

## Nachhaltigkeit von Biomassepotentialen in Kurzumtriebsplantagen unter Klimawandel

J. Rock, P. Lasch, F. Suckow, F. Badeck  
Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V.

### Einleitung:

Der Einsatz von Holz-Hackschnitzeln ist eine Möglichkeit zur Produktion von „nachwachsender“ bzw. „Bio-Energie“ zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen (BMVEL 2004). Eine Möglichkeit zur Produktion von Hackschnitzeln sind Energieholzplantagen (EHPI, auch als Kurzumtriebs- oder Schnellwuchsplantagen bezeichnet) aus schnellwachsenden Baumarten, die niederwaldartig im Stockausschlagverfahren und in Kurzumtrieben bewirtschaftet werden. Hackschnitzel aus EHPI sind als alternative Produkte insbesondere für Regionen mit vergleichsweise armen Böden interessant, da dort bei einem weiteren Rückgang der Agrarsubventionen mit einem entsprechenden Rückgang der landwirtschaftlichen Bodennutzung zu rechnen ist. Versuche mit Schnellwuchsplantagen sind in Deutschland seit ca. 30 Jahren durchgeführt worden, großflächige Anbauten sind jedoch nicht erfolgt. Die meisten älteren, länger beobachteten Versuchsflächen liegen zudem in Westdeutschland und dort oft im Mittelgebirge, während derzeit sozio-ökonomische Szenarien einen Rückgang der herkunftigen Landwirtschaft vor allem in (Nord-)Ostdeutschland erwarten (ZEBISCH 2004). Für diese Region fehlen großflächige und langfristige Versuche zu möglichen Erträgen sowie Untersuchungen zur Nachhaltigkeit entsprechender Anbauten unter zu erwartendem Klimawandel. Nach Angaben der ETI (ETI 2006) beträgt die derzeitige Anbaufläche von EHPI in Brandenburg 106 ha, inklusive Versuchsflächen. Am Beispiel mehrerer Standorte in Brandenburg wurden deshalb mit Hilfe des ökophysiologischen Waldwachstumsmodells 4C Analysen zu möglichen Biomasse-Ertragsleistungen unter derzeitigem Klimaregime sowie unter verschiedenen Klimaszenarien bis 2055 durchgeführt.

**Stichworte:** Energieholz, Klimawandel, Aspe, *Populus tremula* (L.), Ertrag

### Material und Methoden:

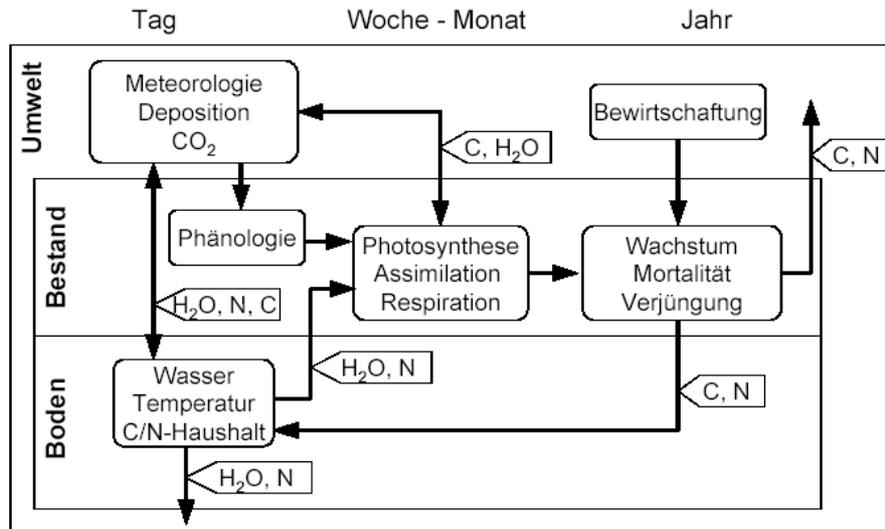
#### 1. Das Modell 4C:

Für die Simulationen war die Implementierung einer geeigneten Baumart im öko-physiologischen Waldwachstumsmodell 4C („FOREst Ecosystems in a changing Environment“, (BUGMANN 1997, LASCH et al. 2002) notwendig. Die Wahl hierzu fiel auf die Aspe (*Populus tremula* (L.), *P. tremuloides* (Michx.)) da diese

- schon erfolgreich in früheren Versuchen angebaut wurde (HOFMANN-SCHIELLE et al. 1999, JUG et al. 1999, KARACIC et al. 2003, RYTTER & STENER 2005, KAUTER 2002, STIELL & BERRY 1986, WOLF & BRANDT 1995),
- auf einer relativ breiten Standortsamplitude gute Erträge liefert (LIESEBACH et al. 1999a; LIESEBACH et al. 1999b),
- die Standortsansprüche insgesamt etwas geringer sind als bei den meisten anderen Pappeln oder Pappelklonen (MOHRDIEK 1977; HOFMANN 2002), was auf den eher armen Böden Brandenburg positiv ist, und
- Europäische (*P. tremula* L.) und Nordamerikanische Aspe (*P. tremuloides* Michx.) so ähnlich in ihren Ansprüchen und Reaktionen auf Umweltbedingungen und Bewirtschaftungsmaßnahmen sind dass sie als eine circumboreale Art („circumboreal aspen“, (PERALA et al. 1995, PERALA et al. 1996, HOST & PERALA 2004) zusammengefasst werden können.

