

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber: Schweizerischer Forstverein
Band: 174 (2023)
Heft: 3

Artikel: Bodengestützte Baumartenwahl im Klimawandel
Autor: Borer, Franz / Knecht, Marianne / Steinert, Teresa
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1097138>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 02.05.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Bodengestützte Baumartenwahl im Klimawandel

Franz Borer^{1*}, Marianne Knecht², Teresa Steinert²

¹Borer Bodenexpertisen, Derendingen (CH)

²Ambio, Angewandte Umweltwissenschaften, Zürich (CH)

Die Baumartenwahl ist eine zentrale und herausfordernde Aufgabe für die praktische waldbauliche Planung: Es müssen visionäre Vorstellungen zur Entwicklung der Waldbestände an einem gegebenen Standort mit einem Zeithorizont von einem Jahrhundert oder mehr entwickelt werden. Der Waldbauer oder die Waldbauerin entscheidet heute darüber, was in 100 Jahren noch Bestand haben soll. Wichtige Einflussgrößen des Baumwachstums sind direkt von den jeweiligen Bodeneigenschaften abhängig. Die im Rahmen von detaillierten Bodenkartierungen erhobenen Daten im dreidimensionalen Raum sind die Basis einer direkt auf die lokalen Verhältnisse ausgerichteten Baumartenwahl. Dabei werden die sich schnell ändernden klimatischen Bedingungen berücksichtigt.

doi: 10.3188/szf.2023.0162

* Holunderweg 1, CH-4552 Derendingen, E-Mail francobo@solnet.ch

Die Baumartenwahl in Zeiten des Klimawandels ist eine grosse Herausforderung für die waldbaulichen Planerinnen und Planer. Das gilt insbesondere bezüglich der Verjüngungsplanung und der Bestandesbegründung. Steigende Temperaturen und der sich abzeichnende Wassermangel führen bei den Bäumen zu Stress. Die Quantifizierung des Wasserangebots während der Vegetationsperiode wird so zu einer entscheidenden Grösse für eine korrekte Baumartenwahl in Zeiten des Klimawandels. Das Konzept zur Lösung dieser schwierigen Aufgabe liegt im Ansatz von «Angebot und Nachfrage»: Die beschreibenden Attribute zu Boden und Klima werden als Angebotsgrößen den Ansprüchen der verschiedenen Baumarten, ausgedrückt in Form einer Nachfrage, gegenübergestellt. Bei Übereinstimmung von Angebot und Nachfrage gelten die jeweiligen Baumarten als standorttauglich. Dieser Lösungsansatz wurde im Rahmen eines Pilotprojekts im Auftrag der Abteilung Wald des Kantons Zürich untersucht (Borer et al 2022).

Das Angebot des Bodens

Der Boden, der den ganzen potenziellen Wurzelraum umfasst, entspricht zu einem grossen Teil dem, was als Standort bezeichnet wird (Abbildung 1). Viele Ausprä-



Abb 1 Eine differenzierte Bodenansprache führt auch zu einer differenzierten Baumartenwahl.

Foto: Marianne Knecht

gungen und Eigenschaften des Bodens können als weitgehend konstant angesehen werden. Der Bodenwasserhaushalt eines Standorts unterliegt jedoch den unterschiedlichsten Einflüssen von Niederschlag und Verdunstung, ist sehr variabel und ein äusserst wichtiger, steuernder Faktor des Baumwachstums.

Mit der Waldbodenkartierung im Massstab 1 : 2500 bis 1 : 5000 (Borer & Knecht 2014) wird der Boden vollumfänglich in seiner Funktion als Wurzelraum und als Ort der Verankerung des Wurzelwerks, der Nährstoffaufbereitung und -erschliessung sowie als Wasserreservoir detailliert beschrieben. Dies erlaubt nicht nur qualitative, sondern auch wichtige quantitative Aussagen und Berechnungen.

