

Quantifizierung der ökologischen Wirkungen aufwachsender Kiefern-Buchen-Mischbestände im nordostdeutschen Tiefland

Jürgen Müller, Wolfgang Beck, Falko Hornschuch, Andreas Steiner, Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Institut für Forstökologie und Walderfassung Eberswalde

Veröffentlicht in: Beiträge für Forstwirtschaft und Landschaftsökologie, Berlin 36 (2002) 3, 125-131.

Zusammenfassung

Im Rahmen des BMBF- Förderschwerpunktes „Zukunftsorientierte Waldwirtschaft“ laufen am Institut für Forstökologie und Walderfassung seit 1999 Untersuchungen zu den ökologischen Voraussetzungen und Wirkungen des Umbaus von Kiefern-Reinbeständen zu naturnahen Buchenwäldern im nordostdeutschen Tiefland. Dabei geht es darum, die bisherigen wissenschaftlichen Grundlagen für den Waldaufbau und -umbau stärker ökologisch zu untersetzen. Durch die integrative Verknüpfung jeweils bestandesstrukturabhängiger, hydroökologischer, bodenchemischer, humusmorphologischer, wurzelökologischer, vegetations- und wachstumskundlicher Erhebungen in unterschiedlich alten Kiefern-Buchen-Mischbestandsstadien konnte nachgewiesen werden, dass sich im Verlauf des Umbauprozesses neben dem Licht- und Strahlungshaushalt auch der Feuchtehaushalt in Bestand und Boden, die Humuseigenschaften bezüglich Trophie und Feuchteregime und die Durchwurzelung des Bodenraumes mit Folgen für das Waldwachstum als resultierender Größe verändern. Überwiegen zu Beginn unter den Bedingungen einer „Kiefernökologie“ Konkurrenzbeziehungen der beiden Baumschichten, so führen mit zunehmender Erschließung des Stamm- und des durchwurzelbaren Bodenraumes und Annäherung an eine „Buchenökologie“ in immer stärkerem Maße synergistische Beziehungen zu meliorativen Effekten.

Summary

Inside the framework of the research project "Future-oriented Forest Management", promoted since 1999 by the Federal Ministry of Education and Research, are running investigations of the ecological preconditions and the effects of the conversion of pure pine stands into beech forests close to nature in the north eastern german lowlands.

We intend to corroborate the hitherto existing scientific foundations of forest structure and its conversion stronger by ecological findings.

By multi-disciplinary combination of results from investigations in the fields of stand-structure, hydro-ecology, soil-chemistry, root-ecology, vegetation-science and forest growth carried out in differenced aged pine-beech-mixed stands we proved, that in the progress of stand-conversion besides the light- and radiance-budget also the moisture-budget in stand and soil, the humus-properties concerning nutritional state and moisture content and the rooting of the soil-space with effects to forest growth as the resulting response are changing.

In the beginning of stand-conversion under the conditions of "pine-ecology", competitive relations between the tree layers (mature pines and young beeches in the understory) are dominating. The increasing utilization of the above- and below-ground space by the up growing beeches leads to an approximation to "beech-ecology" with synergistic relations between the tree-layers and the improvement of soil properties.

1 Zielstellung und Rahmenbedingungen für den Waldumbau im nordostdeutschen Tiefland

Etwa 28 % des nordostdeutschen Tieflands sind derzeit bewaldet, das entspricht einer Waldfläche von 1,9 Mio. ha. Bei natürlicher Bewaldung nähme der Buchenwald die flächenmäßig dominierende Stellung ein. Die Kiefer bleibt auf die ärmeren und trockeneren

Standorte beschränkt. Wie die Tabelle 1 zeigt, besteht auf der derzeitigen Waldfläche ein großer Widerspruch zwischen der potentiell-natürlichen und der aktuellen Baumartenverteilung. Dies ist ein Ergebnis des menschlichen Handels der letzten 200 Jahre. Der Strukturwandel brachte ausgedehnte Kiefernmonokulturen (auf über 70 %) mit einem hohen Maß an Naturferne und Labilität der Bestände hervor, die durch die Luftverunreinigungen der letzten Jahrzehnte noch verstärkt wurden.

Das Bestreben der Forstwirtschaft liegt deshalb in einer Naturannäherung der Waldstrukturen und auf geeigneten Standorten in der Schaffung stabiler Mischwälder. Das zukünftige Waldbild im nordostdeutschen Tiefland soll durch möglichst vielfältig strukturierte Mischbestände geprägt sein. Dieses Ziel verfolgt auch der Waldumbau im Land Brandenburg. Die Tabelle 2 zeigt, wie die vorhandenen Bestandestypenanteile verändert werden sollen. Langfristig sind die Anteile der Nadelwaldtypen (von 75 % auf 42 %) um 33 % zu reduzieren und die der Mischwaldtypen (von 11 % auf 41 %) um 30 % zu erhöhen. Das heißt, dass landesweit ca. 280.000 ha in Mischbestände umgewandelt werden sollen. Dies entspricht etwa einem Viertel aller Wälder Brandenburgs.

Tabelle 1: Potentiell - natürliche und aktuelle Baumartenanteile der Hauptbaumarten auf der Waldfläche des nordostdeutschen Tieflandes um 1980 in Prozent (HOFMANN, 1996)

Baumarten	Potentiell-natürlich	Aktuell	Differenz
Rotbuche	42,5	4,3	-38,2
Stiel- und Trauben-Eiche	28,9	4,9	-24,0
Hainbuche	8,1	0,3	-7,8
Kiefer	8,0	70,3	+62,3

Tabelle 2: Veränderungen der vorhandenen Bestandestypenanteile in Brandenburg (Waldumbauprogramm Brandenburg)

Entwicklung	Laubwald-typen		Nadel - Laub- und Laub-Nadel-waldtypen		Nadelwald-typen		Summe	
	Tsd. ha	%	Tsd. ha	%	Tsd. ha	%	Tsd. ha	%
vorhanden	119	14	98	11	661	75	878	100
Ziel	150	17	354	41	374	42	878	100
Veränderung	+31	+3	+256	+30	-287	-33		

Ein relativ großer Flächenanteil umbauwürdiger Waldbestände (vor allem Kiefernbestände) befindet sich im nördlichen bis nordöstlichen Teil des Tieflandes auf jungpleistozänen und damit etwas nährstoffreicheren Böden. Da es sich hierbei gleichzeitig um den niederschlagsbegünstigten Teil der Region mit 580 bis 600 mm Jahresniederschlag handelt, kommt der potentiell-natürlich in diesem Raum noch vorherrschenden Baumart Rotbuche eine Schlüsselstellung beim Waldumbau zu.

Von JENSSEN [2001] wurden die den verschiedenen vorkommenden Waldtypen entsprechenden Maxima der Häufigkeitsverteilungen mit zwei-dimensionalen elliptischen Gaussfunktionen modelliert. Auf diese Weise wurden Ökogramme für wichtige Waldtypen berechnet. Abbildung 1 weist die wichtigsten Waldökosystemtypen für das Buchenwaldgebiet

mit mittleren Jahresniederschlägen über 580 mm aus. Die aus der Vegetation abgeleitete Zustandskoordinate Trophie zeigt eine sehr enge Beziehung zum C/N- Verhältnis des Oberbodens. Unsere Untersuchungen konzentrieren sich auf den in dem grauen Band dargestellten Standortsbereich, d.h. einem mittleren Trophiebereich mit mäßig frischem Feuchtezustand des Bodens. Bezüglich des Waldtyps reicht dieser vom natürlichen Blaubeer-Traubeneichen-Buchenwald bis zum Flattergras-Buchenwald.

