

**Schlussbericht der NW-FVA für das Arbeitspaket 2 (AP2) im Projekt
Wasserwald im Privatwald der östlichen Lüneburger Heide in
Niedersachsen**

Ertragskundliche Bewertung verschiedener Waldentwicklungstypen auf den vorherrschenden
Standortstypen

Unterauftragnehmer: Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Grätzelstr. 2, D-37079 Göttingen

Auftraggeber: Landwirtschaftskammer Niedersachsen,
Johannsenstrasse 10, 30159 Hannover

Bearbeitung durch: Dr. M. Albert, Prof. Dr. J. Nagel, Prof. Dr. H. Spellmann

Ausgangssituation für die waldwachstumskundlichen Simulationen

Im Rahmen des Wasserwald-Projektes war es die Aufgabe der Abteilung Waldwachstum der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, auf ausgewählten Standorten des Projektgebietes Ostheide (Niedersachsen) geeignete Waldentwicklungstypen (WET) auf standörtlicher Grundlage unter Beachtung von heutigen und zukünftig unter Klimawandel sich potenziell verschärfenden Trockenstresslimitationen zu identifizieren. Des Weiteren war es das Ziel, ausgehend von einem zu Simulationsbeginn 60-jährigen Kiefernbestand ertragskundliche Kennwerte des Waldumbaus für die ausgewählten WET (Eiche-Kiefer, Douglasie-Buche, Kiefer, Kiefer-Lichtwuchs, Kiefer-Douglasie, Eiche) und den Blattflächenindex für die Wasserhaushaltssimulationen zu berechnen.

1 Simulationsgebiet

Die waldwachstumskundlichen Simulationen sollten die wichtigsten klimatischen und bodenkundlichen Charakteristika des Untersuchungsgebietes wider zu spiegeln.

1.1 Simulationsgebiet

Im Untersuchungsgebiet Ostheide Niedersachsen wurden daher in Abstimmung mit der Landwirtschaftskammer Niedersachsen, der Firma UDATA und einer Expertengruppe sieben geografisch verortete Standorte für die waldwachstumskundlichen Simulationen ausgewählt (Tab. 1). Die geografische Lage bestimmt die jeweils spezifischen Klimadaten und die sieben Punkte decken die Unterschiede in den mittleren Jahresniederschlägen des Referenzzeitraumes 1971 bis 2000 mit einem Minimum von 682 mm im Südosten und einem Maximum mit 761 mm im Nordwesten ab.

Nr.	Standortkartierung		dgm (500m)		wasim Grobmodell		1971-2000 (MESS)	Beschreibung (grob)	
	WH-Nr.		Geländehöhe (Mittel)	Rechtswert	Hochwert	Column	Row		mittlerer Niederschlag
1001	43		98,67	3618640	5887830	40	36	761,4 mm	Nordwesten des Drawehn, Kammlage, bei Hohenfier
1002	42		53,13	3630640	5889870	64	32	709,7 mm	Nordosten (bei Metzingen), Ostseite (zum Elbtal hin)
1003	43		104,85	3625660	5882060	54	48	748,2 mm	mittlerer Bereich des Drawehn, Westseite
1004	41		56,92	3630180	5881470	63	49	698,1 mm	mittlerer Bereich, Ostseite
1005	42		91,17	3624660	5873440	52	65	710,9 mm	Südlicher Teil des Drawehn, Westseite
1006	43		52,96	3631180	5872440	65	67	682,7 mm	Südlicher Teil des Drawehn, Ostseite
1007	43		83,06	3622080	5866900	47	78	706,5 mm	Südspitze (Westseite)

Tab. 1: Sieben geografisch verortete Standorte als Grundlage für die waldwachstumskundlichen Simulationen.

1.2 Standorte

Zur Verallgemeinerung der Ergebnisse wurden auf jeder der sieben geografischen Einheiten als Eingangsgrößen für die waldwachstumskundliche Simulation jeweils die beiden Standorte mit den Wasserhaushalts- bzw. Nährstoffziffern 42//3-/2+ (mäßig frisch, schwach nährstoffversorgt) und 43/3 (mäßig sommertrocken, mäßig nährstoffversorgt) betrachtet. Die beiden Standorte decken 89,6 % der Fläche im Kerngebiet Ostheide ab (vgl. Tab. 30, UDATA, 2013). Insgesamt ergaben sich für die Simulationen somit 14 hypothetische Standorte (7 geografische Einheiten x 2 bodenkundliche Standorte).

