

Ursachen von Wachstumsveränderungen der Wälder in Europa – Konzeption, methodische Ansätze und erste Ergebnisse des EU-Projekts RECOGNITION

Hans-Peter Kahle^{1*}, Pedro J. Pérez-Martínez¹, Heinrich Spiecker¹, Rüdiger Unseld¹
Bei der Durchführung der Forschungsarbeiten haben ferner maßgeblich mitgewirkt:
Karl Mellert², Jörg Prietzel², Karl-Eugen Rehfuess², Ralf Straußberger²

¹Institut für Waldwachstum, Universität Freiburg, Tennenbacherstrasse 4, D-79106 Freiburg

²Lehrstuhl für Bodenkunde, Technische Universität München, Am Hochanger 2, D-85350 Freising-Weihenstephan

* Korrespondenz: Hans-Peter.Kahle@iww.uni-freiburg.de

Abstrakt

In jüngerer Zeit wurde an vielen Standorten in Europa ein Anstieg der Produktivität von Waldstandorten, angezeigt durch ein beschleunigtes Waldwachstum, beobachtet. Als mögliche Ursachen dieser Wachstumsveränderungen werden Änderungen im physikalischen und chemischen Klima sowie in den Bodenbedingungen diskutiert. Die hier vorgestellte Studie ist Teil des EU-Forschungsprojekts RECOGNITION welches vom Europäischen Forstinstitut koordiniert wird. Die wesentlichen Forschungsziele bestehen in der Identifikation möglicher Ursachen der beobachteten Wachstumstrends in europäischen Wäldern und in der Erforschung der zugrundeliegenden Prozesse und Wechselwirkungen unter besonderer Berücksichtigung der relativen Bedeutung von Veränderungen in den Ernährungs- und Klimabedingungen. In diesem Bericht werden erste Ergebnisse der statistischen Analyse von räumlichen Mustern und Trends präsentiert.

1. Motivation

In jüngerer Zeit wurde an vielen Standorten in Europa ein Anstieg der Produktivität von Waldstandorten, angezeigt durch ein beschleunigtes Waldwachstum, beobachtet (Bösch 1999, Eriksson & Karlsson 1996, Hradetzky 2001, Kenk et al. 1991, Kenk 2002, Pretzsch 1992, Pretzsch et al. 2000, Pretzsch & Utschig 2000, Reimeier 1999, 2001, Röhle 1997, Schadauer 1999, Schöpfer et al. 1994, Spelsberg 1994, Spelsberg et al. 1995, Spiecker et al. 1996, Spiecker 1999, Untheim 1996, 2000). Während die Befunde in Mitteleuropa und der südlichen borealen Zone überwiegend deutlich positive Wachstumstrends anzeigen, sind die Ergebnisse in den übrigen Gebieten weniger eindeutig (Spiecker et al. 1994).

Als mögliche Ursachen dieser Wachstumsveränderungen werden Änderungen im physikalischen und chemischen Klima sowie in den Bodenbedingungen diskutiert (Cannell et al. 1999, Karjalainen et al. 1999, Pretzsch et al. 2000, Pretzsch & Utschig 2000, Rehfuess et al. 1999, Spiecker et al. 1996, Untheim 1996). Unter veränderten Wachstumsbedingungen sind angepasste Bewirtschaftungsstrategien notwendig um die multifunktionalen Ziele der Waldwirtschaft nachhaltig zu sichern (Karjalainen et al. 1999, Spiecker et al. 1996, Spiecker 2001a, 2001b, Teuffel 1999). Eine begründete Prognose der zukünftigen Entwicklung des Waldwachstums wie auch die Ableitung angepasster Behandlungsstrategien setzen jedoch eine differenzierte Kenntnis der zugrundeliegenden Wirkungszusammenhänge voraus.

Die hier vorgestellte Studie ist Teil des EU-Forschungsprojekts „Zusammenhänge zwischen neuen Veränderungen des Wachstums und der Ernährung von Fichten-, Kiefern und Buchen-

wäldern in Europa – RECOGNITION“ welches vom Europäischen Forstinstitut koordiniert wird (www.efi.fi/projects/recognition/) (Schuck et al. 2000). In diesem Bericht werden erste Ergebnisse der statistischen Analyse von räumlichen Mustern und Trends präsentiert.

2. Konzeption

An dem Forschungsvorhaben RECOGNITION wirken 22 Partner aus 13 europäischen Ländern mit. Die wesentlichen Forschungsziele bestehen in der Identifikation möglicher Ursachen der in jüngerer Zeit beobachteten Wachstumstrends in europäischen Wäldern und in der Erforschung der zugrundeliegenden Prozesse und Wechselwirkungen unter besonderer Berücksichtigung der relativen Bedeutung von Veränderungen in den Ernährungs- und Klimabedingungen (Rehfuess et al. 1999, Schuck et al. 2000).

Das Projekt RECOGNITION ist ein interdisziplinäres Forschungsprojekt in dem Forscher aus den Disziplinen Baumphysiologie, Bodenkunde, Standortkunde, Waldernährungskunde und Waldwachstumskunde sowie aus dem Bereich der Szenariomodellierung und prozessbasierten Modellierung biogeochemischer Kreisläufe in Waldökosystemen mitwirken. Neben den Hauptprojektpartnern wirken weitere Projektpartner bei der Datenbereitstellung sowie bei der Datenauswahl, Auswertung und Interpretation mit (Abb. 1).

