

Der Einfluss von Aufnahme Fehlern und Wachstumsvorgängen auf die Stammzahlverteilung in Buchennaturverjüngungen unter Altholzschirm

Vergleich eines naturnahen Buchenbestandes im Sihlwald, Schweiz, mit einem Bestand im Buchen-Urwald Uholka, Ukraine (reviewed paper)

HANSHEINRICH BACHOFEN

Keywords: Virgin forest; *Fagus sylvatica* L.; young stands; stem distribution; regeneration; Ukraine; Switzerland.

FDK 181 : 228.8 : 52 : 561 : (477) : (494)

Abstract: The young growth stem distributions in a 115 year old beech stand in the Sihlwald (Switzerland) and in a virgin beech stand in Uholka (Ukraine) show conspicuous sinks in the 130,0 to 169,9 cm tree height range. A model shows, that these sinks can be the result of height growth differences between trees in different height classes. Technical reasons of the surveys may accentuate the sinks. There may be more reasons which could play a role but these were not investigated.

Abstract: Die Jungwuchsstammzahlverteilungen auf einer 115-jährigen Buchenfläche im Sihlwald (Schweiz) und im Buchen-Urwald von Uholka (Ukraine) weisen eine deutliche Untervertretung im Bereich von 130,0 bis 169,9 cm Baumhöhe auf. Mit Hilfe eines Modells wird gezeigt, dass solche Senken durch unterschiedliches Höhenwachstum in den massgebenden Höhenklassen verursacht werden können. Aufnahme-technische Gründe können die Senken zusätzlich verstärken. Weitere Ursachen, die im Rahmen der Untersuchung nicht quantifiziert werden konnten, dürften ebenfalls eine Rolle spielen.

1. Einleitung und Fragestellung

Die Stammzahl von Verjüngungspflanzen nimmt normalerweise mit zunehmender Pflanzhöhe exponentiell ab (ASSMANN 1961; KRAMER 1988; KURTH 1946; WENK *et al.* 1990). Während im Keimlingsstadium noch mehrere Hunderttausend oder gar Millionen Pflanzen vorkommen, sind es im Sämlingsstadium oft nur noch einige Tausend oder Zehntausend (LEIBUNDGUT 1981). Diese mortalitätsbedingte Dichteabnahme ist auch unter Altholzschirm zu finden (KURTH 1946). Grund für die Mortalität sind Konkurrenz unter den Verjüngungspflanzen und durch die Vegetation, Lichtmangel, Mäuse und Insekten sowie pathogene Pilze (ASSMANN 1961; OTTO 1994). In zwei Buchenwäldern (*Fagus sylvatica* L.) in der Schweiz und in der Ukraine, in denen die Verjüngung mit Stichprobenaufnahmen erfasst wurde, fanden sich auffällige Abweichungen von der üblichen exponentiellen Stammzahlabnahme: Bäume im Höhenbereich zwischen 130,0 und 169,9 cm waren unterver-

treten (Abbildungen 1 und 2). In diesem Aufsatz werden zwei Ursachen für diese Untervertretung geprüft: Die erste ist eine falsche Zuteilung von Bäumen der Höhenklasse 130,0 bis 149,9 cm zur Höhenklasse 110,0 bis 129,9 cm; dies weil die Aufnahmemethode für Bäume der Höhenklasse 110,0 bis 129,9 cm weniger aufwändig war. Die zweite Ursache ist ein rascheres Durchwachsen der wenig besetzten Höhenklassen. Der Erklärungsbeitrag einer Reihe weiterer Gründe zur beobachteten Untervertretung in der Stammzahlverteilung wird diskutiert.


2. Material und Methoden

2.1 Die Versuchsflächen Sihlwald und Uholka

Der Sihlwald gilt mit seinen gut 1000 ha als grösster naturnaher Laubmischwald im schweizerischen Mittelland. Nach einer jahrhundertelangen intensiven Bewirtschaftung erlangte er

Tabelle 1: Die Stichprobenaufnahmen.

Table 1: The sampling.

Baumhöhenklassen	Stichprobenflächen ¹	Lage der Stichprobenflächen	Aufnahme der Bäume	erfasste Bäume Sihlwald	erfasste Bäume Uholka
≥ 10,0– 19,9 cm ≥ 20,0– 29,9 cm	1 m ² (Quadrat von 1 m x 1 m)	Auf der Peripherie des Stichprobenkreises (Sihlwald und Uholka: im Westen)	Die Bäume werden nach Baumart und Höhenklasse ausgezählt	496 139	85 65
≥ 30,0– 49,9 cm ≥ 50,0– 69,9 cm ≥ 70,0– 89,9 cm ≥ 90,0– 129,9 cm	20 m ² (Kreis mit Radius = 2,52 m)	Stichprobenzentrum	Die Bäume werden nach Baumart und Höhenklasse ausgezählt	1045 585 426 723	1806 918 619 966
≥ 130,0 cm Höhe bis zur Kluppschwelle von 7,0 cm BHD	20 m ² (Kreis mit Radius = 2,52 m) 1-m ² -Quadrat (Spitze berührt den Rand des Probekreises) 20-m ² -Kreis	Stichprobenzentrum 	Die Bäume ≥ 130,0 cm Höhe werden nach Baumart, einzeln mit Polarkoordinaten eingemessen , die Höhe [cm] und der BHD [mm] jedes Baumes wird bestimmt	1200	744