Der letzte Punkt war besonders wichtig da für die Implementierung einer neuen Art in 4C über 60 verschiedene Parameter bestimmt werden müssen. Für keine andere Pappelart (auch Sorte oder Klon) bestand eine Chance diese Parameter bestimmen zu können, wie eine Sichtung der Literatur ergab.

4C ist ein Kohortenmodell, das den Kohlenstoff-, Stickstoff- und Wasserhaushalt von Waldbeständen beschreibt. Diese Kohorten sind in der Dimension frei bestimmbar (im Extrem besteht eine Kohorte aus nur einem Baum), besitzen jedoch keinen Lagebezug und sind nicht räumlich explizit.



**Abbildung 1.** Das Modell 4C beschreibt Flüsse und Vorräte von Kohlenstoff, Stickstoff und Wasser in Waldbeständen.

Das Modell wird überwiegend zur Analyse von Auswirkungen von Klima und Bewirtschaftung auf ökosystemarer Ebene eingesetzt. In den letzten Jahren wurden ein Holzproduktmodul und ein Modul für sozio-ökonomische Analysen ergänzt. Für die hier vorgestellten Untersuchungen musste zusätzlich zu einer neuen Baumart die Verjüngung über Stockausschläge ergänzt werden, die bisher nicht in 4C implementiert war. Bei der Implementierung der Aspe erfolgte zuerst einer Plausibilitätsprüfung anhand von Literaturdaten (Ertragstafeln und sonstige Wuchsangaben, z. B. EDGAR & BURK (2001), ERIKSSON (1984), HOFMANN-SCHIELLE et al. (1999), HOST & PERALA (2004), JOHNSON (1976), PERALA et al. (1995), PERSON et al. (1971), SCHLAEGEL (1971)). Für die Validierung wurde der Wachstumsgang auf verschiedenen realen Versuchsflächen in Sachsen und Niedersachsen (HOFMANN-SCHIELLE et al. 1999, LIESEBACH et al. 1999a, VON WÜHLISCH 2006; WOLF & BRANDT 1995, WOLF & BÖHNISCH 2003) simuliert und mit dem realen Wuchs verglichen.

## 2. Simulationen:

Das potentiell zur Verfügung stehende Areal wurde aus Analysen von ZEBISCH (2004) entnommen und der jeweils vorliegende Bodentyp nach der Bodenübersichtskarte für Deutschland 1:1.000.000 (BÜK 1000, BGR 1998) bestimmt. Die sechs häufigsten Bodentypen decken über 80 Prozent der potentiellen Fläche ab, so dass mit diesen Böden gerechnet wurde (Tabelle 1). Für die Klimadaten wurden Messreihen von fünf Stationen, in deren Umfeld ein relativ hoher Anteil an potentiellen EHPI-Flächen zu erwarten ist, aus einem am PIK verfügbaren Datensatz verwendet (ÖSTERLE et al. 2006). Für diese Stationen liegen regionalisierte Klimawandelszenarien vor (GERSTENGARBE et al. 2003), von denen drei Realisationen eines auf dem IPCC A2-Szenario basierenden globalen Szenarios verwendet wurden. Alle drei beschreiben eine Temperaturzunahme bis 2055 um 1,4 °K bei unterschiedlichem Niederschlagsniveau und unterschiedlicher Verteilung des Niederschlags über das Jahr. Sie sind im Folgenden entsprechend ihrer generellen Charakteristik mit „feucht“, „mittel“ und „trocken“ gekennzeichnet. Die Zuordnung zu einem Niederschlagsniveau besagt jedoch nicht dass in jedem individuellen Jahr in der Realisation „feucht“ mehr Niederschlag fällt als in der „trockenen“.

Die Simulationen erfolgten jeweils über einen Zeitraum von 20 Jahren, einerseits als kontinuierliches Wachstum über diese Zeit und andererseits als 4 5-jährige Umtriebszeiten mit Verjüngung über Stockausschlag. Als Anfangspflanzendichte wurden 8300 je Hektar angenommen, da für diese und ähnliche Dichten am meisten Vergleichsdaten aus der Literatur vorlagen. Die betrachteten Zeiträume waren 1982 – 2002 für „derzeitiges Klima“ sowie 2005 – 2025 (Periode 1), 2019 – 2040 (Periode 2) und 2035 – 2055 (Periode 3) für zukünftig mögliches Klima. Die Trennung zwischen „derzeitig“ und „zukünftig“ erfolgte in 2003 da nur bis zu diesem Jahr überprüfte Wetterdaten zur Verfügung standen. Tabelle 2 enthält eine grobe Charakteristik der möglichen Klimaentwicklung an einem der 5 Versuchsstandorte.

