

Buchen-Tannen-Mischwälder zur Anpassung an Extremereignisse des Klimawandels – Das Projekt BuTaKli

Autoren: Rüdiger Unseld, Dominik Sperlich, Julia Schwarz, Jürgen Bauhus (Universität Freiburg)

Aktuell und zukünftig ist es eine große waldbauliche Herausforderung, Waldbestände so umzuformen, dass sie gegenüber den Folgen des Klimawandels ausreichend resistent, belastbar und anpassungsfähig sind. Dies gilt besonders für solche, die bereits jetzt als risikobehaftet angesehen sind.

Neben dem Anbau anderer Baumarten und der richtigen Herkunftswahl stehen vor allem Mischbestände im Zentrum forstlicher Anpassungsstrategien. Mischbestände ermöglichen eine Risikostreuung, falls eine oder mehrere Baumarten ausfallen oder in ihrer Vitalität beeinträchtigt werden. Sie können durch positive Interaktionen zwischen Baumarten auch die Resistenz und Resilienz der Ökosysteme hinsichtlich der Bereitstellung vielfältiger Ökosystemleistungen erhöhen. Strukturierte Mischbestände von Baumarten, die auch zukünftig standortsangepasst sind, gelten als besonders klimastabil.

In Wirtschaftswäldern sollten die ökologischen Funktionen sowie die bisherigen Ökosystemleistungen inklusive ökonomischer Funktionen erhalten bleiben. In der Vergangenheit lagen oft Fichten- und Kiefernreinbestände im Fokus bei Waldumbau- und Anpassungsstrategien. Die Trockenheitsereignisse im Sommer 2018 und 2019 haben gezeigt, dass selbst Buchenwälder in ihrem natürlichen Verbreitungsraum großflächig von massiven Trockenschäden mit erheblichen Kronenverlichtungen und erhöhter Mortalität betroffen sein können. Dies weist deutlicher auf eine zunehmende Sensitivität von Buchenwäldern gegenüber Trockenheit hin, deren Frequenz und Intensität künftig zunehmen soll.

Vom Waldklimafond gefördertes Verbundvorhaben „BuTaKli“

- **Beteiligte:** Universität Freiburg, Karlsruher Institut für Technologie
- **Untersuchungsschwerpunkt:** grundlegende Effekte einer Tannenbeimischung in Buchenbeständen
Inwiefern erhöht die Beimischung von Weißtanne in Buchenwäldern bzw. die Entwicklung von Buchen-Tannen-Mischwäldern die ökologische und sozio-ökonomische Stabilität dieser Wälder im Vergleich zu Reinbeständen.
- **Basis- Hypothese:** Die Mischung einer tiefwurzelnden, relativ trockenstresstoleranten einheimischen Nadelbaumart (Weißtanne) mit der flächenmäßig bedeutsamsten Laubbaumart (Buche) führt zu überwiegend positiven Interaktionen.

Erwartungen und Annahmen

- Besseres Wachstum und schnellere Regeneration der Buchen nach Dürren.
Vermutlich stellt die tiefwurzelnde Tanne über die Umverteilung von Bodenwasser, den sogenannten hydraulischen Lift (biologische Wasserpumpe), Wasser aus tieferen Bodenschichten den flacher wurzelnden Buchen zur Verfügung stellt.
- Positive Effekte auf die Durchwurzelung des Bodens sowie auf dessen Kohlen- und Stickstoffhaushalt durch die tiefwurzelnde Tanne.
- Tannenbeimischung könnte künftig zur Minderung der „Nadelholzlücke“ beitragen, die aufgrund des Rückgangs der trockenheitsempfindlichen Fichte für die kommenden Jahrzehnte prognostiziert wird.

Die Erwartungen an die Tanne als stabilisierende Mischbaumart sind also hoch. Erkenntnisse über tatsächlich beobachtbare Auswirkungen waren bisher aber noch gering.

