



Wärme, Trockenheit, Konkurrenz: Der Jungwuchs von Weisstannen hat es vielerorts schwer.

Foto: U. Wasem, WSL

# Dank genetischer Vielfalt ist die Weisstanne fit für die Zukunft

Klimawandel, Trockenheit, Tannensterben: Forscherinnen und Forscher debattieren über die Zukunftsaussichten der Weisstanne. Jüngste Forschungsergebnisse deuten an, dass diese Baumart grösseres Potenzial hat als oft angenommen.

Von Felix Gugerli\* | Mit 15 Prozent Anteil am Vorrat in den Wäldern ist die Weisstanne (*Abies alba*) die dritthäufigste Baumart in der Schweiz. Nebst ihrer Funktion im Schutzwald ist die Weisstanne im Produktionswald eine wichtige Baumart. Die Eigenschaften und die Verwendung ihres Holzes sind denjenigen der Fichte sehr ähnlich. Da ihr Holz gut imprägnierbar ist, wird Tannenholz dort bevorzugt, wo Beständigkeit gegenüber

Feuchtigkeit gefragt ist. Hierzulande ist die Weisstanne bekannt als Charakterart von Standorten mit guter Wasserversorgung in den montanen Lagen der Vor- und der Nordalpen. Ebenso typisch ist sie für weite Bereiche des südlichen Tessins, des Mittelandes und des Jurabogens, und sie dringt sogar in inneralpine Trockentäler wie das Wallis und das Bündner Rheintal vor. Somit deckt die hiesige Verbreitung sehr unterschiedliche Standortbedingungen ab.

Diese ökologische Spannbreite wird durch die Vorkommen in südlichen, südöstlichen und östlichen Gegenden Europas

erweitert. Damit verfügt die Weisstanne über die Voraussetzungen, auch unter zukünftigen, vermutlich wärmeren und trockeneren Bedingungen in der Schweiz überdauern zu können und weiterhin eine wichtige ökologische und ökonomische Rolle einzunehmen.

Im eher kühlen und feuchten Klima des frühen Holozäns breitete sich die Weisstanne zuerst im Tessin, später auch nördlich der Alpen aus und wurde vielerorts bestandesbildend (Gobet et al. 2010). Als der Mensch sesshaft wurde und die Bevölkerung wuchs, wurden Waldflächen zugunsten von

\*Felix Gugerli ist stellvertretender Leiter der Forschungsgruppe Ökologische Genetik an der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL).

Getreideanbau und Viehweiden gerodet. Vor allem die Brandrodung setzte der Weissstanne zu und förderte Eichen oder Buchen, die weniger empfindlich gegen Feuer sind.

Die Weissstanne wurzelt eher tief und ist dadurch besser vor Trockenheit und Sturmereignissen geschützt als andere Baumarten; mit ein Grund, weshalb die Weissstanne dem zu erwartenden Klimawandel besser

---

## *In der Schweiz sind drei genetische Gruppen erkennbar*

standhalten dürfte als zum Beispiel die Fichte, die weniger tief wurzelt (Vitasse et al. 2019). Auch paläo-ökologische Daten (Pollens und Makro-Reste in Mooren und See-Sedimenten) weisen auf frühere Vorkommen der Weissstanne an Standorten hin, wo es wärmer und trockener war als heute und wo sie zum Teil heute noch vorkommt (Walder et al. 2021). Dennoch zeigte die Weissstanne hierzulande auch deutliche Schäden nach den langen Trockenheitsperioden der letzten Sommer (Rathgeb et al. 2020).

Modellierungen weisen einen Rückgang der Standorte aus, die heute noch von der Weissstanne besetzt sind, und prognostizieren somit einen Arealverlust (Zimmermann et al. 2016). Dies hat die Debatte über die Zukunft dieser Baumart neu entfacht.

Ob in Zukunft weiterhin die heute vorkommenden Provenienzen hier wachsen oder durch solche anderer Herkünfte aus wärmeren und trockeneren Regionen ersetzt werden, wird sich weisen. Natürliche Ausbreitung, aber auch gezielte Anpflanzungen könnten Herkünfte in unsere Breiten bringen, die an submediterrane Verhältnisse angepasst sind. Somit stellt sich die Frage, wie die Weissstanne hierzulande erhalten oder gar gefördert werden soll, und welche Rolle dabei die Genetik spielt nebst ökologischen Einflussfaktoren wie dem Verbissdruck.

Aufgrund aktueller Forschung zur Weissstanne wird dargelegt, wie die genetischen Ressourcen dieser Baumart nachhaltig genutzt werden und ihr Bestand erhalten bleiben können.

### **Über den Röstigraben zur Gotthardlinie**

Genetische Untersuchungen von Weissstannenbeständen und paläo-ökologische Studien ermöglichen, die Rückwanderung von Baumarten nach der letzten Eiszeit vor ca.