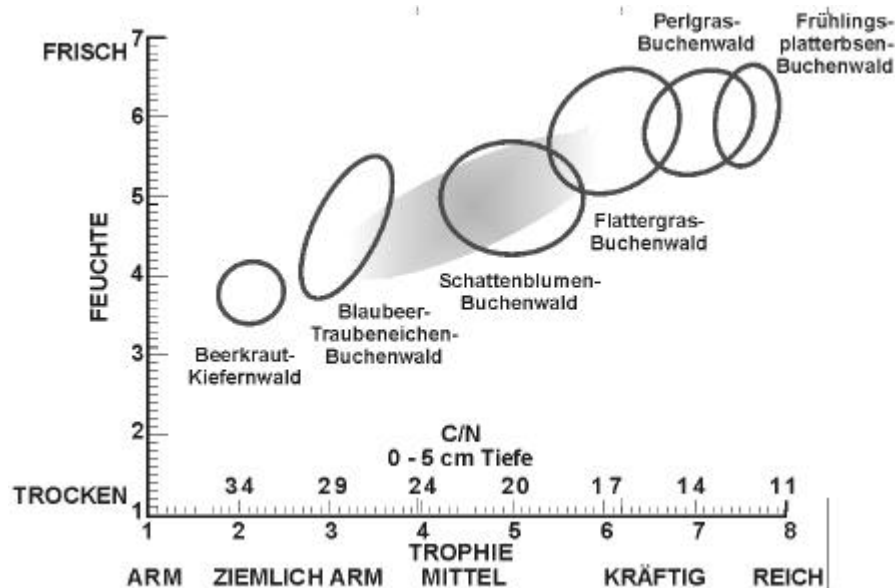


Abbildung 1: Ökogramm wichtiger Waldtypen im natürlichen Buchenwaldgebiet des ostdeutschen Tieflandes (grundwasserferne Standorte; die Ellipsen umfassen knapp zwei Drittel der Ausbildungen), (JENSSEN, 2001)

In dem vom BMBF geförderten Verbundprojekt „ökologische Voraussetzungen und Wirkungen des Waldumbaus im nordostdeutschen Tiefland“ (FKZ: 0339731/4) sollen die bisherigen wissenschaftlichen Grundlagen für den Waldaufbau und Waldumbau stärker ökologisch untersetzt werden. Die Untersuchung von Kiefern-Buchen-Mischbeständen im niederschlags- und bodenfeuchtebedingten Grenzbereich wirtschaftlich leistungsfähiger Buchen-Mischbestände wird daher zu einer wichtigen Voraussetzung weiterer forstlicher Waldbauaktivitäten.

Für die zwischen Buche und Kiefer im Untersuchungsraum auftretenden Wechselwirkungen sind die im abgeschlossenen BMBF-Projekt “Waldökosystemforschung Eberswalde” von 1992 bis 1999 quantifizierte Struktur-Prozessbeziehungen in den Reinbeständen beider Baumarten von essentieller Bedeutung (ANDERS et al. 1999; BECK 2001; MÜLLER et al. 1998; MÜLLER 2001; MÜLLER et al. 2001; STEINER et al. 1998). Die Forschungen sollen den ökologischen Nachweis erbringen, ob und in welcher Weise die aus der Mischung resultierenden Wirkungen auf die Waldstandorte Konkurrenz oder/und Synergieeffekte entstehen lassen.

Im Mittelpunkt unserer Forschungsaktivitäten stehen die Veränderungen des Wasserhaushaltes im Kiefern-Buchen-Mischbestand im Vergleich zum Kiefern-Reinbestand und die sich daraus ergebenden Konsequenzen. Dabei liegt das Schwergewicht der Untersuchungen in der Nachweisführung, dass durch die beigemischte Buche Höhe und Kontinuität der Wasserversorgung im Vergleich zum Kiefern-Reinbestand positiv beeinflusst werden. Untersuchungen zum Wasserhaushalt zweischichtiger Bestände, wie es mit Buche unterbaute Kiefernbestände darstellen, gibt es speziell für das nordostdeutsche Tiefland bisher kaum. Die Prozesse der Niederschlagsumverteilung durch Ober- und Unterstand, die

Physiologie der Wasseraufnahme von Kiefer und Buche und die Höhe der Tiefensickerung unter Kiefern- Buchen- Mischbeständen sind wissenschaftlich noch weitgehend ungeklärt. Im laufenden Projekt werden diese Fragestellungen seit 1999 in unterschiedlich alten Kiefern- Buchen- Mischbeständen u.a. mit folgenden Fragestellungen untersucht:

Wasserhaushalt

- Wie verändern sich die Relationen der einzelnen Verdunstungskomponenten von Baum- und Krautschicht bei der Umwandlung von Kiefern- Reinbeständen in Kiefern- Buchen- Mischbestände?
- Wie modifiziert der Buchen-Unterstand den weiteren Wasserfluss, und was bedeutet dies für die Tiefensickerung des Kiefern-Buchen-Mischbestandes im Vergleich zum Kiefern- bzw. Buchen-Reinbestand und somit für die wasserwirtschaftliche Leistung der Wälder?

Wurzelwachstum und -verteilung

- Welche Unterschiede bestehen hinsichtlich der horizontalen und vertikalen Wurzelverteilung in den Reinbeständen von Kiefern und Buchen und in unterschiedlich alten Mischbeständen beider Baumarten?
- Wie lässt sich die Tiefendurchwurzelung in den untersuchten Rein- und Mischbeständen charakterisieren und welche Aussagen über die Kontinuität und Effizienz der Wasserversorgung der Bäume sind daraus ableitbar?

Bodenzustand

- Lassen sich standortsveränderte Effekte des Buchen-Unterbaus unter Kiefer nachweisen?
- Worauf sind sie zurückzuführen und wie können sie quantifiziert werden?

Baumbestand

- In welcher Weise werden die für die Reinbestände bekannten Wachstumsverläufe der Kiefer und Buche im Kiefern-Buchen-Mischbestand verändert und welche Wechselbeziehungen bestehen zwischen beiden Baumarten in den verschiedenen Entwicklungsstadien?
- Wie wirken Witterungsverläufe, insbesondere deren Extreme bezüglich Trockenheit, Hitze und Kälte auf die jährlichen Wachstumsreaktionen als Vitalitätsmerkmal von Kiefer und Buche und wie nachhaltig werden Wachstumsabläufe davon beeinflusst?

2 Charakterisierung der Untersuchungsbestände und Methodik zur Ermittlung von Struktur- und Prozessparametern in Kiefern-Buchen-Mischbeständen unter Berücksichtigung ihres strukturellen Aufbaus

Das Prinzip der Versuchsflächenanlage in Form einer Chronosequenz der sich entwickelnden Kiefern-Buchen-Mischbestände sowie altersmäßig vergleichbarer Reinbestände von Kiefer und Buche geht aus der Abbildung 2 hervor, in der hydrologisch relevante bestandesstrukturelle Parameter der intensiv untersuchten Flächen bei weitgehend vergleichbaren Bodenverhältnissen zusammengestellt sind.

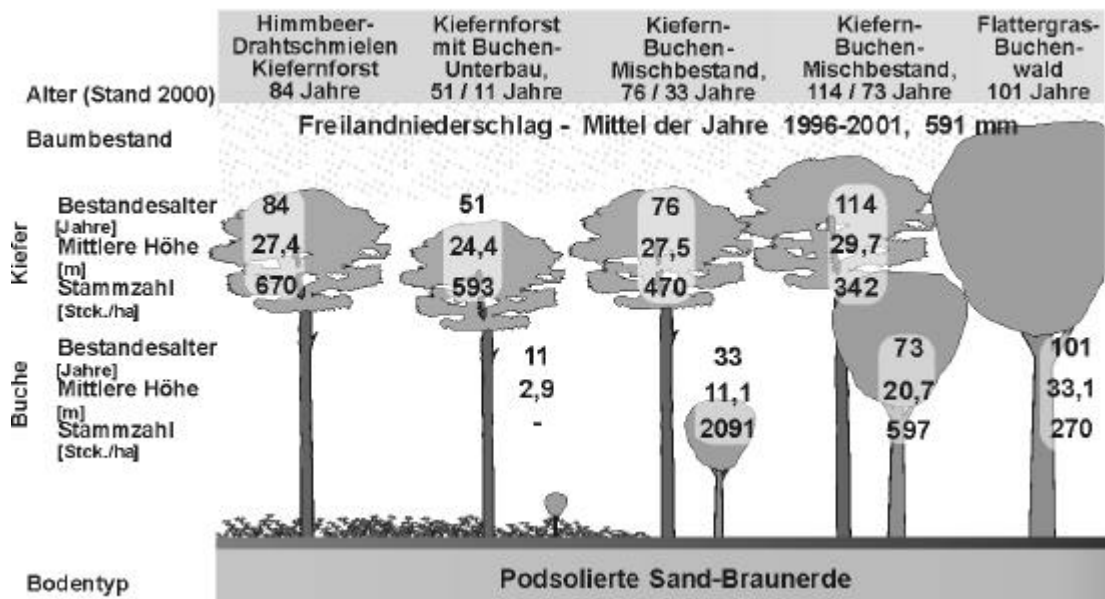


Abbildung 2: Hydrologisch relevante bestandesstrukturelle Parameter der intensiv untersuchten Flächen

Die Abbildung 3 zeigt, wie in einem interdisziplinären Ansatz eine weitgehend integrative Erfassung von Struktur- und Prozessparametern im Bestand und im Boden erfolgen kann. Einen wesentlichen Schwerpunkt der Untersuchung stellt die Quantifizierung der Wasserflüsse in den Beständen dar. Der das obere Kronendach erreichende Niederschlag wird durch die einzelnen Vegetationsschichten umverteilt und zum Teil verbraucht. Umverteilung und Verbrauch werden an den Kompartimentgrenzen gemessen. Im Unterschied zum Reinbestand erfolgt im Mischbestand eine zusätzliche Messung des Unterkronenniederschlags unterhalb der Kieferkronen bzw. oberhalb der Buchenkronen.

