

# **Regressionsanalytischer Ansatz zur versuchsübergreifenden Auswertung von Herkunfts-Versuchen mit Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris* L.)**

Regression approach for overall analysis of provenance experiments with Scots pine (*Pinus sylvestris* L.)

*Jörg Schröder, Volker Schneck*

## **Zusammenfassung**

Auf Grundlage der im „FitForClim“-Projekt zur Verfügung stehenden Daten wird ein Regressionsansatz entwickelt, mit dem sich Herkunfts-Versuche mit Wald-Kiefer versuchsübergreifend auswerten lassen. Zunächst wird die Herleitung der abhängigen Variablen – der Parzellenmittelhöhe im Alter von 35 Jahren – erläutert. In einem nächsten Schritt wird für einen ausgewählten Teildatensatz ein Standort-Leistungs-Modell zur Schätzung der Parzellenmittelhöhe in Abhängigkeit vom Jahresniederschlag und von der mittleren Jahrestemperatur erstellt. Schließlich wird diskutiert, inwiefern dieses Modell zur Validierung der Selektion von Plusbäumen genutzt und erweitert werden kann.

**Stichworte:** Regressionsansatz, versuchsübergreifende Auswertung, Selektion von Plusbäumen, Wald-Kiefer

## Abstract

Based on the data set provided in the “FitForClim”-project, a regression approach is developed, which can be used for an overall analysis of provenance experiments with Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). Initially, the derivation of the dependent variable – the mean plot-height at age of 35 years – is explained. In the next step, a site-productivity model for estimating the mean plot-height as a function of annual precipitation and mean annual temperature is derived. Finally, how this site-productivity model can be used and enhanced for validating selected plus trees is discussed.

**Keywords:** regression approach, overall analysis, selection of plus trees, Scots pine.

## 1 Einleitung und Zielsetzung

Unter Berücksichtigung der erwarteten Klimaänderung ist davon auszugehen, dass die Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) auch zukünftig eine zentrale waldbauliche Rolle in Deutschland spielen wird. Daher ist es gerechtfertigt, für diese Baumart eine Strategie zur Leistungssteigerung durch Forstpflanzenzüchtung zu erarbeiten. Grundlage der Züchtungs-Aktivitäten ist dabei die Auswahl von Plusbäumen für den Aufbau von Zuchtpopulationen (LIEPE et al. 2015, WHITE et al. 2007).

Eine bewährte Methode zur Auswahl dieser Plusbäume ist die Berechnung von Selektionsindices im Rahmen der Auswertung von Einzelversuchen oder einheitlich konzipierten Versuchsserien (STERN 1960). Die Aufgabe, Plusbäume darüber hinaus simultan aus voneinander unabhängigen Versuchen oder Versuchsserien auszuwählen, ist dabei insofern eine Herausforderung, als dass in diesem Fall kein einheitlicher Vergleichsmaßstab gegeben ist. Sollen zusätzlich „wilde“ Plusbäume in Saatguterntebeständen ausgewählt werden, fehlt ein solcher Maßstab völlig.

Vor diesem Hintergrund ist es Ziel des vorliegenden Beitrags, einen regressionsanalytischen Ansatz zu entwickeln und zu prüfen, der eine versuchs-übergreifende Einschätzung der Wuchsleistung von Plusbäumen auf Grundlage eines allgemeinen Standort-Leistungs-Modells ermöglicht. Nicht zuletzt, da dabei ausschließlich die quantitative Wuchsleistung berücksichtigt wird, versteht sich dieser Ansatz nicht als grundsätzliche Alternative zum Selektionsindex, sondern in erster Linie als eine methodische Ergänzung.

## 2 Methodischer Ansatz und Datenaufbereitung

Prämisse des regressionsanalytischen Ansatzes ist, dass die Wuchsleistung eines bestimmten Prüfglieds neben dem Bestandesalter und der Bestandesdichte im Wesentlichen von der Wechselwirkung zwischen standörtlichen Faktoren und den jeweiligen Genotypen abhängt (TAEGER et al. 2013). Gelingt es, die Alters-, Kon-

kurrenz- sowie Standorteffekte zu quantifizieren, lassen sich – so die grundlegende Annahme – mittels Residualanalyse Hinweise auf die genetisch bedingten Unterschiede in der Wuchsleistung verschiedener Prüfglieder gewinnen. Im Folgenden wird zunächst die Herleitung der abhängigen Variablen (Zielvariable) erläutert.