¹ Sihlwald = 176 Stichprobenflächen; Uholka = 160 Stichprobenflächen

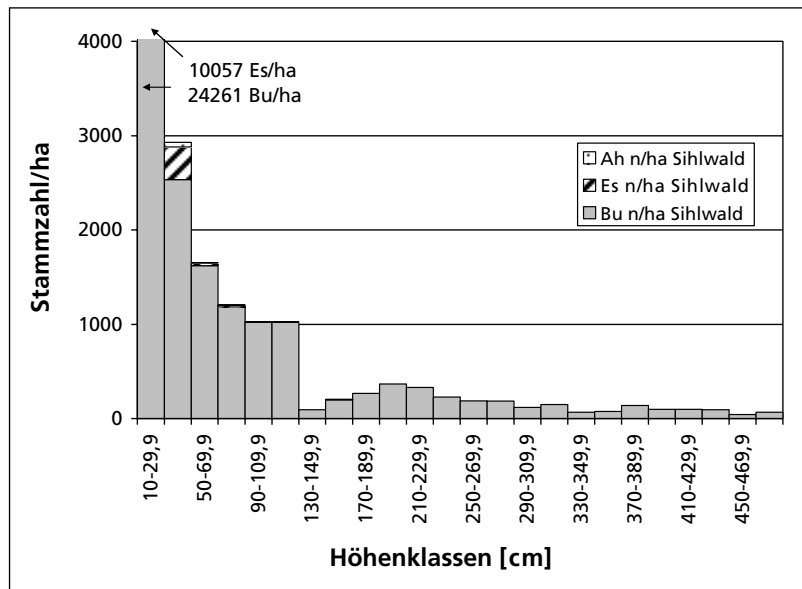


Abbildung 1: Sihlwald: Stammzahlverteilung nach Höhenklassen, Ende Vegetationsjahr 2002.

Bergahorn, Esche und Buche $\geq 10,0$ cm; nur bis zu Höhen von 489,9 cm dargestellt. In der Klasse $\geq 130,0$ bis 149,9 cm ist die Senke deutlich sichtbar (94 Bäume/ha).

Figure 1: Stem distribution according to height-class in the Sihlwald research area, end of growing period 2002.

Sycamore maple, ash, beech $\geq 10,0$ cm; shown only to 489,9 cm height. In the class $\geq 130,0$ to 149,9 cm the sink is clearly visible (94 trees/ha).

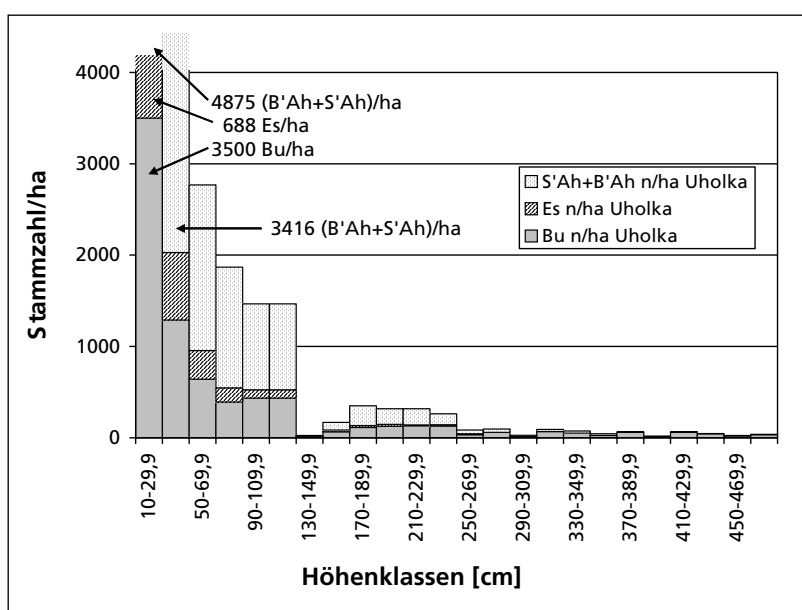


Abbildung 2: Uholka: Stammzahlverteilung nach Höhenklassen, Ende Vegetationsjahr 2002.

Berg- und Spitzahorn, Esche und Buche $\geq 10,0$ cm; nur bis zu Höhen von 489,9 cm dargestellt. In der Klasse $\geq 130,0$ bis 149,9 cm ist die Senke deutlich sichtbar (9 Bäume/ha).

Figure 2: Stem distribution according to height-class in the Uholka research area, end of growing period 2002.

Sycamore maple, Norway maple, ash, beech $\geq 10,0$ cm; shown only to 489,9 cm height. In the class $\geq 130,0$ to 149,9 cm the sink is clearly visible (9 trees/ha).

in den 1960er- und 1970er-Jahren eine neue Bedeutung, indem die Nutzung als Erholungswald immer mehr in den Vordergrund rückte. 1989 wurde die forstliche Nutzung vollständig eingestellt. Die 11,0 ha grosse Versuchsfläche Biriboden liegt im Zentrum des 1993 errichteten Reservates, in einem rund 115-jährigen Buchenaltbestand (COMMARMOT *et al.* 2001).

Der Buchen-Urwald von Uholka umfasst rund 9000 ha. Er liegt im Karpaten-Biosphärenreservat, das 1992 die Anerkennung der Unesco erhielt (BRÄNDLI & DOWHANYTSCH 2003). Die 10,0 ha grosse Versuchsfläche Mala Uholka befindet sich in der Kernzone des Reservates.

Nach COMMARMOT *et al.* (2001 und in press) unterscheiden sich die Durchmesserverteilungen der beiden Versuchsbestände und in kleinerem Masse auch die räumliche Verteilung der Bäume. Die Fläche im Sihlwald zeigt die typischen Merkmale eines zweischichtigen Bestandes. Die Durchmesser ($d_{1,3}$) der Oberschicht sind normal verteilt, mit einem Maximum um die 55 cm. Auf der Fläche Uholka dagegen sind die Durchmesser über eine Spanne von 25 bis 85 cm gleichmässig verteilt. Die Basalfläche und der stehende Vorrat sind im Sihlwald mit 31,0 m²/ha und 530,0 m³/ha kleiner als im Urwald von Uholka mit 38,6 m²/ha und 771,0 m³/ha. Der Buchenvorratsanteil beträgt im Sihlwald rund 75%, in Uholka sind es etwa 96%. Im Sihlwald ist mit nur 1,6% des gesamten Vorrates deutlich weniger Totholz zu finden als in Uholka mit rund 12,0%.

