

Bestimmung des Kulturerfolgs von Douglasien-Freisaaten durch Hurdle-Negativ-Binomialverteilungs-Regression

*Nikolas von Lüpke, Holger Sennhenn-Reulen
Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt*

Zusammenfassung

Für die Quantifizierung des Erfolgs von Douglasiensaat in Nordwestdeutschland wurde eine spezifische Verjüngungsinventur durchgeführt. Durch integrierte Modellierung von Erfolg und Pflanzanzahlen konnten die wesentlichen Einflüsse herausgearbeitet werden. Dabei wurde in einer bayesianischen Modellierung durch Regularisierung, und durch den Einbezug klaren Vorwissens, ein Modell für den unbekanntem, datengenerierenden Prozess aufgestellt, welches sich in Prädiktionsüberprüfungen als passend und robust – in Bezug auf die empirische Stichprobe – erweist. Das Modell kann zur Vorhersage der altersabhängigen Erfolgswahrscheinlichkeit für flexibel quantifizierte Definitionen von *Kulturerfolg*, und unter variierenden Szenarien für Bestockungsgrad und Saatmenge, genutzt werden.

Einleitung

Durch die projizierten klimatischen Bedingungen (IPCC 2015) werden in den kommenden Jahrzehnten vielfältige Anpassungsverfahren nötig sein, um den für die Wälder daraus folgenden, veränderten Wachstumsbedingungen waldbaulich aktiv entgegenzutreten zu können. Der Anbau der Douglasie – für ihre Produktivität, Holzeigenschaften und Bodenpfleglichkeit geschätzt (Spellmann et al. 2015) – kann hier solch ein Mittel der aktiven Anpassung sein (Brang et al. 2008; Bolte et al. 2009, von Lüpke 2009). Bei der Bestandesbegründung reagieren Douglasien jedoch, im Vergleich zu anderen Baumarten, empfindlich auf Spät- bzw. Frühfrostereignisse (Röhrig, 1976), schlechte Pflanzungsqualität und Pflanzenbehandlung, Wildverbiss und nicht standortgerechter Wahl der Herkunft des Vermehrungsguts (Braun und Wolf 2001, Dong, 1973, Larsen 1976). Um Risiken bezüglich eines Ausfalls der Kultur zu verringern, erscheint die Freisaat als mögliche Alternative.

Die vorliegende Untersuchung hat die Ziele, Erfolg und Misserfolg von Douglasiensaat in Nordwestdeutschland zu quantifizieren und die Effekte wesentlicher Einflussfaktoren auf die bedingte Erfolgswahrscheinlichkeit von Douglasiensaat herauszuarbeiten.

Material

Im Sommer 2019 wurden alle Kunden der Forstsaatgutberatungsstelle Oerrel kontaktiert, die dort in den vergangenen fünf Jahren Douglasiensaatgut bezogen haben. Zwölf Betriebe meldeten insgesamt 74 Flächen, von denen 56 mindestens 0,5 ha groß waren. Basierend auf einer auf Vorwissen und weiteren Annahmen durchgeführten Simulationsstudie, wurde entschieden 50 % ($n = 28$) dieser Flächen einer Inventur zu unterziehen. Hier wurden je ha Saatfläche systematisch 50 Zählstreifen der Länge 4 m (entspricht ca. 8 m²) verteilt und die auf diesen Streifen wachsenden Douglasien gezählt. Neben dieser Zielgröße wurden auf Bestandesebene weitere, potenzielle Einflussgrößen wie Zäunung, Saatgutmenge, Alter der Saat (Pflanzenalter), sowie Bestockungsgrad des Hauptbestandes, erhoben. Die sich daraus ergebenden Daten sind als von Lüpke et al. (2021) veröffentlicht.