Das Messprogramm erfasst:

- Freilandniederschlag
- Unterkronenniederschlag
- Stammabfluss in den Buchen-Reinbeständen und an Buchen in Kiefern-Buchen-Mischbeständen
- Witterungsparameter im Bestand
- Evapotranspiration der Bodenvegetation mit Hilfe wägbarer Lysimeter im Kiefern-Reinbestand
- Saftstrommessung an Kiefern und Buchen in den Mischbeständen mit Hilfe der Granier-Methode zur Ermittlung der Baumtranspiration
- Evapotranspiration der 11-jährigen, 4 m hohen Buchen mit Hilfe von wägbaren Lysimetern im Kiefernbestand mit Buchenunterbau, da die Anwendung der Granier-Methode wegen des geringen Stammdurchmessers der Buchen noch nicht möglich ist
- Bodenfeuchte und Saugspannung in hydrologischen Messfeldern zur Ermittlung des Bodenwasserflusses.

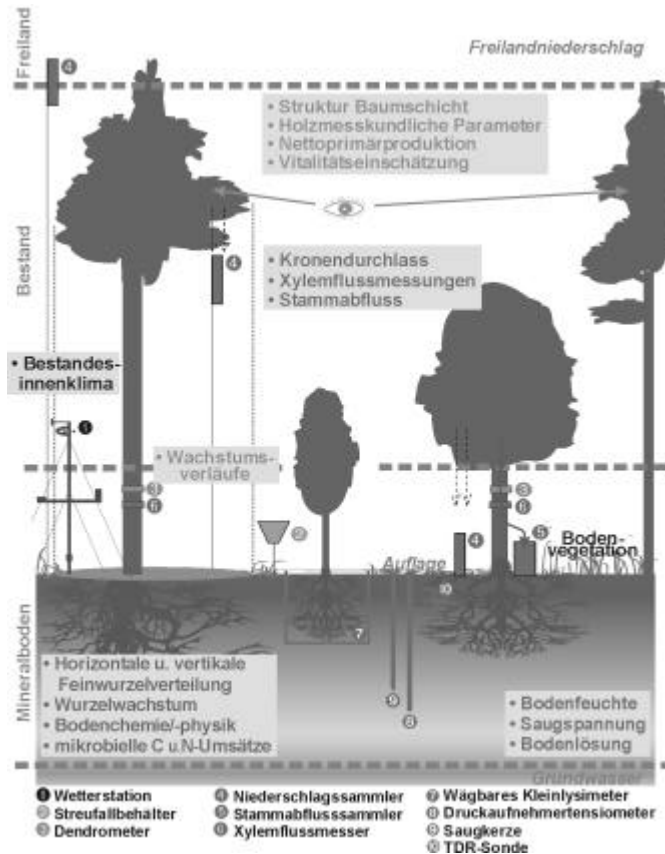


Abbildung 3: Instrumentierung und Methoden zur ökologischen Untersuchung zweischichtiger Waldbestände

Die Auswahl der Untersuchungs- bzw. Messareale für die Struktur- und Prozesserhebungen (d.h. bodenchemische, bodenhydrologische, wurzel- und bestandesstrukturelle Erhebungen) erfolgt unter strenger Beachtung des strukturellen Aufbaus der Mischbestände in den einzelnen Stadien. Diese weisen eine hohe Variabilität auf, die sich aus der Dimension und der Verteilung der Baumarten im Bestand ergibt. In Anlehnung an deutlich sichtbare Bestandesbilder wählten wir kleinräumige Teilareale aus, die sich in ihren Strukturmerkmalen unterscheiden :

- Bereiche mit gleichmäßiger Mischung von Kiefer und Buche
- Bereiche mit Dominanz der Kiefernüberschirmung
- Bereiche mit Dominanz der Buchenüberschirmung.

Aus der Kenntnis der Zusammenhänge zwischen Struktur und Prozess wird bei gleichzeitiger Erfassung des Anteils der verschiedenen Strukturbereiche am Gesamtbestand die Flächenübertragung der Ergebnisse möglich.

3 Ökologische Wirkungen des Waldumbaus im nordostdeutschen Tiefland

3.1 Wirkungen auf die Entwicklung bodenchemischer und humusmorphologischer Kennwerte

Die humusmorphologischen und -chemischen Kennwerte belegen eine Melioration des Oberbodens mit zunehmendem Alter des Buchenunterbaus. Im Ausgangszustand (Kiefern-Reinbestand) liegt noch eine mächtige Humusaufgabe aus Kiefernförna vor, die vom Nährstoffkreislauf entkoppelt ist. Niedrige pH-Werte und schwer zersetzliche Streu hemmen die biologischen Umsetzungen. Mit der Überführung von Kiefern-Buchen-Mischbeständen in Buchen-Reinbestände führen ein günstiges Bodenmilieu und eine höhere biologische Aktivität zu einem beschleunigten Abbau der Humusaufgabe und zur Einarbeitung der organischen Substanz in den oberen Mineralboden. Die Humusform geht von

rohhumusartigem Moder in einen typischen Moder über. Es kommt zum Anstieg der Kohlenstoffvorräte im Boden und zu einem Umbau der Humusaufgabe, wobei die Of-Lage zugunsten der Oh-Lage abgebaut und dadurch besser verfügbar wird. Das C/N-Verhältnis verengt sich und der pH-Wert steigt signifikant an. Im Verlauf der Waldumbaumaßnahme führt die nährstoffreiche Buchenstreu in den Kiefern-Buchen-Mischbeständen zu einer stetigen Aufbasung der Humusaufgabe (Basenpumpe), was sich schon frühzeitig in einem signifikanten Anstieg der basischen Kationen zeigt (Abbildung 4).

Die Untersuchungen zeigen, dass Waldumbaumaßnahmen sich zunächst nachteilig auf den Humuszustand auswirken und die Entwicklung der humosen Oberböden verlangsamen können. So haben in der frühen Waldumbauphase (Kiefern-Reinbestand mit Buchenunterbau) Holzeinschlags- und Rückearbeiten bei der Bestandesbegründung zu einer Zerstörung und Verlagerung der Humusdecke geführt. Im Vergleich zum Kiefern-Reinbestand und den Mischbeständen in fortgeschrittenen Umbauphasen werden deutlich geringere Humus- und Nährelementvorräte festgestellt. Erhöhte C_T - und N_T -Gehalte im oberen Mineralboden deuten auf eine Einarbeitung organischer Substanz hin. Die Regenerationsdauer des Oberbodenhumus ist in hohem Maße von der Standortstrophie abhängig, die das Wachstum der Buche sowie die Qualität und Quantität ihrer meliorativ wirkenden Streu entscheidend beeinflusst.

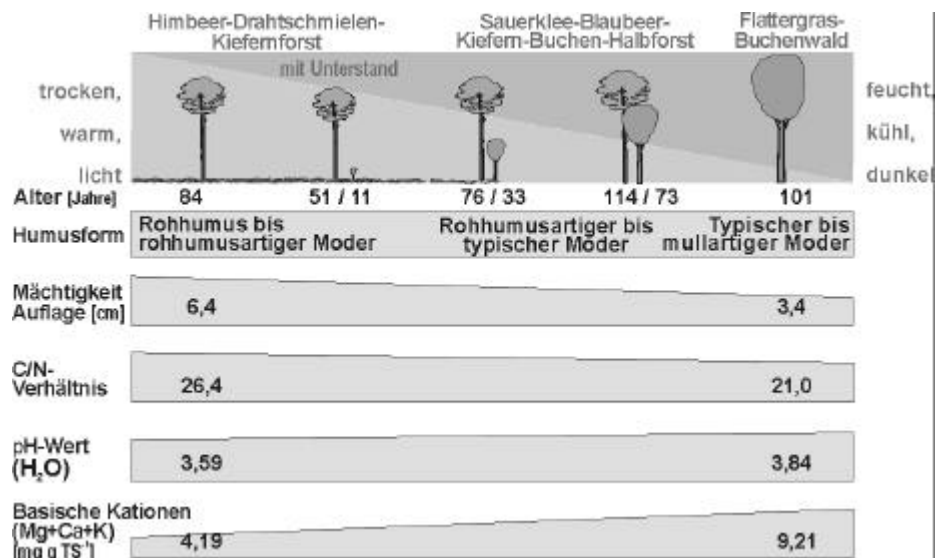


Abbildung 4: Wirkung des Buchenunterbaus unter Kiefer auf den Trendverlauf humusökologischer und bodenchemischer Kennwerte der Auflage

3.2 Hydroökologische Wirkungen des Waldumbaus

Die Untersuchungen in den Versuchsflächen belegen, dass die Bestände bezüglich der Höhe der Bestandesniederschläge deutliche Unterschiede zeigen (Abbildung 5). Im Vergleich kommen im Buchen- Reinbestand bei einem Freilandniederschlag von 600 mm im Jahr 48 mm und im Kiefern- Buchen- Mischbestand (Kiefer 76 Jahre, Buche 33 Jahre) trotz zweier Baumschichten noch 36 mm mehr Niederschlag am Waldboden an als im Kiefern-Reinbestand. Selbst im ältesten Kiefern-Buchen-Mischbestand (Kiefer 114 Jahre, Buche 73 Jahre) liegt der Bestandesniederschlag noch in gleicher Höhe wie im Kiefern-Reinbestand. Die Ursachen liegen u. a. in der geringeren Interzeptionsverdunstung der Buche (winterkahl, glatte Rinde mit Stammabfluss) gegenüber der Kiefer (immergrün, rauhe Rinde, offene sperrige Krone). Die Kronenarchitektur der Kiefern- bzw. Buchen-Rein- und der Mischbestände beider Baumarten bestimmt in starkem Maße die Interzeptionsverdunstung der Baumschicht und die Niederschlagsverteilung am Waldboden. Die absolute Höhe der

Interzeptionsverdunstung in den einzelnen Jahren wird durch Höhe und Intensität der Niederschläge modifiziert.