Wichtige Ergebnisse in kurzer Form

Abb.1: Kolliner Waldbestand aus Buche, Tanne, Kiefer und Eiche mit Tannen-Naturverjüngung auf Keuper bei Rottenburg am Neckar. (Bild: T. Weich)



Wachstum

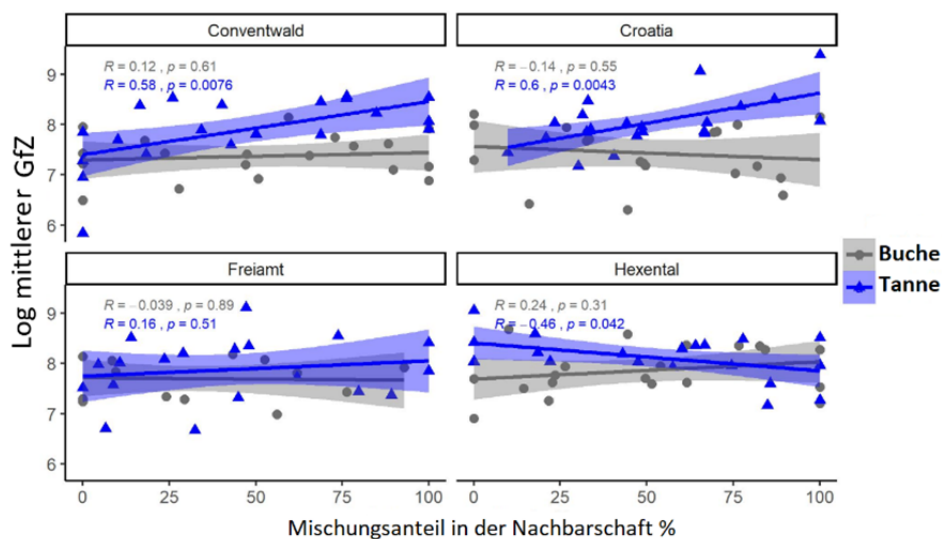
In Mischbeständen wiesen sowohl Tannen als auch Buchen höhere jährliche Radialzuwächse auf als in Reinbeständen. Der Wuchseffekt war bei Tanne stärker ausgeprägt als bei Buche. Mit zunehmendem Tannenanteil erhöhte sich das Volumenwachstum von Buchen auf trockenen Standorten, nicht aber auf mäßig trockenen und feuchten Standorten.

Die strukturelle Diversität verbesserte den Zuwachs von Buchen auf mäßig trockenen Standorten signifikant.

Mit Ausnahme eines Standorts erhöhte sich der bestandsbezogene Grundflächenzuwachs der Tanne mit zunehmender Beimischung der Buche. Im Unterschied dazu beeinträchtigte der zunehmendem Tannenanteil den Grundflächenzuwachs der Buche nicht (siehe Abb. 2).

Eine Tannenbeimischung beschleunigte zudem die Erholung von trockenheitsbedingten Zuwachseinbußen der Buchen. Dies bestätigt ähnliche Befunde aus anderen europäischen Buchen-Tannenbeständen.

Abb.2: Beziehung zwischen dem mittleren Grundflächenzuwachs GfZ 2014 bis 2016 (Y-Achse) und dem Mischungsprozent in der Nachbarschaft (X-Achse) getrennt nach Buche (grau) und Tanne (blau) an 4 Standorten: Mit Ausnahme des Standorts Hexental profitiert die Tanne von zunehmender Beimischung der Buche, während die Buche von einem zunehmenden Tannenanteil nicht beeinträchtigt wird.



Wasserhaushalt und Bodeneigenschaften

Bei nicht angespanntem Bodenwasserhaushalt verbesserte eine Beimischung von Tannen den Wasserhaushalt von benachbarten Buchen. Unter trockenen Bedingungen ließ sich das im Freiland nicht nachweisen.

