

Kay H. Müller

Lückendynamik in Fichtenreinbeständen des
Erzgebirges –
Bestandesreaktion, Ressourcenverfügbarkeit
und Empfehlungen zum Waldumbau

Heft **18**
April 2004

Forstwissenschaftliche Beiträge Tharandt /
Contributions to Forest Sciences

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	1
1.1	PROBLEM UND ZIELSTELLUNG	1
1.2	BISHERIGE UNTERSUCHUNGEN – KENNTNISSTAND	3
2	MATERIAL UND METHODEN	10
2.1	UNTERSUCHUNGSGEBIET	10
2.1.1	Lage und Klima	10
2.1.2	Geologie und Boden	12
2.1.3	Vegetation und Ökosystem	13
2.2	VERSUCHSFLÄCHEN	14
2.2.1	Definition der „Bestandeslücke“	14
2.2.2	Auswahlkriterien und Versuchsplan	15
2.2.3	Charakterisierung der Versuchsflächen	16
2.3	VERSUCHSDSIGN UND ERHEBUNGSKONZEPT	18
2.4	BESTANDESAUFNAHME	21
2.4.1	Aufnahme der oberirdischen Bestandesparameter	21
2.4.2	Wurzeluntersuchung	31
2.4.3	Vegetationsaufnahme	42
2.5	ERFASSUNG DER ÖKOLOGISCHEN PARAMETER	44
2.5.1	Strahlungsmessung	45
2.5.2	Bestimmung bodenhydrologischer Parameter	51
2.5.3	Vergleichende Bodenanalysen	55
2.6	LUFTBILDAUSWERTUNG	57
2.7	DATENVERARBEITUNG UND STATISTISCHE VERFAHREN	58
3	ERGEBNISSE	66
3.1	OBERIRDISCHER ZUSTAND UND ENTWICKLUNG DER BESTÄNDE	66
3.1.1	Bestandes- und Kronenstruktur	66
3.1.2	Durchmesserwachstum	74
3.1.3	Kronenausbildung	79
3.1.4	Astmorphologie	87
3.1.5	Charakteristik der Bodenvegetation	91
3.2	UNTERIRDISCHER ZUSTAND UND ENTWICKLUNG DER BESTÄNDE	96
3.2.1	Feinwurzelinventur	96
3.2.2	Verteilungsmodell für Fichtenfeinwurzeln	99
3.2.3	Feinwurzelkarten	105
3.2.4	Veränderungen der Feinwurzeldichte	109

3.3	OBERIRDISCHE RESSOURCENVERFÜGBARKEIT	116
3.3.1	Methodenstudie	116
3.3.2	Strahlungsmeßwerte	120
3.3.3	Strahlungskarten	126
3.4	UNTERIRDISCHE RESSOURCENVERFÜGBARKEIT	131
3.4.1	Vergleich der Bodenkennwerte	131
3.4.2	Verlauf der Bodensaugspannung und Verteilung der Bodenfeuchtigkeit.....	134
3.4.3	Beziehung zwischen Wassergehalt und Saugspannung.....	137
3.5	SYSTEMARE ZUSAMMENHÄNGE.....	141
3.5.1	Oberirdische Wachstumsbeziehung.....	141
3.5.2	Kronen- und Wurzelbildung.....	142
3.5.3	Feinwurzelverteilung und Bodensaugspannung	144
3.5.4	Strahlung und Bodenfeuchte.....	148
3.5.5	Bioindikation des Wuchspotentials	149
3.6	LÜCKEN-HÄUFIGKEITSVERTEILUNG	152
4	DISKUSSION UND FOLGERUNGEN	157
4.1	METHODENKRITIK	157
4.1.1	Lückenerfassung.....	157
4.1.2	Versuchsaufbau	159
4.1.3	Wurzeluntersuchung.....	163
4.1.4	Ressourcenerfassung	168
4.2	REAKTION VON FICHTENBESTÄNDEN AUF BESTANDESLÜCKEN	172
4.2.1	Oberirdische Reaktion des Bestandes.....	173
4.2.2	Reaktion im Feinwurzelbereich	179
4.2.3	Beziehungen zwischen Sproß und Wurzel	187
4.3	RESSOURCENVERFÜGBARKEIT IN BESTANDESLÜCKEN	189
4.3.1	Strahlung.....	189
4.3.2	Bodenwasser.....	192
4.4	RESSOURCENNUTZUNG IN BESTANDESLÜCKEN.....	196
4.5	EMPFEHLUNGEN FÜR DEN WALDUMBAU	201
4.6	AUSBLICK	206
5	ZUSAMMENFASSUNG	208
6	LITERATURVERZEICHNIS	216