*Die Tanne gehört im Jura oft zum Waldbild, zusammen mit Buche und Fichte.*

Foto: F. Gugerli

18 000 Jahren nachzuzeichnen. Während der maximalen Vergletscherung lag der grösste Teil der Alpen unter einer dicken Eisschicht, und an den wenigen eisfreien Standorten konnte die Weisstanne nicht überleben. Sie musste in während dieser Zeit in Gebieten mit günstigerem Klima ausharren, welche in südlichen Regionen wie dem Balkan, im Nordapennin und in den Seealpen vermutet werden. Mit dem Wegschmelzen der Eisschicht am Ende der letzten Kaltzeit kehrten viele Baumarten nach und nach ins Gebiet der heutigen Schweiz zurück (Gugerli und Sperisen 2010). Diese Rückwanderungsgeschichte lässt sich auch aus genetischen Untersuchungen von Schweizer Weisstannenbeständen ableiten, wenn diese in Bezug zum genetischen Muster über das gesamte Verbreitungsgebiet gestellt werden.

In der Schweiz sind heute drei genetische Verwandtschaftsgruppen erkennbar: Die beiden weitverbreiteten Gruppen haben ihre Schwerpunkte im Westen beziehungsweise Osten, während eine dritte Gruppe vor allem im Tessin und östlichen Wallis vorkommt. Dieses Muster dürfte dadurch entstanden sein, dass die Weisstanne

## AUSWAHL AKTUELLER WEISSTANNEN-PROJEKTE

Die in der Schweiz gefundenen genetischen Gruppen wurden bei der Festlegung von Generhaltungsgebieten der Weisstanne als eines von zahlreichen Kriterien berücksichtigt. Von den acht in der Schweiz ausgeschiedenen Gebieten liegen jedoch die meisten im östlichen Teil der Schweiz, sodass die westliche und die südliche Verwandtschaftslinie bisher nicht gut vertreten sind. Es wäre deshalb wünschenswert, in der West- und der Südschweiz noch weitere Generhaltungsgebiete in das Netzwerk einzubinden. Wie gut unterschiedliche Weisstannenherkünfte an verschiedene Standorte in der Schweiz angepasst sind, wird die kürzlich von der WSL lancierte, grossangelegte Testpflanzung zeigen. Die Ergebnisse dieses Versuchs sollen darlegen, wie die Weisstanne sich gegenüber anderen, zum Teil gebietsfremden Baumarten verhält und welche Provenienzen besonders geeignet sein könnten. Noch weiträumiger angelegt wird ein Keimungs- und Aufzuchtversuch im Rahmen des europäischen Projekts MyGardenOffTrees (vergleiche Wald und Holz 09/22).

einerseits vom nördlichen Balkan oder nordöstlichen Italien aus die Ostschweiz erreichte, andererseits von Südfrankreich her in die Westschweiz gelangte und sich bis über den «Röstigraben» hinweg in die Zentralschweiz ausdehnen konnte.

Vom Nordapennin her wanderte die dritte Gruppe in die Gebiete südlich des Alpenhauptkamms ein. Der unscharfe Übergang zwischen den beiden genetischen Hauptgruppen, d.h., das Gebiet, wo sich die Rückwanderungsrouten der (süd-)östlichen und der westlichen Herkunft getroffen haben, fällt mit der biogeographisch bekannten, als «Gotthardlinie» bezeichneten Kontaktzone zusammen, die auch bei anderen Pflanzenarten gefunden wird.

Dank weitreichendem genetischem Austausch durch Pollen und Samen haben sich die genetischen Gruppen jedoch stark durchmischt, erkennbar am zumeist hohen Anteil der jeweils anderen genetischen Gruppen in den Populationen.

### Birmensdorfer Weisstanne als Referenz

Als wichtige Grundlage für ökologisch-genetische Untersuchungen entschlüsselte ein Konsortium aus 20 Forschungsinstitutionen inklusive der WSL das vollständige Erbgut (= Genom) der Weisstanne. Der dafür verwendete Baum steht bei der WSL in Birmensdorf.

Aus der komplexen Analyse entstand ein noch bruchstückhaft zusammengesetztes Abbild des Genoms, aber es konnten über 50 000 Gene gefunden werden (Mosca et al. 2019). Gerade diese Information ist eine wichtige Grundlage für die weitere genetische Forschung. Dabei interessiert insbesondere, welche Gen-Varianten sich als vorteilhaft erweisen bei Standortbedingungen, die wir aufgrund von Klima-Modellen in Zukunft erwarten. Solche Erkenntnisse könnten helfen, um die an zukünftige Umweltbedingungen angepassten Genotypen im Wald zu fördern oder um die Herkünfte auszuwählen, die als Ergänzung zu natürlicher Verjüngung angepflanzt werden sollen.