Als Grund für besseres Wachstum und beschleunigte Regeneration der Buchen mit Tannenbeimischung wurde der sogenannte „hydraulische Lift“ vermutet. Wasser aus tieferen Bodenhorizonten könnte über das Pfahlwurzelsystem der Tanne in weniger tiefe, trockenere Bodenhorizonte transportiert werden. Von dieser Wasserumverteilung könnten weniger tief wurzelnde Baumarten, wie z. B. die Buche profitieren, wenn die oberen Bodenhorizonte austrocknen. Im Projekt „BuTaKli“ ließ sich der „hydraulische Lift“ jedoch nur unter sehr trockenen kontrollierten Bedingungen im Gewächshaus bei jungen Tannen und Buchen nachweisen.

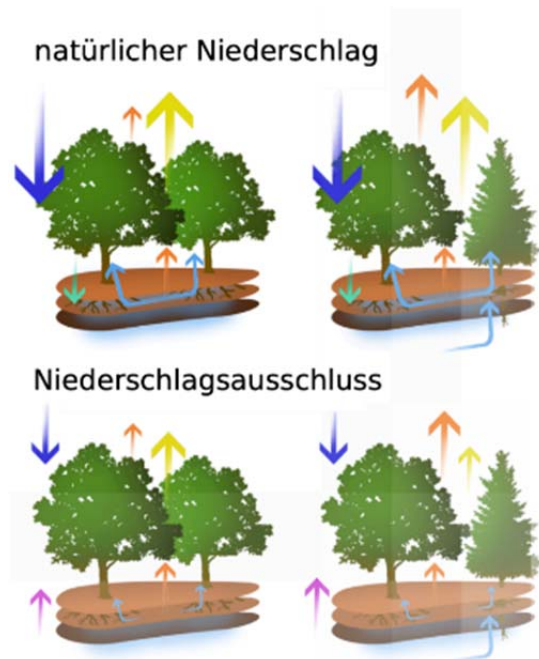
Tannenbeimischungen erhöhten die Bodenkohlenstoffspeicherung und so die C-Senkenfunktion des Bodens im Vergleich zu Buchenreinbeständen. Daraus resultieren weitere Effekte wie eine verbesserte Filterkapazität für Schadstoffe, eine erhöhte Wasser- und Nährstoff-Retention, Verstärkung des Erosionsschutzes und eine höhere Verfügbarkeit von anorganischem Stickstoff in der Streu.

Abb.3: Regenausschluss- und Bewässerungsexperiment bei Freiamt in Baden-Württemberg auf 400 m Höhe



Abb. 4: Wasserflüsse in Reinbeständen von Buche (links) und Buche-Tanne-Mischbeständen (rechts). bei natürlichen Niederschlagsbedingungen (oben) und bei Niederschlagsausschluss (unten).

Die Pfeile stellen die Wasserflüsse dar und die Pfeilgröße zeigt die Flussgröße an. Die Pfeilfarben bedeuten: dunkelblau = Niederschlag, gelb = Transpiration, orange = Evaporation von Boden und Pflanze, hellblau = Baumwasseraufnahme, türkis = Bodenwasserneubildung, pink = Bodenwasserdefizit. Grafik nach Magh (2020)



Spurengase, Strahlungshaushalt und flüchtige Kohlenstoffverbindungen

Die Tannenbeimischung hatte nur sehr geringe Auswirkungen auf die Boden-Atmosphäre-Flüsse von Lachgas und Methan. Kombiniert mit der höheren Bodenkohlenstoffspeicherung führt dies zu einer deutlichen Erhöhung der Boden-Treibhausgasenke. Neben direkten Treibhausgasen spielen indirekte Treibhausgasen eine bedeutende Rolle für die Troposphären-Chemie. Eine solche indirekte Wirkung haben von Bäumen an die Atmosphäre abgegebene flüchtige organische Kohlenstoffverbindungen (VOC). Tannen erhöhten die VOC-Emissionen und somit das Potenzial zur Bildung von Ozon und Ultrafeinpartikeln. Die Ozonproduktion war in den Mischbeständen höher als in reinen Buchenbeständen. Zudem führte die Tannenbeimischung in Buchenbestände zu einer Reduktion der Albedo (Rückstrahlung) und einer Erwärmung im unteren Kronenraum. Dadurch kann ein negativer Effekt hinsichtlich der Strahlungsbilanz entstehen.

