

## **Auswirkungen des Klimawandels auf die Waldvegetation: Anpassungsfähigkeit und ihre Grenzen**

MAIK VESTE

Die gegenwärtig ablaufenden Änderungen des Klimas werden möglicherweise in naher Zukunft zu starken Veränderungen der Lebens- und Umweltbedingungen in der Landschaft und deren Nutzung führen. Die aktuellen Modellszenarien gehen von einem mittleren Temperaturanstieg von 1.5 bis 4 K in den nächsten Jahrzehnten aus. Bereits heute führt die sich abzeichnende Erwärmung der Erdatmosphäre der vergangenen Jahrzehnte zu einer Verschiebung der Klimazonen und als deren Folge zu signifikanten Veränderung der Verbreitungsareale von Pflanzenarten (BERGER & WALTER 2006). Diese Verschiebung der Vegetationsgürtel in Richtung der höheren Berglagen bzw. der höheren Breitengrade kann als vereinfachtes Modell für die Auswirkungen der Klimaerwärmung auf die Vegetation angesehen werden. Die zu erwartende Zunahme der Häufigkeit von Jahren mit sommerlichen Trocken- und Hitzeperioden mit Intensitäten wie 2003 oder schlimmer und von Starkregenereignissen bedeuten zumindest regional erheblichen Stress für die Ökosysteme.

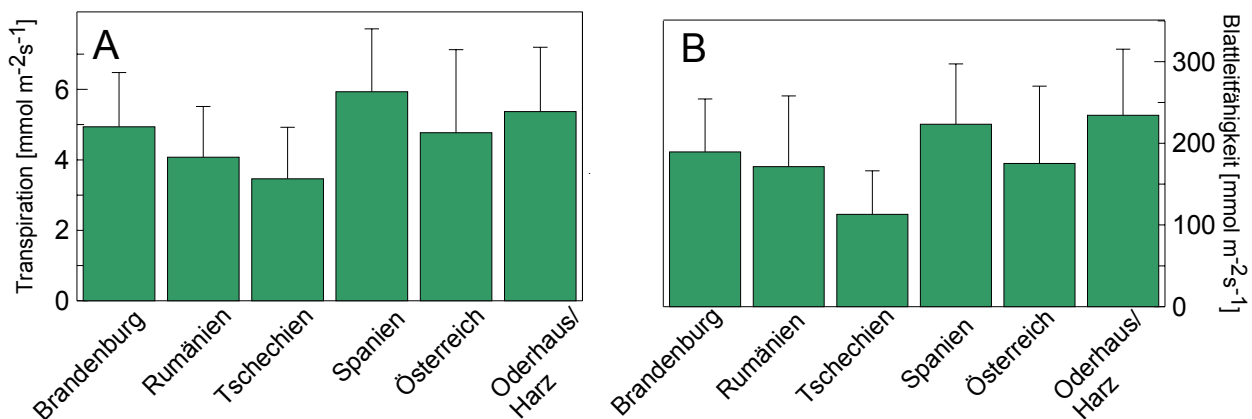
### **Angepasstheit und Anpassungsfähigkeit**

Die genetische Ausstattung der Arten bedingt die Angepasstheit und Anpassungsfähigkeit der Arten an die Umweltbedingungen. Für die Reaktionen auf den Klimawandel der Waldbaumarten und deren Verbreitung wird die phänotypische Flexibilität entscheidend sein. Molekulargenetische Untersuchungen belegen die hohe genetische Vielfalt, die innerhalb von Populationen sogar größer sein kann als zwischen den Populationen. Diese genetischen Ressourcen und deren phänotypische/ökophysiologische Ausprägung sind grundlegend für das Überleben der Populationen an ihrem Standort. Gerade bei langlebigen Arten – wie den Bäumen – ist deren ökophysiologischen Anpassungsfähigkeit wichtig, um auf extreme Wetterereignisse wie Hitze, Frost, Trockenheit und Starkregen zu reagieren.