**Tabelle 1:** Referenzböden aus der BÜK 1000 und ihr Anteil an potentiell brachfallenden Flächen (nach ZEBISCH, 2004):

BÜK Referenznummer	Bodentyp:	Fläche (ha)	Anteil an potentieller Brache (%)	Mittlere Parzellengröße (ha)
6	Niedermoorboden	21.920	9,4	12,1
12	Gleye der sandigen Urstromtäler und Niederungen	38.260	16,4	16,4
17	Podsol / Braunerde-Podsol / Gley-Podsol aus sandigen Flussablagerungen	13.520	5,8	11,3
26	Fahlerde / Bänderparabraunerde / Braunerde aus sandigen Deckschichten über Geschiebelehm	50.930	21,9	14,5
27	Pararendzina / Regosol / Bänderparabraunerde im engräumigen Wechsel aus sandigen bis lehmigen Bildungen der Endmoränen	28.300	12,1	14,0
31	Braunerde-Podsol / Podsol-Braunerde aus trockenen, nährstoffarmen Sanden	36.420	15,6	12,9
Summe:		189.340	81,2	13,5

**Tabelle 2:** Klimacharakteristik für die verschiedenen Perioden am Beispielsstandort Baruth, mittlere Klimarealisation

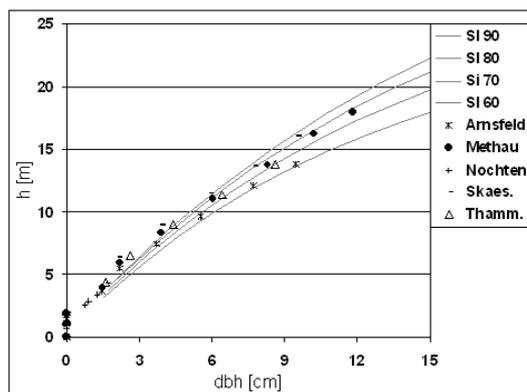
Periode	Jahre	Jahresmitteltemperatur (°C)	mittlerer Jahresniederschlag (mm)
derzeitig	1982 – 2003	9.6	500
1	2005 – 2025	10.2	523
2	2019 – 2040	11.0	498
3	2035 – 2055	11.5	491

Um die Sensitivität der Simulationen gegenüber unterschiedlichen Bedingungen in der Jugendentwicklung der Bestände zu testen wurde das Startjahr variiert und die Auswirkungen auf Stammzahl-, Höhen- und Durchmesserentwicklung sowie Biomasseproduktion ermittelt.

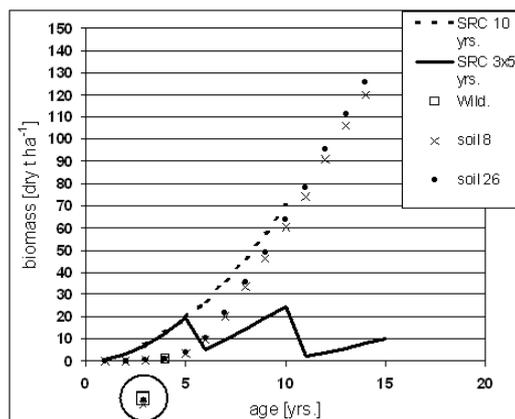
### Ergebnisse:

#### 1. - Modellerweiterung:

Simulationen auf Versuchsstandorten in Sachsen zeigen ein der natürlichen Höhen- und Durchmesserentwicklung entsprechendes Verhalten (Abb. 2). An manchen Standorten zeigt sich eine Tendenz zur Überschätzung der Höhen- und Unterschätzung der Durchmesserentwicklung, die Biomasseentwicklung entspricht jedoch in der Regel der real gemessenen, wenn auch mit einem Zeitverzug von 1 – 2 Jahren. Abbildung 3 zeigt die Simulation einer 20jährigen Produktionszeit auf einem Versuchsstandort in Niedersachsen. Die Referenzkurven in dieser Abbildung sind anhand von Literaturdaten (HOFMANN-SCHIELLE et al. 1999, LIESEBACH et al. 1999a., VON WÜHLISCH 2006) erstellte Leitkurven für die Biomasseproduktion von Aspen-Energieholzplantagen. Die verwendeten Bodendaten sind aus der BÜK 1000 entnommen und entsprechen den beiden Bodentypen, die auf dieser Versuchsfläche vorzufinden sind (8: Auenboden, 26: siehe Tabelle 1).