Öffentlichkeitswahrnehmung

Die öffentliche Wahrnehmung von Buchen-Tannen-Mischwäldern ist überwiegend positiv. Im Vergleich zu Reinbeständen werden ihnen eine bessere Erfüllung von kulturellen, regulierenden und unterstützenden Ökosystemleistungen zugemessen.

Ökonomie

Eine aktive Tannenbeimischung bewirkt in Buchenbeständen einen höheren Kapitalwert, trotz erhöhter Einbringungs- und Pflegekosten sowie möglicher Produktivitätsverluste infolge Klimawandel. Eine Bewirtschaftung wird dadurch rentabler als im Buchenreinbestand. Voraussetzung ist der Anbau auf risikoarmen Standorten, niedrige Kosten für Wildschutzmaßnahmen (Bejagung) und eine Einbringung in junge Buchenbestände. Verkürzte Produktionszeiten der Tanne wirken sich zusätzlich positiv auf den Kapitalwert aus, da sich in höherem Alter Trockenheitseffekte anhäufen. Allerdings fällt der Kapitalwert des Buchen-Tannen Mischbestandes hinter den eines

Buchenreinbestandes zurück, wenn erhöhte Kosten durch Wildschutzmaßnahmen (Wuchshüllen, Zaun) notwendig werden.

Flächenpotenziale zur Tannenbeimischung

Potenzielle Flächen für die Entwicklung von Buchen-Tannen-Mischbeständen bestehen vor allem in den zukünftigen Rückzugsgebieten der Fichte, idealerweise über Vorausverjüngung. Deutlich geringer sind die Flächenpotenziale in bereits bestehenden Buchenbeständen ab der Stangenholzphase. Sehr junge Buchen-Naturverjüngungsflächen, in denen z. B. Fehlstellen mit Tanne ausgepflanzt werden könnten, blieben hier unberücksichtigt. Plant man diese Flächen und neue Verjüngungsflächen – entstanden durch Erntemaßnahmen in älteren Buchenbeständen – mit ein, wird sich auch in Buchenbeständen das bisher begrenzte Flächenpotenzial deutlich erhöhen.

Der Abschlussbericht mit den wichtigsten Projektergebnissen ist auf den Seiten der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe verfügbar unter <https://www.fnr.de/index.php?id=11150&fkz=22WC406901>

Detailliert können Resultate und Vorgehensweisen unter den angegebenen Literaturstellen nachgelesen werden.