5 Zusammenfassung

Die vorliegende Untersuchung wurde im Rahmen des BMBF-Verbundprojektes „Zukunftsorientierte Waldwirtschaft“ durchgeführt. Gegenstand der Arbeit waren die durch Schadereignisse (Störungen) entstehenden Bestandeslücken mit dem Ziel, die Reaktion von Fichtenreinbeständen an den Lückenrändern und die damit verbundenen Veränderungen der Ressourcenverfügbarkeit aufzuzeigen. Diese Dynamik sollte Zusammenhänge zwischen ober- und unterirdischen Parametern aufdecken und Empfehlungen für den Waldumbau erlauben. Dazu wurden in den Mittleren Lagen des Erzgebirges sechs Bestandeslücken ausgewählt, die sich in der Lückengröße und im Alter des umgebenden Bestandes unterscheiden, aber nahezu zeitgleich im Winterhalbjahr 1995/96 entstanden sind. Alle Versuchsflächen befinden sich auf durchschnittlich wasserversorgten Gneis-Braunerden mittlerer Trophie in den Sächsischen Forstämtern Olbernaue und Heinzbank in einer Höhenlage zwischen 550 und 650 m ü.NN.

Methodik

Oberirdisch wurden die Wachstumsverläufe des Stammdurchmessers in Brusthöhe und der Astlängen in jeweils drei Kronensektionen gleicher relativer Länge fünf Jahre vor bzw. nach Lückenentstehung retrospektiv erfasst und Parameter zur Kronenmorphologie der Randbäume nach dem Verfahren von GRUBER (1992) erhoben. Mit der Aufnahme von Deckungsgrad und mittlerer Sprosslänge der Bodenvegetation wurde mit der Regressions-schätzung von BOLTE (1999) die horizontale Verteilung der oberirdischen Biomasse innerhalb der Lücken ermittelt. In den Jahren 2000 und 2001 wurde mit der sternförmigen Entnahme von Bodenzylindern die räumliche Verteilung der Feinwurzel-dichte über ein Korrelationsmodell (RIBBENS et al. 1994) in einer Tiefe von 0-6 cm und 6-20 cm des Mineralbodens beschrieben und mittels Einwuchsnetzen die Netto-Veränderung der Feinwurzelbiomasse dokumentiert. Die Erfassung der ökologischen Faktoren beschränkte sich oberirdisch auf die Strahlungsintensität mittels PAR-Sensoren und Fisheye-Aufnahmen bzw. unterirdisch auf das Bodenwasser über FD-Sonde und Tensiometer. Für die horizontale Darstellung der Ressourcenverfügbarkeit mit hoher räumlicher Auflösung wurde das Strahlungsmodell des Institutes für Bioklimatologie der Universität Göttingen genutzt und mit Hilfe von Wasserspannungskurven aus den ermittelten Wassergehalten des Bodens der entsprechende Saugspannungswert geschätzt. Mit einer Luftbildanalyse wurde die Lückenhäufigkeitsverteilung für die Mittleren Lagen des Erzgebirges erstellt.