### **Beispiel Buche (*Fagus sylvatica*)**

Die Buche (*Fagus sylvatica*) ist eine der wichtigsten laubabwerfenden Baumarten in Europa. Ihr natürliches Verbreitungsgebiet reicht von Spanien, Sizilien, dem Balkan bis nach Südnorwegen, Südschweden und nach Zentralpolen. Die Buche besitzt zwar eine weite ökologische Amplitude, ist aber gegenüber Trockenheit, Staunässe und Spätfrösten empfindlich. Anpassungsmaßnahmen des Waldbaus und des naturschutzfachlichen Managements der Wäldern an die Klimavariabilität und Klimawandel werden intensiv diskutiert (BRECKLE 2005, BOLTE 2005, BOLTE & IBISCH 2007, GEBLER *et al.* 2007), wobei öfters auch eine Gefährdung der Buche vertreten wird.

Für ein besseres Verständnis der Reaktion der Baumarten auf den Klimawandel und zur Untersuchung der Möglichkeit der Anpassung der Wälder an künftige Klimabedingungen werden am Johann Heinrich von Thünen-Institut in Hamburg seit einigen Jahren umfangreiche ökophysiologische und Wachstumsmessungen an verschiedenen Rotbuchen-Herkünften durchgeführt (VESTE *et al.* 2007, KRIEBITZSCH *et al.* 2008). Als Versuchsfläche dient ein von dem Institut für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung vor 15 Jahren angelegter Provenienzversuch in Schädbeck in der Nähe von Kiel, für den Saatgut von Buchenherkünften aus ganz Europa (Provenienzen) an verschiedenen Orten des Verbreitungsgebiets gesammelt, unter einheitlichen Bedingungen zu Pflanzenmaterial angezogen und feldversuchsmäßig angepflanzt wurden (KRIEBITZSCH *et al.* 2005). Dabei zeigten sich insbesondere nach dem extremen Sommer 2003 deutliche Unterschiede in den untersuchten Herkünften, die sich insbesondere beim Zuwachs und in den Folgejahren auch bei den ökophysiologischen Messungen bemerkbar machten (Abb.1). Die Herkünfte aus dem Harz, Spanien und Österreich erreichten bereits im Jahr 2004 wieder hohe Zuwachsraten, während die Herkunft aus Tschechien deutlich mit ihrem Zuwachs zurückblieb. Auch in den Folgejahren waren Transpiration (Abb. 1A), stomatare Leitfähigkeit (Abb. 1B) und Photosynthese der tschechischen Herkunft deutlich reduziert, während insbesondere die Herkünfte aus den feuchteren Regionen des Harzes und Spaniens die höchsten Werte aufwiesen.



**Abb. 1: Transpiration (A) und Blattleitfähigkeit verschiedener Buchenherkünften auf der Versuchsfläche in Schädbeck bei Kiel im Jahr 2006. (nach Kriebitzsch *et al.* 2005).**

Diese Untersuchungen zeigen, dass Herkünfte mit einer hohen Sensitivität gegenüber Trockenheit und einer langen Erholungsphase besonders von einer erhöhten Frequenz von Trockenjahren betroffen sein könnten, was drastische Auswirkungen auf die Stabilität dieser Bestände hätte. Welche Auswirkungen eine verstärkte Frequenz von Trockenheitsphasen und hohen Niederschlägen tatsächlich auf die Erholung der Bäume haben wird, ist allerdings ungeklärt. Die Bedeutung der Selektion zeigen auch Untersuchungen entlang eines Trockenheitsgradienten von Ostdeutschland, über Westpolen an Zentralpolen. Jungpflanzen vom östlichen Rand des Verbreitungsgebietes weisen hier eine höhere Trockentoleranz auf, während der Anteil der trockenheits-empfindlichen Jungpflanzen abnahm (BOLTE 2005, CZAJKOWSKI & BOLTE 2005). Ein Anbau von Herkünften aus Südeuropa in Mitteleuropa wird vielfach diskutiert, dürfte aber wegen des früheren Blattaustriebs und damit verbundenen erhöhten Gefährdung durch Spätfröste problematisch sein.

So besteht ein weiterer Forschungsbedarf, um das Potenzial der Anpassungsfähigkeit der Buche an die sich ändernden Klimabedingungen zu erforschen und geeignete waldbauliche Maßnahmen zu entwickeln.