2.2 Die Verjüngung

Die kleinen Bäume unter der Kluppschwelle ($d_{1,3} < 7,0$ cm) wurden mit zweistufigen Stichproben in einem quadratischen Netz von 25,0 mal 25,0 m erfasst. Bäume bis 129,9 cm Höhe wurden nach Höhenklassen ausgezählt, solche darüber bis zur Kluppschwelle aber einzeln mit der Höhe in Zentimetern und $d_{1,3}$ in Millimetern aufgenommen sowie mit Polarkoordinaten positioniert (Tabelle 1). Für die Aufnahmen wurde eine an der WSL entwickelte Methode (BRANG & KULL 1999 und BACHOFEN 2002a) an die besonderen Verhältnisse im Buchenmischwald angepasst (BACHOFEN 2002b). Die Baumhöhen wurden bergwärts des Stammfusses lotrecht bis zur Höhe des vorjährigen Jahrestriebes gemessen. Die genaue Messung der Baumhöhen ist aus folgenden Gründen oft schwierig:

- Vor allem stark unterdrückte Bäume stehen zum Teil sehr schief.
- Die Abgrenzung der Jahrestriebe, in diesem Fall zwischen den Vegetationsjahren 2002 und 2003, war oft schwierig, vor allem dann, wenn nur Kurztriebe gebildet wurden.
- Die Baumhöhen können je nach Wetter (Tau, Regen) um mehrere Zentimeter differieren.
- Durch das Laub werden schwächere Bäume oft stark gebeugt; die gemessenen Höhen nach dem Blattaustrieb können in diesen Fällen unter Umständen sogar kleiner sein als vor dem Austrieb.

Die beiden Bestände, einschliesslich Verjüngung, wurden in COMMARMOT *et al.* (in press) ausführlich analysiert. Darum werden hier nur die wichtigsten Besonderheiten und Unterschiede des Jungwuchses aufgeführt (Abbildungen 1 und 2):

- In der ersten betrachteten Höhenklasse ($\geq 10,0$ bis 29,9 cm) findet man im Sihlwald mit 36 100 Bäumen/ha fast viermal so viele Bäume wie in Uholka mit 9400 Bäumen/ha.
- Die Stammzahlen pro Hektare sind in Uholka nur in den Klassen $\geq 30,0$ bis 129,9 cm grösser als im Sihlwald (13464 zu 7895 Bäumen/ha).
- Im Sihlwald verjüngen sich neben der Buche auch die Esche (*Fraxinus excelsior* L.) und der Bergahorn (*Acer pseudoplatanus* L.); in Uholka neben Esche, Bergahorn auch Spitzahorn (*Acer platanooides* L.) und etwas Ulme (*Ulmus glabra* Huds.).
- Im Sihlwald kann anscheinend nur die Buche längerfristig überleben. Von den anderen Baumarten erreicht kaum ein

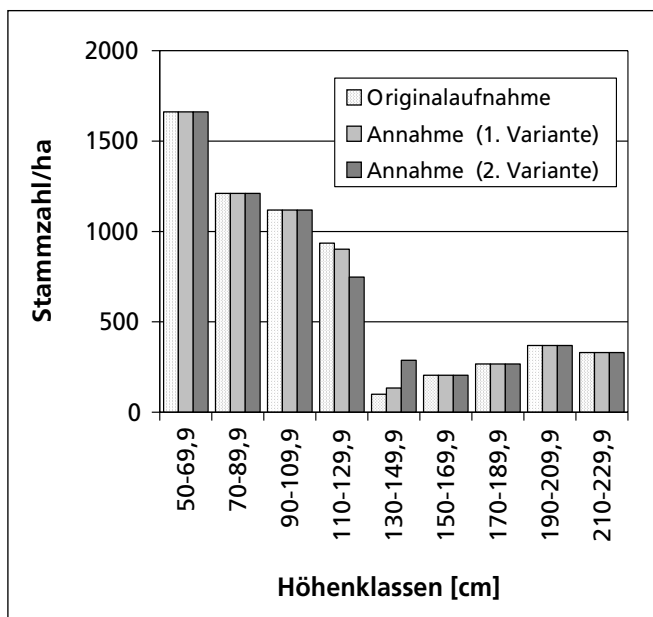


Abbildung 3: Sihlwald: Veränderung der Senke bei unterschiedlicher Zuteilung zu den Höhenklassen im Bereich von 130,0 cm Höhe; nur bis zu Höhen von 229,9 cm dargestellt.

Die Stammzahlen der Originalaufnahme und die zwei korrigierten Verteilungen für die angenommenen Falschzuteilungen.

Figure 3: Sihlwald: Effects of the two assumed variants allotted to the incorrect height-class. Change in sink if different distribution is taken into account, determined by the difference of number of stems in the initial survey and the two distributions revealed by subsequent inventories.

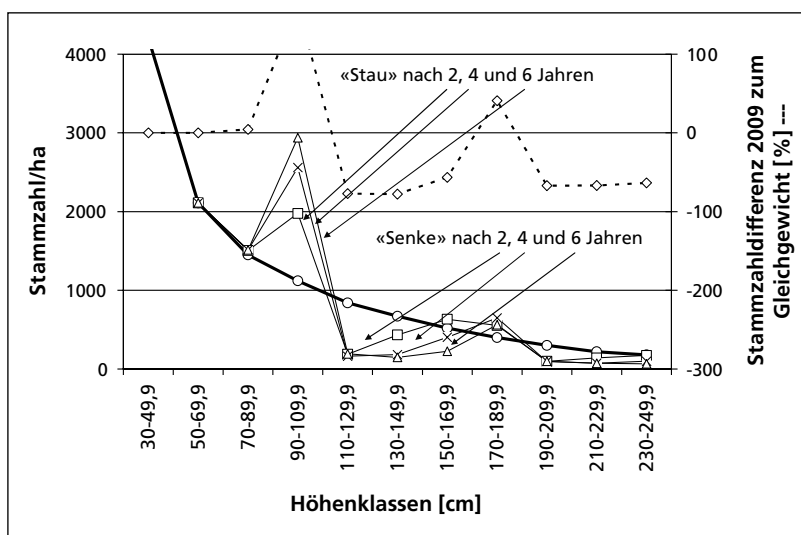


Abbildung 4: Sihlwald: Modell für die Stammzahlentwicklung bei unterschiedlichen Jahrestrieben in bestimmten Höhenklassen (vgl. Tabelle 2).

