

Räumliche Verteilung der Naturverjüngung auf grossen Lothar-Sturmflächen (reviewed paper)

PETER BRANG

Keywords: Zero-plot-diagram; spatial patterns; natural regeneration; windthrow areas; Poisson distribution. FDK 231 : 421.1 : (494)

Abstract: Natural regeneration data sampled on 1293 plots from nine windthrow areas were analysed using Cox's (1971) method of zero-plot-diagrams. Average sapling density was 600 to 6500 saplings ha^{-1} . Sapling counts indicated higher clumping than would occur with a random distribution of 1000 saplings ha^{-1} . From 2001 to 2004, the clumpiness of the natural regeneration increased, and the establishment of additional seedlings was positively correlated with seedling presence in 2001.

Abstract: Mit Nullflächendiagrammen nach Cox (1971) wurden Naturverjüngungsdaten von 1293 Probeflächen à 10 m^2 aus neun Sturmflächen analysiert. Die durchschnittliche Stammzahl lag zwischen 600 bis 6500 Bäumchen/ha. Die Naturverjüngung war stärker geklumpt als bei einer zufälligen Verteilung von 1000 Pflanzen/ha. In den Jahren von 2001 bis 2004 nahm die Klumpung der Naturverjüngung zu, und die Zahl dazugekommener Bäumchen war mit der Verjüngungspräsenz im Jahr 2001 korreliert.

1. Einleitung

Im Dezember 1999 haben die Stürme Lothar und Martin in der Schweiz Bäume mit einem Volumen von rund 13,8 Millionen Kubikmeter Holz geworfen oder gebrochen (RAETZ 2004). Auf vielen Sturmflächen ist die Vorverjüngung reichlich, und weitere Bäumchen haben sich nach dem Sturm angesamt (ANGST 2004; ANGST *et al.* 2004). Oft sind auch Samenbäume vorhanden, die genügend Naturverjüngung der gewünschten standortgerechten Baumarten erwarten lassen.

Es gibt aber auch Fälle mit Verjüngungsschwierigkeiten (ALDINGER & MICHELS 2001; KOCH & BRANG 2005). Typisch ist folgender Fall: Lothar hat einen Fichtenbestand (*Picea abies* (L.) Karst.) auf einem Buchenwaldstandort (*Fagus sylvatica* L.) auf einer Fläche von 2 bis 10 ha geworfen; primäre Waldfunktion ist die Holzproduktion; die Vorverjüngung fehlt weitgehend oder wurde bei der Holzernte beschädigt; Samenbäume standortgerechter Baumarten fehlen; der unmittelbar nach dem Sturm noch lockere Brombeerteppich (*Rubus fruticosus* aggr.) bedeckt zwei Jahre später die Fläche lückenlos anderthalb Meter hoch. In einem solchen Fall wird der gewünschte Jungwald verzögert aufkommen, und er wird zunächst vorwiegend aus Pionierbaumarten wie Birken (*Betula pendula* L.), Vogelbeeren (*Sorbus aucuparia* L.) und Weiden (*Salix* spec.) sowie aus Fichten bestehen. Bis sich weitere Zielbaumarten wie die Buche, der Bergahorn (*Acer pseudoplatanus* L.) und die Esche (*Fraxinus excelsior* L.) in standortgerechter Mischung einstellen, kann es in solchen Fällen mehrere Jahrzehnte dauern. Wer nicht so lange warten will, wird ergänzend pflanzen.

Mehrere Schweizer Kantone haben nach den Stürmen Lothar und Martin die Wiederbewaldung von Sturmflächen finanziell unterstützt. Dabei wurde zum Teil empfohlen, mit Ergänzungspflanzungen nach dem Sturm noch rund fünf Jahre zu warten, weil sich nach einem Sturm oft noch genügend Naturverjüngung einstellt. Ähnliches wurde in Baden-Württemberg empfohlen (ALDINGER & MICHELS 2001).

Was als «genügende» Naturverjüngung zu betrachten ist, hängt vom Standort, den waldbaulichen Zielen und der Risikobereitschaft der Entscheidungsträger ab. Der Standort bestimmt, welche Baumarten gut gedeihen; die waldbaulichen Ziele geben die zu erzielenden Produkte und Dienstleistungen an (z.B. Holz, Schutz vor Naturgefahren); die Risikobereitschaft der Entscheidungsträger bestimmt, mit welcher Wahrscheinlichkeit das waldbauliche Ziel erreicht werden muss. Die Unsicherheiten zur Frage, wann eine Kahlfäche als «genü-

gend» verjüngt anzusehen ist, zeigen sich in unterschiedlichen Zieldichten der Verjüngung (SCHULZE 1998). In Österreich wird z.B. in der Waldinventur ein Zielwert von 2500 Bäumchen/ha verwendet (in Hochlagenwäldern 1500 Bäumchen/ha, 10 bis 130 cm hohe Bäume, SCHODTERER 2003). ALDINGER & MICHELS (2001) schlagen Mindestwerte von 2000 Laubbäumen/ha und 1000 Nadelbäumen/ha vor.