2 Datengrundlage

Die waldwachstumskundlichen Simulationen wurden unter konstantem heutigem Klima (Referenzperiode 1991 bis 2010) und mit Klimaänderung für die drei Projektionsperiode 2011 bis 2030, 2031 bis 2050 und 2051 bis 2070 durchgeführt. Die Projektion des zukünftigen Klimas für die sieben geografischen Einheiten erfolgte mit dem Regionalmodell STARS (Orlowsky et al., 2008) auf der Grundlage der Klimaprojektion der drei Globalmodelle INM-CM4 (Volodin et al., 2010), ECHAM6 (Stevens et al., 2013) und ACCESS 1.0 (Bi et al., 2013). Die Globalmodelle wurden alle mit dem Emissionsszenario RCP 8.5 (Moss et al., 2010, van Vuuren et al., 2011) angetrieben. Die drei Klimaprojektionen ergaben hinsichtlich der Temperaturabweichung bis 2070 einen Minimum-, Median- und Maximumlauf (vgl. Albert et al., 2015 und 2016).

Für die Bonitätsschätzung der Modellbestände mit dem longitudinalen Durchmesser-Höhen-Modell von Schmidt (2010) an den sieben Standorten wurden folgende Parameter benötigt (Tab. 2):

Parameter	Erläuterung
Baumart	Kiefer + Arten des entsprechenden WET
Alter	festgesetzt auf 100 (berechnet wird Bonität im Alter 100)
Inventurjahr	festgesetzt auf 2015
dg	geschätzt mit dg-Modell (Schmidt, 2010)
Relativer Durchmesser	festgesetzt auf 1
Höhe über NN	siehe Tabelle 1
Geografische Koordinaten	siehe Tabelle 1
Temperatursumme in der Vegetationszeit	artspezifisch für Eiche, Buche, Fichte (Douglasie wie Fichte), Kiefer; geliefert von UDATA; Erläuterungen unten
Ariditätsindex	Erläuterungen unten
nutzbare Feldkapazität	Erläuterungen unten
Nährstoffziffer	entsprechend der beiden angenommenen Standorte (schwach bzw. mäßig)
Grundwasserstufe	festgesetzt auf 0 (kein Grundwasseranschluss)
Kodierung Berg-/Tiefland	festgesetzt auf Tiefland
Kodierung Niedersachsen	Ja (d.h. Stufe 2 des DH-Modells wird mit Niedersachsenvariante gerechnet)

Tab. 2: Im longitudinalen Durchmesser-Höhen-Modell verwendete Parameter mit Erläuterung ihrer Herleitung.

Die Klimaparameter Temperatursumme in der Vegetationszeit, Jahresmitteltemperatur, mittlere Temperatur in der Vegetationszeit und Jahresniederschlag sowie der Niederschlag in der Vegetationszeit wurden in jährlicher Auflösung von 1971 bis 2070 von der Firma UDATA und der NW-FVA Abt. Umweltkontrolle zur Verfügung gestellt. Der Beginn der artspezifische Vegetationszeit wird darin nach dem Modell LNVAR von Menzel (1997, S. 52 ff) und das Ende nach Vorschlägen von Walther und Linderholm (2006) sowie Frich et al. (2002) berechnet. Der Ariditätsindex nach de Martonne (1926) ist definiert als Quotient aus Jahresniederschlagssumme [mm] und Jahresmitteltemperatur [°C] +10. In dieser Untersuchung wurde der Ariditätsindex für die Vegetationszeit verwendet, indem die

Niederschlagssumme und die mittlere Temperatur in der Vegetationszeit zu Grunde gelegt wurden.

Die bodenkundliche Kenngröße nutzbare Feldkapazität wurde für die Standorte mäßig frisch und mäßig sommertrocken in Abhängigkeit der Frischstufe (Wasserhaushaltsziffer 42 entspricht dem Modellparameter Frischstufe der Klasse TL 3 und WHZ 43 der Klasse TL 2), der Substratlagerung (hier: Geschiebesand mit Sandunterlagerung; entspricht dem Modellparameter der Substratlagerung der Klasse TL 4) und der geografischen Lage mit Hilfe eines Schätzmodells berechnet (vgl. Overbeck et al., 2011).