### Unterschiedliche Wachstumsstrategien

Mithilfe genetischer Untersuchungen können wir mehr über die Evolution und Anpassung der Weisstanne lernen. Beispielsweise zeigten Wuchs- und Phänologie-Erhebungen aus einem gross angelegten Provenienzversuch mit Schweizer Beständen (Frank et al. 2017), dass die Weisstanne aus Herkünften in den wärmeren, klimatisch ausgeglichenen Lagen (z.B. Mittelland) höher wächst. Darüber hinaus liessen sich, abhängig von der saisonalen Niederschlagsverteilung, zwei

Wachstumsstrategien ableiten (Csilléry et al. 2020): «früh starten und langsam wachsen» in den inneralpinen Tälern mit Sommertrockenheit, und «spät starten und schnell wachsen» in den eher hohen Lagen mit viel Niederschlag.

Da in Provenienzversuchen für alle Herkünfte die Umweltbedingungen am Versuchsort gleich sind, müssen Unterschiede an

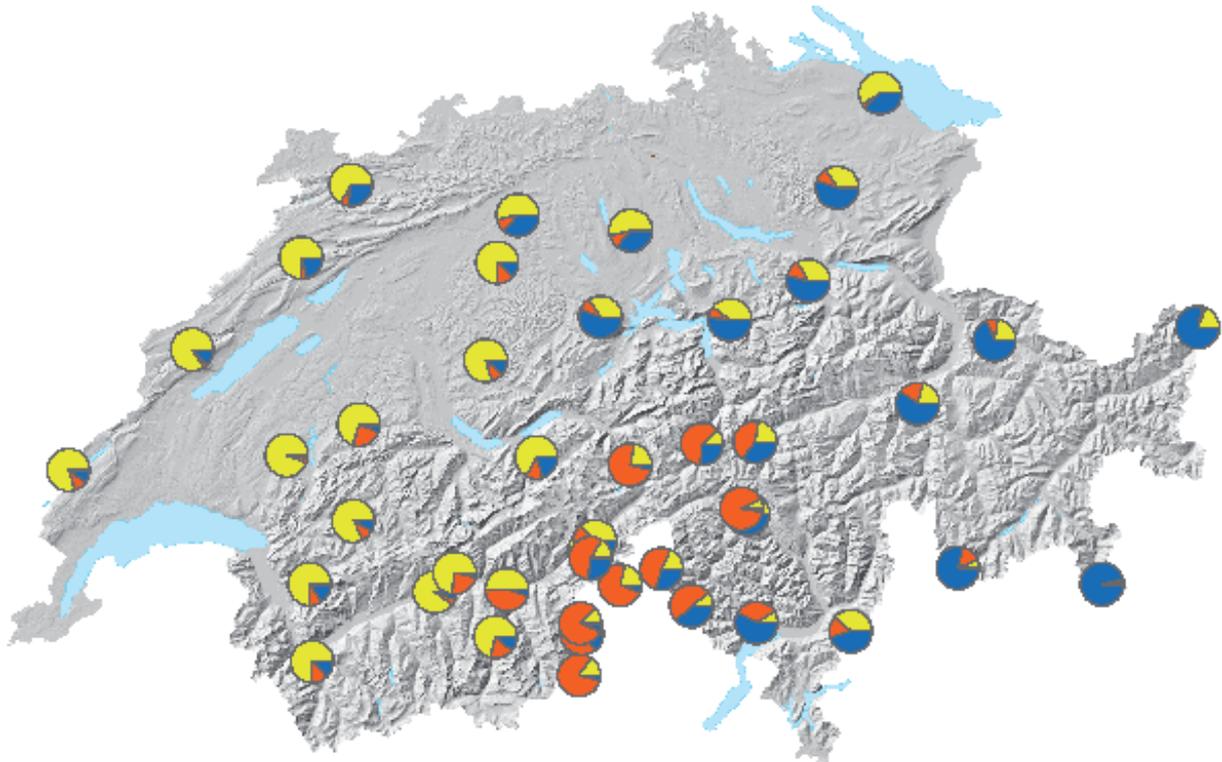
## Wachstumsmerkmale zeigen Unterschiede und Anzeichen lokaler Anpassung