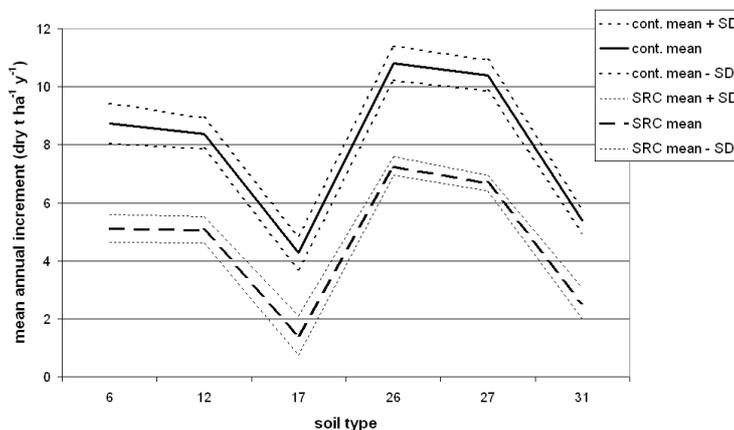
**Abbildung 2:** Simulierte Höhen- und Durchmesserentwicklung auf Versuchsflächen in Sachsen im Vergleich zu Ertragstafeldata (Schlaegl 1971).



**Abbildung 3:** Wachstumsgang über 20 Jahre auf einer niedersächsischen Versuchsfläche („Wildeshausen“) auf zwei BÜK-Referenzböden. Im Kreis: Übereinstimmung der Simulationen (x, •) mit den vorliegenden Messwerten (○).

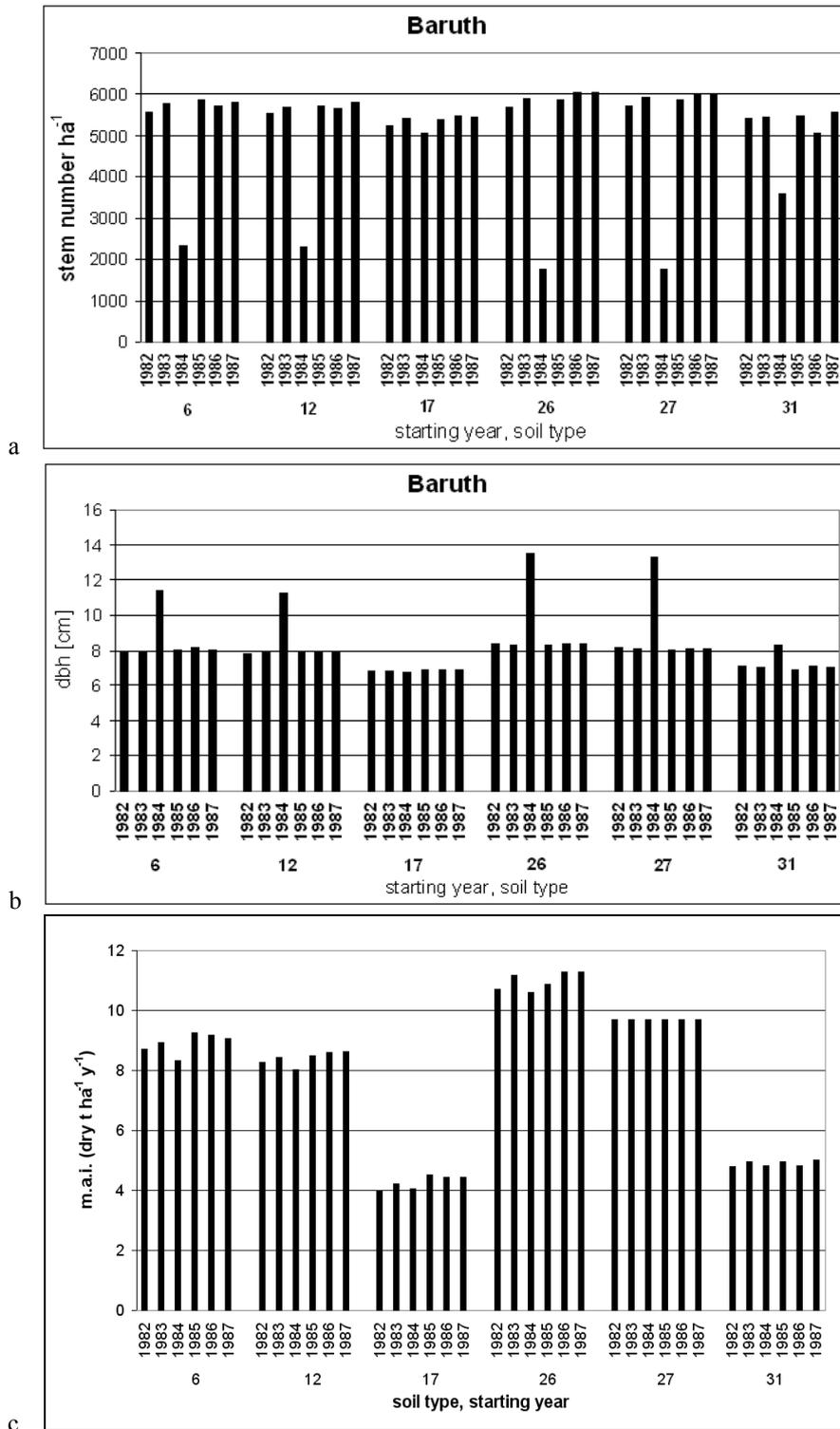
## 2. Ertragspotentiale unter derzeitigem und zukünftigem Klima:

