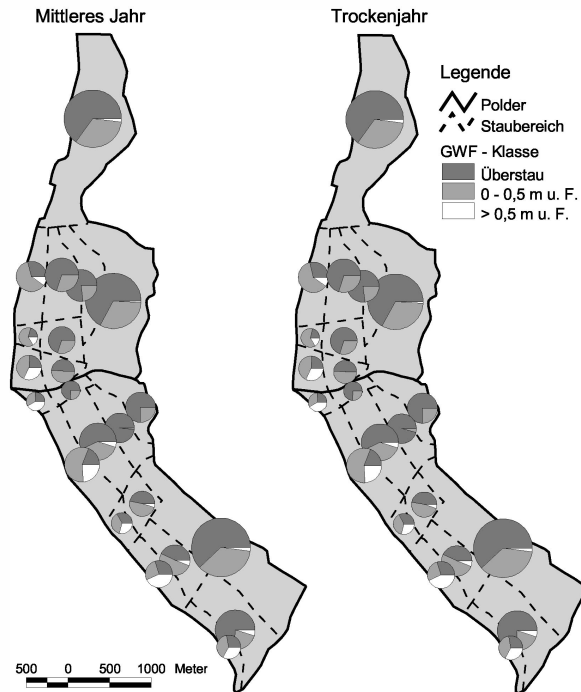


Abb. 5: Anteile der Grundwasserflurabstandsklassen (GWF) an den Staubereichsflächen bei Winterhöchststand
 Portions of the classes of groundwater level below surface (GWF) in the subareas, winter (highest) level

Abschließend war zu klären, in welchen Bereichen des Modellgebietes die ausgewiesenen Grundwasseramplituden dem ökologischen Ziel Torferhalt/-wachstum oder eher der Erleproduktion mit hohem Holzzuwachs genügen. Dazu zeigen Abbildungen 5 und 6 die Szenarioergebnisse in den Staubereichen jeweils für Winterhöchst- und Sommertiefststand. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden die Verteilungen der Grundwasserflurabstände über die Rasterzellen der Staubereiche zu drei Grundwasserflurabstandsklassen zusammengefasst.

Bei Winterhöchststand (Abb. 5) wird für die Flächen in Nachbarschaft der Trebel, aber auch in den mittleren Staubereichen überwiegend Überstau erreicht. Grundwasserflurabstände $> 0,50$ m sind hier von lokalen Geländeerhebungen bestimmt, ihr Flächenanteil ist sehr gering. Auch in den Staubereichen am Talrand dominieren Überstau und flurnahe Wasserstände, dort äußert sich die stärkere Geländeneigung in einem höheren Anteil größerer Grundwasserflurabstände. Als Folge ausreichender Wasserverfügbarkeit zum Erreichen der Winterstauziele stellen sich in allen Staubereichen unabhängig vom Szenario identische Verteilungen der Grundwasserflurabstände ein.

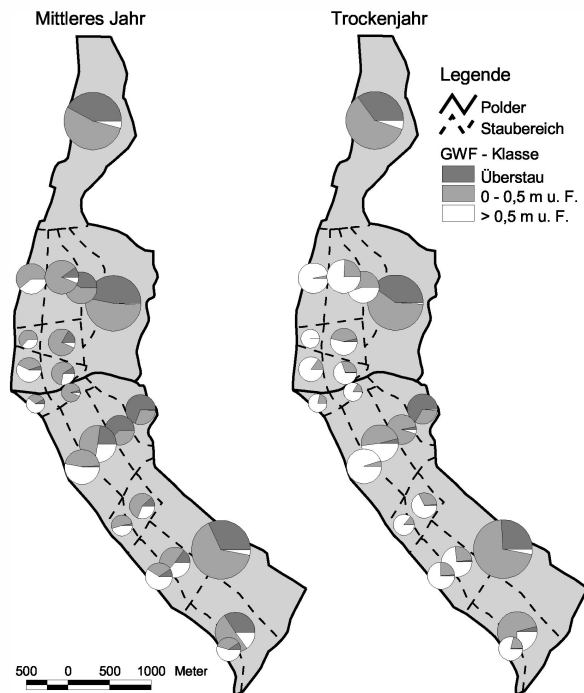


Abb. 6: Anteile der Grundwasserflurabstandsklassen (GWF) an den Staubereichsflächen bei Sommertiefststand
 Portions of the classes of groundwater level below surface (GWF) in the subareas, summer (lowest) level

Auch während der Sommertiefststände (Abb. 6) werden die trebelnahen Staubereiche in beiden Szenarien von Überstau und flurnahen Grundwasserständen dominiert. Das sommerliche Wasserdefizit bewirkt aber eine deutliche Zunahme der flurferneren Grundwasserstände zum Talrand hin. Das wird besonders sichtbar im Vergleich der Szenarien.