Methoden

Bei der statistischen Modellierung der Zielgröße *Anzahl Douglasien pro 4 m Zählstreifen* wurde ein besonderes Augenmerk drauf gelegt in Abhängigkeit von Bestockungsgrad des Hauptbestandes, Saatgutmenge und Pflanzenalter, sowohl die Wahrscheinlichkeit für den Kulturausfall auf dem Zählstreifen, als auch die Pflanzenzahl im Erfolgsfall zu beschreiben. Es sollte keine detaillierte Modellierung des Entwicklungsprozesses, sondern eine robuste Schätzung der Wirkung der wesentlichen Einflussgrößen, im Einklang mit etwaigem Vorwissen aus der Literatur, erhalten werden. Dafür wurde angenommen, dass durch eine Hurdle-Negativ-Binomial-Verteilung ein passendes Mischverteilungsmodell für den datenerzeugenden Prozess der Zielvariablen gefunden werden kann. Dieses Modell wurde mit Hilfe der Software Stan (Carpenter et al., 2017) bayesianisch geschätzt und anhand von Prädiktionschecks geprüft. Eine detaillierte Modellbeschreibung ist in von Lüpke und Sennhenn-Reulen (eingereicht) zu finden.

Ergebnisse

Das Modell ist durch die Wahl von Regularisierungs-Prioriverteilungen robust und durch geeignete Trunkierung der Prioriverteilungen stehen die Posterioriverteilungen im Einklang mit physiologischen Grundwissen. Darüber hinaus berücksichtigt es die, sich durch die Erhebung mehrerer Saatstreifen pro Fläche ergebende, Gruppierungsstruktur der Daten. Die Visualisierung der Posterioriverteilungen und zusätzliche Prädiktionschecks – jeweils im Vergleich zur Modellierung mit anderen Priori-Eigenschaften – zeigen eine hohe Genauigkeit, Präzision und Stabilität des finalen Modells.

Die mittleren Anteile besetzter Saatstreifen lagen zwischen 16% und 97%, die Pflanzenzahlen je ha zwischen 200 und 9200 und die je Zählstreifen zwischen 0 und 30.

Aus der Modellierung ergibt sich, dass a) bei einem, in den aufgenommenen Flächen, maximalen Bestockungsgrad von 0,7 die höchsten Pflanzdichten erwartet werden können (für Alter ca. 4,5 Jahre und Saatmenge ca. 0,8 kg/ha steigt die erwartete Anzahl an Douglasien pro Zählstreifen monoton und praktisch linear von 2 auf 4, wenn sich der B° von 0 auf 0,7 erhöht), b) die erwartete Anzahl an Douglasien pro Zählstreifen von ca. 3 auf ca. 4 steigt, wenn die Saatmenge von ca. 0,5 kg/ha auf 1,3 kg/ha erhöht wird (für Alter ca. 4,5 Jahre und B° von ca. 0,4), und c) sich die erwartete Anzahl an Douglasien pro Zählstreifen von 7 auf ca. 2,5 verringert, wenn sich das Alter von einem Jahr auf sieben Jahre erhöht (für Saatmenge ca. 0,8 kg/ha und B° von ca. 0,4).

Die Wahrscheinlichkeit eines Ausfalls des Zählstreifens ist d) mit einem Wert von ca. 30 % bei einem B° zwischen 0,4 und 0,5 am geringsten (die anderen Kovariablen wie in a), weiterhin Wahrscheinlichkeiten von ca. 40 % und 35 % bei einem Bestockungsgrad von 0,0 bzw. 0,7), nimmt e) mit zunehmender Saatmenge ab (von ca. 40 % bei 0,5 kg/ha auf ca. 25 % bei 1,3 kg/ha, Interpretation analog zu b)) und f) mit zunehmendem Alter zu (von ca. 20 % auf ca. 65 % für einen Anstieg des Alters von einem Jahr auf sieben Jahre (Interpretation zu c) analog).