Die Klimadaten auf Basis des Emissionsszenarios RCP 8.5 wurden auf die Parametrisierungsgrundlage des longitudinalen Durchmesser-Höhen-Modells (regionales Klimamodell WETTREG angetrieben mit A1B trocken) transformiert (vgl. Fleck et al., 2015, S. 31 ff).

3 Waldumbau

Ausgangsbasis für die waldwachstumskundliche Simulation des Waldumbaus war ein zu Beginn der Simulation 60-jähriger Kiefernreinbestand mit einem Bestockungsgrad von 0,6. Je nach angestrebten WET erfolgte die Abnutzung des Kiefernaltbestandes innerhalb von 20 Jahren (für WET 17 und 76) bzw. innerhalb von 30 Jahren (für WET 62, 70, 70L). Die Baumarten des angestrebten WET wurden in den vorgegebenen Anteilen zu Beginn der Simulation mit einem Startalter von 5 Jahren etabliert.

4 Methodisches Vorgehen

4.1 Auswahl der WET

Auf standörtlicher Grundlage unter Beachtung von heutigen und zukünftig unter Klimawandel sich potenziell verschärfenden Trockenstresslimitationen (vgl. Spellmann et al., 2007 und 2015; Albert et al., 2015 und 2016) wurden folgende WET (Mischungsanteil in Klammern) ausgewählt:

17: Eiche/Kiefer (70:30)

62: Douglasie/Buche (70:30)

70: Kiefer (100)

70L: Kiefer-Lichtwuchs (100); niedrige Grundflächenhaltung (B° 0,8 zu Beginn der Simulation)

76: Kiefer-Douglasie (70:30)

10: Eiche (100)

Die ertragskundliche Entwicklung dieser fünf WET wurde für alle 14 Standortkombinationen berechnet.

Die projizierte Veränderung der Niederschlagssumme in der Vegetationszeit um durchschnittlich +8 mm in dem Minimumklimaszenario, -42 mm in dem Medianklimaszenario und -48 mm in dem Maximumklimaszenario wird höchstwahrscheinlich zu einer verschärften Trockenstressgefährdung für die Baumart Buche führen. Andere Untersuchungen für die Region Uelzen bestätigen diese Einschätzung (Albert

2015 und 2016). Die Planung der Buche als führende Hauptbaumart ist auf den ausgewählten Standorten unter dem Gesichtspunkt der Risikovermeidung nicht sinnvoll.

4.2 Schätzung der Höhenbonität

Mit Hilfe des longitudinalen Durchmesser-Höhen-Modells (Schmidt, 2010) sowie dem standortsensitiven Schätzer für den Kreisflächenmittelstamm (dg-Schätzer) (Schmidt, 2010) wurden Mittelhöhenbonitäten in Abhängigkeit vom Standort und den Klimaprojektionen für die Hauptbaumarten für den Status quo (1991 bis 2010) und die drei Projektionsperioden (2011 bis 2030; 2031 bis 2050; 2051 bis 2070) geschätzt.

Das longitudinale Durchmesser-Höhen-Modell schätzt die Mittelhöhe einer Baumart als Funktion vom Alter, dem BHD, dem relativen Durchmesser, der Geländehöhe, der geografischen Lage, der artspezifischen Temperatursumme in der Vegetationszeit, dem Ariditätsindex, der nutzbaren Feldkapazität, der Nährstoffversorgung und der Grundwasserstufe. Die gesuchte Mittelhöhenbonität erhält man für jede Baumart auf den 14 Standortkombinationen, indem das Alter auf 100 gesetzt wird, als BHD der dg im Alter 100 (geschätzt mit dem dg-Modell), der relative Durchmesser mit 1 angegeben wird (herrschende Schicht) und die übrigen Variablen mit den standortsspezifischen Werten eingehen, wobei für die Klimavariablen Mittelwerte der jeweiligen Periode verwendet werden.