Ein Kernpunkt dieses methodischen Ansatzes ist die Diskretisierung der Fläche beziehungsweise des Raumes und der zugehörigen Daten. Gleiches wird üblicherweise auch in der Bodenkartierung mit der Abgrenzung der unterschiedlichen Kartiereinheiten als sogenannte Polygone und der Klassierung der Attribute gemacht. Detaillierte Bodeninformationen bilden im übertragenen Sinn das Standortangebot bezüglich der Baumartenansprüche. Weitere, nicht direkt mit den eigentlichen Bodenattributen, aber mit dem Standort verbundene Parameter sind

Schweizer Klimaszenarien: von optimistisch bis Worst Case

Der Schweizer Bericht «Klima CH2018» skizziert folgende Klimaszenarien:

- Optimistisches Szenario: Konsequenter Klimaschutz, Ziele des Pariser Klimaabkommens von 2015 werden erreicht (Bezeichnung RCP 2.6*). ΔT bis 2100 (bezogen auf 1981–2010): +1.2 °C
- Mittleres Szenario: Klimaschutz nur in begrenztem Rahmen. Ziele des Pariser Klimaabkommens von 2015 werden nicht erreicht (Bezeichnung RCP 4.5*). ΔT bis 2100 (bezogen auf 1981–2010): +2.2 °C
- Worst-Case-Szenario: Keine Klimaschutzmassnahmen. Klimawirksame Emissionen nehmen stetig zu und mit ihnen die Erwärmung (Bezeichnung RCP 8.5*). ΔT bis 2100 (bezogen auf 1981–2010): +4.5 °C

* Einwirkende Strahlung als Leistung/Fläche in W/m^2

die mittlere Höhe jeder Polygonfläche, die Exposition und die Neigung. Die wichtigste Rolle für ein optimales Wachstum der Bäume spielt in unseren Breiten der Bodenwasserhaushalt. Nebst den Wasserhaushaltscharakteristika betrifft dies vor allem das Wasserangebot aus dem Boden während des gesamten Vegetationsjahres.

Dazu kommt ein Wasservorratsindikator (WVI) zur Anwendung. Der neue Indikator klassiert das errechnete, physiologisch verwertbare maximale Wasserangebot im Wurzelraum unter Einbezug der nutzbaaren Gründigkeit der Pflanzen und der Bodenart. Dieses Wasserangebot steht dem Waldbestand nach erfolgter Wassersättigung des Bodens im Winter zu Beginn der Vegetationsperiode zur Verfügung.

Standortansprüche der Baumarten als Nachfrageparameter

Dem oben definierten Angebot des Bodens für eine künftige Bestockung steht die Nachfrage der Baumarten in Form ihrer Ansprüche an den Standort gegenüber. Diese Ansprüche wurden für die total 33 miteinbezogenen Baumarten in einer breit angelegten Literaturrecherche eruiert, standardisiert und gemäss den oben genannten Angebotsparametern attribuiert.

Die Informationen erstrecken sich von Ansprüchen an den Boden im Wurzelraum über Wurzelcharakteristiken, ökophysiologische Ansprüche, waldbauliche Aspekte bis hin zu Klima- und Verbreitungsmustern. Die Attributierung der Baumartenansprüche erfolgte primär für die physiologische Amplitude (PA, maximale Spannweite des Vorkommens im Ökogramm: Potenzbereich). Die Attributierung für das physiologische Optimum (PO, höchste Wachstumsleistung) konnte für 22 der insgesamt 33 Baumarten vorgenommen werden.

Als wichtige baumartenspezifische Eigenschaft wurde zudem die Trockenheitsempfindlichkeitsstufe (TES) geschaffen, die als Mass für den spezifischen Wasserbedarf (u.a. Niinemets & Valladares 2006) dient und somit auch indirekt den Grad der Wassernachfrage beschreibt. Je grösser die Trockenheitsempfindlichkeit, desto höher der Wasserbedarf und desto höher auch der nachgefragte WVI des Bodens.

Klimawandel als dynamische Einflussgrösse

Der Klimawandel unterwirft die Baumartenwahl einer dynamisierten Betrachtungsweise. Bis vor Kurzem orientierte sich diese eher an statischen Grössen. Entscheide, die auf eine Beständigkeit von einem Jahrhundert oder mehr ausgerichtet sind, müssen sich neu an den drasti-

schen Veränderungen des Klimas orientieren. Für die Abschätzung zukünftiger Wuchsbedingungen gelten die vom Netzwerk des Bundes für Klimadienstleistungen (National Centre for Climate Services, NCCS) errechneten Klimaszenarien CH2018 mit den zugehörigen Daten (siehe Box). Im nachfolgend dargestellten Beispiel (Kyburg [ZH]) beziehen sich diese auf die Klimagrossregion CH-NE (Ostschweiz).