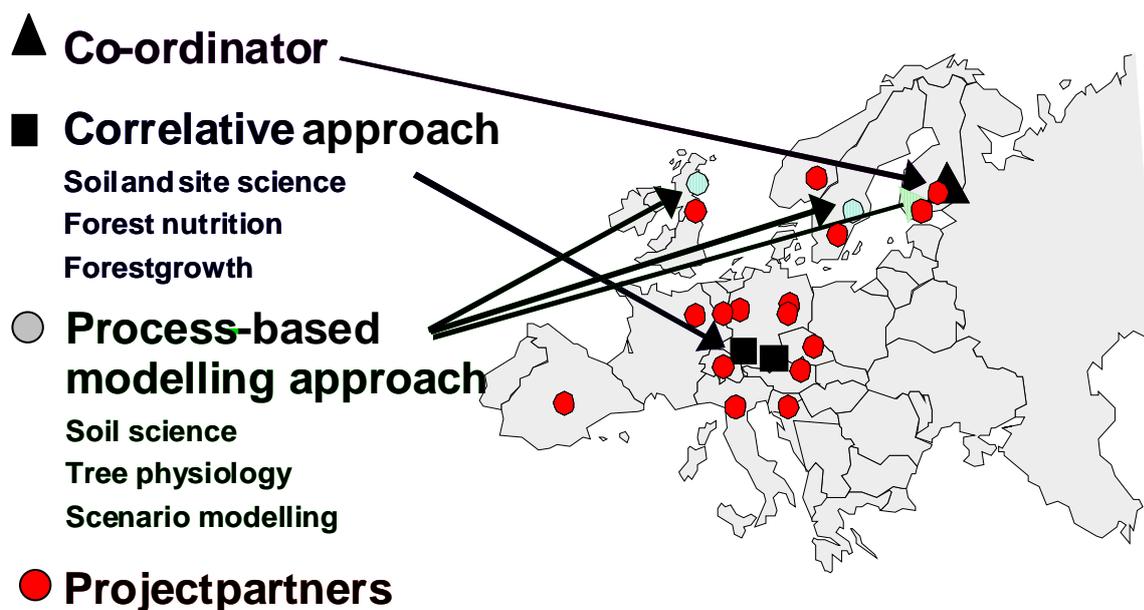


Abbildung 1: Partner im Projekt RECOGNITION (www.efi.fi/projects/recognition/).

Die transdisziplinäre Komponente der Projektkooperation besteht zum einem in der klaren Orientierung an einem gesellschaftlich vielschichtig relevanten und aktuellen Problemfeld zum anderen darin, dass auf der Grundlage der erzielten Ergebnisse praktisch umsetzbare Handlungsempfehlungen abgeleitet werden sollen..

Der gewählte integrierte Forschungsansatz stellt eine Kombination aus statistisch-korrelativen und modell- und systemanalytisch-basierten Vorgehensweisen dar:

- Korrelative (statistische) Ansätze

Analyse der historischen Entwicklung (Historical Data Investigation, HDI)

Analyse des gegenwärtigen Zustands (Present State Analysis, PSA)

- Prozessbasierter Modellierungsansatz
- Ökosystemanalytischer Ansatz.

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens RECOGNITION werden in folgenden Produkten dargestellt:

- einheitliche Datenbasis über Baumwachstum und -ernährung von Fichten, Kiefern und Buchen auf ausgewählten Standorten in Europa
- neue empirische Befunde über die Zusammenhänge zwischen Umweltfaktoren und dem Wachstum der drei untersuchten Baumarten
- Prognosemodelle zur Beschreibung der Effekte von Änderungen der Ernährungsbedingungen und des Klimas (Lufttemperatur, Niederschlag und CO₂-Konzentration) sowie der Auswirkungen von verschiedenen Managementoptionen auf das Wachstum der drei untersuchten Baumarten
- georeferenzierte Darstellung der Wachstumsveränderungen der drei untersuchten Baumarten auf Europäischer Ebene mit regionaler Auflösung
- georeferenzierte Klassifizierung der Standorte entsprechend dem Risiko mit dem bei anhaltendem Wachstumsanstieg mit Limitierungen bzw. Stresserscheinungen zu rechnen ist
- Einschätzung der relativen Bedeutung der verschiedenen Umweltfaktoren für die beobachteten Wachstumsveränderungen als Grundlage für die Entwicklung von Handlungsstrategien.

3. Untersuchungsmaterial

Neben den Daten, die von den Projektpartnern in das Vorhaben eingebracht werden, stellt die Datenbasis des Pan-European Intensive Monitoring of Forest Ecosystems (Level II; EC DG Agriculture, ICP Forests), welche vom Forest Intensive Monitoring and Coordinating Institute (www.fimci.nl) verwaltet wird, die hauptsächliche Quelle der verwendeten Daten zum Ernährungszustand von Waldbäumen und zu bodenchemischen Eigenschaften von Waldstandorten auf europäischer Ebene dar. Diese Daten werden ergänzt durch retrospektive Wachstumsdaten, welche im Rahmen des Projekts auf ausgewählten Level II-Flächen erhoben wurden (siehe Abschnitt 3.2) sowie durch Inventurdaten auf regionaler Ebene (z.B. Daten der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt des Landes Baden-Württemberg). Die verwendeten Klimadaten wurden vom Daten Distribution Centre des Intergovernmental Panel on Climate Change (Hulme et al. 1995) bezogen.

4. Methodische Ansätze

4.1 Auswertungsmethoden

Der statistisch-korrelative Untersuchungsansatz gliedert sich in die beiden Ansätze:

- zeitreihenbezogener Ansatz (HDI)
- geostatistischer Ansatz (PSA).

Kriterien für die Anwendung des HDI ist die Verfügbarkeit von Daten zu Wachstum, Klima-/Witterung sowie Ernährung in ausreichender Auflösung über einen mindestens 30jährigen

Zeitraum. Zur Anwendung gelangen zum einen Methoden der uni- und multivariaten Zeitreihenstatistik zum anderen verallgemeinerte lineare Modelle (Brockwell & Davis 1987, Harvey 1989, Schlittgen & Streitberg 1991, Van Deusen 1989).