### Beispiel Stechpalme (*Ilex aquifolium*)

Die Stechpalme (*Ilex aquifolium*) gehört zu den wenigen immergrünen Laubbaumarten in Mitteleuropa, deren nördliche und östliche Verbreitungsgrenze eine bemerkenswerte Übereinstimmung mit dem Verlauf der 0°C-Januar-Isotherme hat. Abnehmende winterliche Temperaturen begrenzen hier maßgeblich die Verbreitung der Art. Als eine Folge Anstieg der winterlichen Temperaturen auf Grund der Klimaerwärmung konnte diese Art in den letzten Jahrzehnten ihr Verbreitungsgebiet weiter nach Norden und Osten erweitern (BERGER 2003). Aufgrund ihrer Frostsensitivität eignen sich immergrüne Arten, wie *Ilex aquifolium*, *Hedera helix* und *Prunus lauroceratus*, als ideale Indikatoren für die Auswirkungen des Klimawandels auf die Pflanzenwelt (BERGER 2003, DIERSCHKE 2005). Der Anstieg der winterlichen Temperaturen wird es den immergrünen Gehölzen ermöglichen, auch Photosynthese im Winter und Frühjahr zu betreiben (Abb. 2), und so einen ökologischen Vorteil gegenüber den laubabwerfenden Bäume während dieser Jahreszeiten zu bekommen. Die Chlorophyllfluoreszenz-Technik ermöglicht eine *in situ* Messung der maximalen Photosyntheseleistung in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur als auch der tatsächlichen Photosynthese. Freilandmessungen während des milden Winters 2006/07 belegen die hohe Flexibilität der Photosynthese von *Ilex aquifolium* bei niedrigen Temperaturen (BERGER & VESTE 2007). Bei Frost sank zwar die maximale mögliche Photosyntheseleistung (gemessen als maximale Quantenausbeute des Photosystems II) deutlich ab, aber diese

Inhibition der Photosynthese war vollständig reversibel. Bereits zwei Stunden nachdem die Blätter einer Raumtemperatur von 20 °C ausgesetzt waren, war die volle Photosyntheseleistung wieder erreicht. Diese Untersuchungen zeigten, dass *Ilex aquifolium* von den steigenden winterlichen Temperaturen weiter profitieren wird. Sommerliche Hitze und zunehmende Trockenheit hingegen könnten die weitere Verbreitung der Art an der östlichen und südlichen Verbreitungsgrenze einschränken. Die ökophysiologische Anpassungsfähigkeit dieser Populationen an diese Stressfaktoren am "rear edge" des Verbreitungsgebietes wird hier maßgeblich für ihr Überleben an diesen Standorten sein.

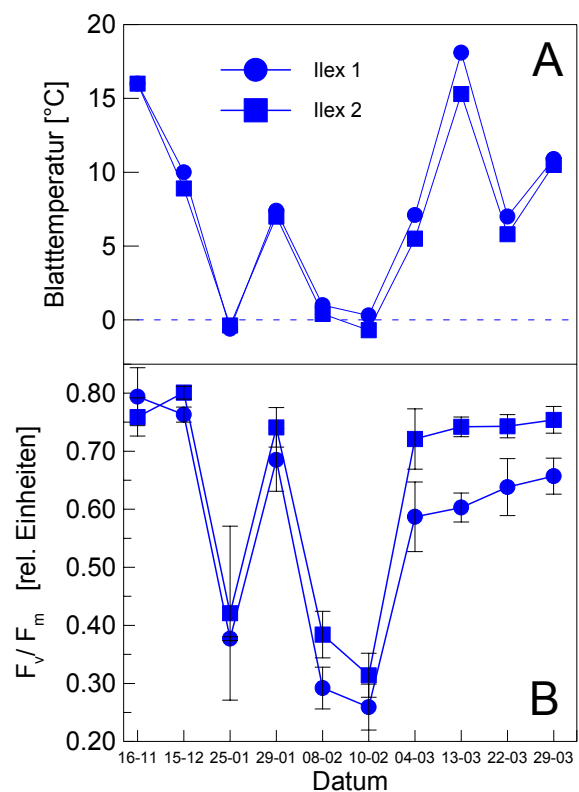


Abb.2: Blatttemperatur (A) und maximale Quantenausbeute (B) von *Ilex aquifolium* im Winter 2006 (nach BERGER & VESTE 2007)