Operationalisierung: praktische Umsetzung der Baumartenwahl

Die Umsetzung der bodengestützten Baumartenwahl basiert auf dem Vergleich zwischen Angebot (Boden und zusätzliche Attribute) und Nachfrage (Baum) durch Eruiierung der Übereinstimmung (Attributkorrespondenz).

Die Operationalisierung folgt dem nachfolgend aufgeführten Prinzip.

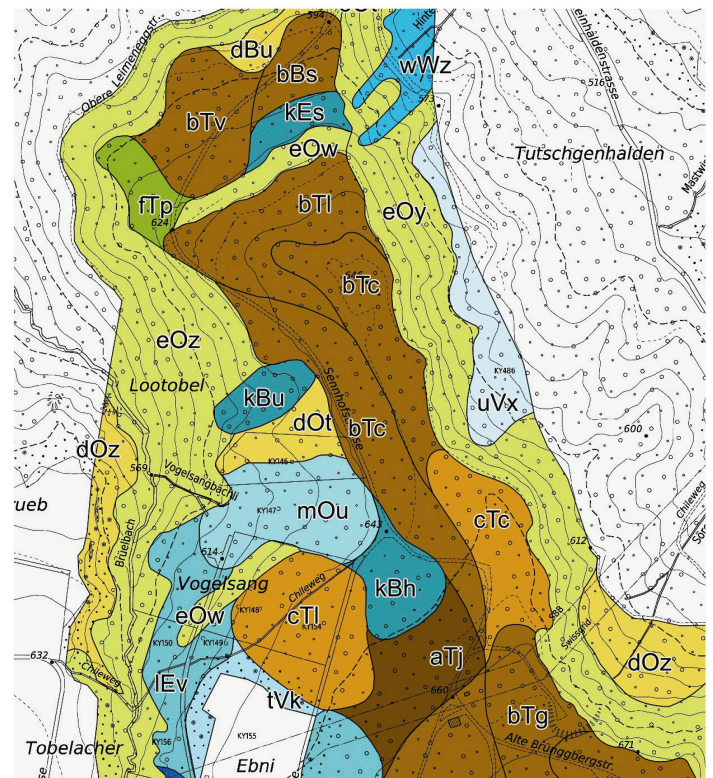
a) Abgleich der Boden- und Standortattribute mit den Baumartenansprüchen:

- Herstellen der Attributkorrespondenz zwischen den verschiedenen Standort-eigenschaften (Angebot) und den Bedürfnissen der infrage kommenden Baumarten (Nachfrage).

b) Berücksichtigung des Klimawandels:

- Temperaturveränderung (Δ °C) führt zu einer Veränderung der Höhenstufengrenze.

Abb 2 Wasserhaushaltsgruppen (WHG) in einem Ausschnitt von Los Kyburg (ZH).



● Niederschlagsveränderung (mm) führt zu einer Verschiebung der berechneten WVI-Klassen.

c) Umfang der Berechnungen:

● Die Berechnung erfolgt jeweils für alle Baumarten bezüglich PA (sowie teilweise PO) in allen Polygonen und für alle Klimaszenarien.

Auf diese Weise kann eine breite Auswahl an Karten erstellt werden – je nach Bedarf für einzelne Baumarten, Baumartenkombinationen, unterschiedliche ökophysiologische Ansprüche, Klimaszenarien und Betrachtungszeiträume. Für die aktuelle waldbauliche Planung sind die Daten für das Ende des 21. Jahrhunderts (Bezugspunkt 2085) von Bedeutung.

Beispiel zur Entwicklung der Baumartenwahl im Klimawandel

Auf der Basis der mit dem Klimawandel einhergehenden Veränderungen von Temperatur und Niederschlag wird im folgenden Beispiel die Entwicklung der Baumartenauswahl aufgezeigt. Der gewählte Ausschnitt aus dem Bodenkartierungslos von Kyburg (ZH) zeigt – im Überblick und ohne auf Details einzugehen – eine relativ grosse Diversität bezüglich der Bodeneigenschaften. Gut ersichtlich ist das an der Attributkarte für die Wasserhaushaltsgruppen (WHG), die als kombinierte Parameter für die Wasserhaushaltscharakteristik und für die Gründigkeit stehen (Abbildung 2).