Die Anwendung geostatistischer Methoden setzt die Verfügbarkeit von georeferenzierten Daten voraus. Die geostatistische Analyse beginnt mit der Formulierung und Parametrisierung der univariaten räumlichen Modelle. Für die Quantifizierung der multivariaten Zusammenhänge unter spezieller Berücksichtigung räumlicher Korrelationen in den Variablen werden die Methoden des Cokriging sowie des Kriging with External Drift angewendet (Cressie 1991, Goovaerts 1997, Wackernagel 1998, Webster & Oliver 2001).

Die primäre Zielgröße der waldwachstumskundlichen Auswertungen sind trendhafte Änderungen im Höhenwachstum der ausgewählten Oberhöhenbäume. Als Referenzgröße für das erwartete Höhenwachstum wird im Regelfall die altersbezogene Höhenentwicklung des älteren Vergleichkollektivs der auf dem gleichen Standort erwachsenen Untersuchungsbäume herangezogen. Abweichungen im Höhenwachstum sollen damit in Prozent zu dem erwarteten Höhenwachstum dargestellt werden.

4.2 Versuchsanlage

Die Untersuchungsstandorte wurden auf der Grundlage eines quasiexperimentellen dreifaktoriellen Designs ausgewählt. Das Verfahren ist in Abbildung 2 schematisch illustriert. Entsprechend der wichtigsten forschungsleitenden Hypothesen des Vorhabens wurden Versuchsbehandlungen mit den folgenden Faktoren definiert:

- Veränderung der mittleren Lufttemperatur in den Monaten Mai bis September zwischen den Klimanormalen 1901-1930 und 1961-1990
- Veränderung der mittleren Niederschlagssummen in den Monaten Mai bis September zwischen den Klimanormalen 1901-1930 und 1961-1990
- N-Ernährungsstatus (als Zustandsgröße).

Die untersuchten Faktorlevels wurden baumartenspezifisch anhand der empirischen Werteverteilungen im Anhalt an tatsächlich realisierte Perzentile definiert. Die „Kontrollbehandlung“ ist durch die Faktorkonstellation definiert bei der die Faktorlevel aller drei Behandlungsfaktoren eine intermediäre Ausprägung aufweisen.

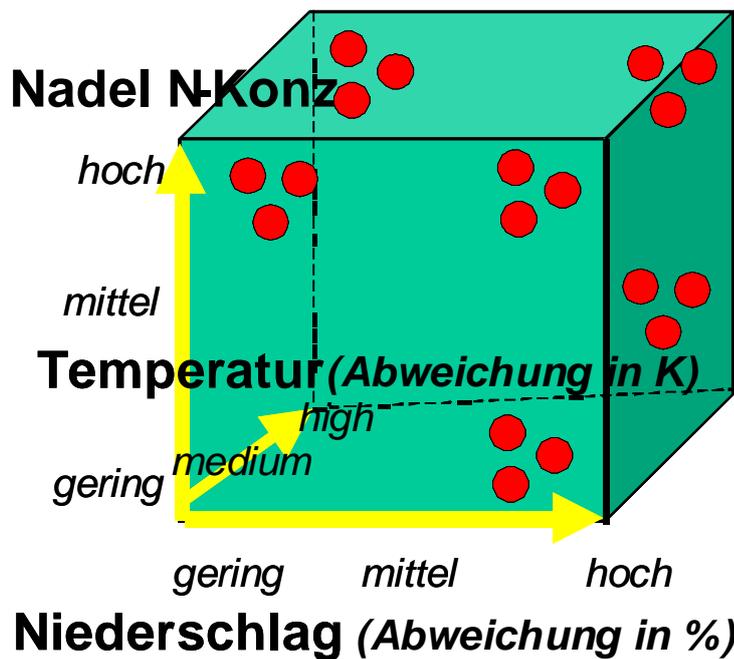


Abbildung 2: Quasiexperimentelles dreifaktorielles Sampling Design als Grundlage für die Auswahl der „Level II Flächen“, auf denen im Rahmen des Projekts zusätzliche Wachstumsanalysen durchgeführt wurden. Weitere Erläuterung siehe Text. Die eingezeichneten Kreise symbolisieren exemplarisch potenzielle Untersuchungsstandorte (nach Prietzel *et al.* 2002).

4.3 Änderung der mittleren Lufttemperatur- und Niederschlagsbedingungen

Die als Rasterdaten mit einer longitudinalen und latitudinalen Schrittweite von 0.5° europaweit vorliegenden Daten zu Lufttemperatur und Niederschlag (Hulme *et al.* 1995) wurden so aufbereitet, dass Abweichungen dieser Klimaparameter zwischen den beiden (30jährigen) Klimanormalen 1901-1930 und 1961-1990 in ihrer räumlichen Variabilität deutlich werden (siehe Abb. 3 und 4).

Sowohl in den Lufttemperaturen als auch in den Niederschlägen zeigt sich eine große räumliche Variabilität der Abweichungen zwischen den betrachteten Bezugsperioden. So stehen etwa Temperaturabweichungen über 1.0° K in größeren Gebieten in Nordspanien, Südfrankreich und Nordschweden, Regionen in Norditalien und Südfinnland gegenüber, in denen sich die Temperaturen um mehr als 0.5° K verringert haben.

Die kleinräumige Variabilität der Niederschlagsabweichungen ist deutlich größer als bei den Lufttemperaturabweichungen. Während in einzelnen Gebieten in Südspanien, in Ostpolen und den österreichischen Alpen die mittleren Niederschlagssummen in der Vegetationsperiode um mehr als 7.5 % abgenommen haben, sind diese in weiten Teilen Fennoskandiens und Mittel- und Norddeutschlands um mehr als 7.5 % angestiegen.