## 2.1 Herleitung der Zielvariablen

Als abhängige Variable wurde die Parzellen-Mittelhöhe (arithmetisches Mittel der jeweils vorliegenden Höhenmessungen einer Parzelle) gewählt, da diese bei einer ausgeprägten Lichtbaumart wie der Wald-Kiefer weitgehend unabhängig von der Bestandesdichte bzw. unabhängig von Konkurrenzeffekten ist. Einbezogen wurden dabei die im Rahmen von „FitForClim“ zur Verfügung stehenden Daten mit geographischem Schwerpunkt in der Norddeutschen Tiefebene. Insgesamt umfasst der Datensatz 5.565 Parzellen-Mittelhöhen. Von jeder Parzelle wurde jeweils ein Alters-Höhenwert gewählt. Die Messungen der Baumhöhen erfolgten im Zeitraum von 2000 und 2010.

Unter Einbeziehung sämtlicher Daten wurde die Höhenentwicklung über dem Alter mit Hilfe der Chapman-Richards-Funktion beschrieben (PIENAAR u. TURNBULL 1973, CLUTTER et al. 1983),

$$H = 34,473 * [1 - e^{-0,0346 * t}]^{1,8606} \quad (1)$$

wobei  $H$  = Parzellen-Mittelhöhe (Meter) und  $t$  = Alter (Jahre). Die Parametrisierung erfolgte mit Hilfe der NLIN-Prozedur in SAS. Abbildung 1 zeigt die einzelnen Wertepaare sowie den Verlauf des durchschnittlichen, mit Gleichung 1 hergeleiteten Höhenwachstums. Mit Hilfe der algebraischen Differenzen-Form von Gleichung 1 wurde anschließend für jede Parzelle die Mittelhöhe im Bezugsalter von 35 Jahren ( $H_{35}$ ) geschätzt:

$$H_{35} = H * \left[ \frac{1 - e^{-0,0346 * 35}}{1 - e^{-0,0346 * t}} \right]^{1,8606} \quad (2)$$

Stratifiziert man die  $H_{35}$ -Werte nach den Ursprungsländern der Herkünfte, lässt sich mit Hilfe von Box-and-Whisker-Plots ein erster Eindruck von der bereits in früheren Untersuchungen (z. B. KOHLSTOCK u. SCHNECK 1994, SCHNECK 2002) aufgezeigten geographisch bzw. genetisch bedingten Varianz der Wuchsleistung gewinnen. So zeigen beispielsweise belgische, ungarische und deutsche Kiefern besonders gutes Wachstum. Schwedische, bulgarische und türkische Herkünfte schneiden hingegen besonders schlecht ab (s. Abb. 2).

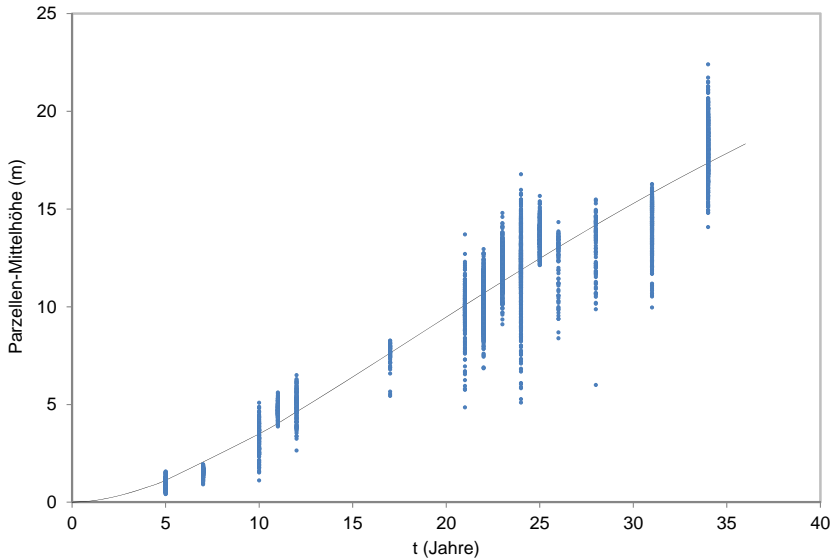


Abbildung 1: Mittelhöhen-Alterswerte von 5.565 Parzellen sowie mit Hilfe von Gleichung (1) berechneter, hypothetischer Verlauf des durchschnittlichen Höhenwachstums