Je nach Standort sind unter derzeitigen Klimabedingungen zwischen 60 und 220 Tonnen (atro) Biomasse in Form von Hackschnitzeln erreichbar. Der durchschnittliche Zuwachs betrug dementsprechend 3 bis 11 t ha<sup>-1</sup> J<sup>-1</sup> (Abbildung 4) in 20jährigem Umtrieb, aber nur 0,2 bis 7,6 t im Kurzumtrieb. Die Unterschiede zwischen den Standorten sind sehr viel ausgeprägter als die Unterschiede, die durch die Verwendung von Datenreihen der 5 Klimastationen verursacht werden, weshalb in dieser Auswertung alle Regionen zusammen dargestellt sind. Besonders auffällig ist der geringere Gesamtertrag bei Kurzumtriebsbetrieb im Vergleich zum kontinuierlichen Wachstum.



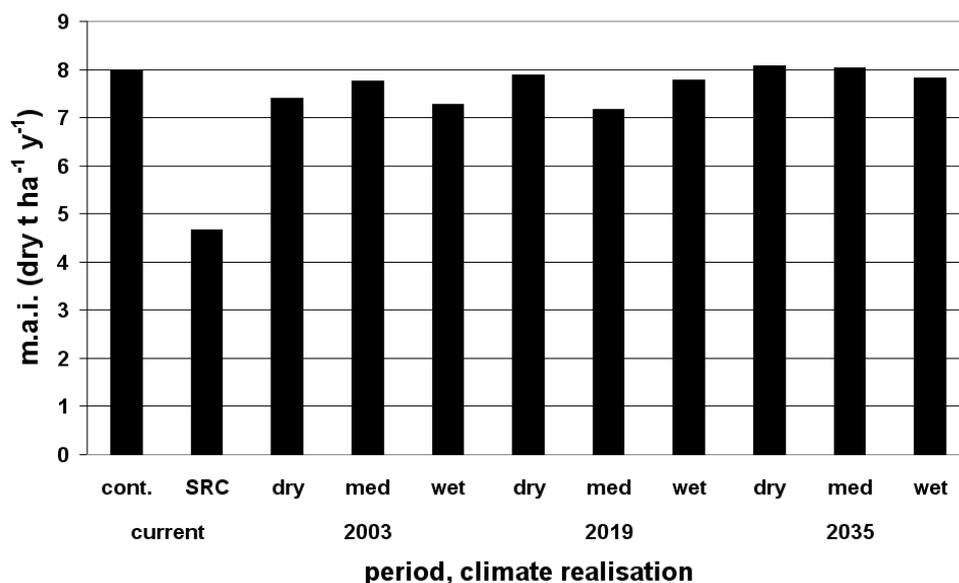
**Abbildung 4:** Leistungspotential (durchschnittlicher jährlicher Zuwachs in t Biomasse (atro)) auf 6 verschiedenen Bodentypen („soil type“). Dicke Linien: durchgezogen: kontinuierliches Wachstum über 20 Jahre, gestrichelt: Wachstum über 4 5-Jahres-Umtriebe. Gepunktete Linien: jeweilige Standardabweichung

Die Witterungsbedingungen in den Anfangsjahren haben Auswirkungen auf die Mortalität. Eine Abnahme der Stammzahl auf bis zu 30 Prozent der Ausgangspflanzenzahl ist für die Biomasseproduktion in 20jährigem Umtrieb jedoch nicht negativ, da ein stärkeres Durchmesserwachstum zu einer insgesamt gleich hohen Biomasseproduktion führt (Abbildung 5 a – c). Bei Kurzumtriebswirtschaft kann das Zusammentreffen von Ernte- und Trockenjahren jedoch zu einem völligen Zusammenbruch und Ausfallen der Plantage führen.



**Abbildung 5:** Sensitivität von Endstammzahl (a, oben), Brusthöhendurchmesser (b, Mitte) und durchschnittliche Biomasseproduktion (c, unten) gegen verschiedene Startjahre der Simulation auf 6 Referenzbodentypen an einem Beispielstandort. Laufzeit der Simulation: 15 Jahre.

Unter möglichem zukünftigen Klima sind die Ertragspotentiale tendenziell etwas geringer als derzeitig, wobei die unterschiedlichen Realisationen sich – im Mittel über alle Bodentypen und Klimastationen – um maximal eine Tonne Trockenmasse pro Hektar und Jahr unterscheiden (Abbildung 6).



**Abbildung 6:** Biomasseproduktion ( $t \text{ (atro)} \text{ ha}^{-1} \text{ J}^{-1}$ ) unter derzeitigem Klima und möglichen zukünftigen Klimarealisierungen. Die Jahreszahlen geben das Startjahr der Perioden an, „dry“: trockene, „med“: mittlere, „wet“: feuchte Klimaszenariorealisation.