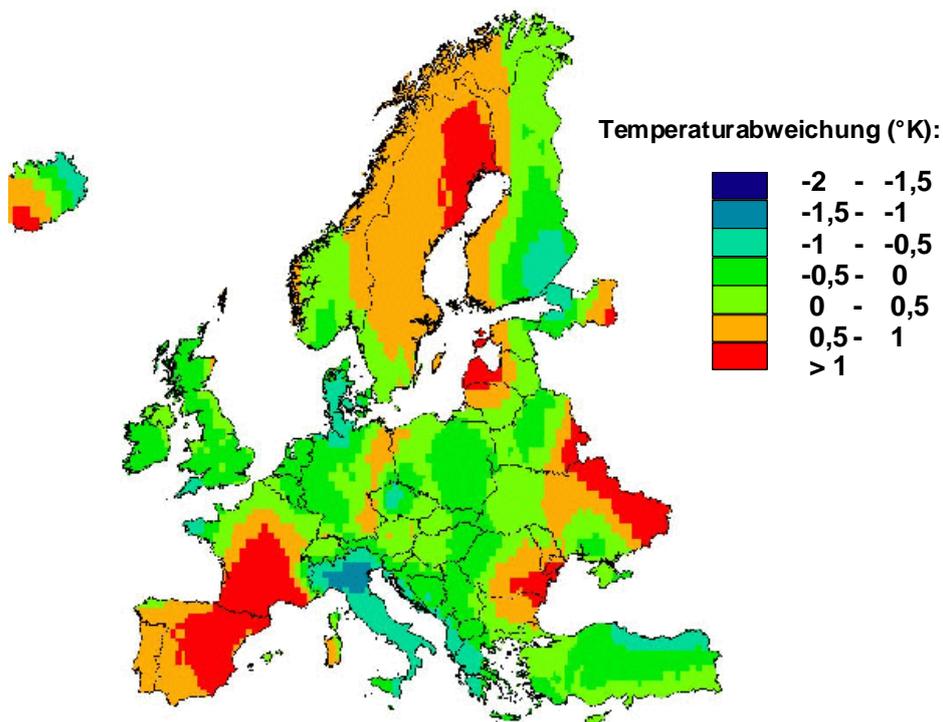


Abbildung 3: Abweichung der mittleren Lufttemperatur der Monate Mai-September im Zeitraum 1961-1990 im Vergleich zu 1901-1930 (Datenquelle: Hulme et al. 1995).

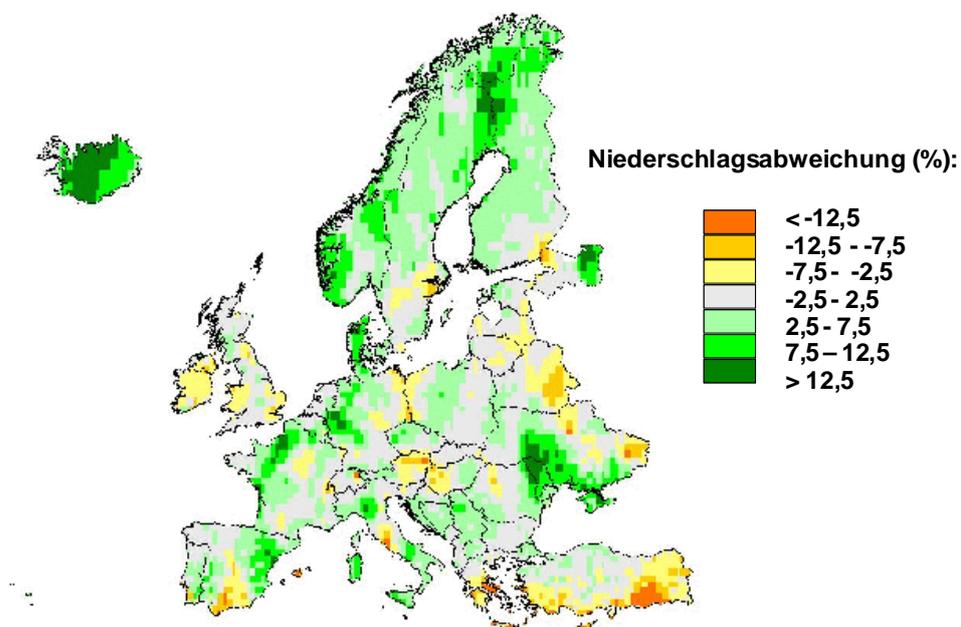


Abbildung 4: Abweichung der mittleren Niederschlagssummen in den Monaten Mai-September im Zeitraum 1961-1990 im Vergleich zu 1901-1930 (Datenquelle: Hulme et al. 1995).

4.4 Stickstoffernährungsstatus

Die im Rahmen des Level-II Programms ermittelten und europaweit harmonisierten Daten des Intensiven Waldmonitorings geben unter anderem Aufschluss über den Ernährungsstatus der Waldbäume auf europäischer Ebene. Exemplarisch für die Kiefer sind in Abbildung 5 die Daten zur N-Konzentration einjähriger Nadeln in einer mittels Kriging räumlich interpolierten Karte dargestellt. Es wird deutlich, dass es in Europa eine große Variationsbreite in der N-Ernährung von Kiefern gibt: Mangelstandorte bzw. Standorte mit suboptimaler N-Ernährung (< 14 mg/g Trockensubstanz, Klassierung im Anhalt an (BMELF 1997) treten großflächig in Fennoskandien sowie kleinräumiger im östlichen Mitteleuropa auf. Zentren supraoptimaler N-Ernährung (>17 mg/g TS) befinden sich unter anderem an der kontinentalen Nordseeküste sowie auf dem Balkan.