Auf Grund des sich verändernden Klimas kommt es hierbei auch zu einer Veränderung der Mittelhöhenbonitäten, die somit nicht im klassischen Sinne als Bestandeshöhe der Baumart im Alter 100, sondern als dynamisches Potenzial der Standort-Leistungs-Beziehung interpretiert werden muss.

Die geschätzten Bonitäten sind die Eingangsgrößen für die Berechnung der Bestandeswerte mit Hilfe von neu erstellten Ertragstafeln der NW-FVA. Da für die Verwendung der Ertragstafeln die Oberhöhenbonität notwendig ist, wurden die geschätzten Mittelhöhenbonitäten wie folgt umgerechnet (Tab. 3):

Baumart	Funktion
Fichte	$H_{100} = 3,6831 + 0,9417 \cdot hg_{100}$
Kiefer	$H_{100} = 1,62 + 0,9743 \cdot hg_{100}$
Douglasie	$H_{100} = 2,0317 + 0,9804 \cdot hg_{100}$
Buche	$H_{100} = 2,1825 + 0,9637 \cdot hg_{100}$
Eiche	$H_{100} = 2,2277 + 0,9534 \cdot hg_{100}$

Tab. 3: Schätzfunktionen zur Transformation der Mittelhöhenbonität (hg_{100}) in die Oberhöhenbonität (H_{100}).

Die Herleitung der Schätzfunktionen basiert auf der Schoberscher Ertragstafel unter der Annahme, dass sich das Verhältnis zwischen Oberhöhe und Mittelhöhe unter neuen Bewirtschaftungskonzepten und durch Standortveränderungen nicht verschoben hat.

4.3 Berechnung der Bestandeswerte

Für die Berechnung der Bestandeswerte wurden die mit dem Waldwachstumssimulator der NW-FVA (Hansen und Nagel 2014) erzeugten Ertragstafeln verwendet. Diese Ertragstafeln wurden aus 10-fach wiederholten Simulationen von Reinbeständen für Eiche, Buche, Kiefer und Douglasie bei Hochdurchforstung für verschiedene Höhenbonitäten durch einen

funktionalen Ausgleich hergeleitet. Sie bilden darüber hinaus im Vergleich zu den Tafeln der Ertragstafelsammlung von Schober das heutige stärkere Wachstum besser ab (Schober 1987). Für die Berechnungen wurden die Funktionen direkt in ein Java Programm integriert und die Mischbestandswerte nach Baumarten und Schichten über eine Anteilflächenberechnung hergeleitet.

Die Veränderung der Bonität der Baumarten durch die Klimaveränderungen wurde über die Schätzung der Höhenbonität zu den Jahren 2010, 2030, 2050 und 2070 in das Modell eingebracht. Dazu wurden die unter 5.2 für die verschiedenen Lokalitäten und die beiden Standortstypen hergeleiteten Oberhöhen im Alter 100 in das Programm übernommen. Die geschätzten Höhenbonitäten unterstellen, dass ein Bestand über die gesamte Umtriebszeit unter einem solchem Klima gewachsen ist. Die in dieser Studie simulierten Bestände wachsen in dem unterstellten Klima jeweils nur für 20 Jahre. Insofern ist die Veränderung der Höhenbonität in Folge der Klimaänderung weniger dramatisch. Die effektive Bonitätsveränderung wurde berechnet, in dem der geschätzte Höhenzuwachs, welcher sich aus den übernommenen Oberhöhenbonität ergibt, der aktuellen Oberhöhe hinzugerechnet und anschließend der Bestand jeweils neu bonitiert wird. Dadurch ergibt sich eine graduelle Veränderung der Bonität wie sie in den Ergebnistabellen in der Spalte aktBon (aktuelle Bonität) zu finden ist.

Die für die Berechnung der Wasserspende wichtige Variable LAI (Blattflächenindex) wurde nach den Vorgaben der Ausschreibung über die Funktionen wie sie bei Hammel und Kennel (2001) beschrieben sind, berechnet. An dieser Stelle wird angemerkt, dass für die Douglasie keine Funktion vorhanden ist und stattdessen zur Berechnung der Douglasien LAIs die Fichtenfunktion, wie im Expertenbeirat abgesprochen, verwendet, wurde.