Legende/Legend:
 -○- Gleichgewicht (2003) / equilibrium (2003)
 -□- Stammzahl nach 2 Jahren / stem number after 2 years
 -x- Stammzahl nach 4 Jahren / stem number after 4 years
 -△- Stammzahl nach 6 Jahren / stem number after 6 years
 -◇- Stammzahldifferenz 2009–2003 [%] / stem number difference 2009–2003 [%]

Figure 4: Sihlwald: Model of the stem number development with differing shoot heights in determined height classes (see table 2).

Exemplar eine Höhe von über 50 cm. In Uholka, mit deutlich kleineren Ausgangsstammzahlen pro Hektare in der Stufe $\geq 10,0$ bis 29,9 cm, überleben neben der Buche alle anderen Baumarten mindestens bis zu Höhen von 300,0 cm.

- Die Beziehung von Baumhöhe zu $d_{1,3}$ ist bei allen Baumarten im Jungwuchs von Uholka sehr ähnlich. Im Sihlwald lässt sich das nicht überprüfen, weil fast alle Bäume über 130,0 cm Höhe Buchen sind.

2.3 Abklärung der Auswirkung aufnahmetechnischer Mängel

Die Bäume unter 130,0 cm Höhe wurden nach Klassen ausgezählt (punktiert), die Bäume $\geq 130,0$ cm bis zur Kluppschwelle einzeln gemessen und zusätzlich situiert (Tabelle 1). Die Situiierung ist deutlich aufwändiger als die Punktierung. Daher könnten die Aufnahmeteams in Zweifelsfällen, bei Baumhöhen knapp über 130,0 cm, die Bäume eher der unteren als der (korrekten) oberen Klasse zugeordnet haben.

Weil eine Überprüfung der Aufnahmen im Wald zu aufwändig erschien, wurde nur mit theoretischen Überlegungen abgeklärt, wie stark sich eine solche Falschzuteilung auf die Stammzahlverteilung im Maximum auswirken kann.

Annahme, 1. Variante, Abbildung 3

Hier wird davon ausgegangen, dass 25% der Bäume aus der Klasse 130,0 bis 149,9 cm falsch der unteren Höhenklasse ($\geq 110,0$ bis 129,9 cm) zugeordnet wurden.

Annahme, 2. Variante, Abbildung 3

Hier wird davon ausgegangen, dass 20% der Bäume in der Klasse $\geq 110,0$ bis 129,9 cm eine wirkliche Höhe von $\geq 130,0$ bis 135,0 cm haben, richtigerweise also in die nächsthöhere Klasse gehören würden. Bei dieser Variante wären 66% der Bäume aus der Klasse $\geq 130,0$ bis 149,9 cm falsch der unteren Klasse zugeteilt worden.

2.4 Unterschiedliches Höhenwachstum in den Höhenklassen

Zusätzlich zu den Baumhöhen wurden Ende Juli, Anfang August 2003 auf der Fläche Sihlwald in den Höhenklassen von $\geq 90,0$ bis 189,9 cm die Höhentriebe der letzten drei Jahre gemessen. Dazu wurden von jeder Höhenklasse mindestens 30, total 152 Bäume, zufällig ausgewählt.

Der folgende Effekt bewirkt eine wirkliche Senke in der Stammzahlverteilung: Sind die durchschnittlichen Höhentriebe (lotrecht gemessen) in einer Höhenklasse grösser als in der

nächstkleineren, so wachsen die Bäume schneller durch die Klasse hindurch. Zum Beobachtungszeitpunkt findet man also in der schneller wachsenden Klasse entsprechend weniger Bäume, es entsteht eine Senke. In einer Klasse mit wiederum kleinerem Höhenwachstum entsteht dafür scheinbar ein «Stau», die Stammzahl ist dort entsprechend grösser.

Im Plenterwald bewirkt ein ähnlicher Wachstumseffekt eine Phase verbesserter Wachstumsbedingungen (hier im Durchmesserzuwachs), die bekannte Abflachung der Stammzahlverteilungskurve (halblogarithmisch dargestellt) im mittleren Teil (SCHÜTZ 2001, S. 64; BACHOFEN 1996 und 1999; ZINGG & DUC 1998).

Mit einem einfachen Modell kann gezeigt werden, wie stark sich ein unterschiedliches Höhenwachstum in den Höhenklassen auf eine Stammzahlverteilung im Jungwuchs über einige Jahre auswirkt. Es wird von einer Stammzahlverteilung ähnlich einem Plentergleichgewicht (Referenz) ausgegangen. Dazu wurde eine ausgeglichene Verteilung, ausgehend von den Aufnahmen 2003, gewählt. Als Jahreshöhentriebe (lotrecht gemessen) wurden für alle Höhenklassen 10,0 cm angenommen. In jedem Jahr wachsen also 50% der Bäume pro 20,0-cm-Klasse in die nächsthöhere Klasse ein. Damit ein Gleichgewicht bestehen bleibt, müssen die Einwüchse in jeder Klasse den Auswüchsen plus Ausfällen entsprechen. Einwüchse und Auswüchse sind durch unsere Annahmen gegeben, die Ausfälle (Mortalität) werden entsprechend berechnet (Einwüchse minus Auswüchse). Die Stammzahlverteilung im hypothetischen Gleichgewicht ändert sich im Laufe der Jahre nicht (Abbildung 4).