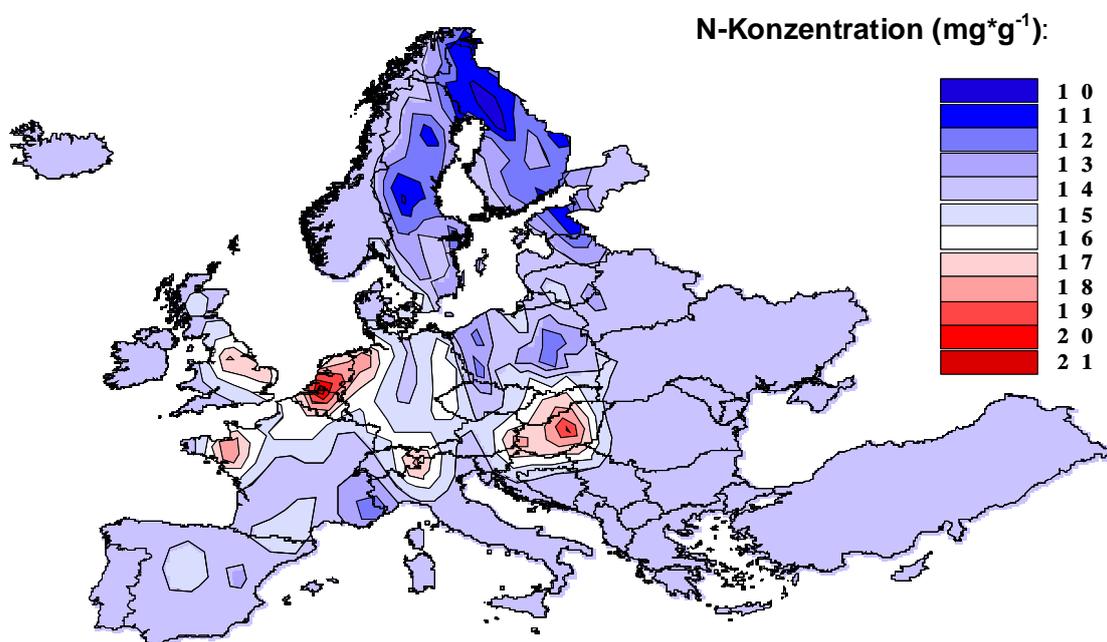


Abbildung 5: Mittlere Stickstoffkonzentration einjähriger Nadeln der Kiefer (Erhebungen 1993-1998) (Datenquelle: ICP Forests 2000).

4.5 Ausgewählte Untersuchungsstandorte

In Abbildung 6 sind die nach dem oben beschriebenen Verfahren ausgewählten Level II Untersuchungsstandorte an denen zusätzliche Wachstumsanalysen im Rahmen des Projekts durchgeführt wurden nach Baumarten getrennt dargestellt. An den insgesamt 63 Untersuchungsstandorten wurden jeweils in der Regel 10 Untersuchungsbäume ausgewählt und stammanalytisch erfasst. Die 10 Untersuchungsbäume je Standort gliedern sich jeweils in ein jüngeres und ein älteres Untersuchungsbaumkollektiv.

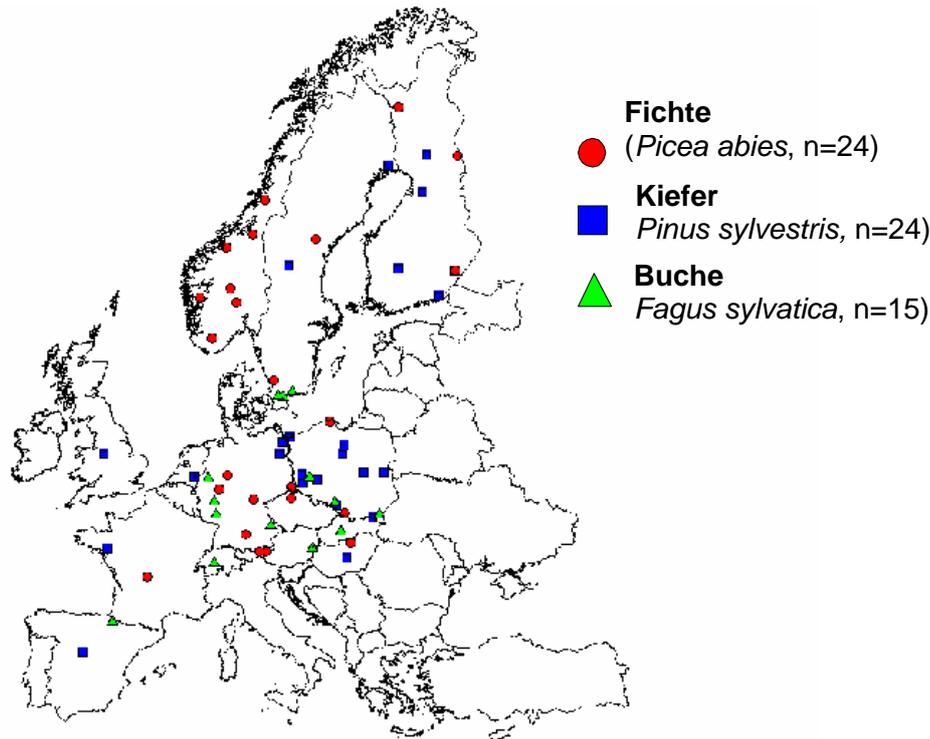


Abbildung 6: Verteilung der Level II Standorte (ICP Forest 2000) an denen zusätzliche Wachstumsanalysen im Rahmen des Projekts durchgeführt wurden (n: Anzahl der Untersuchungsstandorte). Erläuterungen siehe Text.

Tabelle 1 zeigt am Beispiel der Kiefer die ausgewählten Level II Standorte sowie deren Zuordnung zu den verschiedenen Behandlungstypen die als Kombinationen der Behandlungsfaktoren mit jeweils unterschiedlicher Ausprägung definiert sind.