Der Code für die WHG ist der erste kleine Buchstabe der dreistelligen Buchstabenkombination.

Beispiele (auszugsweise):

- aXX (dunkelbraun): normal durchlässig, sehr tiefgründig
- eXX (hellgelb): normal durchlässig, flachgründig und sehr flachgründig
- fXX (oliv): stauwasserbeeinflusst, tiefgründig
- mXX (hellblau): grund- oder hangwasserbeeinflusst, ziemlich flachgründig
- yXX (dunkelblau): meist bis zur Oberfläche porengesättigt, flachgründig und sehr flachgründig

Diese grosse Diversität ist im Mittelland nicht überall so ausgeprägt vorhanden. Aber gerade auf den glazial geprägten Böden sind beispielsweise die Gründigkeiten erst durch die Bodenkartierung genauer eruiert. Die konkrete Be-

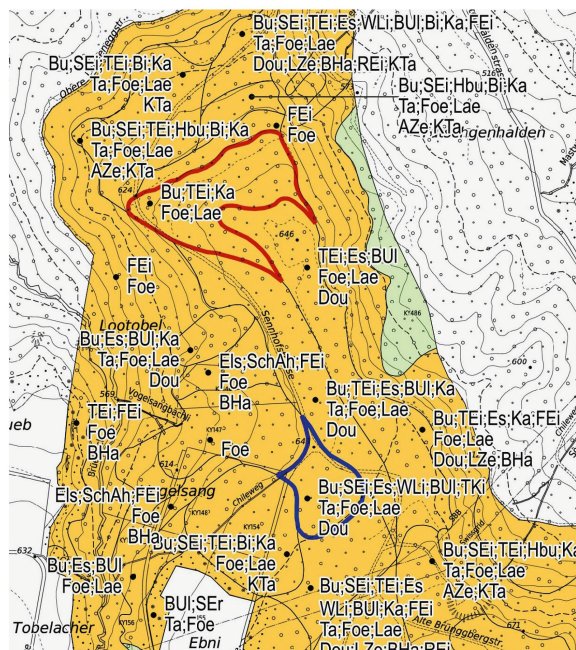


Abb 3 Baumartenauswahl für das optimistische Klimaszenario im Jahr 2085

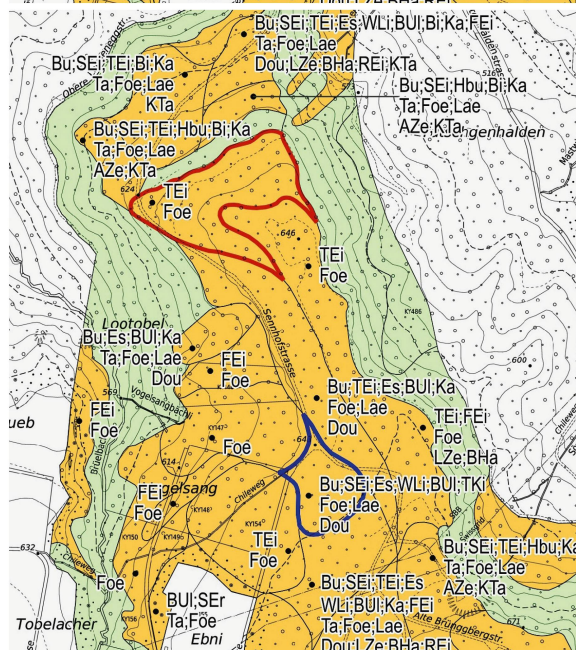


Abb 4 Baumartenauswahl für das mittlere Szenario im Jahr 2085

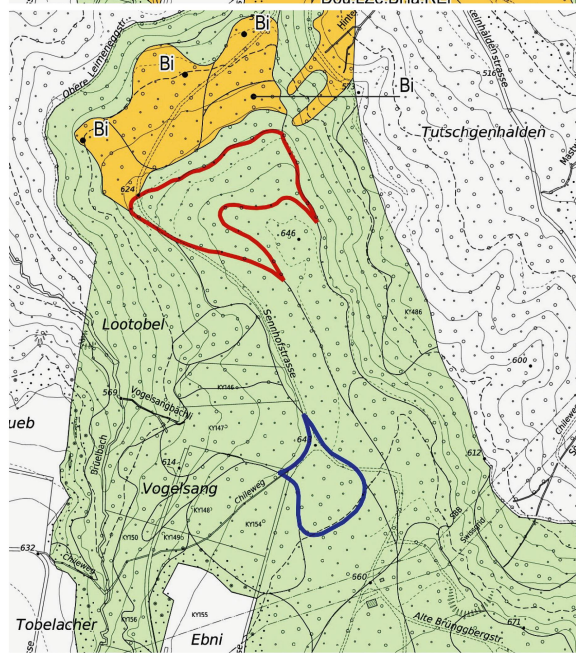


Abb 5 Baumartenauswahl für das Worst-Case-Szenario im Jahr 2085

Legende

gelb: Fläche **mit** standortgerechtem Baumartenset; grün: Fläche **ohne** standortgerechtes Baumartenset. Positionierungshilfe: **Schwarzer** Punkt am Rand des Textfeldes mit den aufgeführten Baumarten zeigt jeweils auf das dazugehörige Polygon.

1. Zeile: einheimische Laubbaumarten
2. Zeile: einheimische Nadelbaumarten
3. Zeile: nicht einheimische Baumarten

Polygon	WHG	Skelett	Körnung	Kalk	Säuregrad	Bodentyp
Rot	b	4	5	0	E4	T
Normal durchlässig, tiefgründig / stark skeletthaltig 20–30% / sandiger Lehm (sL) / kein CaCO ₃ / stark sauer 3.3–4.2 / Parabraunerde						
Polygon	WHG	Skelett	Körnung	Kalk	Säuregrad	Bodentyp
Blau	k	2	6	0	E0	B
Grund- oder hangwasserbeeinflusst, tiefgründig / skeletthaltig 10–20% / Lehm (L) / kein CaCO ₃ / alkalisch >6.7 / Braunerde						

Tab 1 Attributeigenschaften von zwei unterschiedlichen Polygonen