Insgesamt werden die Verteilungen der Grundwasserflurabstände auf die drei Klassen in den Staubereichen mit größerer Entfernung zur Trebel heterogener. Das ist vor allem eine Folge der fortgeschrittenen Moordegradierung der randnahen Flächen, die verbunden mit größerer Reliefheterogenität zu stärker differenzierten Grundwasserflurabständen führt. Auch bei intaktem Landschaftswasserhaushalt und rückgebautem Entwässerungssystem sind somit einheitliche Vernässungsergebnisse für die Randflächen des Modellgebiets nicht zu erwarten. Technische Maßnahmen zum Wasserrückhalt – bis auf Sohlschwellen oder andere nicht steuerbare Verbauungen des Grabensystems – oder gar zur Bewässerung kommen aus Aufwandsgründen nicht in Frage.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Vernässbarkeit der Talmoorflächen von der Trebel zum Talrand hin abnimmt. Bei wachsender innerjähriger Grundwasseramplitude wird die Zielsetzung Torferhalt/-wachstum zunehmend schwerer erreichbar, gleichzeitig werden die Standorte für den Erlenanbau mit stabil hohem Holzzuwachs interessanter. Die am Talrand gelegenen Staubereiche schließlich sind für den moorschonenden Erlenanbau zu trocken. Der begrenzende Faktor ist nicht das Wasserdargebot aus dem Einzugsgebiet, sondern das ansteigende Gelände. Eine Rolle spielen ferner die geohydrologische Einbindung des Flusstalmoores in die umgebende Grundmoränenlandschaft, der Degradierungszustand des Torfkörpers und die Restwirksamkeit des früheren Entwässerungssystems.

4. Schlussfolgerungen

Wiedervernässte Flusstalmoore in Mecklenburg-Vorpommern bieten grundsätzlich Standorte mit guten gebietshydrologischen Voraussetzungen für einen moorschonenden Anbau von Schwarzerlen zur Wertholzproduktion. Der vergleichsweise geringe Wasserbedarf von Erlenbeständen, der in der Jahressumme dem von intensiv genutztem Saatgrasland bei ähnlichen Wasserständen entspricht, stellt keine so hohen Anforderungen an die Wasserverfügbarkeit wie beispielsweise der Anbau von Schilf zur stofflichen Verwertung. Bei moorschonender Wirtschaftsweise ist ein Grundwasserschwankungsbereich zwischen 0,15 m über Flur und ca. 0,50 m unter Flur anzustreben. Dabei ist von einem mittleren Zusatzwasserbedarf von 180 bis 220 mm/a auszugehen, der aus Zuflüssen aus dem ober- und unterirdischen Einzugsgebiet zu decken ist.

Begrenzender Faktor für die Wasserverhältnisse am Standort und damit für die Standortwahl innerhalb eines Flusstalmoores ist das Geländegefälle quer zum Talverlauf. In Flussnähe bestehen bei geringen Geländehöhen und direktem hydraulischem Kontakt zum Hauptvorfluter beste Voraussetzungen für Torfwachstum. Diese Flächen sind für den Erlenanbau zu nass. Am Talrand ist zwar auf größeren Flächenteilen winterlicher Überstau erreichbar, doch sinken die Sommerwasserstände besonders in Trockenjahren regelmäßig zu tief ab. Somit finden sich die günstigsten Wasserverhältnisse für die moorschonende Erlenholzproduktion in Bereichen mittlerer Lage zwischen Fluss und Talrand. Das entspricht zu großen Teilen dem von SUCCOW & RUNZE (2001) formulierten Leitbild für die Nutzungsalternativen wiedervernässter Niedermoorstandorte.

Regional und im klimatischen West-Ost-Gradienten wird der Flächenmix aus sehr gut und weniger gut vernässbaren Standorten in Gebieten mit hohen Niederschlägen (Mecklenburg) und vergleichsweise großen Einzugsgebieten von den sehr gut vernässbaren Standorten dominiert. Hier wird auf längere Sicht dem Moorschutz bzw. Torfwachstum die höchste Priorität eingeräumt bleiben. Mit in östlicher Richtung abnehmenden Niederschlägen oder in kleineren Einzugsgebieten – auch wenn Flächen höher als die mittleren Wasserstände der Hauptvorfluter liegen – wird sich die Vernässung problematischer gestalten. Damit kann der Anteil von Flächen, die für Erlenanbau interessant sind, zunehmen.