Die Behandlungen in Tabelle 1 (TPS: Treatment *Pinus sylvestris*) sind wie folgt definiert:

TPS-01: keine Änderung von Temperatur und Niederschlag, hohe Nadel-N-Konzentration

TPS-02: keine Änderung von Temperatur und Niederschlag, geringe Nadel-N-Konzentration

TPS-03: verringerte Wasserversorgung, geringe Nadel-N-Konzentration

TPS-04: erhöhte Wasserversorgung, geringe Nadel-N-Konzentration

TPS-05: verringerte Wasserversorgung, hohe Nadel-N-Konzentration

TPS-06: erhöhte Wasserversorgung, hohe Nadel-N-Konzentration

TPS-07: unveränderte Wasserversorgung (Erhöhung der Temperatur wird durch Erhöhung der Niederschläge kompensiert), geringe Nadel-N-Konzentration

TPS-08: begrenzende Wasserversorgung, Verkürzung der Vegetationsperiode, geringe Nadel-N-Konzentration

TPS-09: unveränderte Wasserversorgung (Erhöhung der Temperatur wird durch Erhöhung der Niederschläge kompensiert), hohe Nadel-N-Konzentration

TPS-10: begrenzende Wasserversorgung, Verkürzung der Vegetationsperiode, hohe Nadel-N-Konzentration

TPS-11: borealer Typ (ausreichende Wasserversorgung, geringe Nadel-N-Konzentration).

Tabelle 1: Ausgewählte Level II Standorte (ICP Forest 2000) am Beispiel der Kiefer an denen zusätzliche Wachstumsanalysen im Rahmen des Projekts durchgeführt wurden und deren Zuordnung zu Behandlungstypen (Erläuterungen siehe Text).

Plot Identifikation			Koordinaten		Baumart Haupt-BA	Selektions Kriterien*			Behandlung** TPS-Nr.
Ländercode	Plot-Nr.	Land	Long.	Lat.		Klimveränderung		N-Konz.	
					Tp310509 K	Pr310509 %	N_0_Avg mg		
	1	80 Frankreich	-1.80	47.54	Pinus sylvestris	0.1	1	19.9	1
	6	716 England	-1.75	53.41	Pinus sylvestris	0.0	-2	19.7	1
	17	82 Polen	18.67	50.09	Pinus sylvestris	0.1	2	16.3	1
	21	8 Ungarn	19.55	46.97	Pinus sylvestris	0.1	0	22.2	1
	17	16 Polen	15.54	51.88	Pinus sylvestris	0.0	1	13.3	2
	17	17 Polen	14.50	53.88	Pinus sylvestris	0.7	-6	12.8	3
	17	91 Polen	22.97	51.98	Pinus sylvestris	-0.1	4	12.3	4
	4	1203 Deutschland	13.64	52.98	Pinus sylvestris	0.9	-1	16.6	5
	4	1303 Deutschland	13.94	53.64	Pinus sylvestris	0.7	-7	16.7	5
	11	5 Spanien	-3.99	40.85	Pinus sylvestris	1.2	-3	16.6	5
	4	501 Deutschland	6.06	51.76	Pinus sylvestris	-0.2	6	19.9	6
	17	60 Polen	19.44	53.45	Pinus sylvestris	-0.2	7	16.3	6
	17	63 Polen	19.25	53.00	Pinus sylvestris	-0.2	8	16.6	6
	13	7301 Schweden	14.43	62.00	Pinus sylvestris	0.9	6	10.0	7
	13	7501 Schweden	23.26	65.95	Pinus sylvestris	1.3	10	11.3	7
	15	16 Finnland	29.34	61.77	Pinus sylvestris	-0.8	-3	11.3	8
	15	18 Finnland	27.85	60.70	Pinus sylvestris	-0.6	-4	10.9	8
	17	75 Polen	15.69	51.35	Pinus sylvestris	-0.2	-3	12.2	8
	17	77 Polen	21.10	52.02	Pinus sylvestris	-0.4	-1	12.1	8
	17	46 Polen	21.95	49.41	Pinus sylvestris	-0.1	0	16.3	10
	15	6 Finnland	26.73	66.36	Pinus sylvestris	0.1	5	10.4	11
	15	9 Finnland	26.39	64.97	Pinus sylvestris	0.1	6	10.0	11
	15	10 Finnland	24.21	61.87	Pinus sylvestris	0.2	5	11.3	11
	17	14 Polen	16.92	51.61	Pinus sylvestris	0.1	5	13.1	11

* Tp310509: Abweichung (°K) der saisonalen (Mai-Sept) Lufttemperatur zw. 1961-90 u. 1901-30
Pr310509: Abweichung (%) der saisonalen (May-Sept) Niederschlagssummen, zw. 1961-90 u. 1901-30
** siehe vorigen Abschnitt

5. Höhenwachstum am Beispiel der Kiefer - Erste Ergebnisse

Abbildung 7 zeigt an einigen zufällig ausgewählten Beispielen die Höhenwachstumsverläufe von Kiefern die in der Nachbarschaft der betreffenden Level II Flächen ausgewählt wurden. Dargestellt sind jeweils die einzelbaumweisen Höhenwachstumskurven des jüngeren und älteren Untersuchungsbaumkollektivs.

In vier der fünf dargestellten Fälle zeigen die jüngeren Bäume ein rascheres Höhenwachstum als die älteren Bäume. Die teilweise große Streuung der Einzelkurven innerhalb der Alterskollektive kann als Hinweis darauf gewertet werden, dass es nicht in allen Fällen in optimaler Wiese gelungen ist homogene Oberhöhenbaumkollektive auszuwählen.