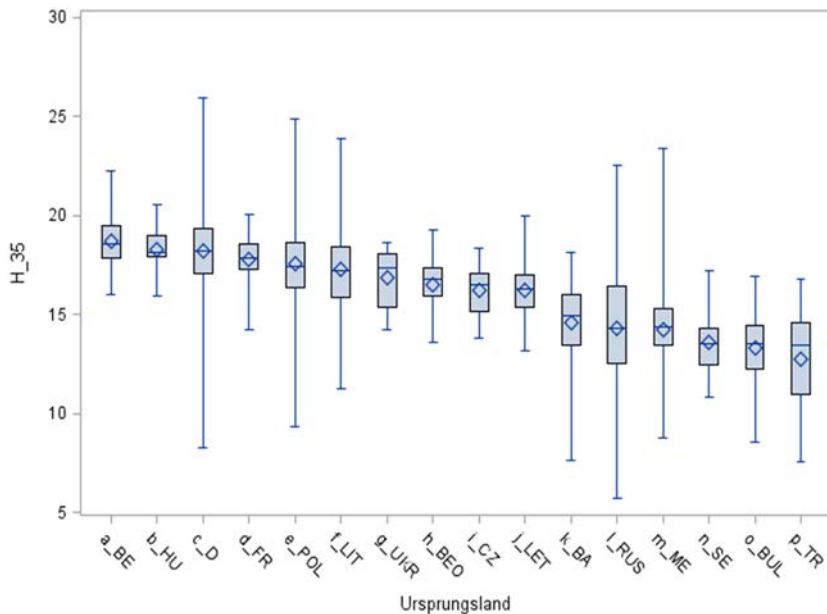


Abbildung 2: Nach Herkunftsland stratifizierte Box-and-Whisker-Plots für die geschätzten Parzellen-Mittelhöhen im Bezugs-Alter von 35 Jahren. Im Ranking der Mittelwerte (Rauten-Symbol) liegen deutsche Kiefern auf Rang c hinter belgischen und ungarischen Herkünften. Die teilweise stark vom Mittel abweichenden Minimal- bzw. Maximalwerte sind auf die unsichere Prognose des Wachstums der sehr jungen Bestände (< 10 Jahre) zurückzuführen.

## 2.2 Klimadaten

Zur Herleitung eines Standort-Leistungs-Modells wurden Klimadaten verwendet, die vom Deutschen Wetterdienst (DWD) auf Ebene der Wuchsbezirke für die Periode von 1981 bis 2000 berechnet worden sind. Weitere Standortfaktoren (z. B. Bodennährstoffe, Stickstoffdeposition) wurden in der vorliegenden Untersuchung nicht einbezogen, da diese Informationen nicht zur Verfügung standen. Grundsätzlich ist es aber möglich und auch wünschenswert, den hier entwickelten Ansatz im Rahmen einer mehrfachen linearen Regression weiter auszubauen.

## 3 Analyse und Ergebnisse

Mit dem Ziel, einen Regressionsansatz für die Validierung der Auswahl von Plusbäumen zu entwickeln und zu testen, erschien es wenig sinnvoll, den kompletten, für die Parametrisierung von Gleichung 1 verwendeten Datensatz zu verwenden. Stattdessen wurden relativ schlecht wüchsige Herkünfte aus Ländern mit einem mittleren  $H_{35}$ -Wert von weniger als 17,6 Meter ( $17,6 =$  Mittelwert der qualitativ hochwertigen polnischen Herkünfte, vgl. Abb. 2), von vornherein ausgeschlossen. Aufgrund der schlechten Wuchsleistung kommen diese exotischen Herkünfte nämlich ohnehin für eine Plusbaumselektion nicht in Frage. Außerdem wurde der Ansatz zwecks Reduzierung der komplexen Wechselwirkungen zwischen standörtlichen und genetischen Faktoren zunächst ausschließlich mit den Daten von vier ausgewählten Versuchsserien der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA) getestet.