## Schlussfolgerungen

Bäume reagieren auf Änderungen in ihrer Umwelt über genetische Änderungen über viele Generationen. Aber bei Umweltschwankungen, die kürzer sind als eine Generation, kommt der flexiblen phänotypischen und ökophysiologischen Anpassungsfähigkeit eine besondere Bedeutung zu. Insbesondere bestehen in der Anpasstheit zum Teil große Unterschiede zwischen den Populationen am "leading edge" und "rear edge" ihres Verbreitungsgebietes. Das Verständnis dieser Prozesse und deren Einbindung in die verschiedenen Skalenebenen ist ein nächster Schritt, um die Auswirkungen des Klimawandels auf die Vegetation und Ökosysteme besser zu verstehen und Prognosen über deren Entwicklung zu geben.

## Literatur

- BERGER, S. 2003. *Ilex aquifolium* – Bioindikator für Klimaveränderung? Diplomarbeit am Institut für Geobotanik, Leibniz Universität Hannover.
- BERGER, S. & VESTE, M. 2007. Temperature influence on photosynthetic activity of *Ilex aquifolium* L. - Photosynthetic advantage of climate change? *Verh. Ges. Ökol.* 37: 356
- BERGER, S. & WALTER, G.-R. 2006. Von Einzelarten zu Pflanzengesellschaften – sind Änderungen durch den Klimawandel zu erwarten? *BfN-Skripten* 180: 38-44.
- BRECKLE, S.-W. 2005. Möglicher Einfluss des Klimawandels auf die Waldvegetation Nordwest-Deutschlands? *LÖBF-Mitteilungen* 2/05: 19-24.
- BOLTE, A. 2005. Zur Zukunft der Buche in Mitteleuropa. *AFZ-Der Wald* 20/2005: 1077-1078.
- BOLTE, A. & IBISCH, P. 2007. Neun Thesen zu Klimawandel, Waldbau und Waldnaturschutz. *AFZ-Der Wald* 11/2007: 572-576.
- CZAJKOWSKI T. & BOLTE A. 2005. Unterschiedliche Reaktion deutscher und polnischer Herkünfte der Buche (*Fagus sylvatica* L.) auf Trockenheit. *Allg. Forst- u. J Ztg*, 177: 30-40.
- DIERSCHKE, H. 2005. Laurophyllisation – auch eine Erscheinung im nördlichen Mitteleuropa? Zur aktuellen Ausbreitung von *Hedera helix* in sommergrünen Laubwäldern. *Berichte der Reinhold-Tüxen-Gesellschaft* 17: 151-168.
- KRIEBITZSCH, W.-U., BICK, U., DEGEN, B. VON WÜHLISCH, G., SCHWEINLE, J., SCHMITT, U., PULS, J., WELLING, J., BECK, W. 2005. Anpasstheit und Anpassungsfähigkeit von Buchen-Provenienzen an Klimabedingungen. *BFH-Nachrichten* 2/2005: 2-3.
- KRIEBITZSCH, W.-U., BECK, W., SCHMITT, U & VESTE, M. 2008. Bedeutung trockener Sommer für Wachstumsfaktoren von verschiedenen Herkünften der Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.). *AFZ-Der Wald*: 246-248
- GEBLER, A., KEITEL, C., KREUZWIESER, J., MATYSSEK, R., SEILER, W., RENNENBERG, H. 2007. Potential risks for European beech (*Fagus sylvatica* L.) in a changing climate. *Trees* 21:1-11
- VESTE, M., SCHMITT, U., KRIEBITZSCH, W.-U. & BECK, W. 2007. European beech provenances (*Fagus sylvatica* L.) under climate change: response of transpiration, chlorophyll fluorescence and tree ring growth. *Verh. Ges. Ökol.* 37: 368