Bedeutsam für die Niederschlagsverteilung am Waldboden ist die Verteilung des Stammabflusswassers der Buchen im Bestand. So führt die Umverteilung des Niederschlages im Kronenraum der Buche mit dem Aufwachsen der Buchen zur Zunahme des Stammabflusses. Der Stammabflussanteil im Buchen- Reinbestand lag bei 8 bis 10 % vom Freilandniederschlag und in den Kiefern- Buchen- Mischbeständen bei 3 bis 5 %. Bedeutsamer für die Durchfeuchtung des Waldbodens als die absolute Stammabflusshöhe ist die an Baumzahl sowie -durchmesser und damit an die Bestandesdichte gebundene Verteilung des Stammabflusswassers im Bestand (Abbildung 5). Die Erhöhung der Oberbodenfeuchte im Stammfußbereich ist wichtig im Hinblick auf die Aufklärung strukturbezogener Durchwurzelungsunterschiede und Bodenwasserentnahmen mit Auswirkungen auf den innerjährlichen Wachstumsgang von Buche und Kiefer. Die Niederschlagsumverteilung hat direkten Einfluss auf den Wasserverbrauch der einzelnen Bestandesglieder.

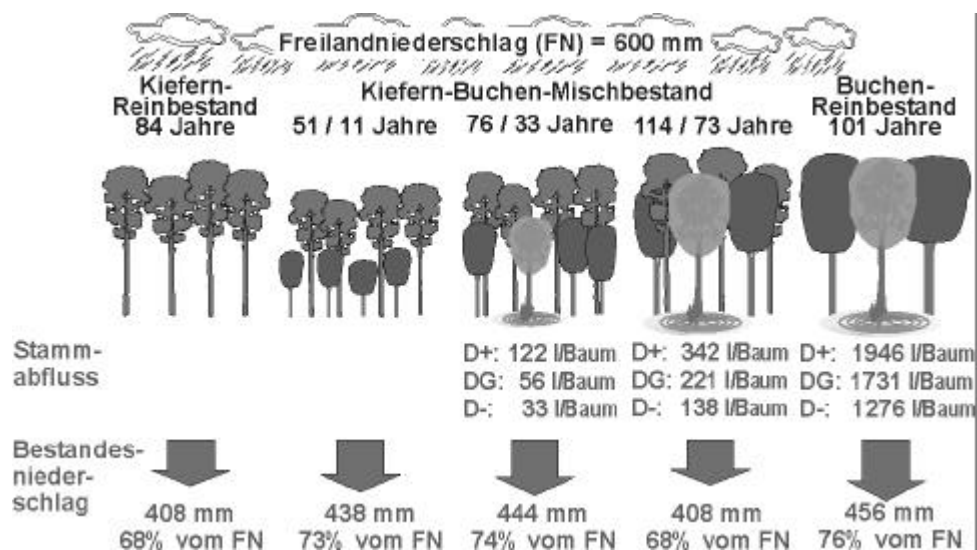


Abbildung 5: Höhe des Bestandesniederschlages und des Stammabflusswassers in Abhängigkeit von den Bestandesstrukturen

Für den Kiefern- Buchen- Mischbestand (Kiefer 76 Jahre, Buche 33 Jahre) liegen Kurven der innerjährlichen Durchmesserentwicklung für mehrere aufeinanderfolgende Jahre mit unterschiedlichem Witterungsverlauf vor. Die Abbildung 6 zeigt dies für die Kiefer im Rein- und Mischbestand sowie die Buche im Kiefern- Buchen- Mischbestand in Abhängigkeit von der Bodenwasserverfügbarkeit. Danach sind die Jahre 1997 und 2000 als für das Waldwachstum günstige Jahre zu werten. Bezüglich des verfügbaren Bodenwasservorrates bestanden keine wesentlichen Einschränkungen für die innerjährliche Durchmesserentwicklung. Der Beginn nennenswerter Wachstumsaktivität lag im Betrachtungszeitraum bei der Kiefer je nach Witterungsverlauf zwei bis drei Wochen vor der Buche. Das Ende des Wachstums ist bei beiden Baumarten in etwa zum gleichen Zeitpunkt. 1998, noch deutlicher 1999 traten mitsommerliche Trockenperioden auf. Die Bodenwasserverfügbarkeit in 0 bis 40 cm Bodentiefe sank 1999 auf unter 30 %. In direkter Folge stagnierte die Durchmesserentwicklung und es kam durch den eintretenden Wassermangel sogar zur Durchmesserabnahme. Dabei reagiert die Kiefer sowohl im Reinbestand als auch im Mischbestand wesentlich stärker auf den Bodenwassermangel als die Buche im Unterstand. Eine Ursache für das Aufrechterhalten des Wachstums der Buche liegt u.a. in einer gegenüber der Kiefer intensiveren, feiner und stärker verzweigten Durchwurzelung des Bodenraumes und somit einer effektiveren Nutzung des vorhandenen Bodenwassers. Des weiteren führt das am Stamm ablaufende Wasser zur Erhöhung des

Bodenwasservorrates im Stammfußbereich der Buchen, wodurch vor allem in den Trockenperioden eine Minderung der Wasserstresswirkung eintritt.

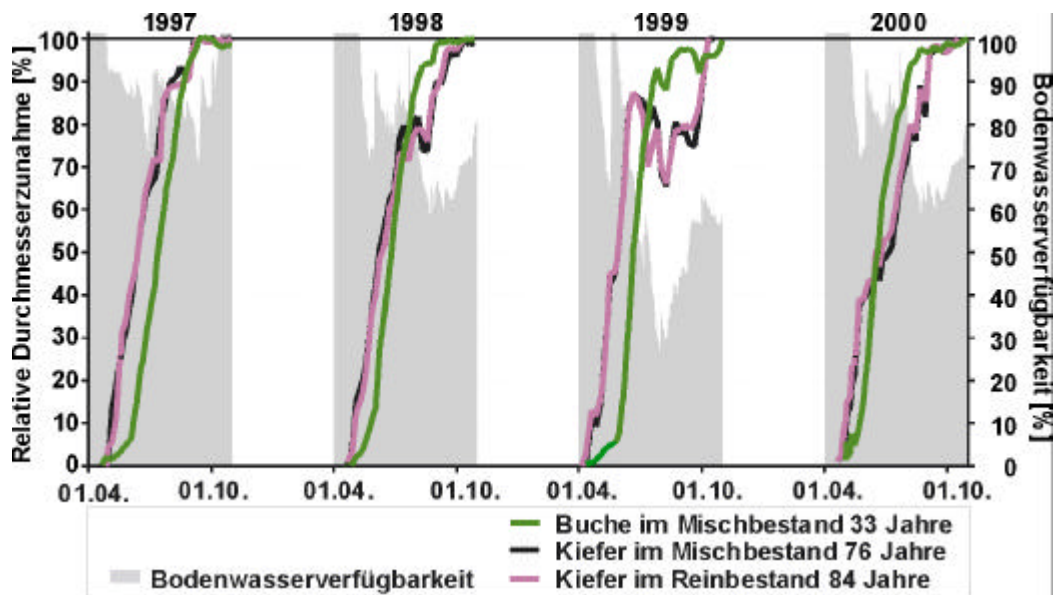


Abbildung 6: Vergleich der innerjährlichen Durchmesserentwicklung der Kiefer in Rein- und Mischbeständen sowie der Buche im Kiefern-Buchen-Mischbestand in Abhängigkeit von der Bodenwasserverfügbarkeit in 0-40 cm Bodentiefe

Die Abbildung 7 zeigt die Veränderung der Tiefensickerung vom Kiefern- zum Buchen-Reinbestand über die drei Mischbestandsstadien. Bei gegebenen Niederschlags- und Bodenbedingungen bestimmen in den Kiefern- und Buchen-Rein- und Mischbeständen die unterschiedlichen Kronendachstrukturen die Höhe und den zeitlichen Verlauf der Interzeptionsverdunstung und damit die Höhe der Tiefensickerung.