Um für diesen Teildatensatz einen Standort-Leistungs-Bezug zu quantifizieren, wurden die  $H_{35}$ -Werte für die jeweiligen Versuchsorte der vier Serien zuvor gemittelt. Dieser Schritt war erforderlich, um die für den Regressionsansatz obligatorische Unabhängigkeit der Daten zu gewährleisten. Anschließend wurde mit Hilfe der REG-Prozedur in SAS untersucht, inwiefern das Höhenwachstum von Jahresniederschlag (mm) und Jahresmitteltemperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) abhängt. Schließlich wurde das Klima mit dem folgenden, bereits z. B. von LIESEBACH et al. (2009) verwendeten Ariditätsindex beschrieben:

$$AI = \frac{\text{Jahresniederschlag}}{(\text{Jahresmitteltemperatur}+10)} \quad (3)$$

Die berechnete Regressionsgerade sowie die dazugehörige Punktwolke sind in Abbildung 3 dargestellt. Das klimatisch bedingte Wuchspotenzial der Wald-Kiefer verringert sich mit steigendem Ariditätsindex, d. h. mit zunehmender Küstennähe und mit zunehmender Höhenlage. Die parametrisierte Gleichung lautet:

$$\bar{H}_{35} = -0,1725 * AI + 25,01 \quad (4)$$

wobei  $\bar{H}_{35}$  = der für den jeweiligen Versuchsort gemittelte Parzellen-Mittelwert ( $m$ ) ist. Das Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) beträgt 0,1839 und der für den Ariditätsindex ermittelte  $t$ -Wert liegt mit 2,01 leicht über dem Schwellenwert von 1,725, was bedeutet, dass der Parameter der unabhängigen Variablen ungleich null ist, wenn von einem zweiseitigen 10%-Signifikanzniveau ausgegangen wird.

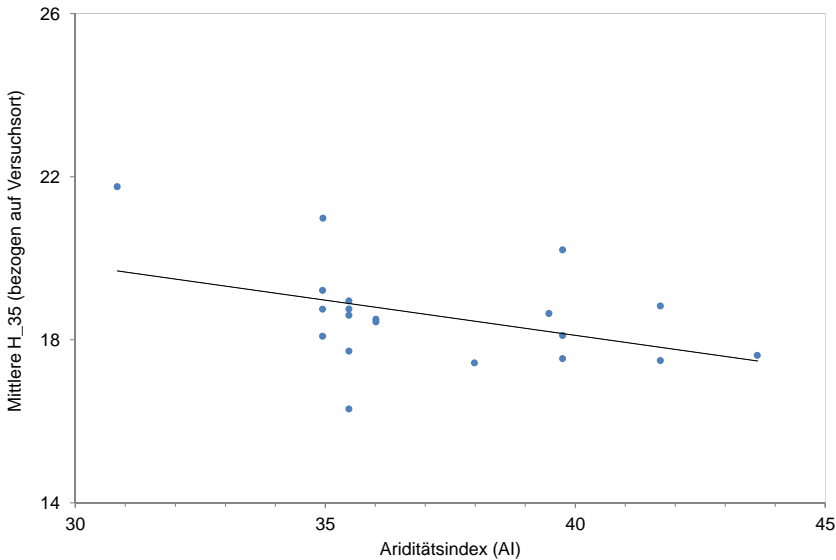


Abbildung 3: Zusammenhang zwischen Ariditätsindex und der für den jeweiligen Versuchsort gemittelten Bestandeshöhe der Parzellen im Bezugsalter von 35 Jahren

Um Herkünfte bzw. Plusbäume zu identifizieren, die mutmaßlich genetisch bedingt eine besonders gute Wuchsleistung aufweisen, wurde mit Hilfe von Gleichung 4 für jede einzelne Parzelle ein  $H_{35}$ -Wert geschätzt und anschließend vom „tatsächlichen“, mit Hilfe von Gleichung 2 berechneten  $H_{35}$ -Wert subtrahiert. Die auf diese Weise berechneten Residuen wurden anschließend für jede Herkunft (verschiedene Prüfglieder bzw. Parzellen) gemittelt. Besonders hohe mittlere Residualwerte können dabei auf besonders leistungsfähige Genotypen hindeuten.