Diskussion

Die integrierte Auswertung von Kulturausfall und -quantität im Falle des Erfolgs führt zu konsistenten Ergebnissen und vermeidet methodische Brüche. Das verwendete Hurdle-Negativ-Binomial-Modell ist zudem in der Verjüngungsmodellierung weit verbreitet und akzeptiert. Durch die Nutzung von Regularisierung, sowie der Integration klaren Vorwissens, konnte diese Modellklasse in der vorgestellten Anwendung methodisch weiterentwickelt werden. Auch bedingt durch die Datenstruktur lag der Fokus

der Analyse auf der Schätzung von wesentlichen, stabilen Einflüssen. Das auf diese Weise erzielte Modell ist stabil und aussagekräftig, kann in der Anwendung flexibel genutzt werden – z.B. für unterschiedlich quantitativ definierte Klassifizierung des Erfolges von Douglasiensaatens – und liefert – aufgrund des räumlich zufälligen Inventurdesigns – auf das Studiengebiet verallgemeinerbare Ergebnisse.

Literatur

- Bolte, A.; Ammer, C.; Löf, M.; Madsen, P.; Nabuurs, G.J.; Schall, P.; Spathelf, P.; Rock, J. (2009) Adaptive forest management in central Europe: Climate change impacts, strategies and integrative concept. *Scandinavian Journal of Forest Research* 24(6): 473-482. DOI Pii 917227340 Doi 10.1080/02827580903418224.
- Brang, P.; Bugmann, H.; Bürgi, A.; Mühlethaler, U.; Rigling, A.; Schwitter, R. (2008) Klimawandel als waldbauliche Herausforderung. Climate change as a challenge for silviculture. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 159(10): 362-373. DOI 10.3188/szf.2008.0362.
- Braun, H.; Wolf, H. (2001) Untersuchungen zum Wachstum und zur Frosthärte von Douglasien-Populationen in Ostdeutschland. *Beiträge für Forstwirtschaft und Landschaftsökologie* 35(4): 211-214.
- Carpenter, B.; Gelman, A.; Hoffman, M. D.; Lee, D.; Goodrich, B.; Betancourt, M.; Brubaker, M.; Guo, J.; Li, P.; Riddell, A. (2017) Stan: A Probabilistic Programming Language. *Journal of Statistical Software*, 76(1), 1–32. <https://doi.org/10.18637/jss.v076.i01>
- Dong, P.H. (1973) Anbau-Folgerungen aus den bisherigen Ergebnissen über Ausfälle bei verschiedenen Douglasien-Herkünften im Aufwuchsstadium. *Allgemeine Forstzeitschrift* 28(48): 1056-1058.
- IPCC (2015) Climate change 2014: synthesis report. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland
- Larsen, J.B. (1976) Untersuchungen über die Frostempfindlichkeit von Douglasienherkünften und über den Einfluß der Nährstoffversorgung auf die Frostresistenz der Douglasie. *Der Forst- und Holzwirt* 31(15): 299-302.
- Röhrig, E. (1976) Anzucht und Pflanzung von Douglasien. *Der Forst- und Holzwirt* 31(15): 295-299.
- Spellmann, H.; Weller, A.; Brang, P.; Michiels, H.-G.; Bolte, A. (2015) Douglasie. In: Vor, T.; Spellmann, H.; Bolte, A.; Ammer, C. (Hrsg.) Potenziale und Risiken eingeführter Baumarten: Baumartenportraits mit naturschutzfachlicher Bewertung, Göttinger Forstwissenschaften, Bd. 7, Universitätsverlag Göttingen, Göttingen, 187-217.
- von Lüpke, B. (2009) Überlegungen zu Baumartenwahl und Verjüngungsverfahren bei fortschreitender Klimaänderung in Deutschland. *Forstarchiv* 80(3): 67-75.
- von Lüpke, N.; Sennhenn-Reulen, H. (eingereicht) Quantifying success share and plant density of direct seeding of Douglas fir using a hurdle negative binomial regression model.
- von Lüpke, N.; Sennhenn-Reulen, H.; Olschewski, A. (2021) Inventory data of directly seeded Douglas fir regeneration in Northwest Germany. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.5541226>