Oberirdische Bestandesreaktion auf Lücken

Nach Lückenentstehung kommt es an den Randbäumen zu einem signifikanten Lichtungszuwachs. Dieser ist in den 70jährigen Beständen höher als in den Jungbeständen und dort wiederum höher als in den Altbeständen. Generell weisen 15m-Lücken eine geringere Zuwachsdifferenz auf, da der Wuchsraum des einzelnen Randbaumes nicht unmittelbar vom Abstand zu umliegenden Bäumen, sondern mehr vom Öffnungswinkel zu den beiden „Randnachbarn“ abhängt. Damit liegt die Wuchssteigerung in 30m-Lücken 70jähriger Bestände am höchsten. Die Randbäume sind mit geringeren h/d-Werten i.d.R. stabiler als Bäume im Bestand.

Mit der Erweiterung des Wuchsraumes durch die Lückenentstehung verschiebt sich der Zuwachs zugunsten der Äste, die in die Lücke wachsen. Besonders stark verändert sich die Kronenperipherie im unteren Kronendrittel bzw. in 30m-Lücken von Jungbeständen. Dennoch überwiegt die altersbedingte Abnahme des Astwachstums, was den Nachweis des Zusammenhangs der Wuchsreaktion mit der Lückenentstehung erschwert.

Wesentliche Veränderungen zeigen sich in der Kronenmorphologie durch die hohe Regenerationsfähigkeit von Fichten. Der regional vorherrschende Bürstentyp der Kronen tendiert in Richtung Lücke und im gesamten oberen Kronendrittel zur unregelmäßigen Kammform mit voller Benadelung und somit zu weniger an Beschattung adaptierte Formen. Die Häufigkeit plattenförmiger Äste ist in Richtung Bestand und besonders im unteren Kronendrittel (Schattenkrone) auffallend hoch. Zudem sind diese Äste um eine 20%-Stufe schlechter benadelt.

Unterirdische Bestandesreaktion auf Lücken

Aus dem monoton fallenden Verlauf der Feinwurzeldichte mit zunehmender Entfernung vom Lückenrand ergaben sich für die gesicherte Reichweite lebender Feinwurzeln durchschnittlich 4,6 m in den 30m-Lücken und 4,1 m in den 15m-Lücken. Durch die mit zunehmender Entfernung vom Lückenrand von 77 % auf 169 % ansteigende Streuung der Feinwurzeldichte, wird nicht nur von einem Bereich abnehmender Wurzeldichte, sondern auch zunehmend geklumpter Verteilung ausgegangen, bis es schließlich zu wurzelfreien Bereichen im Lückenzentrum kommt. Die Größe von „Wurzellücken“ liegt in 30m-Lücken bei 5 Ar und in 15m-Lücken nur bei ein bis zwei Kronenschirmflächen. Abweichend davon zeigen sich mit dem Einfluß der Bestandesdichte in 30m-Lücken 35jähriger Bestände und in 15m-Lücken 105-jähriger Bestände ähnliche Ausmaße von 160 m². Die Feinwurzeler-schließung der Lückenrandbäume übertrifft den Kronenradius im Mittel um 1,6 m.

Die stärksten Veränderungen der Feinwurzel-dichte zwischen den Jahren 2000 und 2001 wurden mittels Differenz- und Einwuchsmethode bei 2,2 m Entfernung vom Lückenrand bestimmt. Während sich in 30m-Lücken der feinwurzelfreie Bereich nur unwesentlich verringert, wird dieser in den 15m-Lücken als Ergebnis des mit kleiner werdendem Lückendurchmesser zunehmend ungünstigeren Verhältnisses von Lückenfläche zu Lückenumfang stark besiedelt. Eine Ausnahme bildet die 30m-Lücke im Jungbestand, in der sich die Wurzellücke im Radius um 1,3 m vergrößert.