#### Diskussion:

Die Implementierung von Aspen in das Modell 4C war erfolgreich. Die bisher getätigten Simulationen liefern Resultate im Rahmen der bekannten Leistungsspektren der Aspe (FRIEDRICH 1999, LIESEBACH et al. 1999b, WOLF & BÖHNISCH 2003). Gegenüber realem Wachstum ist ein Zeitverzug von 1 – 2 Jahren festzustellen, was vor dem Hintergrund der beabsichtigten Potentialabschätzung eine konservative Schätzung bedeutet und deshalb nicht negativ ist. Der Parametrisierung liegen Angaben aus ca. 100 Literaturquellen zu Grunde. Für die Validierung standen jedoch nur vergleichsweise wenige Standorte zur Verfügung. Weitere Vergleichen mit realen Versuchsflächendaten sind deshalb sehr wünschenswert.

Die simulierten Erträge reichen auf 2 der 6 verwendeten Standortstypen derzeit nur knapp für eine Kostendeckung in der Produktion (GRÜNEWALD, mdl.). Die anderen 4 Bodentypen umfassen 60% der nach den verwendeten sozio-ökonomischen Szenarien potentiell verfügbaren Fläche. Auf ihnen liegen die Erträge oberhalb von  $7 t \text{ atro} \text{ ha}^{-1} \text{ J}^{-1}$ , was in etwa dem durchschnittlichen Hektargewinn landwirtschaftlicher Haupterwerbsbetriebe in Brandenburg entspricht (ROCK (im Druck)). Diese Grenze wird auch unter Berücksichtigung von möglichem Klimawandel nicht unterschritten. Die verwendeten Szenarien unterschieden sich allerdings nur geringfügig in der Niederschlagshöhe, sondern primär in der Verteilung über das Jahr (GERSTENGARBE et al. 2003). Vor dem Hintergrund der generell problematischen Angabe künftig möglicher Niederschlagsentwicklung (globale Klimamodelle liefern z. B. für Mitteleuropa nach wie vor unterschiedliche Tendenzen) sind weitere Studien zur Sensitivität notwendig. Wird bei der Produktion mit kurzen Umtriebszeiten gewirtschaftet erreichen die Plantagen nur auf zweien der verwendeten Standorte die o. a. Ertragsschwelle, was auch in anderen Versuchen festgestellt wurde (LIESEBACH et al. 1999b, WOLF & BÖHNISCH 2003).

Die Aspe ist generell keine bevorzugte Baumart für Kurzumtriebsplantagen, da sie nicht so einfach wie andere Pappeln über Stecklinge vermehrt werden kann sondern gepflanzt werden muss (LANDGRAF & BÖCKER 2007; LIESEBACH et al. 1999b), mehr zu Wurzelbrut denn zu Stockausschlägen neigt, das Stockausschlagsvermögen in ganz frühem und ab mittlerem Alter gering ist (LANDGRAF & BÖCKER 2007, PERALA et al. 1979, RYDBERG 2000) und ihr Wachstum in den ersten Jugendjahren vergleichsweise schwach ist und erst bei längeren Umtriebszeiten hohe Werte erreicht (LIESEBACH et al. 2000). Gerade der letzte Punkt wurde auch in den vorgestellten Ergebnissen deutlich. Die Aspe ist für eine Kurzumtriebsplantage nicht optimal geeignet, war jedoch die einzige für das Modell verwendbare Art: für keine andere wären die benötigten Parameter zu beschaffen gewesen, allenfalls auf der Ebene der Gattung, nicht der Art. Zudem wiesen Aspen in den bekannten Versuchen eine geringere Standortssensitivität auf als die üblicherweise verwendeten Pappeln und leisteten auch auf geringen Standorten noch befriedigende Erträge. Durch den Anbau von Aspen in verschiedenen Versuchen ist es zudem möglich, diese als Referenz zu betrachten und die Leistung anderer Pappelsorten oder –klone in Relation zu ihrer Leistung zu schätzen.

**Zusammenfassung:**

Zur Abschätzung derzeitiger Biomasseproduktionspotentiale und deren Nachhaltigkeit unter möglichem Klimawandel wurde das öko-physiologische Waldwachstumsmodell 4C um die Bewirtschaftungsform „Kurzumtriebsplantage“ ergänzt und die Baumart Aspe implementiert. Aus sozio-ökonomischen Szenarien für die landwirtschaftliche Bodennutzung wurden durch Verschneidung mit der Bodenübersichtskarte für Deutschland die wichtigsten potentiell brachfallenden Bodentypen bestimmt. Für die Simulation zukünftigen Klimas wurden 3 unterschiedliche Realisationen eines regionalisierten Klimaszenarios mit der Annahme einer Temperaturerhöhung um 1,4 °K bis 2055 und unterschiedlichen Feuchtigkeitsregimes herangezogen. Berechnungen an 5 Standorten und mit 6 Bodentypen zeigten jährliche Biomasseleistungen zwischen 3 und 11 Tonnen (atro) je Hektar unter kontinuierlichem Wachstum über 20 Jahre, aber nur 0,2 bis 7,6 t in Kurzumtriebswirtschaft mit 4 5jährigen Umtrieben. Die Biomasseleistung im 20jährigen Umtrieb reagiert wenig auf Klimaänderungen, weder bei unterschiedlichen Startbedingungen unter gegenwärtigem Klima noch bei den angenommenen Temperaturerhöhungen bis 2055. Diese Ergebnisse deuten auf wenig Probleme mit der Anlage von Aspen-Energieholzplantagen derzeit auf geeigneten Standorten hin. Weitere Vergleiche mit Versuchsflächen sind zur weiteren Absicherung der Parametrisierung wünschenswert.