Forschungsfeld	Veröffentlichung der Ergebnisse
Wachstum und Trockenstresstoleranz	<i>Schwarz, J. A., Bauhus, J. (2019). Benefits of mixtures on growth performance of silver fir (Abies alba) and European beech (Fagus sylvatica) increase with tree size without reducing drought tolerance. Frontiers in Forests and Global Change, 2, 79.</i>
Wasserhaushalt, Bodeneigenschaften und Nährstoffe	<p><i>Magh R, Grün M, Knothe VE, Stubenazy T, Tejedor J, Dannemann R, Rennenberg H (2018) Silver-fir (Abies alba MILL.) neighbors improve water relations of European beech (Fagus sylvatica L.), but do not affect N nutrition. Trees 32:337-348</i></p> <p><i>Magh, R. K., Eiferle, C., Burzlaff, T., Dannemann, M., Rennenberg, H., & Dubbert, M. (2020). Competition for water rather than facilitation in mixed beech-fir forests after drying-wetting cycle. Journal of Hydrology, 124944.</i></p> <p><i>Magh, R. K., Yang, F., Rehschuh, S., Burger, M., Dannemann, M., Pena, R., ... & Rennenberg, H. (2018). Nitrogen nutrition of European beech is maintained at sufficient water supply in mixed beech-fir stands. Forests, 9(12), 733</i></p> <p><i>Magh, R. K., Bonn, B., Grote, R., Burzlaff, T., Pfautsch, S., & Rennenberg, H. (2019). Drought superimposes the positive effect of Silver Fir on water relations of European Beech in mature forest stands. Forests, 10(10), 897</i></p> <p><i>Töchterle, P., Yang, F., Rehschuh, S., Rehschuh, R., Ruehr, N. K., Rennenberg, H., Dannemann, M. (2020). Hydraulic Water Redistribution by Silver Fir (Abies alba Mill.) Occurring under Severe Soil Drought. Forests, 11(2), 162</i></p>
Spurengase und Strahlungshaushalt	<p><i>Bonn B, Kreuzwieser J, Sander F, Yousefpour R, Baggio T, Adewale O (2017) The uncertain role of biogenic VOC for boundary-layer ozone concentration: example investigation of emissions from two forest types with a Box Model. Climate 5:78-99 doi.org/10.3390/cli5040078</i></p> <p><i>Bonn, B., Magh, R. K., Rombach, J., & Kreuzwieser, J. (2019). Biogenic isoprenoid emissions under drought stress: different responses for isoprene and terpenes. Biogeosciences, 16(23), 4627-4645.</i></p>

	<p>Rehshuh, S., Fuchs, M., Tejedor, J., Schäfler-Schmid, A., Magh, R. K., Burzlaff, T., ... & Dannenmann, M. (2019). Admixing fir to European beech forests improves the soil greenhouse gas balance. <i>Forests</i>, 10(3), 213</p>
Öffentlichkeitswahrnehmung	<p>Almeida I, Rösch C, Saha S (2018) Comparison of ecosystem Services from mixed and monospecific forests in Southwest Germany: a survey on public perception. <i>Forests</i> 9: 627</p>
Ökonomie	<p>Augustynczyk ALD, Hartig F, Minunno F, Kahle H-P, Diaconu D, Hanewinkel M, Yousefpour R (2017) Productivity of <i>Fagus sylvatica</i> under climate change – A Bayesian analysis of risk and uncertainty using the model 3-PG. <i>Forest Ecology and Management</i> 401:192-206</p> <p>Sperlich, D., Nada-Sala, D., Gracia, C., Kreuzwieser, J., Hanewinkel, M., Yousefpour, R., 2020. Gains or loss in forest productivity under climate change? The uncertainty of CO₂-fertilization and climate effects. <i>Climate</i> 8, 141. https://doi.org/10.3390/cli8120141</p> <p>Baumbach, L., Niamir, A., Hickler, T., Yousefpour, R., 2019. Regional adaptation of European beech (<i>Fagus sylvatica</i>) to drought in Central European conditions considering environmental suitability and economic implications. <i>Reg. Environ. Chang.</i> 19, 1159–1174. https://doi.org/10.1007/s10113-019-01472-0</p>
Ökosystemleistungen	<p>Almeida I, Rösch C, Saha S (2018) Comparison of Ecosystem Services from mixed and monospecific forests in Southwest Germany: a survey on public perception. <i>Forests</i> 9: 627</p>
Flächenpotenziale zur Tannenbeimischung	<p>Unsel, R. (2020): Abschätzung der Flächenpotenziale zur Etablierung von Buchen-Tannenbeständen in Deutschland unter Berücksichtigung der Ergebnisse des Projektes BuTaKli. https://freidok.uni-freiburg.de/data/151975</p> <p>Baumbach, L., Niamir, A., Hickler, T., Yousefpour, R., 2019. Regional adaptation of European beech (<i>Fagus sylvatica</i>) to drought in Central European conditions considering environmental suitability and economic implications. <i>Reg. Environ. Chang.</i> 19, 1159–1174. https://doi.org/10.1007/s10113-019-01472-0</p>