Ressourcenverfügbarkeit in Lücken

Für die photosynthetisch aktive Strahlung ergibt sich in Bestandeslücken durch den höheren Anteil direkter Strahlung ein deutlicher Nord-Süd-Gradient, d.h. Maximalwerte im Nordbereich der Lücken und ein halbmond-sichelförmiger Verlauf niedriger Strahlungswerte in der Südhälfte. In den 30m-Lücken wurde mit Werten zwischen 30 und 50 % der Freilandstrahlung ein deutlicher Lichtgewinn gegenüber der Situation vor Lückenentstehung ermittelt. Dagegen unterscheidet sich der relative Lichtgenuß in den 15m-Lücken mit Werten zwischen 10 und 30 % nicht wesentlich vom Bestandesinneren. Die Schätzwerte aus hemisphärischen Fotos und dem Strahlungsmodell werden durch die Messung über PAR-Sensoren bestätigt.

Die nahezu konzentrisch zum Lückenrand abnehmende Verteilung der Bodenfeuchtigkeit im oberen Mineralboden wird nicht ausschließlich durch Bestandesniederschlag und Evaporation vorgegeben. Durch die enge Beziehung zwischen Feinwurzel-dichte und Bodensaugspannung nimmt auch bei starker Durchwurzelung des Bodens die Wasserverfügbarkeit ab. In den Wassergehalten treten Unterschiede zwischen den einzelnen Lücken sowie Altersstufen auf, die bei Betrachtung der Bindungskräfte des Wassers im Boden nicht vorkommen. Auf den Versuchsflächen kann für die Verjüngung in unmittelbarer Stammfußnähe besonders in Jungbeständen und in den Sommermonaten im Nordbereich von Lücken bei Werten über 500 hPa bzw. unter einem Wassergehalt von 18 % Wassermangel entstehen.

Die Bodenvegetation in 30m-Lücken wird speziell im Zentrum und Nordbereich durch eine hohe Anzahl und Mächtigkeit von Arten der Waldlichtungsflur geprägt. In älteren Beständen tritt als eudominante Art *Calamagrostis villosa* auf. Die daraus geschätzte, oberirdische Biomassenverteilung konnte als Resultierende aus Strahlung und Bodenfeuchte dargestellt werden, woraus sich das Wuchspotential der Verjüngung ableitet.

Empfehlungen für den Waldumbau

Gelingt es in Zukunft verstärkt, die hier beschriebene Lückendynamik abzuschätzen und besser quantifiziert in waldbaulichen Planungen zu berücksichtigen, dann ist die Einbeziehung natürlich entstandener Lücken in den Waldumbau eine sinnvolle Ergänzung zu den mit aktiven Eingriffen in die Bestände verbundenen Umbaumaßnahmen. Dabei bietet die Gesamtfläche an Störungslücken von 594 ha bzw. ein mittleres Lückenprozent über 1,2 in elf Revieren der Mittleren Lagen des Erzgebirges die Chance zur Erziehung strukturreicher Mischbestände mit starken und wertvollen Bäumen bei gleichzeitig geringem Produktionsrisiko.

Die Befürchtungen der Praxis bezüglich sich schnell wieder verschlechternder Bedingungen in Bestandeslücken können aus den vorliegenden Untersuchungen insbesondere für kleine Lücken bestätigt werden. In Lücken mit einer Größe von 30 m Durchmesser ist der passive Voranbau auch dann erfolgversprechend, wenn keine weiteren Nachlichtungen erfolgen. Um Pflanzenausfälle durch die Altbaumkonkurrenz zu minimieren, sollte zum Lückenrand ein Pufferbereich eingehalten werden. Für ein ausreichendes Wachstum von Jungpflanzen zeichnen sich aus Erkenntnissen anderer Autoren Ressourcen-Grenzwerte ab, die i.d.R. nicht außerhalb der Kronenränder liegen. Deshalb wird empfohlen, bei Verjüngungsmaßnahmen überschirmte Lückenflächen zu meiden, insbesondere an Nordrändern. In hiebsreifen Altbeständen ist dagegen die Einschränkung auf unüberschirmte Bereiche nicht erforderlich. Aufgrund der Wachstumsreaktion von Lückenrandbäumen sollte in Jungbeständen die Voranbaufläche in Relation zur Lückenfläche kleiner sein als in älteren Beständen.