Wenn die Verjüngung räumlich unregelmässig verteilt ist, lassen sich Jungwaldflächen durch alleinige Angabe der mittleren Verjüngungsdichten nicht aussagekräftig charakterisieren. Dieses Problem fand schon früh Aufmerksamkeit, zunächst vor allem in tropischen Wäldern, wo mit Naturverjüngung gearbeitet wurde. Cox (1971), LOETSCH (1973) und DIGGLE (2003) geben eine Übersicht über entsprechende Methoden. Um «Fehlstellen» der Verjüngung zu erfassen, wurde in Frankreich ein Inventurverfahren für Verjüngungsflächen vorgeschlagen. Dabei wird der Anteil von verjüngungsfreien Teilflächen von 60 m^2 Grösse mit Stichprobennetzen erfasst (Kreisfläche mit 4,37 m Radius oder Rechteckfläche, ANONYMUS 2002). Flächen ohne Verjüngung von mindestens 60 m^2 Fläche werden bei diesem Verfahren also als problematisch betrachtet.

Cox (1971) hat mit dem Nullflächendiagramm eine neue Darstellungsart der Häufigkeitsverteilung von Daten aus Verjüngungsinventuren oder anderer Punktverteilungen entwickelt. Eine Nullfläche ist die maximale Kreisfläche ohne Verjüngung rund um einen beliebigen Punkt. Auf einer bestimmten Waldfläche sind kleine Nullflächen häufiger als grosse. Die Nullflächengrösse an einem Messpunkt in der Verjüngungsfläche kann unterschiedlich dargestellt werden: als Distanz zwischen dem Messpunkt und der ersten Verjüngungspflanze, als Kreisfläche mit einem dieser Distanz entsprechenden Radius oder, umgerechnet, als erwartete Anzahl der Bäume auf einem Probekreis fixer Grösse. Cox (1971) hat letztere Definition verwendet: Die Grösse m ist die im Populationsdurchschnitt in der Nullfläche einer bestimmten Grösse enthaltene Anzahl Individuen. Das Nullflächendiagramm ist eine «graphische Darstellung der Beziehung zwischen dem Logarithmus des Prozentsatzes an Probeflächen, die 0 Individuen beinhalteten ($\log [p(0)]$) und der durchschnittlichen Anzahl von Individuen pro Probefläche (m)» (Cox 1971, S. 105). Bei zufälliger räumlicher Verteilung (Poisson-Verteilung) und bei negativen Binomialverteilungen, bei welchen die Verjüngung gegenüber zufälliger Verteilung stärker geklumpt ist, entspricht der Verlauf des Nullflächendiagramms einer Geraden. Knicke in einem Nullflächendiagramm weisen auf die Über- bzw. Unter-

Tabelle 1: Versuchsflächenbeschreibung.

Die Pflanzengesellschaften richten sich nach der Nomenklatur in SCHMIDER et al. (1994). Es handelt sich vorwiegend um leicht saure Buchenwaldgesellschaften.

Table 1: Description of study areas.

Sites were classified according to SCHMIDER et al. (1994), and are mostly slightly acid beech forest communities.

Lokalname Locality	Gemeinde/Kanton Community/Canton	Flächengrösse (ha) Size of study area (ha)	Höhenlage (m ü.M.) Altitude (m above sea level)	Pflanzengesellschaft Site association	Gepflanzte Baumart Tree species planted
Le Chêtre	Bonfol/Jura	1,80	450–460	7aS/7b, 7a/7d	Stieleiche
Höhragen	Bülach/Zürich	1,80	415–420	7d	Stieleiche
Äntenmoos Folenweid Schwandächer	Bremgarten/Aargau	1,80	360–365	7a, 7d, 7g	Stieleiche
Galgehübel	Habsburg/Aargau	1,80	445–455	7a, 7d	Stieleiche
Grandes Côtes	Lausanne/Vaud	1,20	820–840	8a, 8aS	Bergahorn
Bloster	Murten/Fribourg	1,80	560–570	7a, 7b, 7a _S	Stieleiche
Buebenloo	Urtenen/Bern	1,80	565–575	7d	Stieleiche
Buebenloo	Urtenen/Bern	1,20	560–575	7d	Bergahorn
Arbergwald	Zell/Luzern	1,20	750–760	7d (6)	Bergahorn