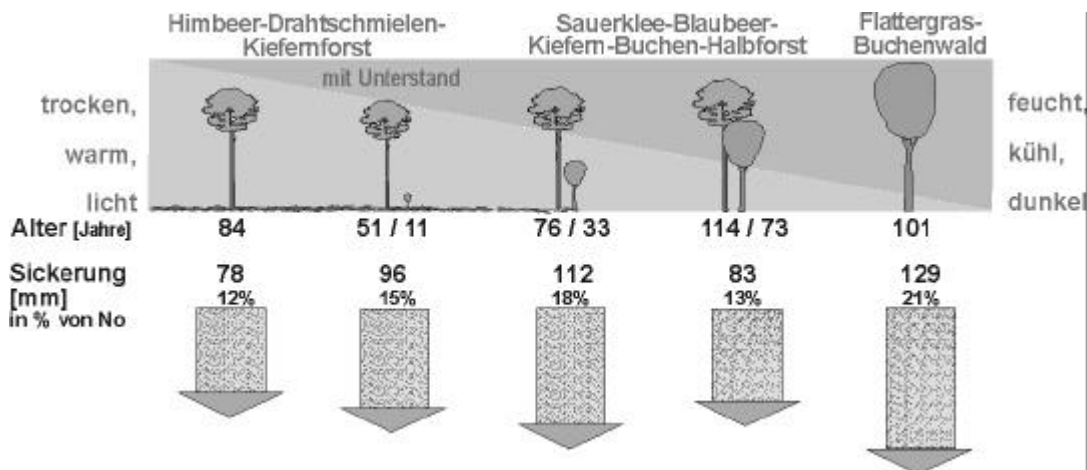


Abbildung 7: Tiefensickerung in Kiefern- und Buchen-Rein- sowie Kiefern-Buchen-Mischbeständen in unterschiedlichen Wuchsstadien (620 mm Jahresniederschlag, Finowtaler Sandbraunerde)

Die Buche im Reinbestand hat eine deutliche höhere Tiefensickerung als der Kiefern-Reinbestand. Bei der in der Abbildung 7 dargestellten Kiefern- Buchen- Mischbestandsreihe zeichnet sich folgender Trend der Tiefensickerungsentwicklung ab:

Kiefer - schwaches Baumholz mit 11-jährigem Buchen-Unterstand

Die im Zuge des Buchenunterbaus entstandene Kronendachstruktur der Kiefer hat im Vergleich zum gleich alten Kiefern- Reinbestand aufgrund der geringen Bestandesdichte auch

deutlich geringere Interzeptionsverluste. Die Interzeptionsverluste des Buchenunterstandes sind im Winterhalbjahr vernachlässigbar gering. Der um 5 % höhere Unterkronenniederschlag führt zu dem dargestellten Sickerungsvorteil des Kiefern- Buchen- Mischbestandes.

Kiefer - mittleres Baumholz mit 33-jährigem Buchen-Unterstand

In dem annähernd 25 Jahre älteren Kiefer- Buchen- Mischbestand haben sich die Interzeptionsbedingungen des Kiefern Kronendaches nicht wesentlich verändert. Mit dem Aufwachsen der Buchen im Unterstand erhöhen sich die Interzeptionsverluste insgesamt nur geringfügig, die Umverteilung des Niederschlages im Bestand zeigt jedoch ein deutlich anderes Muster. Während im schwachem Baumholz (Kiefer 51 Jahre, Buche 11 Jahre) der Stammabfluss der Buche noch keine Rolle spielt und die Niederschlagsumverteilung im wesentlichen durch das Kieferndach beeinflusst wird, kommt es nun an den aufwachsenden Buchen zum Stammabfluss (Abb. 5) und im Winterhalbjahr im Stammfußbereich auch zur Tiefensickerung.

Kiefer - mittleres Baumholz mit 73-jährigem Buchen-Unterstand

Das zunehmende Kronenvolumen der Kiefern oberstandes und das Einwachsen des Buchenunterstandes in den Kronenraum der Kiefer führt zum Ansteigen der Interzeptionsverluste. Sie übersteigen jedoch nicht bzw. nur geringfügig die Werte des Kiefern- Reinbestandes. Unter Berücksichtigung des tiefensickerungswirksamen Stammabflussanteils der unterbauten Buchen werden im Winterhalbjahr in diesem Kiefer- Buchen- Mischbestand trotz höchster Nettoprimärproduktion die Sickerungswerte des Kiefern- Reinbestandes erreicht bzw. zum Teil überschritten.

Abhängig von der Höhe ihrer Interzeptionsverdunstung und der Länge der Sickerungsphase im Frühjahr ordnen sich die Kiefern-Buchen-Mischbestände bezüglich der Tiefensickerung zwischen dem Kiefern- und dem Buchen-Reinbestand ein.

Während außerhalb der Vegetationsperiode die Vegetationsstrukturen maßgeblich die Tiefensickerung beeinflussen, ist innerhalb derselben der Wasserverbrauches der einzelnen Vegetationsschichten für die Beurteilung möglicher Wasserstresswirkung von essentieller Bedeutung. Die Gesamtverdunstung gibt nur einen groben Überblick über den Wasserhaushalt der Waldbestände. Bedeutsamer für die Aufklärung von Wechselwirkungen zwischen den Kompartimenten ist die Aufteilung der Gesamtverdunstung in die einzelnen Verdunstungskomponenten (Kronendachinterzeption, Evapotranspiration von Boden und Bodenpflanzendecke sowie Transpiration der Baumvegetation). Die Abbildung 8 zeigt für einen Kiefern- und einen Buchen-Reinbestand sowie die untersuchten Kiefer-Buchen-Mischbestände die Größenordnung der einzelnen Verdunstungskomponenten in der Vegetationsperiode. Bei der Aufteilung der Verdunstung in Interzeption des Kronendaches, Transpiration der Baumschicht und Evapotranspiration vom Waldboden wird deutlich, dass im Himbeer-Drahtschmielen-Kiefernforst die Verdunstung der Bodenpflanzendecke etwa die gleiche Größenordnung wie die der Baumvegetation erreicht. In den Sand-Buchenwäldern mit infolge Lichtmangels gering entwickelter Bodenvegetation wird der Hauptteil des Wassers durch die Baumvegetation verdunstet. Mit zunehmendem Einwachsen der Buche in den Kronenraum der Kiefer im Kiefern-Buchen-Mischbestand und damit einhergehender Reduzierung der Verdunstung von der Waldbodenoberfläche werden die Verdunstungsrelationen des Buchen- Reinbestandes erreicht.

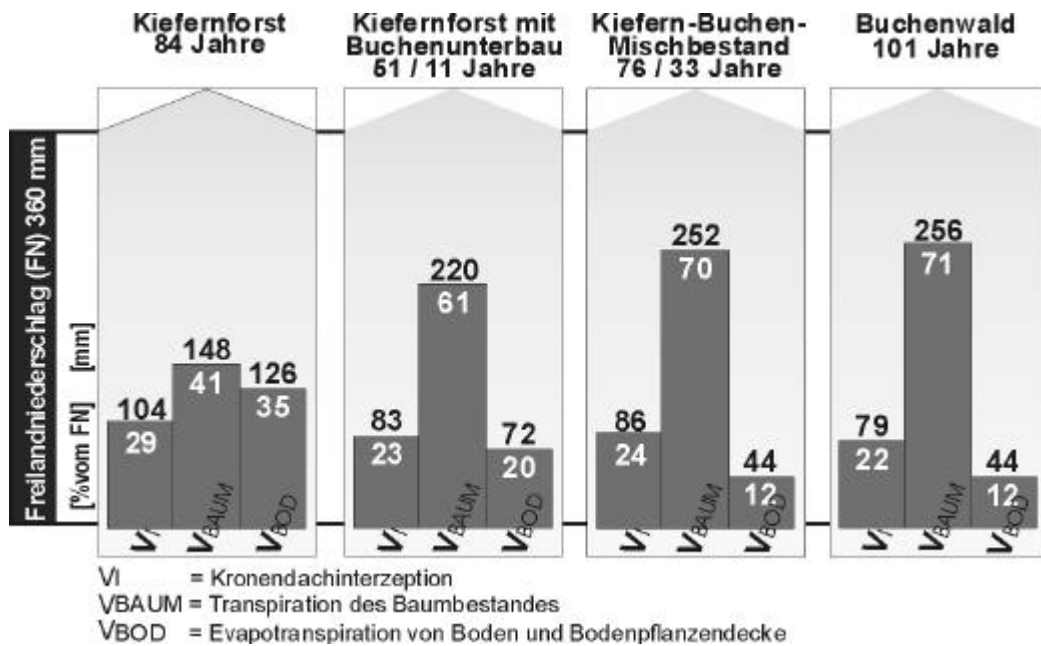


Abbildung 8: Kennwerte des Wasserverbrauchs im Sommerhalbjahr im Kiefern- und Buchen-Reinbestand und in Kiefern-Buchen-Mischbeständen

In der Abbildung 9 ist dargestellt, wie sich die Verdunstungsrelationen getrennt für Kiefer und Buche im Laufe der Jahre verändern.