In Tabelle 1 ist bezüglich dieser mittleren Residuen die Rangfolge der Top-15-Herkünfte dargestellt. Zum Vergleich findet sich in Tabelle 2 die Rangfolge der Top-15-Herkünfte bezüglich des mittleren  $H_{35}$ -Wertes. Vergleichend zeigt sich: Unter den Top-15 bezüglich des mittleren Residuums befinden sich vier Herkünfte, die in der Herkunftsempfehlung der NW-FVA als „Geprüft“ oder als „Qualifiziert“ genannt werden. Darüber hinaus befinden sich darunter fünf mit einem Sternchen (\*) markierte Herkünfte, die von RAU (2009) als „Geprüft“ empfohlen worden sind. Hätte man anstatt der Residuen lediglich die „einfachen“  $H_{35}$ -Werte betrachtet (vgl. Tab. 2), hätten diese von RAU empfohlenen Herkünfte

– bis auf „Bremervörde, Abt. 44“ – nicht für die Auswahl von Plusbäumen als besonders interessant identifiziert werden können.

*Tabelle 1: Rangfolge der Top-15-Herkünfte bezüglich des mittleren Residuums*

Herkunft	mittleres Residuum (m)	Herkunftsempfehlung für Herkunftsgebiete in Niedersachsen			Herkunftsempfehlung für Herkunftsgebiete in Hessen	
		851 01	851 03	851 05	851 05	851 13
Bremervörde 44 *	1,61					
Babenhausen 316	1,39					
Wildeck 46	1,33					
Göhrde 38b *	1,10					
Burghaun 4410b, 4415a	1,09			x	x	
Babenhausen 317	1,07	x	x			x
Wolfgang 11a	1,05					
SPL Otterberg XIV 2	1,03					
Bleckede 9a1 *	1,00					
SPL Ebrach VIII 3c2	0,99			x	x	
Seligenstadt 317	0,97					
SPL Ebrach IV 9a3	0,92			x	x	
Bleckede 494b *	0,87					
Seehcim 21	0,87					
Gartow 65 *	0,85					

\* = von RAU 2009 als „Geprüft“ empfohlen

*Tabelle 2: Rangfolge der Top-15-Herkünfte bezüglich des mittleren H<sub>35</sub>-Wertes*

Herkunft	mittlere H <sub>35</sub> (m)	Herkunftsempfehlung für Herkunftsgebiete in Niedersachsen			Herkunftsempfehlung für Herkunftsgebiete in Hessen	
		851 01	851 03	851 05	851 05	851 13
Burghaun 4410 B, 4415 A0	20,10			x	x	
Babenhausen 316	20,08					
Bremervörde 44 *	20,06					
Wildeck 46	20,02					
SPL Ebrach VIII 3c2	20,00			x	x	
SPL Ebrach IV 9a3	19,93			x	x	
SPL Otterberg XIV 2	19,90					
Wolfgang 11a	19,82					
Babenhausen 317	19,76	x	x			x
Wolfgang 1	19,63					
SPL Weißenstadt V 4b, 5a	19,62					
Seligenstadt 104	19,58					
Seligenstadt 317	19,57					
Seehcim 21	19,55					
Wolfgang 110a	19,55					