Die konstanten Höhenzuwächse im Modell wurden nun für die Klassen von $\geq 70,0$ bis 189,9 cm gemäss den für das Jahr 2002 gemessenen Werten angepasst. Die Ausfälle wurden unverändert belassen, so wie sie für das Gleichgewicht berechnet wurden.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Stammzahlverteilung im Jungwuchs

3.1.1 Aufnahmetechnik als Erklärung für die beobachtete Untervertretung

Die angenommene falsche Zuordnung zu den Höhenklassen auf Grund ungenauer Höhenmessung im Bereich von einigen

Zentimetern (im Beispiel 5,0 cm) wirkte sich deutlich auf die Stammzahlverteilungskurve aus (Abbildung 3). Die Stammzahl der höheren Klasse könnte in Wirklichkeit, ohne angenommene Falschzuordnung zur unteren Klasse, je nach Variante um 25 bis 200% grösser sein als nach den aufgenommenen Daten (Abbildung 3). Mit andern Worten: Die Senke ist in Wirklichkeit vermutlich etwas weniger deutlich als nach den erhobenen Daten. Aber auch bei einer so bedeutenden Falschzuteilung von Bäumen, wie in der zweiten Variante angenommen wurde, blieb in der korrigierten, richtigen Verteilung eine Senke bestehen. Eine falsche Klassenzuteilung kann also nicht alleiniger Grund für die Senken der Stammzahlverteilungen sein. Aufnahmefehler können aber das Phänomen verstärken und sollten deshalb möglichst vermieden werden. Die Aufnahmemethode mit dem Wechsel der Aufnahmeintensität bei 130,0 cm Höhe kann zur Falschzuteilung von Bäumen knapp über 130,0 cm Höhe verleiten. Eine Fehlzuteilung zur unteren Klasse lässt sich vermindern, wenn die Aufnahmeteams entsprechend instruiert werden und die Arbeitsqualität durch Zweitmessungen kontrolliert wird.

3.1.2 Unterschiedliches Höhenwachstum in den Höhenklassen

Die Auswirkungen unterschiedlicher Jahrestriebe, im Modellbeispiel abgeleitet aus zum Teil angenommenen sowie aus den gemessenen Jahrestrieblängen für die Höhenklassen $\geq 70,0$ bis 189,9 cm auf der Fläche Sihlwald, sind sehr deutlich (Tabelle 2). Die Stammzahl in den einzelnen Höhenklassen, ausgehend vom angenommenen Gleichgewichtszustand für 2003, verändert sich durch die Anpassung der Jahrestriebe bis ins Jahr 2009 um bis zu plus 162% bzw. um bis minus 78%. In Abbildung 4 ist neben der Stammzahlentwicklung auch die Stammzahldifferenz in Prozenten zur Ausgangsverteilung in einem Gleichgewichtszustand abgebildet. Es wird deutlich, dass die in unserem Modell eingefügte (gemessene) Verkleinerung der Höhentriebe in der Klasse $\geq 90,0$ bis 109,9 cm zu einer Übervertretung, die Vergrösserung der Triebe ab Stufe $\geq 110,0$ bis 129,9 cm zu einer Untervertretung führt.

Auch in Urwäldern wird, ähnlich wie im Plenterwald, oft ein «Mangel» an schwachem Baumholz beobachtet, der zum Teil ebenfalls auf die Dynamik des Stärkezuwachses mit einem

Tabelle 2: Die Annahmen für das Modell und die Stammzahlveränderung, die sich durch die veränderten Jahrestriebe ergibt (Jahr 2002).

Table 2: The assumptions for the model and stem number changes which result from the changed annual height shoots (for 2002).

1	2	3	4	5
Höhenklasse [cm]	angenommene Jahrestrieblänge im Gleichgewicht [cm]	angenommene und (lotrecht) gemessene Jahrestriebe im Modell [cm] Jahr 2002	Stammzahlveränderung im Vergleich zum Modellgleichgewicht; nach 6 Jahren im Jahre 2009, in [%]	Veränderung zum Gleichgewicht
30–49,9	10,0	10,0	+0	–
50–69,9	10,0	10,0	+0	–
70–89,9	10,0	9,0	+4	«Stau»
90–109,9	10,0	1,0	+162	«Stau»
110–129,9	10,0	10,0	–77	«Senke»
130–149,9	10,0	10,0	–78	«Senke»
150–169,9	10,0	6,8	–57	«Senke»
170–189,9	10,0	2,1	+41	«Stau»
190–209,9	10,0	10,0	–67	«Senke»
usw.				

Maximum in den unteren bis mittleren Altersklassen zurückzuführen ist (LEIBUNDGUT 1982, S. 41 ff., S. 175; KORPEL' 1995, S. 149 ff., S. 183). KOOP & HILGEN (1987, S. 148) erklären eine «Senke» in einer Buchen-Stammzahlverteilung im Bereich von $d_{1,3} = 50,0$ cm im Reservat Tillaie (Fontainebleau) zum Teil ebenfalls mit Wachstumsvorgängen: «Thus, trees that have become well established in the canopy pass through the classes within the dip rapidly, which explains why few trees of those diameters are found.» Das Höhenwachstum von Buchenindividuen variiert in der Jungwuchsphase ausserordentlich stark (KURTH 1946; DOHRENBUSCH 1990; TABAKU 2000). Verschiedene Autoren haben trotzdem gewisse Regelmässigkeiten im Jugendwachstum festgestellt. GRIGORIADIS (1991, S. 76) stellte in Buchennaturverjüngungen unter «geschlossener Überschir-

mung» und «Überschirmung mit kleinen Femellöchern» in Nordgriechenland fest, dass in der Höhenklasse 51,0 bis 130,0 cm die Triebblängen der Jungwuchsbuchen ein Maximum aufweisen. Unter Beständen mit «erweiterten Femellöchern» oder mit einer «Gruppenschirmstellung» fanden sich die maximalen Triebblängen bei Bäumen mit Höhen über 1,30 m. Grigoriadis führt die unterschiedlichen Triebblängen zwischen den Höhenklassen und nach den «Behandlungstypen» vor allem auf den «unterschiedlichen Lichtgenuss» zurück.

TABAKU (2000, S. 48, S. 50) untersuchte insgesamt acht Flächen in Buchen-Urwäldern, Buchen-Naturwaldreservaten und -Wirtschaftswäldern. Er fand nur auf der Fläche «Limker Strang», einem einstufigen reinen Buchenbestand in den zwei Höhenklassen von 0,2 bis 1,0 m eine Senke in der Stammzahlverteilung der Jungwuchsbäume. Diese wurde aber nicht weiter interpretiert.