5. Danksagung

Unser Dank geht an die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), die durch Finanzierung die Arbeit am ALNUS-Projekt (Renaturierung von Niedermooren durch Schwarzerlenbestockung, AZ 19599, Gesamtlaufzeit 03.2002-03.2005) ermöglicht hat. Herrn Dr. Stock gelang es, unterstützt von einem kompetenten Gutachtergremium, eine intensive Projektbegleitung aufzubauen und der Arbeit bis zuletzt wesentliche Impulse zu vermitteln. Den Landesbehörden Mecklenburg-Vorpommerns und dem Deutschen Wetterdienst ist für die Überlassung von Daten zum Untersuchungsgebiet zu danken. Dank gilt nicht zuletzt Herrn Dipl.-Biol. A. Kaffke aus der ALNUS-AG 2 „Standort/Indikation/GIS“ der EMAU Greifswald, der das Gros der verwendeten Gebietsdaten aufbereitet und bereitgestellt hat.

6. Literaturverzeichnis

- BEHRENDT, A., SCHALITZ, G., HÖLZEL, D., MÜLLER, L., SCHINDLER, U. & DANNOWSKI, R. (2000): Water consumption of wetland plants in a temperate climate. – In: ROCHEFORT, L. & DAIGLE, J.-Y. (Eds.): Sustaining our peatlands, 11th International Peat Congress, August 6-12, Proceedings Vol. 2: 827-832; Quebec City, Canada.
- BENECKE, P. & VAN DER PLOEG, R.R. (1978): Wald und Wasser. II. Quantifizierung des Wasserumsatzes am Beispiel eines Buchen- und eines Fichtenbestandes im Solling. – Forstarchiv **49**: 26-32.
- BMU (1998): Hydrologischer Atlas von Deutschland (HAD). – Erste Lieferung (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit).
- DANNOWSKI, R., DIETRICH, O. & TAUSCHKE, R. (2000): Water consumption by wetland vegetation in Northeastern Germany. – In: ROCHEFORT, L. & DAIGLE, J.-Y. (Eds.): Sustaining our peatlands, 11th International Peat Congress, August 6-12, Proceedings Vol. 2: 833-840; Quebec City, Canada.
- DANNOWSKI, R. & BALLA, D. (2004): Wasserhaushalt und geohydrologische Situation einer vernässten Niedermoorfläche mit Schilfanbau in Nordost-Brandenburg. – Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung **43**: 27-40.
- DIETRICH, O., DANNOWSKI, R., QUAST, J. & TAUSCHKE, R. (1996a): Untersuchungen zum Wasserhaushalt norddeutscher Niedermoore am Beispiel der Friedländer Großen Wiese und des Oberen Rhinluchs. – ZALF-Bericht **25**: 59 S.; Müncheberg (Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung (ZALF) e. V).
- DIETRICH, O., DANNOWSKI, R. & QUAST, J. (1996b): GIS-based water balance analyses for fen wetlands. – In: HOLZMANN, H., NACHTNEBEL, H.P. (eds): Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Water Resources Management. Internat. Conf. HydroGIS'96, 16-19 April, Vol. of Poster Papers: 83-90, Vienna.
- DIETRICH, O., DANNOWSKI, R., SCHRAMM, M. & STILLE, P. (1999): Probleme der Wasserbewirtschaftung eines stauregulierten nordostdeutschen Niedermoores. – Wasser & Boden **51**(4): 36-40.