äusseren Merkmalen genetisch bedingt sein. Martínez-Sancho et al. (2021) analysierten Holzbohrkerne in zwei Schweizer Provenienzversuchen, um Wachstum und Trockenheitsresistenz zu untersuchen. Dabei wurde neben dem langfristigen Wachstum auch das Wachstum vor, während und nach dem extremen Trockenjahr 2003 in Provenienzen aus ganz Europa untersucht. Die Wachstumsmerkmale zeigten dabei klare Unterschiede und Anzeichen von lokaler Anpassung. Bezüglich Trockenheitsresistenz waren es eher die lokalen mitteleuropäischen Herkünfte, die am besten abschnitten, während die osteuropäischen beim langfristigen Wachstum die anderen übertrafen. Interessanterweise fand die Studie grosse Unterschiede zwischen den Herkünften, die aus verschiedenen kaltzeitlichen Rückzugsgebieten stammten und aufgrund molekular-genetischer Marker erkennbar sind. Dies deutet darauf hin, dass die genetische Anpassung an die Standortbedingungen im Rückzugsgebiet und während der Rückwanderung bis heute noch einen Einfluss auf das Wachstum von Herkünften hat. Für beide Studien gilt jedoch: Welche Gene für diese Anpassungen verantwortlich sind, ist bisher noch unklar. Weitere molekulare und experimentelle Studien werden darüber Aufschluss geben.

### Genetisch informierter Waldbau?

Welche praktischen Erkenntnisse lassen sich aus solchen genetischen Untersuchungen ableiten? Können diese helfen, zukünftige Waldbaustrategien zu unterstützen, um die Weisstanne hierzulande zu fördern? Welche Wissenslücken haben wir noch?

Wichtig ist es, zwischen demographischen Prozessen einerseits, insbesondere als Folge der nacheiszeitlichen Rückwanderung, und anpassungsrelevanten Vor-



Anteile der drei in Schweizer Weisstannenbeständen gefundenen genetischen Verwandtschaftsgruppen. Die westliche Gruppe (gelb) kam wahrscheinlich aus Frankreich, die östliche (blau) aus dem Balkan und die südliche (rot) aus dem Nordapennin in die Schweiz. (Daten aus Folly und Gugerli 2013; Kramer 2020).

Graphik: WSL/Swisstopo:

gängen andererseits zu unterscheiden. Für den ersteren Fall ist es wünschenswert, die räumliche Verteilung der drei genetischen Gruppen in der Schweiz und damit ihre unterschiedliche Vergangenheit so weit möglich zu erhalten, beispielsweise bei Saatguttransfer. Ansonsten besteht zum Beispiel das Risiko einer Auskreuzungsdepression, also verminderte Fruchtbarkeit wegen zu grosser genetischer Unterschiede der Eltern. Aber ebenso spielt die Anpassungsfähigkeit der Weisstannenbestände eine wichtige Rolle im Hinblick auf die bevorstehenden Umweltveränderungen. Molekular-genetische Studien, die vorteilhafte Gen-Varianten für eine Anpassung an das zukünftige Klima identifizieren, die durch waldbauliche Massnahmen gefördert werden können, fehlen bei der Weisstanne aber noch weitgehend.

Damit sowohl das geschichtliche Vermächtnis aufgrund demografischer Prozesse als auch die lokale Anpassung durch Selektion in die waldbauliche Planung einfließen, empfehlen wir nur regionalen Saatguttransfer. Dabei sollten Herkünfte mit Standortbedingungen ausgewählt werden, die ähnlich

oder tendenziell wärmer und trockener sind als gegenwärtig am Pflanzort.

Die Weisstanne hat sich in den letzten Jahren als Fundgrube für ökologische und genetische Forschung erwiesen. Zahlreiche derzeit laufende Projekte zeigen das unver-

minderte Interesse an dieser Baumart (vergleiche Box), aber auch die zum Teil recht widersprüchlichen Erwartungen an ihr Potenzial. Es bleibt somit spannend, wie sich die Zukunft der Weisstanne – oder die Weisstanne der Zukunft – weiterentwickelt. ■

#### Autorinnen und Autoren:

Catherine Folly, wissenschaftliche Assistentin; Maximilian Kramer, Master-Student; Sabine Brodbeck und René Graf, technische Mitarbeitende; Katalin Csilléry, Leiterin der Forschungsgruppe Evolutionsgenetik; Lars Opgenoorth, Gastwissenschaftler; Christoph Sperisen, Elisabet Martínez-Sancho, Christian Rellstab, wissenschaftliche Mitarbeitende

#### Dank

Das Autorenteam bedankt sich für den Anstoss zu Weisstannenuntersuchungen durch Pirmin Jung [Rain] und Fritz Tschopp [Butisholz], für den Finanzierungsbeitrag aus dem Wald- und Holzforschungsfonds (BAFU) sowie beim Versuchsgarten der WSL für die andauernde Unterstützung bei Beprobung und Experimenten.

#### Weitere Informationen

[www.wsl.ch/weisstanne](http://www.wsl.ch/weisstanne)

[www.euforgen.org/species/abies-alba](http://www.euforgen.org/species/abies-alba)

[www.wsl.ch/de/projekte/testpflanzungen.html](http://www.wsl.ch/de/projekte/testpflanzungen.html)

<https://www.wsl.ch/de/projekte/common-ring-swissforestlab-project.html>

<https://www.aforgen.org>

#### Literaturliste (PDF)