Die beiden beschriebenen Effekte, «fehlerhafte Klassenzeileitung» und «unterschiedliche Jahrestriebe», können sich kumulieren, falls die Jahrestriebe in der Höhenklasse unter 1,30 m kleiner als jene in der Klasse über 1,30 m sind.

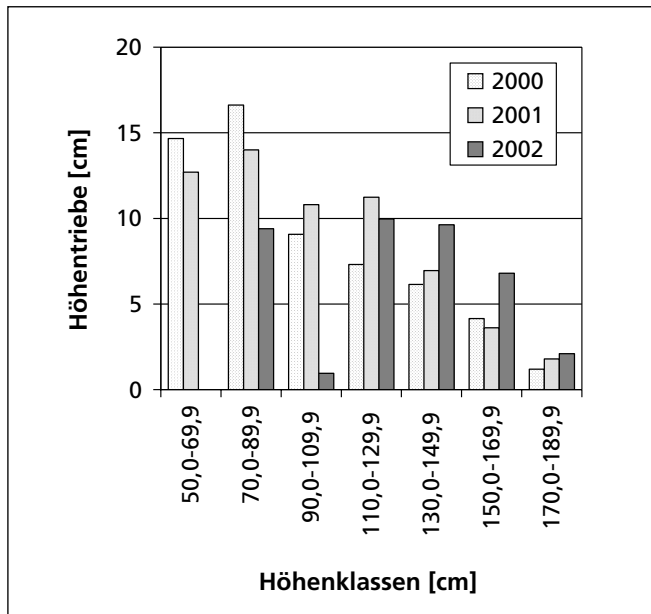


Abbildung 5: Sihlwald: Jahrestriebe nach Höhenklassen (lotrecht gemessen); Durchschnittswerte (2000, 2001, 2002).

Die Höhentriebe schwanken von Jahr zu Jahr stark. In unserem Beispiel ergeben nur die Höhentriebe, wie sie für das Jahr 2002 gemessen wurden, eine «Senke» in der Stammzahlverteilung.

Figure 5: Sihlwald: Annual height growths according to height classes (perpendicular measurements); Average values (2000, 2001, 2002).

The height shoots vary greatly from year to year. In the example only the height shoots measured in 2002 produce a sink in the stem distribution.

3.2 Höhenwachstum 2000, 2001 und 2002

Für die Modellrechnung wird angenommen, dass die Höhentriebe in den betrachteten Höhenklassen über einige Jahre gemäss Tabelle 2, Kolonne 3, gleich bleiben. Diese Annahme entspricht jedoch nicht der Wirklichkeit (Abbildung 5), die Höhentriebe schwanken von Jahr zu Jahr zum Teil sehr stark. Bestimmt man die Stammzahlverteilung, ausgehend vom hypothetischen Modellgleichgewicht (angenommen für das Jahr 2000) mit den in Stichproben gemessenen Jahrestrieben für 2000, 2001 und 2002 (Abbildung 6), zeigt sich erst im dritten Jahr, 2003, eine Senke in der Höhenklasse 110,0 bis 129,9 cm. Bei solchen Senken, die sich auf Grund unterschiedlicher Jahrestriebe in den massgebenden Höhenklassen ergeben, kann es sich demnach auch nur um kurzfristige, vorübergehende Erscheinungen handeln.

Die im Modell berechneten Senken finden sich in den Klassen von 110,0 bis 169,9 cm. Sie stimmen damit nicht genau mit der wirklichen Senke der Stammzahlverteilung überein, die erst ab 130,0 cm Höhe auftritt. Die Höhentriebe müssen also schon vor 2000 unterschiedlich gewesen sein oder dann sind andere Ursachen für die Senken mitverantwortlich. Ohne umfassendere Untersuchungen, auch auf der Fläche Uholka, sind die Senken aber nicht abschliessend erklärbar.

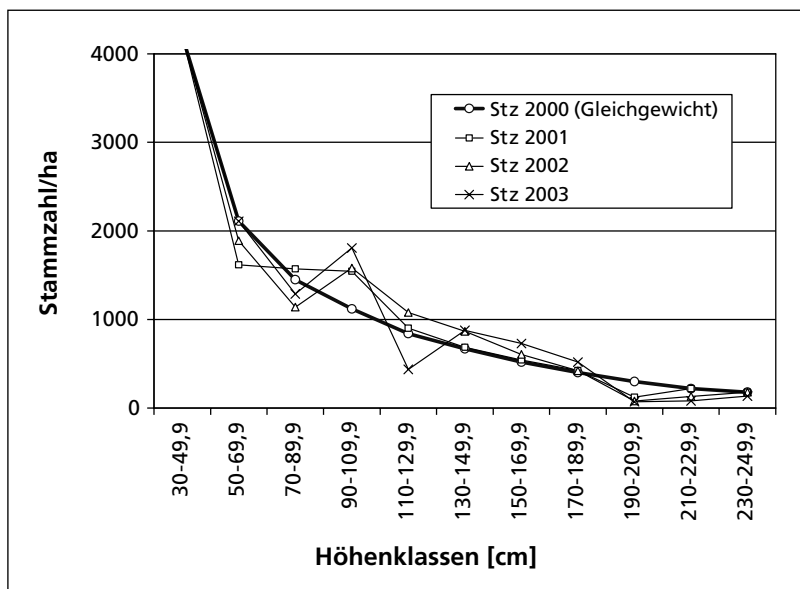


Abbildung 6: Sihlwald: Entwicklung der Stammzahlverteilung während drei Jahren, ausgehend vom Modellgleichgewicht.

Die Stammzahlveränderung wurde gerechnet mit den gemessenen Jahrestrieben in den Jahren 2000, 2001 und 2002 (Abbildung 5).

Figure 6: Sihlwald: Development of the stem distribution during three years starting from the model equilibrium.