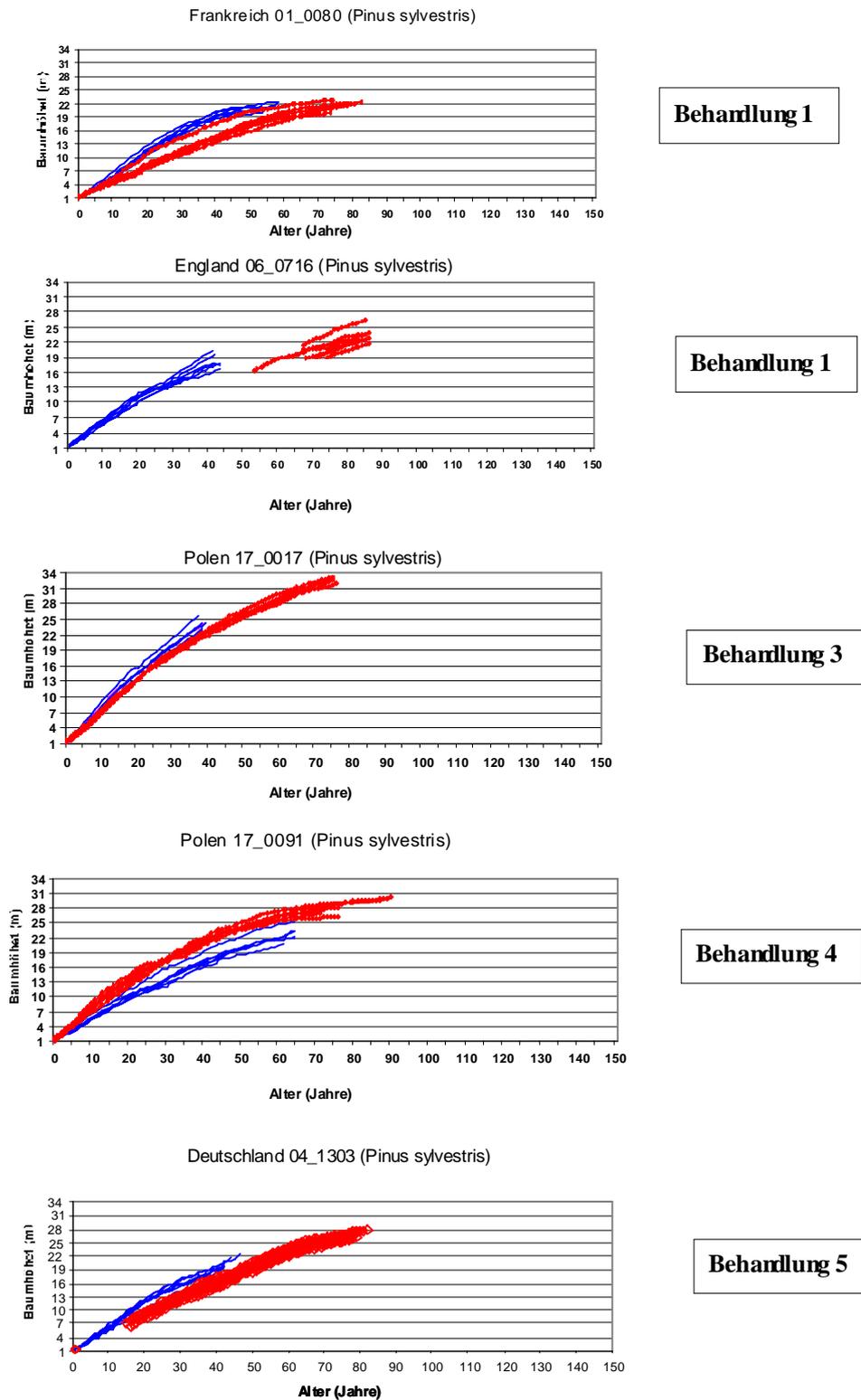


Abbildung 7: Höhenwachstumsverläufe am Beispiel von Kiefern auf zufällig ausgewählten Level II Plots (ICP Forest 2000) (Linien mit Symbolen: älteres Vergleichskollektiv). Weitere Erläuterungen siehe Text.

6. Ausblick

Die Auswertungsarbeiten befinden sich derzeit in der Endphase. Die Ergebnisse des zeitreihen- und geostatistischen Ansatzes werden zu einem integrierten statistischen Ansatz zusammengeführt. Die aus den Ergebnissen des statistischen Ansatzes ableitbaren Hypothesen sollen in den parallel weiterentwickelten prozess-basierten Modellen getestet und zu einer Verbesserung der Anpassung und Modellstruktur herangezogen werden.

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens werden auf der Projektabschlusskonferenz "Causes and Consequences of Increased Forest Growth in Europe" im Rahmen der internationalen IUFRO Konferenz am 28-08-2002 in Kopenhagen vorgestellt.

7. Danksagung

Diese Forschungsarbeit wurde mit finanzieller Unterstützung der Kommission der Europäischen Gemeinschaften, Landwirtschaft und Fischerei (FAIR), unter CT98-4124 und dem INCO Programm durchgeführt. Dank gilt auch den folgenden Kollegen die bei den Feld- und Laborarbeiten wesentlich mitgewirkt haben: Martin Borowski, Albert Fehrenbach, Clemens Koch, Jens Günther und Uli Riemer.

8. Literatur

- BMELF Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 1997 Deutscher Waldbodenbericht 1996 - Ergebnisse der bundesweiten Bodenzustandserhebung im Wald von 1987-1993 (BZE).
- Bösch, B. 1999 Neu Schätzhilfen für Wuchsleistungen der Hauptbaumarten. FVA-Einblick 2: 9
- Brockwell, P.J., R.A. Davis 1987 Time Series: Theory and Methods. Springer-Verlag, New York
- Cannell, M.G.R., D.C. Mobbs, A.D. Friend, G.I. Agren 1999 Air chemistry and effects on tree growth as indicated by preliminary modeling results. European Forest Institute Working Paper 19: 27-52
- Cressie, N.A.C. 1991 Statistics for Spatial Data. John Wiley & Sons, New York
- Eriksson, H., K. Karlsson 1996 Long-term changes in site index in growth and yield experiments with Norway spruce (*Picea abies*, [L.] Karst) and Scots pine (*Pinus sylvestris*, L.) in Sweden. In: Spiecker, H., K. Mielikäinen, M. Köhl, J.P. Skovsgaard (eds) Growth Trends in European Forests - Studies From 12 Countries. Springer-Verlag, Berlin: 79-88
- Goovaerts, P. 1997 Geostatistics for Natural Resources Evaluation. Oxford University Press, Oxford
- Harvey, C. 1989 Forecasting, Structural Time Series Models and the Kalman Filter. Press Syndicate of the University of Cambridge, Cambridge
- Hradetzky, J. 2001 Die Erhebung Waldwachstum 1999: Struktur, Veränderung und Leistungsvermögen des Waldes (FVA-Bericht).