Für die Berechnung der Ergebnislisten wurden zunächst Tabellen mit den Eingangsparametern für die Lokalitäten und die beiden Standortstypen aufgebaut. Dieses sind die csv Dateien:

Diese Dateien wurden zeilenweise mit dem Java-Programm NewTafel in der Methode readInput() eingelesen. Die Methode berechnet auch die Ergebnisse mit Hilfe der o.g. Ertragstafelfunktionen und schreibt schließlich die Ergebnislisten in die Datei Ausgabe.txt aus. Letztere wurde in Exceldateien für die weitere Verarbeitung durch die Arbeitsgruppe UDATA aufbereitet und dieser zeitnah zur Verfügung gestellt.

6 Datenlieferung

Die NW-FVA hat die in der o.g. Tabelle aufgeführten Ergebnisdateien per Email an die Firma UDATA und die Landwirtschaftskammer Niedersachsen Ende August 2015 geliefert.

7 Literatur

ALBERT, M., LEEFKEN, G., NUSKE, R., AHREND, B., SUTMÖLLER, J. UND SPELLMANN, H., 2016: Auswirkungen von klimatischer Unsicherheit auf die Forstplanung am Beispiel von vier Regionen im norddeutschen Tiefland. AFJZ, angenommen.

ALBERT, M., HANSEN, J., NAGEL, J., SCHMIDT, M. UND SPELLMANN, H. (2015). Assessing risks and uncertainties in forest dynamics under different management scenarios and climate change. *Forest Ecosystems*, **2(1)**, 14. <http://doi.org/10.1186/s40663-015-0036-5>