Mit zunehmender Ausdunkelung geht der Anteil der Verdunstung der Bodenpflanzendecke zurück. Im jüngsten Stadium liegen die Relationen von Kiefer zu Buche zu Bodenpflanzendecke bei 47 % : 30 % : 23 %. Mit dem Aufwachsen der Buchen steigt ihr Verdunstungsanteil stetig an, der der Bodenpflanzendecke sinkt bzw. fällt schließlich weg, so dass im zweiten Stadium die Relationen bei 56 % (Kiefer) zu 44 % (Buche) liegen. Mit dem Einwachsen in den Kronenraum der Kiefern und zunehmendem Strahlungsgewinn in Kombination mit der zunehmenden Bodenerschließung der Buchen im stammnahen Wurzelraum übersteigt die Transpiration der Buche im ältesten Mischbestandsstadium schließlich die der Kiefer. Die Verdunstungsverhältnisse von Kiefer zu Buche liegen nun bei 47 % : 53 %.

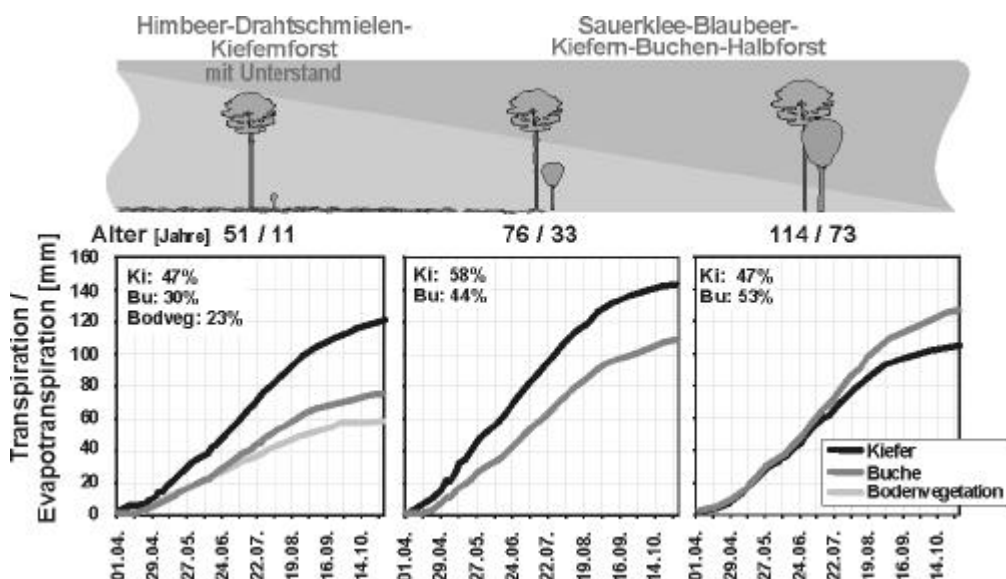


Abbildung 9: Baumtranspiration von Buche und Kiefer und Evapotranspiration der Bodenvegetation im Kiefern- Buchen- Mischbestand

3.3 Wurzelökologische Wirkungen des Waldumbaus

Die Wurzeluntersuchungen belegen, dass bis in eine Bodentiefe von 60 cm die Vorräte an lebenden Wurzeln ($d < 10\text{ mm}$) vom Kiefern-Reinbestand über die Kiefern-Buchen-Mischbestände bis zum Buchen-Reinbestand ansteigen (Abb. 10). Sie erreichen im reinen Buchenbeständen Werte von $9,3\text{ t ha}^{-1}$. Dem Hauptwurzelraum naturnaher Bestände kommt somit eine Bedeutung als Senke für treibhauswirksames CO_2 zu.

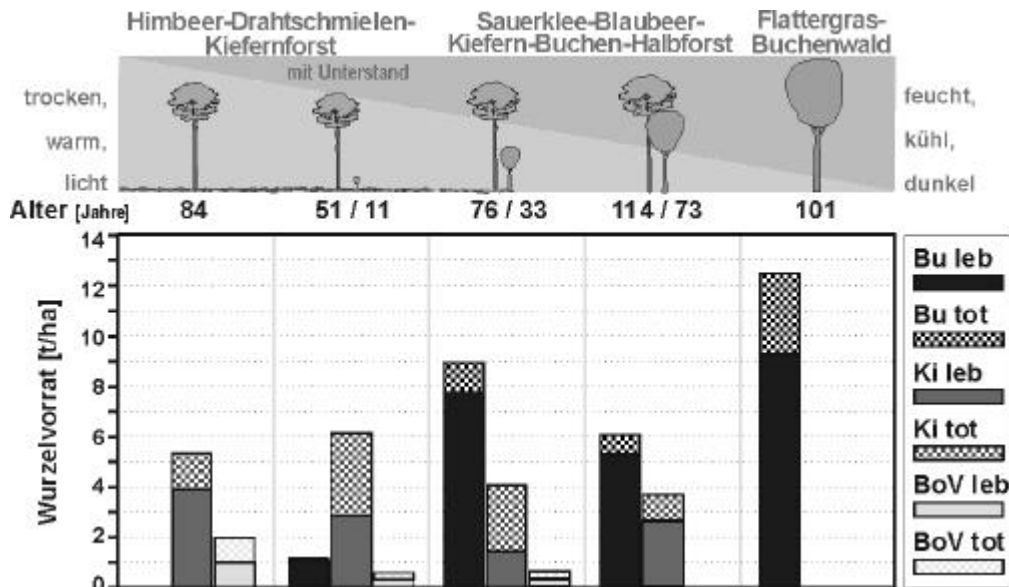


Abbildung 10: Wurzelvorräte ($d < 10\text{ mm}$, Ofh- 60 cm Tiefe; Winter 1999/2000)

Kiefern und Buchen haben eine unterschiedliche Wurzelarchitektur. Die Kiefer wurzelt horizontal und vertikal weitreichend, extensiv und ist gering verzweigt. Die Buche wurzelt dagegen hauptsächlich im Kronenbereich intensiv und ist stark verzweigt. Dies trifft sowohl für die Skelettwurzeln als auch für das feinere Wurzelwerk zu. Bei gleicher Biomasseinvestition besitzen Buchen gegenüber Kiefern eine größere Länge und Oberfläche an absorbierenden Wurzeln, da sehr viel feinere Wurzeln gebildet werden. Buchen können die im Boden vorhandenen Wasser- und Nährstoffressourcen somit besser nutzen. Buchen weisen deshalb bei einsetzender Trockenheit ein länger anhaltendes Wachstum auf. Die Abbildung 11 zeigt, dass es durch den Buchen-Unterbau aufgrund der zunehmenden Ausdunkelung zum Rückgang der Bodenvegetationswurzeln und zu einer Zunahme von Kiefernfeinwurzeln, vorrangig in der Humusaufgabe, kommt. Die Kiefer besetzt den freiwerdenden Wurzelraum der Bodenvegetation. Sie profitiert vom zunehmend besseren Humuszustand (Buche als „Basenpumpe“) und kann ihre laufende Nettoprimärproduktion an Baumholz trotz zunehmender Buchenkonkurrenz beibehalten. Zwischen Kiefern- und Buchenwurzeln ist ein gegenseitiges Ausweichen bzw. Verdrängen festzustellen. Im Mineralboden zwischen 5 und 30 cm bleibt die Wurzeldichte der Kiefer hinter der der Buche zurück. Diese erschließt mit ihren Wurzeln anscheinend auch zunehmend die Tiefe. Im Buchen-Reinbestand steigt die Feinwurzelintensität erwartungsgemäß in allen Horizonten wieder deutlich an. Auch die Auflage wird im Buchenreinbestand intensiv durchwurzelt.