- Hulme, M., D. Conway, P.D. Jones, T. Jiang, E.M. Barrow, C. Turney 1995 Construction of a 1961-90 European climatology for climate change impacts and modelling applications. *International Journal of Climatology* 15: 1333-1363
- Karjalainen, T., H. Spiecker, O. Laroussinie 1999 Causes and consequences of accelerating tree growth in Europe. *European Forest Institute Proceedings* 27: 280
- Kenk, G. 2002 Variation der periodischen Zuwächse von Fichten und Buchen in Baden-Württemberg. *Allgemeine Forst Zeitschrift für Waldwirtschaft und Umweltvorsorge* 57: 300-302
- Kenk, G., H. Spiecker, G. Diener 1991 Referenzdaten zum Waldwachstum. *KfK-PEF* 82: 59
- Pretzsch, H. 1992 Zunehmende Unstimmigkeit zwischen erwartetem und wirklichem Wachstum unserer Waldbestände: Konsequenzen für zukünftige ertragskundliche Informationssysteme. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 111: 366-382
- Pretzsch, H., J. Dursky, A. Pommerening, M. Fabrika 2000 Waldwachstum unter dem Einfluss großregionaler Standortveränderungen. *Forst und Holz* 55: 307-314
- Pretzsch, H., H. Utschig 2000 Wachstumstrends der Fichte in Bayern. *Mitteilungen aus der Bayerischen Staatsforstverwaltung* 49: 170
- Rehfuess, K.E., G.I. Agren, F. Andersson, M.G.R. Cannell, A.D. Friend, I. Hunter, H.P. Kahle, J. Prietzel, H. Spiecker 1999 Relationships between recent changes of growth and nutrition of Norway spruce, Scots pine, and European beech forests in Europe - RECOGNITION. *European Forest Institute Working Paper* 19: 94
- Reimeier, S. 1999 Modelle zur Korrektur von Ertragstafelzuwächsen aus Daten der permanenten Stichprobeninventur. *Allgemeine Forst Zeitschrift für Waldwirtschaft und Umweltvorsorge* 54: 1069-1071
- Reimeier, S. 2001 Analyse der Veränderungen im Zuwachs von Waldbeständen und Möglichkeiten der Prognose aus Daten permanenter Stichprobeninventuren. *Dissertation Univ. München*: 142
- Röhle, H. 1997 Änderung von Bonität und Ertragsniveau in südbayerischen Fichtenbeständen. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung* 168: 110-114
- Schadauer, K. 1999 Oberhöhenbonität und Standort der Fichte nach Daten der Österreichischen Forstinventur. *Mitteilungen Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien* 171: 135
- Schlittgen, R., B.H.J. Streitberg 1991 *Zeitreihenanalyse*. Oldenbourg Verlag, München
- Schöpfer, W., J. Hradetzky, E. Kublin 1994 Wachstumsänderungen der Fichte in Baden-Württemberg. *Forst und Holz* 49: 633-644
- Schuck, A., T. Karjalainen, I. Hunter 2000 Erforschung des gesteigerten Waldwachstums in Europa. *Allgemeine Forst Zeitschrift für Waldwirtschaft und Umweltvorsorge* 55: 571-572
- Spelsberg, G. 1994 Zum Höhenwachstum der Fichte in Nordrhein-Westfalen. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung* 165: 77-80
- Spelsberg, G., H. Teske, M. Graner, U. Suntrup 1995 Hohes Zuwachsniveau der Fichte in Nordrhein-Westfalen. *Allgemeine Forst Zeitschrift* 50: 1097-1098
- Spiecker, H. 1999 Overview of recent growth trends in European forests. *Water, Air, and Soil Pollution* 116: 33-46

- Spiecker, H. 2001a Changes in wood resources in Europe with emphasis on Germany. In: Palo, M., J. Uusivuori, G. Mery (eds) *World Forests, Markets and Policies*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 425-436
- Spiecker, H. 2001b Entwicklung der Holzressourcen in Europa - Konsequenzen für die Waldwachstumsforschung. *Beiträge für Forstwirtschaft und Landschaftsökologie* 35: 153-159
- Spiecker, H., K. Mielikäinen, M. Köhl, J.P. Skovsgaard (eds) 1996 *Growth Trends in European Forests - Studies From 12 Countries*. Springer-Verlag, Berlin
- Spiecker, H., K. Mielikäinen, M. Köhl, H. Unthelm 1994 Growth trends of european forests - Has site productivity changed? *European Forest Institute Working Paper* 4: 68
- Teuffel, K. v. 1999 Consequences of increased tree growth on forest management planning and silviculture. *European Forest Institute Proceedings* 27: 229-236
- Unthelm, H. 1996 Zur Veränderung der Produktivität von Waldstandorten: Untersuchungen zum Höhen- und Volumenwachstum von Fichte (*Picea abies* [L.] Karst.) und Buche (*Fagus sylvatica* L.) auf Standorteinheiten der Ostalb und des Flächenschwarzwaldes. *Mitt. FVA Baden-Württemberg* 198: 239 + Anhang
- Unthelm, H. 2000 Veränderungen des Waldwachstums: Höhen- und Volumenwachstum hat bei Fichte und Buche zugenommen. *Allgemeine Forst Zeitschrift für Waldwirtschaft und Umweltvorsorge* 55: 1188-1191
- Van Deusen, P. C. 1989 A model-based approach to tree ring analysis. *Biometrics* 45: 763-779
- Wackernagel, H. 1998 *Multivariate Geostatistics*. Springer-Verlag, Berlin
- Webster, R., M.A. Oliver 2001 *Geostatistics for Environmental Scientists*. John Wiley & Sons, Chichester.