**Summary:**

To assess growth potential under given climate and its sustainability under changing climate aspen (*Populus tremula* (L.), *P. tremuloides* (Michx.)) was implemented in the eco-physiological forest growth model 4C and short-rotation coppicing (SRC) was added as management option. The most important soil types of the lands potentially available were derived from the German Soil Survey Map, coupled with socio-economic scenarios for agriculture. Three different climate realisations of a regional climate model were chosen to represent possible future climate until 2055, with an increase of 1.4 °K in temperature and different moisture regimes. Simulations at 5 sites and 6 soil types showed yields between 3 and 11 dry tonnes per hectare and year in 20-year rotations, but only 0.2 to 7.6 tonnes in 4 5-year SRC rotations. Biomass production showed small changes due to climatic change until 2055. These results indicate that biomass production on soil types currently suited will be sustainable under climate change. Further studies to improve and to strengthen the validation would be helpful.

**Danksagung:**

Die Daten für die Validierungen stellten freundlicherweise Herr Dr. M. Liesebach, Herr Dr. H. Wolf (LB Sachsenforst) und Herr Dr. G. v. Wühlisch (BFH) zu Verfügung.

**Literatur:**

- BGR (1998): Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:100.000.000 (BÜK 1000). Hannover, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.
- BMVEL (BUNDESMINISTERIUM FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, ERNÄHRUNG, UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT) (2004): Konzept zur energetischen Nutzung von Biomasse. Bonn, 22 S.
- Bugmann, H. (1997): An efficient method for estimating the steady-state species composition of forest gap models. *Can. J. For. Res.* **27**: 551-556.
- EDGAR, C. B. & T. E. BURK (2001): Productivity of aspen forests in northeastern Minnesota, USA, as related to stand composition and canopy structure. *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere* **31**(6): 1019-1029.
- ERIKSSON, H. (1984): Yield of Aspen and poplars in Sweden. *Ecology and Management of Forest Biomass Production Systems*. K. Perttu. **15**: 393 - 419.
- ETI (2007): Energie-Technologie-Initiative des Landes Brandenburg, <http://eti-brandenburg.de/energieatlas/biofestbrennstoffe/index.cfm>, 28.3.2007
- FRIEDRICH, A. (1999): Anbautechnische Untersuchungen in forstlichen Schnellwuchsplantagen und Demonstration des Leistungsvermögens schnellwachsender Baumarten. Modellvorhaben " Schnellwachsende Baumarten ". M. Hofmann (Hrsg.) (1999): 19 - 150.
- GERSTENGARBE, F.-W., F. BADECK, F. HATTERMANN, V. KRYSANOVA, W. LAHMER, P. LASCH, M. STOCK, F. SUCKOW, F. WECHSUNG & P. C. WERNER (2003). Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven. PIK Report. Potsdam, PIK: 96.
- Hofmann, M., (Hrsg.) (1999): Modellvorhaben "Schnellwachsende Baumarten" - Zusammenfassender Abschlußbericht. Schnellwachsende Rohstoffe. Münster, Landwirtschaftsverlag.
- HOFMANN, M. (2002): Anbau von Pappeln auf landwirtschaftlichen Stilllegungsflächen zur Erzeugung von Holzstoff für die Papierherstellung. Hann. Münden, Forschungsinstitut für schnellwachsende Baumarten: 23.