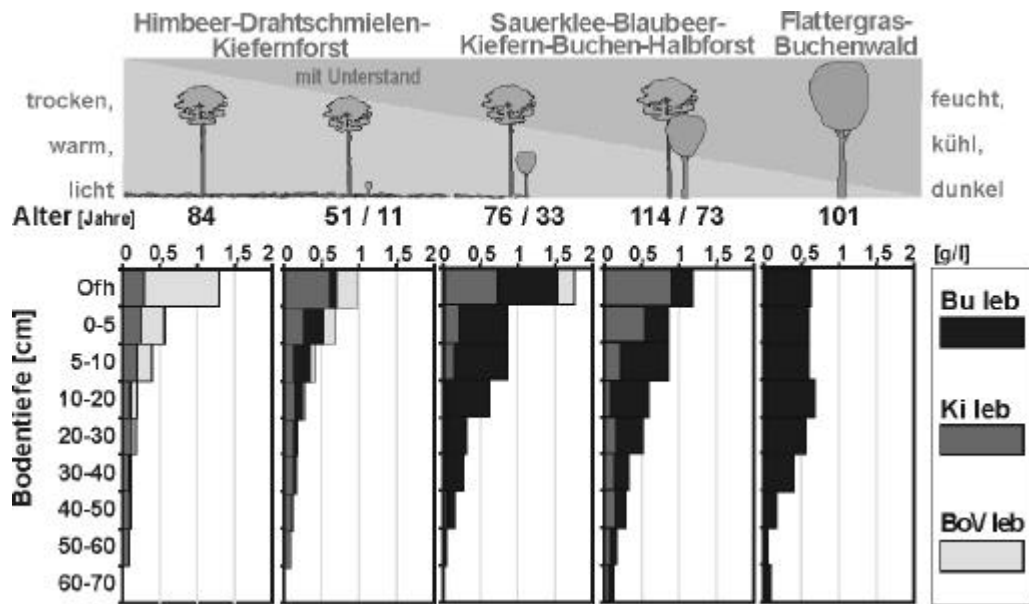


Abbildung 11: Veränderungen der Feinstwurzeldichten vom Kiefern-Reinbestand über die Kiefern-Buchen-Mischbestände zum Buchen-Reinbestand ($d < 1$ mm, lebend; Winter 1999/2000)

Im ältesten Mischbestand mit am oberen Kronendach teilhabender Buche zeigen sich in stammnahen Bereichen und in Zwischenstambereichen beider Baumarten unterschiedliche Durchwurzelungsmuster. Während die Präferenz der Kiefernfeinstwurzeln für die Humusschicht und die der Buche für den Bodenraum 5 bis 30 cm sowohl im stammnahen Kieferngebiet als auch im Zwischenstambereich von Buche und Kiefer gilt, trifft dies aber nicht für den stammnahen Buchenbereich zu. Hier führt sich die Buche über den Stammablauf selbst größere Wassermengen zu, die durch eine intensive Mineralbodendurchwurzelung im Stammbereich kontinuierlicher genutzt werden kann. Durch die Mischung ergänzen sich die artigen Durchwurzelungsmuster und –strategien und werden modifiziert. Sie haben Einfluss auf die Differenzierung der Bodenwasserverfügbarkeit in den einzelnen Bodentiefen.

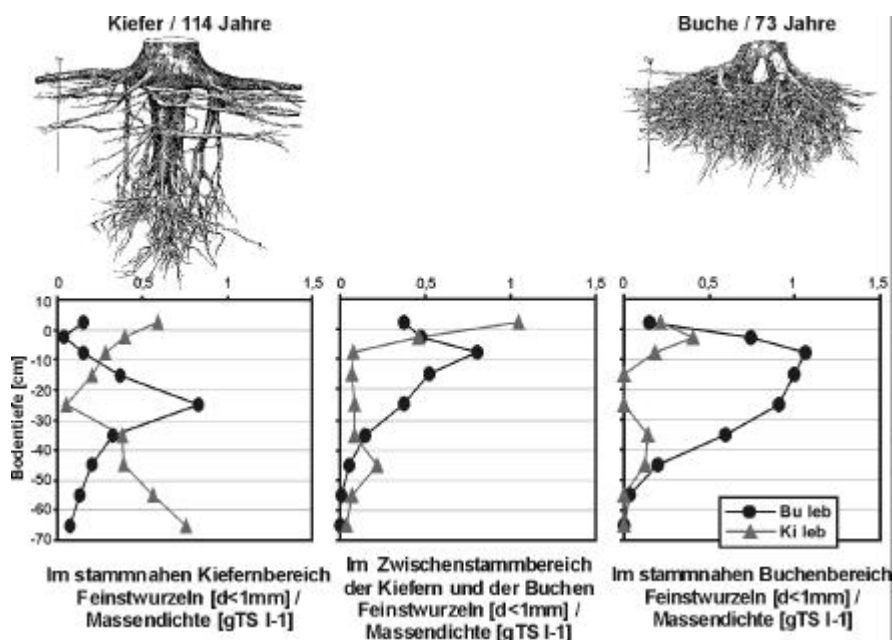


Abbildung 12: Kleinräumige Unterschiede der Durchwurzelung (Feinstwurzeln) im ältesten Kiefer-Buchen-Mischbestand

3.4 Wirkungen des Waldumbaus auf den Wachstumsverlauf von Buche und Kiefer - Produktionsbiologische Kenndaten

Wie die Abbildung 13 zeigt, weisen die untersuchten Ökosysteme eine große Spannweite in der Nettoprimärproduktion an Holz auf. Deutlich wird, dass in allen untersuchten Strukturen, in denen die unterständige Buche ihre Kronenschicht voll entfaltet hat, eine verhältnismäßig einheitliche LNP (laufende Nettoprimärproduktion) an Baumholz von 7,0 bis 7,5 t/(ha·a) realisiert wird. In diesem Produktions-Rahmen liegt ebenfalls der Buchen-Reinbestand. Der Kiefern-Reinbestand ohne zweite produzierende Baumschicht liegt deutlich darunter. Die gesamte laufende oberirdische Nettoprimärproduktion (Baumholz, Assimilationsorgane, Bodenvegetation) der untersuchten Ökosysteme steigt vom Kiefernreinbestand mit zunehmender Raumerfüllung durch die Buche bis zum ältesten Kiefern-Buchen-Mischbestand an. Der älteste Kiefern-Buchen-Mischbestand mit den bereits in die Kiefernkronen einwachsenden Buchen hat die höchste Stoffproduktion. Der aus einem Kiefern-Buchen-Mischbestand hervorgegangene heutige Buchenreinbestand liegt bestandesdichtebedingt noch unter dem Stoffproduktions-Optimum.

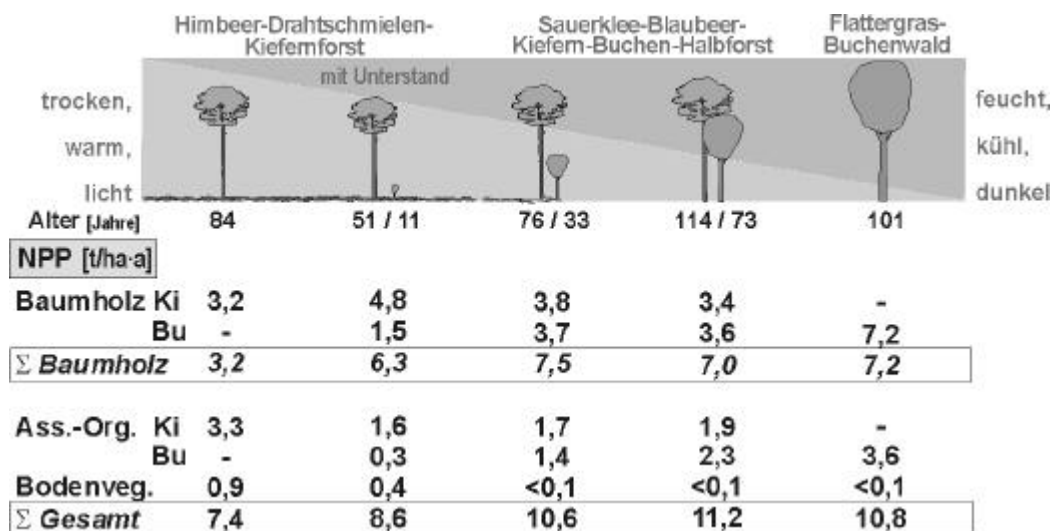


Abbildung 13: Buchen-Unterbau unter Kiefer — Produktionsbiologische Kenndaten

Die gezeigten hydro-, boden- und wurzelökologischen Wirkungen finden ihr Resultat in den wachstumkundlichen Abläufen. Die Abbildung 14 zeigt das Wachstumsverhalten von Kiefern bei geringer/fehlender und bei intensiver Buchen-Beimischung im ältesten Kiefern-Buchen-Mischbestand. Das Wachstum der Kiefer in den vergangenen 50 Jahren war erheblichen Schwankungen unterworfen. Neben der sich deutlich abzeichnenden Wirkung jährlicher Witterungseinflüsse sind voneinander unterscheidbare Abschnitte im Wachstumstrend nachweisbar. Nachdem zunächst in beiden untersuchten Teilkollektiven die Kiefern ohne Buchenbeimischung und die Kiefern mit intensiver Buchenbeimischung gleiche Wachstumsraten erzielen, kommt es mit dem Aufwachsen des Buchen-Unterstandes zu einer Differenzierung im Wachstumsverhalten der Kiefer. Die Kiefer mit Buchen-Beimischung weist bis 1976 (Kiefer 90 Jahre, Buche 49 Jahre) im Vergleich zur Kiefer ohne Buchenbeimischung deutlich geringere Wachstumsraten auf. Dies ist integrativer Ausdruck der strukturellen Veränderungen, die bei den Kiefern, die in direktem räumlichen Kontakt mit den aufwachsen Buchen standen, insgesamt zunächst zu einer Verschlechterung der Wachstumsbedingungen führten. Mit den durch das fortschreitende Aufwachsen des Buchen-Unterstandes entstehenden meliorativen Effekten (bestandesklimatische, humusökologische, bodenchemische und hydrologische Veränderungen) kommt es bestandesweit zum Übergang von der „Kiefern-Ökologie“ zur „Buchen-Ökologie“ mit den genannten Vorteilswirkungen. Die Wachstumsbedingungen der Kiefer mit intensivem Buchen-Kontakt verbessern sich