rechnung der möglichen Baumartenauswahl in diesem Landschaftsausschnitt erfolgte für die drei definierten Klimaszenarien bezogen auf die PA und unter Einbezug des WVI. Bezugsjahr ist das Jahr 2085. Für die Darstellung der Entwicklung wurden zwei Polygone ausgewählt: eines mit roter, das andere mit blauer Umrandung und mit den bodenkundlichen Kennwerten aus Tabelle 1.

Die Auswahl an Baumarten in der «heutigen» Ausgangssituation (1981–2010, hier nicht gezeigt) verändert sich im Rahmen des optimistischen Klimaszenarios in Abbildung 3 nicht gross. Im Polygon «blau» (Höhe >650 m) stösst lediglich die Stieleiche (SEi) neu hinzu. Erst durch die Kompensation der Temperaturzunahme mittels einer Höhenzunahme der oberen Verbreitungsgrenze (+75 m) ist diese positive Erweiterung des Baumartensets möglich.

Im Vergleich des optimistischen Klimaszenarios (Abbildung 3) mit dem mittleren (Abbildung 4) und dem Worst-Case-Szenario (Abbildung 5) reduziert sich die Baumartenauswahl drastisch. Das gilt insbesondere für letzteres.

Durch die Temperaturzunahme verschiebt sich die untere Grenze der Höhenstufen. Dieser Umstand beeinflusst das zur Verfügung stehende Baumartenset. Die Verschlechterung der Wasserversorgung spielt dabei oftmals auch eine wichtige Rolle.

In den westlichen und östlichen Hanglagen mit flachgründigen und sehr flachgründigen WHG fallen im mittleren Klimaszenario die Baumarten annähernd aus. Es handelt sich dabei um Standortverhältnisse, die in Zukunft wohl nur noch Restbaumbestände – zum Teil mit einem Habitus als Kümmer- oder Krüppelwuchs –, aber kaum mehr Wuchsformen eines Wirtschaftswaldes zulassen werden.

Dieser Zustand wird im Worst-Case-Szenario (Abbildung 5) nun fast für die gesamte Fläche Tatsache: Es verbleiben

ein Restbestand an Birken (Bi) und auf tiefgründigeren Parabraunerden (hier nicht abgebildet) zusätzlich nur noch vereinzelt die säure- und trockenheitsbeständigeren Eichen (Ei), Kastanien (Ka), Föhren (Foe) und Küstentannen (KTa).