\* = von RAU 2009 als „Geprüft“ empfohlen

## 4 Diskussion und Schlussfolgerungen

Zwar stimmt der in Abbildung 3 quantifizierte Zusammenhang zwischen Wachstum und Klima grundsätzlich mit dem vorhandenen Expertenwissen überein. So hat bereits WIEDEMANN (1948, S. 53) auf die geringe Bonität vieler Kiefernbestände in den meeresnahen Teilen Nordwestdeutschlands hingewiesen. Auch liefert die in Tabelle 1 dargestellte Residualanalyse plausible Ergebnisse. Andererseits ist das Bestimmtheitsmaß im Vergleich zu anderen, differenzierteren Standort-Leistungs-Modellen relativ gering (z. B. ALBERT u. SCHMIDT 2012). Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass der Zusammenhang zwischen der Wuchsleistung und dem Ariditätsindex nicht streng linear ist, sondern in Wirklichkeit komplexeren, nicht-linearen Wirkungsgefügen folgt. Davon ist insbesondere dann auszugehen, wenn nicht – wie im vorliegenden Beitrag – lediglich Nordwestdeutschland, sondern die gesamte norddeutsche Tiefebene einschließlich des bereits kontinental geprägten südöstlichen Brandenburgs betrachtet wird (LOCKOW 2015, S. 56 ff.). Der vorliegende Artikel ist aus diesen Gründen als ein erster, noch eher theoretischer Beitrag zu verstehen, der im Rahmen der Züchtungsstrategie für die Wald-Kiefer zukünftig weiter ausgebaut werden sollte.

Vorteil des regressionsanalytischen Ansatzes ist dabei, dass Standort-Leistungs-Modelle nicht nur im Rahmen der Plusbaumauswahl, sondern darüber hinaus auch als Grundlage für die Unterteilung bestimmter geographischer Gebiete in Zonen mit unterschiedlichen Wachstumspotenzialen verwendet werden können (z. B. BRANDL et al. 2016). Ein denkbar einfacher Ansatz für eine solche Unterteilung ist exemplarisch in Abbildung 4 für die beiden nordwestdeutschen Kiefern-Herkunftsgebiete 851 01 und 851 03 dargestellt.

Ausgehend von der in Abbildung 3 dargestellten Spannweite des Ariditätsindex wurden die beiden Herkunftsgebiete auf Ebene der Wuchsbezirke in drei Zonen unterteilt: Relativ gutes Wachstum findet sich z. B. im Wuchsbezirk Lüchow-Salzwedeler Niederung (Ostniedersächsisch-Altmarkisches Altmoränenland), mittleres Wachstum in der Südheide (ostniedersächsisches Tiefland) und relativ schlechtes Wachstum auf der Wesermünder Geest (niedersächsischer Küstenraum). Gelingt es, Standort-Leistungs-Modelle auch auf Bundesebene zu parametrisieren, wäre dies eine Grundlage für die Validierung der aktuell abgegrenzten Verwendungszonen sowie eine Voraussetzung für die Simulation der Verschiebung dieser Verwendungszonen unter Annahme verschiedener Klimaszenarien.



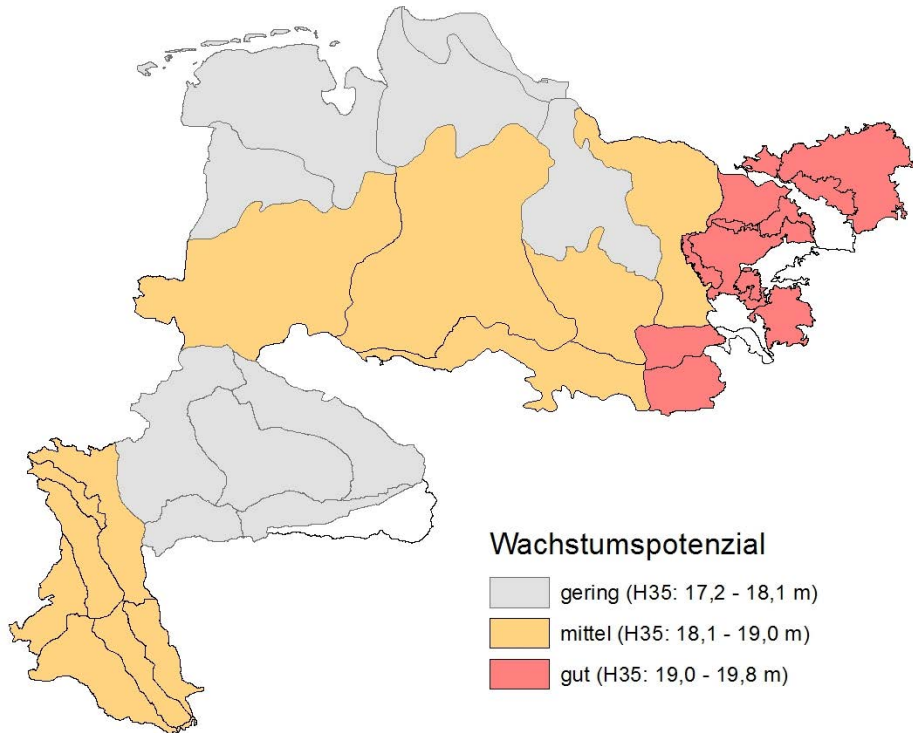


Abbildung 4: Mit Hilfe von Gleichung 4 durchgeführte Unterteilung von zwei nordwestdeutschen Kiefern-Herkunftsgebieten nach klimatisch bedingten Unterschieden im Wachstumspotenzial