- HOFMANN-SCHIELLE, C., A. JUG, F. MAKESCHIN & K. E. REHFUESS (1999): Short-rotation plantations of balsam poplars, aspen and willows on former arable land in the Federal Republic of Germany. I. Site-growth relationships. *Forest Ecology and Management* **121**(1-2): 41-55.
- HOST, G. E. AND D. A. PERALA (2004): ASPEN - A circumboreal Growth and Yield Model for *Populus tremuloides* and *P. tremula*: User's Guide.: 6.
- JUG, A., C. HOFMANN-SCHIELLE, F. MAKESCHIN, K. E. REHFUESS (1999): Short-rotation plantations of balsam poplars, aspen and willows on former arable land in the Federal Republic of Germany. II. Nutritional status and bioelement export by harvested shoot axes. *Forest Ecology and Management* **121**(1-2): 67-83.
- JOHNSSON, H. (1976): Das Produktionspotential der Hybridaspe (*Populus tremula* x *tremuloides*) in Südschweden. *Die Holzzucht*: 19 - 22.
- KARACIC, A., T. VERWIJST & M. WEIH (2003): Above-ground woody biomass production of short-rotation populus plantations on agricultural land in Sweden. *Scandinavian Journal Of Forest Research* **18**(5): 427-437.
- KAUTER, D. (2002): Biomasseerzeugung mit Pappeln und Aspen in Schnellwuchsplantagen: ein Überblick. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* **14**: 265 - 266.
- LANDGRAF, D. & L. BÖCKER (2007): Stockausschlagpotenzial von Aspe und Robinie. *AFZ / Der Wald* **2**: 80 - 83.
- LASCH, P., F. W. BADECK, M. LINDNER & F. SUCKOW (2002): Sensitivity of simulated forest growth to changes in climate and atmospheric CO<sub>2</sub>. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* **121**: 155 - 171.
- LIESEBACH, M., G. VON WUEHLISCH & H. J. MUHS (1999a): Aspen for short-rotation coppice plantations on agricultural sites in Germany: Effects of spacing and rotation time on growth and biomass production of aspen progenies. *Forest Ecology and Management* **121**(1-2): 25-39.
- LIESEBACH, M., G. V. WÜHLISCH & H.-J. MUHS (1999b). Eignung der Baumart Aspe und Prüfung von Aspenhybriden für die Biomasseerzeugung in Kurzumtriebsplantagen. Modellvorhaben " Schnellwachsende Baumarten ". in Hofmann, M. (Hrsg.)(1999): 240 - 313.
- LIESEBACH, M., G. V. WÜHLISCH & H.-J. MUHS (2000): Überlegenheit von Aspen-Arthybriden bei der Biomasseproduktion im Kurzumtrieb. *Die Holzzucht*: 11 - 18.
- MOHRDIEK, O. (1977): Hybridaspen für forstliche Grenzertragsböden. *Forstarchiv* **48**: 158 - 163.
- ÖSTERLE, H., F.-W. GERSTENGARBE & P. C. WERNER (2006): Ein neuer meteorologischer Datensatz für Deutschland, 1951 - 2003. 7. Deutsche Klimatagung - Klimatrends: Vergangenheit und Zukunft., München, Meteorologisches Institut der Ludwig-Maximilians-Universität.
- PERALA, D. A., G. E. HOST, J. K. JORDAN & C. J. CIESEWSKI (1996): A multiproduct growth and yield model for the circumboreal aspens. *Northern Journal of Applied Forestry*. **13**(4): 164 - 170.
- PERALA, D. A., R. A. LEARY & C. J. CIESZEWSKI (1995): Stockability, Growth, and Yield of the Circumboreal Aspens (*Populus tremuloides* Michx., *P. tremula* L.). Pages
- PERSON, R. A., A. R. HALLGREN & J. W. HUBBARD (1971): Yields from short-rotation aspen suckers. St. Paul, School of Forestry, Univ. of Minnesota, Division of Forestry, Minnesota Conservation Department & Forest Industries of Minnesota: 4.
- ROCK, J. (im Druck): Ökologische Aufwertung von Energieholzplantagen - Möglichkeiten und Kosten. *Archiv für Forstwesen und Landschaftsökologie* 2 / 2007
- RYDBERG, D. (2000): Initial sprouting, growth and mortality of European aspen and birch after selective coppicing in central Sweden. *Forest Ecology and Management* **130** (1-3): 27-35.
- RYTTER, L. & L. G. STENER (2005): Productivity and thinning effects in hybrid aspen (*Populus tremula* L. x *P. tremuloides* Michx.) stands in southern Sweden. *Forestry* **78**(3): 285-295.
- SCHLAEGEL, B. E. (1971): Growth and yield of quaking aspen in north-central Minnesota. St. Paul, USDA Forest Service, North Central Forest Experiment Station.
- STIELL, W. M. & A. B. BERRY (1986): Productivity Of Short-Rotation Aspen Stands. *Forestry Chronicle* **62**(1): 10-15.
- VON WÜHLISCH, G. (2006): Ergebnisse der Züchtung von Pappeln und Aspen in Großhansdorf - Perspektiven für die Energie- und Rohstoffherzeugung. *Vortr. Pflanzenzüchtg.* **70**: 157 - 172.
- WOLF, H. & R. BRANDT (1995): Growth and quality of intra-specific aspen (*Populus tremula* L) progenies. *Silvae Genetica* **44**(5-6): 319-325.
- WOLF, H. & B. BÖHNISCH (2003). Modellvorhaben StoraEnso / Verbundvorhaben Pappelanbau für die Papierherstellung: Teilvorhaben Anbau von Pappeln und Aspen auf potentiellen landwirtschaftlichen Stilllegungsflächen unter Berücksichtigung ökologischer Gesichtspunkte (Phase I). / Monitoring von Pappelanbauten auf landwirtschaftlichen Stilllegungsflächen unter besonderer Berücksichtigung ökologischer Gesichtspunkte (Phase II). Pirna, Landesforstpräsidium Sachsen: 73.
- ZEBISCH, M. (2004): Modellierung der Auswirkungen von Landnutzungsänderungen auf Landschaftsmuster und Biodiversität. Fakultät VII - Architektur, Umwelt, Gesellschaft. Berlin, Technische Universität. **Ph.D.**: 180.