Schlussfolgerungen

Im Rahmen eines Pilotprojekts im Kanton Zürich wurden operative Instrumente zur bodengestützten Baumartenauswahl erarbeitet. Für die forstliche Praxis bilden diese eine Grundlage für die langfristige, grossmassstäbliche waldbauliche Planung.

Es konnte ein praktischer Lösungsansatz entwickelt werden, der sowohl den prägenden Einfluss aller Bodeneigenschaften an einem Standort als auch die Wasserhaushaltsgrössen qualitativer wie quantitativer Art berücksichtigt – und dies mit Bezug zur spezifischen Trockenheitsempfindlichkeit der verschiedenen Baumarten.

Dabei wird deutlich, dass die Erhaltung einigermaßen vielgestaltiger und resilienter Waldformationen im schweizerischen Mittelland in Zukunft realistischerweise nur möglich ist, wenn die Entwicklung des Klimawandels mindestens auf dem Niveau des mittleren Klimaszenarios (NCCS 2018: RCP 4.5) stabilisiert werden kann. Das klimatische Worst-Case-Szenario (NCCS 2018: RCP 8.5) wird aller Voraussicht nach eine geregelte Forstwirtschaft im heutigen Sinne nicht mehr erlauben.

Ausblick

Der gewählte Lösungsansatz zur Baumartenauswahl ist angesichts des herrschenden Klimawandels erfolgversprechend, weil sich die wichtigsten variablen Parameter (Niederschlag, Temperatur) in den Prozess der Baumartenauswahl als steuernde Attribute für jede einzelne Teilfläche (Polygon) in den Algorithmus integrieren lassen. Mit einer grossmassstäblichen Bodenkartierung können die bei Modellierungen auftretenden Schwierigkeiten

zur Bestimmung der Gründigkeit und anderer wichtiger quantitativer Bodeneigenschaften (Baltensweiler et al 2022) deutlich reduziert werden. Der kritische Vorbehalt zur Modellierung gilt auch für den auf Standortstypen aufgebauten Lösungsansatz zur Baumartenauswahl mit einer nicht ausreichenden Datendichte der relevanten Bodenparameter. Bei der geplanten schweizweiten Bodenkartierung der Wald- und Landwirtschaftsböden sollte die Datenerhebung auf Basis detaillierter Felderhebungsmethoden durchgeführt werden – genauso wie dies in den Kantonen Zürich und Solothurn bereits der Fall ist. ■

Literatur

- BALTENSWEILER A, WALTHER T, ZIMMERMANN S, NUSSBAUM M (2022) Hoचाuflösende Bodenkarten für den Schweizer Wald. Schweiz Z Forstwes 173 (6): 288–291.
- BORER F, KNECHT M (2014) Bodenkartierung Schweiz. Entwicklung und Ausblick. BGS Dokument 15. Zollikofen.
- BORER F, KNECHT M, STEINERT T (2022) Bodengestützte Baumartenauswahl. Pilotprojekt. Schlussbericht. Abteilung Wald Kanton Zürich. 88 p. unveröffentlicht.
- NCCS (2018) Climate Scenarios for Switzerland. Technical Report. Zurich: National Centre for Climate Services. 271 p.
- NIINEMETS Ü, VALLADARES F (2006) Tolerance to shade, drought, and waterlogging of temperate hemisphere trees and shrubs. Ecol Monogr 76 (4): 521–547.

Sélection des essences basée sur le sol face au changement climatique

Le choix des essences est une tâche centrale et exigeante pour la planification sylvicole pratique: il faut développer des idées visionnaires sur l'évolution des peuplements forestiers dans une station donnée, à l'horizon d'un siècle ou plus. Le sylviculteur ou la sylvicultrice décide aujourd'hui de ce qui existera encore dans 100 ans. D'importants facteurs d'influence de la croissance des arbres dépendent directement des propriétés du sol. Les données recueillies dans le cadre de cartographies détaillées du sol dans l'espace tridimensionnel constituent la base d'un choix d'essences directement orienté sur les conditions locales. Les conditions climatiques, qui évoluent rapidement, sont prises en compte.