- BI, D., DIX, M., MARSLAND, S., O'FARRELL, S., RASHID, H., UOTILA, P., HIRST, A., KOWALCZYK, E., GOLEBIEWSKI, M., SULLIVAN, A., YAN, H., HANNAH, N., FRANKLIN, C., SUN, Z., VOHRALIK, P., WATTERSON, I., ZHOU, X., FIEDLER, R., COLLIER, M., MA, Y., NOONAN, J., STEVENS, L., UHE, P., ZHU, H., GRIFFIES, S., HILL, R., HARRIS, C. AND PURI, K. (2013): The ACCESS coupled model: description, control climate and evaluation, *Aust. Met. Oceanogr. J.*, **63**: 41-64.
- FLECK, S.; ALBERT, M.; PLAŠIL, P.; NAGEL, R.; SUTMÖLLER, J.; AHREND, B.; SCHMIDT, MAT.; EVERS, J.; HANSEN, J.; OVERBECK, M.; SCHMIDT, W.; SPELLMANN, H.; MEESENBURG, H.: Pilotstudie zu den lokalen Auswirkungen des Klimawandels auf die Forstwirtschaft in ausgewählten Regionen Sachsen-Anhalts. Beiträge aus der NW-FVA, Band 13, 221 S.
- FRICH, P., ALEXANDER, L. V., DELLA-MARTA, P., GLEASON, B., HAYLOCK, M., TANK KLEIN, A. M. G. und PETERSON, T. (2002): Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Research*, **19(3)**: 193–212. <http://doi.org/10.3354/cr019193>
- HAMMEL, K.; KENNEL, M. (2001): Charakterisierung und Analyse der Wasserverfügbarkeit und des Wasserhaushalts von Waldstandorten in Bayern mit dem Simulationsmodell Brook90. Forstliche Forschungsberichte München, 185
- HANSEN, J.; NAGEL, J. (2014): Waldwachstumskundliche Softwaresysteme auf Basis von TreeGrOSS - Anwendung und theoretische Grundlagen. Beiträge aus der NW-FVA, Band 11, 224 S.
- MARTONNE E DE (1926): Une nouvelle fonction climatologique: l'indice d'aridité. *La Météorologie* **21**: 449-458.
- MENZEL, A (1997): Phänologie von Waldbäumen unter sich ändernden Klimabedingungen – Auswertung der Beobachtungen in den Internationalen Phänologischen Gärten und Möglichkeiten der Modellierung von Phänodaten. Forstliche Forschungsberichte München, **Nr. 164**: 147 S.
- MOSS RH, EDMONDS JA, HIBBARD KA, MANNING MR, ROSE S (2010): The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, **463**: 747-756.
- ORLOWSKY, B, GERSTENGARBE, F-W und WERNER, PC (2008): A resampling scheme for regional climate simulations and its performance compared to a dynamical RCM. *Theor. Appl. Climatol.* **92(3-4)**: 209-223.
- OVERBECK, M.; SCHMIDT, MAT.; FISCHER, C.; EVERS, J.; SCHULZE, A.; HÖVELMANN, T.; SPELLMANN, H.: Ein statistisches Modell zur Regionalisierung der nutzbaren Feldkapazität von Waldstandorten in Niedersachsen. *Forstarchiv*, 82. Jg., 92-100
- SCHOBER, R. (1987): Ertragstabellen wichtiger Baumarten. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, S.166.
- SCHMIDT, M. (2010): Ein standortsensitives, longitudinales Höhen-Durchmesser-Modell als Lösung für das Standort-Leistungs-Problem in Deutschland. Jahrestagung der Sektion Ertragskunde des DVFFA in Körbecke, Möhnesee vom 17.-19.05.2010. 131-152.
- SPELLMANN, H., SUTMÖLLER, J. und MEESENBURG, H. (2007): Risikovorsorge im Zeichen des Klimawandels. *AFZ-Der Wald* **23**: 1246-1249
- SPELLMANN, H., MEESENBURG, H., SCHMIDT, MAT., NAGEL, R.-V., SUTMÖLLER, J., ALBERT, M. (2015): Klimaanpassung ist Vorsorge für den Wald. Strategien zur Stabilisierung der Wälder – ohne Aktionismus. *proWald (Magazin des Dt. Forstvereins)*, **11**: 4-10
- STEVENS, B. M. GIORGETTA, M. ESCH, T. MAURITSEN, T. CRUEGER, S. RAST, M. SALZMANN, H. SCHMIDT, J. BADER, K. BLOCK, R. BROKOPF, I. FAST, S. KINNE, L. KORNBLUEH, U. LOHMANN, R. PINCUS, T. REICHLER und E. ROECKNER (2013): Atmospheric component of the MPI-M Earth System Model: ECHAM6. *J. Adv. Model. Earth Syst.*, **5**: 146–172, doi:[10.1002/jame.20015](https://doi.org/10.1002/jame.20015).
- UDATA (2013): Auswirkungen von Klimawandel und Waldbaustategien auf das Grundwasserdargebot im Privatwald der niedersächsischen Ostheide. Abschlussbericht des BMBF-Projektes „Klimainduzierte grundwasserwirtschaftliche Veränderungen in der Metropolregion Hamburg und Maßnahmen zur Adaption“. 77 S.
- VAN VUUREN DP, EDMONDS J, KAINUMA M, RIAHI K, THOMSON A, HIBBARD K, HURTT GC, KRAM T, KREY V, LAMARQUE J-F, MASUI T, MEINSHAUSEN M, NAKICENOVIC N, SMITH SJ, ROSE SK (2011): The representative concentration pathways: an overview. *Clim Change* **109**: 5-31
- VOLODIN EM, DIANSKII NA, GUSEV AV (2010) Simulation present day climate with the INMCM4.0 coupled model of the atmospheric and oceanic general circulations *Izvestia RAS. Atmos Ocean Phys* **46**:414–431

WALTHER, A. und LINDERHOLM, H.W. (2006): A comparison of growing season indices for the Greater Baltic Area. Int J Biometeorol 51: 107-118.

Anhang:

Liste der Dateien

Dateiname	Version
20150730umbau.csv	Eingangsparameter mittleres Klima, die Kopf
20150730umbau_min.csv	Eingangsparameter minimum Klima
20150730umbau_max.csv	Eingangsparameter maximum Klima
20150730umbau_neu.csv	Eingangsparameter mittleres Klima + zusätzliche Werte
20150730umbau.xlsx	Ergebnisse mittleres Klima
20150730umbau_min.xlsx	Ergebnisse minimum Klima
20150730umbau_max.xlsx	Ergebnisse maximum Klima
20150730umbau_neu.xlsx	Ergebnisse mittleres Klima + zusätzliche Werte
20151127NewEtafel.zip	Zip Datei mit dem NetBeans (8.1) Projekt für das Berechnungsprogramm NewETäfel