## Literatur

- ALBERT, M. u. SCHMIDT, M. (2012): Standort-Leistungs-Modelle für die Entwicklung von waldbaulichen Anpassungsstrategien unter Klimawandel. Archiv f. Forstwesen u. Landschaftsökol. 46, 2, 57-71
- BRANDL, S., FALK, W., KLEMMT, H.-J., RÖTZER, T.; PRETZSCH, H. (2016): Standörtliche Wachstumspotenziale. AFZ/Der Wald, 4, 19-23
- CLUTTER, J.L., FORTSON, J.C., PIENAAR, L.V., BRISTER, G.H.; BAILEY, R.L. (1983): Timber management – a quantitative approach. John Wiley, 333 S.
- KOHLSTOCK, N. u. SCHNECK, V. (1994): IUFRO Provenance Trial of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) at Waldsiedersdorf 1982 – 1994. In: Scots pine breeding and genetics. Proceedings of the IUFRO S.02.18 Symposium Lithuania 1994
- LIEPE, K.J., SCHRÖDER, J.; WOJACKI, J. (2015): Neue Perspektiven der Züchtung für Douglasie und Waldkiefer. AFZ/Der Wald, 11, 27-29
- LIESEBACH, M., SCHÜLER, S.; WOLF, H. (2009): Klima-Wachstumsbeziehungen von Rotbuchen-Herkünften im Vergleich. In: MAURER, W. u. HAASE, B. (Hrsg.): Holzproduktion auf forstgenetischer Grundlage im Hinblick auf Klimawandel und Rohstoffverknappung. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 69/11

- LOCKOW, K.-W. (2015): Grundlagen der Kiefernwirtschaft. Verlag Dr. Kovac, Hamburg, 306 S.
- PIENAAR, L.V. u. TURNBULL, K.J. (1973): The Chapman-Richards Generalization of Van Bertalanffy's growth model for basal area growth and yield in even-aged stands. *Forest Sci.*, 19, 2-22
- RAU, H.-M. (2009): Leistungen und Qualitätseigenschaften von nordwestdeutschen Kiefernbeständen (*Pinus sylvestris* L.). In: MAURER, W. u. HAASE, B. (Hrsg.): Holzproduktion auf forstgenetischer Grundlage im Hinblick auf Klimawandel und Rohstoffverknappung. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 69/11
- SCHNECK, V. (2002): Ergebnisse und Perspektiven der forstlichen Selektions- und Kreuzungszüchtung am Beispiel der Kiefer. *Beitr. Forstwirtsch. u. Landsch.ökol.*, 36, 132-135
- STERN, K. (1960): Plusbäume und Samenplantagen – Grundzüge der Planung einer Auslesezüchtung bei den Hauptholzarten. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a.M., 116 S.
- TAEGER, S., ZANG, C., LIESEBACH, M., SCHNECK, V.; MENZEL, A. (2013): Impact of climate and drought events on the growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) provenances. *Forst Ecology a. Manage.* 307, 30-42
- WHITE, T.L., ADAMS, W.T.; NEALE, D.B. (2007): *Forest Genetics*. CABI Publishing, Wallingford, 682 S.
- WIEDEMANN, E. (1948): Die Kiefer 1948 – waldbauliche und ertragskundliche Untersuchungen. M. & H. Schaper, Hannover, 337 S.

Korrespondierender Autor:

Dr. Jörg Schröder  
Thünen-Institut für Forstgenetik  
Eberswalder Chaussee 3a  
D-15377 Waldsiedersdorf  
joerg.schroeder@thuenen.de  
www.thuenen.de/fg

Volker Schneck  
Thünen-Institut für Forstgenetik