Für den Erhalt der Bestandesstabilität und zur Vermeidung von Wertzuwachsverlusten in Beständen mit spontan entstandenen Lücken ist auf die Entnahme von Randbäumen durch sogenanntes Rändeln dieser Lücken zur Verbesserung der Verjüngungssituation zu verzichten.

Summary

Gap dynamics in Norway spruce stands of the German Ore Mountains

– Growth reaction, resource availability and recommendations for silviculture –

The investigation was performed within the scope of the BMBF joint project „Future-oriented forest management“. Subject matter of the research were the stand gaps that had formed due to damage events (disturbances) with the aim to show the reaction of pure Norway spruce stands at the margins of the gaps and the changes in resource availability. This dynamics was meant to uncover connections between above- and below-ground parameters as well as to lead to recommendations for silviculture. For this purpose, six gaps were selected in the central German Ore Mountains, varying in gap size and age of the surrounding stand, having, however, emerged almost simultaneously during the 1995/96 winter season. All study areas are located on gneiss-brown earth soils of average water supply and medium trophy in the Saxon forest districts Olberнау and Heinzebank at an elevation between 550 and 650 m a.s.l.

Methods

Above-ground, the growth trends of the stem diameter at breast height and of the lengths of branches have been retrospectively assessed each in three crown sections of the same relative lengths for five years prior to and after the gap formation, respectively, and parameters of crown morphology of the border trees were surveyed according to the method by GRUBER (1992). Through the assessment of dominance and average sprout length of ground vegetation, the horizontal distribution of above-ground biomass within the gaps was determined, using regression functions after BOLTE (1999). During 2000 and 2001 the spatial distribution of fine root density was described at a depth of 0-6 cm and 6-20 cm of mineral soil by the sampling of soil column cylinders in a pattern resembling spokes around the gap centre, applying a correlation model (RIBBENS et al. 1994). Furthermore the net-changing of fine root biomass was documented using ingrowth cores. The assessment of ecological factors was restricted above-ground to radiation intensity measured by PAR sensors and fisheye photos, and below-ground to the soil water, using FD-probe and tensiometers, respectively. For the horizontal description of resource availability with high spatial resolution the radiation model of the Institute of Bioclimatology, Göttingen University, was applied. The total soil water potential value was predicted by means of retention

curves from the determined soil water contents. An aerial photographic analysis yielded the gap frequency distribution for the middle elevation of German Ore Mountains.

Above-ground stand reaction on gaps

Following the gap formation, the border trees undergo a significant increment. This is higher in the 70-year-old stands compared to the young stands and there, in turn, higher than in the mature stands. In general, the 15-m gaps appear to have a lesser increment variation, because the growing space of the individual border tree does not immediately depend on the distance towards the surrounding trees. Rather it varies to a higher extent with the opening angle to the two “border neighbors”. Hence, growing performance increase is highest in 30-m gaps of 70-year-old stands. The border trees given lower h/d values are, as a rule, more robust than the trees in the stand.

With the extension of growing space due to the gap formation the increment shifts in favor of those branches growing into the gap. The crown periphery in the lower third of crown and in 30-m gaps of young stands, respectively, is subject to particularly strong changes. Nevertheless, the age-conditioned decrease of branch growth is dominant, a fact rendering the proof of a connection between growth reaction and gap formation more complicated.

Essential changes become obvious in crown morphology because of the high regenerative power of Norway spruce. The regionally predominant brush type of the crowns tends in the gap half of crowns, and in the overall upper crown third towards an irregular comb shape with full needle foliage and thus towards shapes less adapted to shading. The frequency of flat-shaped branches is conspicuously high in the direction of the stand and in particular within the lower third of the crowns (shade crown). In addition, these branches have 20 % less needles.