zusehends, die jährlichen Wachstumsraten nähern sich den buchenfreien Kiefernarealen an, um sie in ihrer relativen Wuchspotenz schließlich zu überschreiten. Dieser meliorative Effekt ist auch beim Vergleich der Wachstumsabläufe von Reinbestandskiefer und der Kiefer im Mischbestand im zeitlichen Nacheinander zu beobachten.

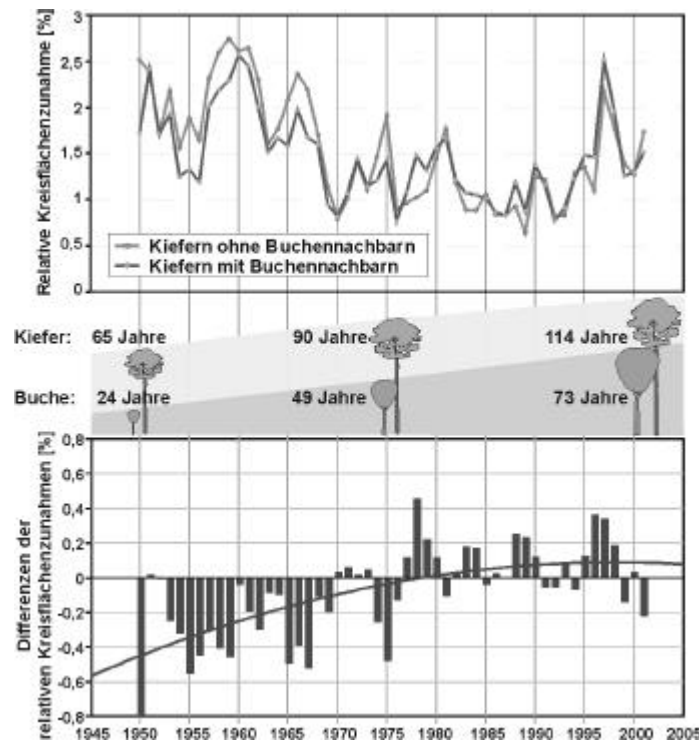


Abbildung 14: Vergleich des Wachstumsverhaltens von Kiefern im Mischbestand aus Bereichen mit und ohne Buchenbeimischung

4 Schlussfolgerungen und Zusammenfassung

Erst durch die Berücksichtigung der Besonderheiten des strukturellen Aufbaus der Kiefern-Buchen-Mischbestände wird eine treffende Beurteilung der ökologischen Wirkungen des Unterbaus möglich. Im Ergebnis einer hochauflösenden biostrukturellen Analyse der untersuchten Stadien wurde zunächst festgestellt, dass in Abhängigkeit von der Bestandesstruktur (Ober- und Unter- bzw. Zwischenstand) eine Niederschlagsumverteilung mit Auswirkungen auf die Anteile der einzelnen Verdunstungskomponenten an der Gesamtverdunstung eintritt, wodurch letztlich auch der Wasserverbrauch des Bestandes verändert wird.

Durch die integrative Verknüpfung der von der Bestandesstruktur abhängigen, hydroökologischen, bodenchemischen, humusmorphologischen, wurzelökologischen sowie der vegetations- und wachstumkundlicher Erhebungen konnte nachgewiesen werden, dass sich im Verlauf des Umbauprozesses neben dem Licht- und Strahlungshaushalt auch der Feuchtehaushalt in Bestand und Boden, die Humuseigenschaften bezüglich Trophie und Feuchteregime und die Durchwurzelung des Bodenraumes mit Folgen für das Waldwachstum als resultierende Größe verändern.

Zu Beginn des Unterbaus überwiegen bei noch gegebener „Kiefern-Ökologie“ die Konkurrenzbeziehungen der beiden Baumschichten. Mit zunehmender Dominanz der Buche, verbunden mit der Erschließung des Stamm- und des durchwurzelbaren Bodenraumes erfolgt eine Annäherung an eine „Buchen-Ökologie“. Mit sich verstärkenden synergistischen Beziehungen werden zunehmend meliorative Effekte wirksam. Diese können über den Zeigerwert der drastisch zurückgehenden Bodenvegetation, über qualitative und quantitative

Humusparameter, das Durchwurzelungsregime und die realisierte Nettoprimärproduktion nachgewiesen werden.

Der Unterbau führt langfristig zu erhöhter Tiefensickerung und Grundwasserneubildung und somit zur Verbesserung des Landschaftswasserhaushaltes. Zusätzlich hat die Forstwirtschaft über Eingriffe in das Bestandesdichteregime die Möglichkeit, diese ökologischen Wirkungen gezielt zu beeinflussen.

Literatur

[1] **ANDERS, S.; BECK, W.; BOLTE, A.; HOFMANN, G.; JENSSEN, M.; KRAKAU, U.; MÜLLER, J.**: Waldökosystemforschung Eberswalde – Einfluss von Niederschlagsarmut und erhöhtem Stickstoffeintrag auf Kiefern-, Eichen- und Buchen-Wald- und Forstökosysteme des nordostdeutschen Tieflands.

Abschlussbericht des BMBF-Verbundprojektes 1999, Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Institut für Forstökologie und Walderfassung Eberswalde.

[2] **BECK, W.**: Waldwachstum unter anhaltendem Fremdstoffeintrag – Ergebnisse aus waldwachstumskundlichen und dendroökologischen Untersuchungen.

Beitr. für Forstwirtsch. u. Landschaftsökologie, Berlin 35 (2001) 4, S. 181 – 190.

[3] **HOFMANN, G.**: Vegetationswandel in den Wäldern des nordostdeutschen Tieflandes. In: Wald im Wandel. 9. Hamburger Forst- und Holztagung, 06.-09. Mai 1996. Hamburg: Max Wiedebusch Kommiss. Verl., 1996, S. 45-72. = Mitt. der Bundesforschungsanst. für Forst- und Holzwirtschaft, Nr. 185.

[4] **JENSSEN, M.**: Zehn Jahre BMBF- Waldforschung im Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin.

AFZ / Der Wald, München 56 (2001), 3, S. 132 – 135.

[5] **MÜLLER, J.; BOLTE, A.; BECK, W.; ANDERS, S.**: Bodenvegetation und Wasserhaushalt von Kiefernforstökosystemen (*Pinus sylvestris* L.). Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, Berlin 28 (1998), S. 407-414.

[6] **MÜLLER, J.**: Ermittlung von Kennwerten des Wasserhaushaltes in Kiefern- und Buchenbeständen des nordostdeutschen Tieflands.

Beitr. für Forstwirtsch. u. Landschaftsökologie, Berlin 35 (2001) 1, S. 14 – 18.

[7] **MÜLLER, J.; BOLTE, A.; BECK, W.; ANDERS, S.; SCHARFEN, P.**: Modellierung des Sickerwasserflusses in einem zusammenhängenden Waldgebiet des nordostdeutschen Tieflands.

In: Bericht der 9. Gumpensteiner Lysimetertagung zum Thema Gebietsbilanzen bei unterschiedlicher Landnutzung. Irdning 2001, S. 111 – 115.

[8] **O. V.**: Planung der Waldentwicklung des Landes Brandenburg. In: Schriftenreihe des Ministeriums für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung, Bd. IV, 1999.

[9] **STEINER, A.; BOLTE, A.; SCHNEIDER, U.; HÜTTL, R. F.**: Phytomasse- und Nährelementvorräte unterschiedlich stickstoffbeeinflusster Kiefernbestände (*Pinus sylvestris* C.) des nordostdeutschen Tieflands. Untersuchungen der Gesellschaft für Ökologie, 28 (1998), S. 421-427.