The change in stem numbers was calculated with the measured annual shoot in 2000, 2001 and 2002 (figure 5).

4. Andere Ursachen

Eine mögliche Ursache für die beobachteten Untervertretungen in den Stammzahlverteilungen ist das Zuwachsen der Lücken im Kronendach. Die Verjüngungen könnten als Folge des Absterbens von Bäumen der Oberschicht bzw. von Durchforstungen (Sihlwald) entstanden sein. Nach wenigen Jahren könnten die frei gestellten Buchen die Lücken teilweise wieder füllen und so zu einer Übervertretung gewisser Höhenklassen im Jungwuchs führen.

Folgende möglichen Ursachen für die Senken der Stammzahlverteilungen können praktisch ausgeschlossen werden:

- **Samenjahre:** Jahre ohne Samenproduktion könnten als Ursache für Senken in den Stammzahlverteilungen ebenfalls in Frage kommen. Die hier festgestellten Senken kommen aber in bestimmten Höhenklassen vor, nicht in bestimmten Altersklassen. Die grosse Streuung der stichprobenweise erhobenen Jahrestriebe in einigen Höhenklassen lässt auf eine grosse Streuung der Baumalter in diesen Höhenklassen schliessen. Die Samenjahre bilden sich darum kaum in den Höhen der Bäume ab (BACHOFEN & BRANG 2001). Eine eindeutige Aussage wäre nur nach detaillierten Altersanalysen im Jungwuchs möglich.

- **Schalenwild:** In Uholka gibt es praktisch kein Schalenwild, mindestens dort kann es als Ursache ausgeschlossen werden. Auch im Sihlwald wurde im aufgenommenen Buchenjungwuchs nur wenig Wildverbiss beobachtet.
- **Nager, Insekten:** Es wurden keine Beeinflussung und Schäden des aufgenommenen Buchenjungwuchses durch Nager oder Insekten festgestellt.
- **Frost/Trockenheit:** Es konnten keinerlei Frost- oder Trockenschäden am Buchenjungwuchs beobachtet werden.

5. Ausblick

Es wurde gezeigt, dass in Buchenjungwüchsen unter Beschränkung deutliche Untervertretungen gewisser Höhenklassen vorkommen. Solche Senken können durch zeitlich gestaffeltes Aufkommen der Verjüngung bedingt sein, zum Beispiel nach schlechten Samenjahren. Auch tatsächliche Ausfälle von Bäumen im Jungwuchs durch verschiedene Störungen können Grund dafür sein. Bei der Interpretation von Unregelmässigkeiten in Stammzahlverteilungskurven des Jungwuchses, aber auch von älteren Beständen, sind ausserdem unterschiedliche Durchwuchsgeschwindigkeiten durch die Klassen sowie mögliche aufnahmetechnische Gründe zu berücksichtigen.

Weshalb die beobachteten Minima in der Stammzahlverteilung im Sihlwald und in Uholka im genau gleichen Höhenbereich auftreten, kann ohne weitere Untersuchungen nicht erklärt werden.

Zusammenfassung

Die Stammzahlverteilungen der Naturverjüngung unter je einem Buchenaltbestand im Sihlwaldreservat (Schweiz) und im Urwaldreservat von Uholka (Ukraine) zeigen auffällige Untervertretungen in den Höhenklassen um 140 cm. Aufnahmetechnische Gründe können die Senken nur teilweise erklären. Mit einem Höhenklassenmodell wird gezeigt, dass sich unterschiedliche Jahreshöhentriebe pro Höhenklasse und damit unterschiedliche Durchwuchsgeschwindigkeiten durch die Klassen massgebend auf die Stammzahlverteilung auswirken können. Stichprobenweise Nachmessungen im Sihlwald zeigten tatsächlich grosse Unterschiede der Höhentriebe nach Höhenklassen für die drei letzten Jahre. Die Senke, die daraus resul-

tiert, deckt sich aber nicht genau mit der beobachteten Senke; es müssen also noch andere Gründe mitspielen. Weil ausserdem auch die Höhentriebe von Jahr zu Jahr stark schwanken, handelt es sich bei den beobachteten Senken vermutlich nur um kurzfristige Erscheinungen.

Résumé

L'influence des erreurs de relevé et des processus de croissance sur la répartition du nombre de tiges dans des régénérations naturelles de hêtres sous le couvert de vieux arbres. Comparaison d'un peuplement de hêtres proche de l'état naturel dans le Sihlwald, en Suisse, avec un peuplement dans la hêtraie primaire de Uholka, en Ukraine

Les répartitions du nombre de tiges dans une régénération naturelle sous le couvert d'un vieux peuplement de hêtres dans la réserve forestière du Sihlwald, en Suisse, et dans la réserve de forêt primaire de Uholka, en Ukraine, indiquent de remarquables sous-représentations dans la classe de hauteur avoisinant 140 cm. Les méthodes de relevé ne peuvent que partiellement expliquer cette tendance. Une modélisation a montré que la diversité de la longueur des pousses apicales annuelles par classe de hauteur et donc la rapidité variable du passage d'une classe à l'autre peuvent exercer une influence décisive sur la répartition du nombre de tiges. Les contrôles par échantillonnage réalisés ultérieurement dans le Sihlwald révèlent effectivement de grandes différences parmi les pousses apicales des diverses classes de hauteur au cours des trois dernières années. Etant donné que l'affaissement de la courbe qui en résulte ne concorde pas exactement avec les observations, d'autres raisons doivent encore entrer en ligne de compte pour expliquer ce phénomène. En outre, la longueur des pousses apicales varie aussi fortement d'une année à l'autre. Nous supposons par conséquent que ces baisses ne sont que des phénomènes de courte durée.