- DIETRICH, O., BLANKENBURG, J. DANNOWSKI, R. & HENNINGS, H.-H. (2001): Vernässungsstrategien für verschiedene Standortverhältnisse. – In: KRATZ, R. & PFADENHAUER, J. (Hrsg.): Ökosystemmanagement für Niedermooere: Verfahren und Strategien der Renaturierung nord- und ostdeutscher Niedermooere: 53-73; Stuttgart (Ulmer).
- DIETRICH, O., REDETZKY, M. & SCHWÄRZEL, K. (2006): Wetlands with controlled drainage and subirrigation systems – modelling of the water balance. – Hydrological Processes, accepted.
- DVWK (1996): Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen. – DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft **238**: 135 S.; Bonn (Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK) e. V.).
- ENDE, H.-P. (2001): Zur Frage des mittleren LAI von Erlenbeständen im Rahmen des PROTO-ALNUS-Projektes. – Persönliche Mitteilung.
- ESCHENBACH, C., HERBST, M., VANSELOW, R. & KAPPEN, L. (1996): Transpiration eines Erlenwaldes (*Alnus glutinosa*) und eines Buchenwaldes (*Fagus sylvatica*) an benachbarten Standorten. – Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie **26**: 97-103.
- HENNEK, F. (2000): Vegetationsökologische Entwicklungsprognose des Grünlandes im Mittleren Trebaltal unter Berücksichtigung wasser- und naturschutzrechtlicher Aspekte. Diplomarbeit Univ. Greifswald.
- HERBST, M., ESCHENBACH, C. & KAPPEN, L. (1999): Water use in neighbouring stands of beech (*Fagus sylvatica* L.) and black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.). – Annals of Forest Science **56**: 107-120.
- JOHANSSON, T. (1999): Dry matter amounts and increment in 21- to 91-year-old common alder and grey alder and some practical implications. – Canadian Journal of Forest Research **29**: 1679-1690.
- KOPP, D. & SCHWANECKE, W. (1994): Standortlich-naturräumliche Grundlagen ökologiegerechter Forstwirtschaft: 248 S.; Berlin (Deutscher Landwirtschaftsverlag).
- MUNDEL, G. (1982): Untersuchungen über die Evapotranspiration von Grasland auf Grundwasserstandorten. 2. Mitteilung: Beziehungen zwischen Bodenfaktoren und Evapotranspiration. – Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenk. **26**(8): 515-521; Berlin.
- ROBERTS, J.M. (2001): Catchment and process studies in forest hydrology: Implications for indicators of sustainable forest management. – In: RAISON, R.J., BROWN, A.G. & FLINN, D.W. (Eds.): Criteria and Indicators for Sustainable Forest Management, Chapt. 15: 259-310; CAB International.
- SCHÄFER, A. & JOOSTEN, H. (Hrsg.) (2005): Erlenaufforstung auf wiedervernässten Niedermooeren. – ALNUS-Leitfaden: 68 S.; Greifswald (Institut für Dauerhaft Umweltgerechte Entwicklung von Naturräumen der Erde (DUENE) e. V.).
- STEIDL, J. (2004): Berechnung der Abflussbildung. – In: SCHINDLER, U., THIÈRE, J., STEIDL, J. & MÜLLER, L. (2004): Bodenhydrologische Kennwerte heterogener Flächeneinheiten – Methodik der Ableitung und Anwendungsbeispiel Nordostdeutschland. Fachbeiträge des Landesumweltamtes Brandenburg, Heft 87 – Bodenschutz 2.
- STEIDL, J., BAUER, O., DIETRICH, O., KERSEBAUM, K. & QUAST, J. (2002): Möglichkeiten zur Minderung der Gewässerbelastung aus diffusen landwirtschaftlichen Quellen im pleistozänen Tiefland. – In: Wechselwirkungen zwischen Grundwasserleitern und Oberflächengewässern, Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 1: 114-119.

- SUCCOW, M. & HAMPICKE, U. (2004): Wiedervernässung von Niedermooren mit gereinigtem Abwasser – Umweltverträglichkeit und Möglichkeiten der nachhaltigen Nutzung. -Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung **43**(2): 1-4.
- SUCCOW, M. & KOSKA, I. (2001): Wasserstufen und Wasserstufen-Ausbildungen. – In: SUCCOW, M. & JOOSTEN, H. (Hrsg.): Landschaftsökologische Moorkunde, 2. Aufl.: 93-96; Stuttgart (Schweitzerbart).
- SUCCOW, M. & RUNZE, K. (2001): Revitalisierung von Flusstalmooren. – In: SUCCOW, M. & JOOSTEN, H. (Hrsg.): Landschaftsökologische Moorkunde, 2. Aufl.: 504-509; Stuttgart (Schweitzerbart).
- TGL 42812 Meliorationen; Bodenwasserregulierung (BWR); Teil /07 Bemessung und Nachweise. DDR-Fachbereichsstandard, Ausgabe 10.1985.
- TIEMEYER, B. (2003): Wasserhaushalt des renaturierten Niedermoores „Mittleres Trebeltal“ sowie Abschätzung des Stoffaustrags am Beispiel des Phosphors. – Diplomarbeit, Univ. Rostock, Agrar- und umweltwiss. Fakultät, FB Landeskultur und Umweltschutz, Inst. f. Bodenkunde und Pflanzenernährung (2 Bde.).
- UM-MV (2000): Konzept zur Bestandssicherung und zur Entwicklung der Moore in Mecklenburg-Vorpommern. – <http://www.um.mv-regierung.de/moore/moorkonzept/index.htm> (29.05.2006)
- VEGELIN, K.J. (2002): Das mittlere Trebeltal im Jahr 2001 – Analyse der Entwicklungen von Wasserhaushalt und Vegetation entlang von 8 Transekten. – Unveröff. Endbericht im Auftrag des I.L.N. Greifswald.
- WICHTMANN, W. & KOPPISCH, H. (1998): Nutzungsalternativen für Niedermoore am Beispiel Nordostdeutschlands. – Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung **39** (4): 162-168.

Anschrift der Verfasser:

Dr. R. Dannowski
 Dr. O. Dietrich
 Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V.
 Institut für Landschaftswasserhaushalt
 Eberswalder Straße 84
 D-15374 Müncheberg
 E-Mail: rdannowski@zalf.de, odietrich@zalf.de

Manuskript eingegangen am 6. Juni 2006.