Below-ground stand reaction on gaps

From the monotonously decreasing course of fine root density with increasing distance from the gap edge, the significant range of living fine roots was on average 4.6 m in the 30-m gaps and 4.1 m in the 15-m gaps. Due to the variance of fine root density increasing from 77 % to 169 % with increasing distance from the gap edge, not only a zone of decreasing root density but also an increasingly aggregated distribution is assumed, until finally no roots are found any more towards the gap center. The size of “root gaps” has been found as for the 30-m gaps to account for 5 ar (1 ar equaling 119.6 square yards), whereas in the 15-m gaps it is but one to two tree-canopy areas. In contrast to this, along with the influence of stand density, similar dimensions have been encountered with 160 m² in the

30-m gaps of 35-year-old stands and in the 15-m gaps of the 105-year-old stands. The fine root assessment of the border trees exceeds the crown radius on average by 1.6 m.

The most pronounced changes of fine root density from 2000 to 2001 were ascertained, using the difference and ingrowth methods at a distance of 2.2 m to the gap edge. While the root gap undergoes only minor changes within the 30-m gaps, it is strongly colonized in the 15-m gaps as a result of the fact that with decreasing gap area there is an increasingly more unfavorable ratio of gap area to gap circumference. An exception to this is the 30-m gap in the young stand, where the root gap radially increases by 1.3 m.

Resource availability within the gaps

Regarding the photosynthetically active radiation, a distinct north-south gradient is apparent within the gaps due to the higher percentage of direct radiation, i.e. maximal values in the northern zone of the gaps and a crescent, sickle-shaped partitioning of the lower radiation values in the southern half. In the 30-m gaps with values between 30 and 50 % a distinct radiation increase was determined as compared to the situation prior to gap formation. In contrast to this, with values between 10 and 30 %, the relative irradiance in the 15-m gaps is not so much different from those prevalent in the stand. The estimates derived from the hemispherical photos and the radiation model are confirmed by the measurement via PAR-sensors.

The distribution of soil moisture in the upper mineral soil that reduces almost concentrically towards the gap edge is not exclusively governed by ground precipitation and evaporation. Owing to the close relationship between fine root density and total soil water potential the water availability decreases even if the rooting degree of the soil is high. Concerning the water contents, there are differences between the individual gaps as well as age classes, which do not occur regarding the binding forces of the water in the soil (soil tension). On the study areas, with respect to the regeneration at immediate stem vicinity especially in young stands and during the summer months in the northern zone of the gaps water deficiency might occur at values above 500 hPa or beneath a water content of 18 %.

The ground vegetation in 30-m gaps is especially characterized by a high number and cover-abundance index of species of the open forest area. In older stands the eu-dominant species *Calamagrostis villosa* is found. The above-ground biomass distribution could be derived as the resultant variable from radiation and soil moisture. It thence follows possible the deriving of the growth potential of regeneration.

Recommendations for silviculture

It should succeed in future to estimating the gap dynamics in a better way and to considering it in silvicultural planning in a better quantified manner. The incorporation of naturally formed gaps in silviculture will be a reasonable supplementation to the restoration measures linked with active operations in the stands now. In this regard, the total gap area of 594 ha or the average gap percentage of 1.2, respectively, in eleven forest ranges of the German Ore Mountains, provides a chance of growing mixed stands rich in structure, including large and high-grade trees, given a low production risk at the same time.

The concerns from the field regarding conditions within gaps that rapidly deteriorate again can be confirmed on the basis of investigations, especially for small gaps. In gaps with a diameter of 30 m the passive advanced planting is promising even in the case of no additional secondary thinning takes place. So as to minimize plants failures due to the competition by old trees, a buffer zone on the gap edge should be adhered. Regarding a sufficient growth of young plants, resource limit values are becoming apparent as stated by other authors, which, as a rule, are not found outside of the crown radius area. Therefore, regarding regeneration activities, it is recommended, to avoid canopy-covered gap areas, especially along the northern edges. In contrast to this, in mature stands the restriction to non-sheltered sections is not necessary. Because of the growth reaction of gap border trees in young stands the advanced planting area in relation to the gap area should be smaller than in older stands.

For maintaining the stand stability and preventing losses in value accretion in stands with spontaneously formed gaps the removal of border trees by so-called "Rändeln" to improve the conditions for regeneration should be abstained from.