Traduction: MONIQUE DOUSSE

Summary

The influence of survey errors and growth processes on stem distribution in young growth under old beech growth. Comparison of a close-to-nature beech stand in the Sihlwald, Switzerland and a virgin beech stand in the Uholka forest, Ukraine

The stem distributions in natural regeneration under an old-growth beech stand in the Sihlwald forest reserve and in the virgin forest reserve Uholka (Ukraine) show conspicuous sinks around the 1,40 m height-class. Technical survey methods can accentuate the sinks but they are not the only reasons for their occurrence. Simulated models reveal that differing lengths of height shoots in a height class and thus the differing speed with which the stems grow through the height-class, can have a decisive effect on the stem distribution. Sample re-measurements in the Sihlwald showed big differences of length of the annual shoots in the different classes over the past three years. The sinks in the model do not exactly correspond to the observed sinks and we can therefore conclude that other reasons also play a role. Since the height growth varies greatly from year to year, sinks are only a passing phenomenon.

Translation: CHRISTIAN MATTER

Bibliografie

- ASSMANN, E. 1961: Waldertragskunde. BLV, München, Bonn, Wien. 490 S.
- BACHOFEN, H. 1996: Struktur- und Wachstumsveränderungen in einer Plenterversuchsfläche der subalpinen Stufe. In: Kenk, G. (Hrsg.): Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten. Sektion Ertragskunde. Jahrestagung 1996, Neresheim, 20.–22. Mai 1996. Freiburg: 24–45.
- BACHOFEN, H. 1999: Gleichgewicht, Struktur und Wachstum in Plenterbeständen. Schweiz. Z. Forstwes. 150, 5: 157–170.
- BACHOFEN, H.; BRANG, P. 2001: Verjüngungserfolg nach Pflegeeingriff. Bündnerwald 54, 2: 20–22.
- BACHOFEN, H. 2002a: Erfassung der Verjüngung in Versuchsflächen der Waldwachstumsforschung; Methode und erste Resultate. In: Kenk, G. (Hrsg.): Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten. Sektion Ertragskunde. Jahrestagung 1996, Neresheim, 20.–22. Mai 1996. Freiburg: 177–184.
- BACHOFEN, H. 2002b: Sihlwald Aufnahmeanleitung. Unveröffentlichtes Papier, WSL Birmensdorf.
- BRÄNDLI, U.-B.; DOWHANYTSCH, J. (Red.) 2003: Ein Naturführer durch das Karpaten-Biosphärenreservat in der Ukraine. Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf; Rachiw, Karpaten-Biosphärenreservat. Haupt, Bern, Stuttgart, Wien. 192 S.
- BRANG, P.; KULL, P. 1999: Verjüngungsaufnahmen auf LWF-Flächen: Ziele und Methoden. Unveröffentlicht. 11 S.
- COMMARMOT, B.; SHPARYK, Y.S.; SUKHARIUK, D.D.; ZINGG, A. 2001: A better economy with unevenaged structures? Comparison of structures of virgin and managed beech forests in Ukraine and Switzerland. Poster, 19.9.01, WSL Birmensdorf.
- COMMARMOT, B.; BACHOFEN, H.; BÜRGI, A.; RAMP, B.; SHPARYK, Y.S.; SUKHARIUK, D.; VITER, R.M. in press: Structure of virgin and managed beech forests: First results of a case study in Uholka (Ukraine) and Sihlwald (Switzerland).
- DOHRENBUSCH, A. 1990: Die Verjüngungsentwicklung der Buche (*Fagus sylvatica* L.): Bericht einer langfristigen Beobachtung im Solling. Sauerländer, Frankfurt am Main (Schriften aus der forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen forstlichen Versuchsanstalt 97).
- GRIGORIADIS, N. 1991: Waldbaulich-ökologische Untersuchungen über die Buche und ihre Naturverjüngung in Nordgriechenland 1991. Dissertation an der Albert-Ludwigs-Universität. Freiburg im Breisgau. 158 S.
- KOOP, H.; HILGEN, P. 1987: Forest Dynamics and Regeneration Mosaic Shifts in Unexploited Beech (*Fagus sylvatica*) Stands at Fontainebleau (France). Forest Ecology and Management 20: 135–150.
- KORPEL', S. 1995: Die Urwälder der Westkarpaten. Fischer, Jena, Stuttgart, New York. 310 S.
- KRAMER, H. 1988: Waldwachstumslehre. Paul Parey, Hamburg, Berlin. 374 S.
- KURTH, A. 1946: Untersuchungen über Aufbau und Qualität von Buchendickungen. Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen 24: 581–658.
- LEIBUNDGUT, H. 1981: Die natürliche Waldverjüngung. Haupt, Bern. 107 S.
- LEIBUNDGUT, H. 1982: Europäische Urwälder der Bergstufe. Haupt, Bern. 308 S.
- OTTO, H.-J. 1994: Waldökologie. Ulmer, Stuttgart. 391 S.
- SCHÜTZ, J.-P. 2001: Der Plenterwald und weitere Formen strukturierter und gemischter Wälder. Parey, Berlin. 207 S.
- TABAKU, V. 2000: Struktur von Buchen-Urwäldern in Albanien im Vergleich mit deutschen Buchen-Naturwaldreservaten und -Wirtschaftswäldern. Dissertation, Universität Göttingen, Cuvillier Verlag, Göttingen.
- WENK, G.; VAIDOTAS, A.; ŠMELKO, Š. 1990: Waldertragslehre. Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.
- ZINGG, A.; DUC, P. 1998: Beurteilung des Gleichgewichtszustandes in Plenterwaldversuchsflächen. In: Kenk, G. (Hrsg.): Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten. Sektion Ertragskunde. Jahrestagung 1998, Neresheim, 25.–27. Mai 1998. Freiburg: 147–156.

Dank

Ohne die nachfolgend aufgeführten Mitarbeiter hätten die aufwändigen Jungwuchsaufnahmen nicht durchgeführt werden können: P. D. Markiv, Taras Parpan, V.I. Parpan, Yuriy Shparyk, V.Y. Shparyk, Roman Viter (alle Ukraine), René Bürgi, Enrico Cereghetti, Konrad Häne, Christian Matter, Bernhard Ramp, Thomas Reich (alle WSL).

Autor

HANS-ENRICH BACHOFEN, dipl. Forsting. ETH, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf. E-Mail: bachofen@wsl.ch.