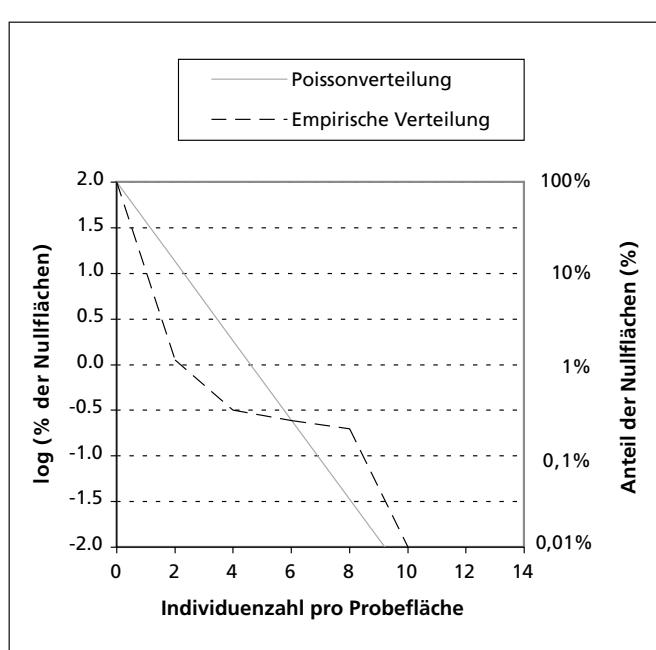
vertretung bestimmter lokaler Verjüngungshäufigkeiten gegenüber diesen theoretischen Verteilungen hin. In Abbildung 1 ist ein Beispiel dargestellt: Hier sind Stellen mit sehr wenig Verjüngung (0 bis 2 Pflanzen pro Probefläche) und viel Verjüngung (>8 Pflanzen) übervertreten, solche mit 2 bis 8 Pflanzen untervertreten.

Bei einer Poisson-Verteilung hängt die Position eines Individuums nicht von der Position von Nachbarindividuen ab. Die

Poisson-Verteilung liegt bezüglich Regelmässigkeit der Abstände zwischen benachbarten Individuen zwischen einer systematischen Verteilung, wie sie bei einer flächigen Pflanzung mit dem Ziel einer Vollbestockung entsteht, und den oft in Naturverjüngungen vorkommenden geklumpten Verteilungen (Cox 1971). Die Poisson-Verteilung stellt damit einen zweckmässigen Kompromiss zwischen dem Anspruch nach Vollbestockung – und damit Ausnutzung des Produktionspotenzials eines Waldstandorts – und der natürlichen Walddynamik dar. Aus ihr lassen sich daher Sollverläufe des Nullflächendiagramms in Wäldern mit Holzproduktionsfunktion ableiten.

Das Nullflächendiagramm wurde bisher selten angewendet (LOETSCH 1973). Dazu mag beigetragen haben, dass die ursprüngliche Idee der Nullfläche als «Fläche ohne Verjüngung» in der von Cox vorgeschlagenen Ausführung des Nullflächendiagramms nicht mehr klar erkennbar ist: Effektiv handelt es sich bei diesem Diagramm um die kumulative Häufigkeitsverteilung der Anzahl Bäumchen auf Probeflächen (Abbildung 1).

In diesem Aufsatz möchte ich das Potenzial des Nullflächendiagramms an Verjüngungsdaten von Sturmflächen prüfen. In einem nach dem Sturm Lothar eingerichteten Feldexperiment zur Trupppflanzung auf Sturmflächen mit Verjüngungsschwierigkeiten (KOCH & BRANG 2005) wurde auch die Naturverjüngung erfasst. Die Daten geben die Möglichkeit, folgende Fragen zu untersuchen: Wie ist die Naturverjüngung verteilt? Wie häufig sind verjüngungsfreie Stellen von definierter Grösse? Stellt sich die Naturverjüngung eher dort ein, wo bereits Verjüngung vorhanden ist, oder dort, wo diese fehlt?

**Abbildung 1: Nullflächendiagramm nach Cox (1971).**

Lesebeispiel: Der Anteil an Probeflächen, die bei Poisson-Verteilung höchstens zwei Pflanzen enthalten, beträgt $10^{1,2} = 16\%$. Die empirische Verteilung gibt einen Fall mit stark geklumper Verjüngung und vielen Fehlstellen wieder.

Figure 1: Zero-plot-diagram according to Cox (1971).

Example: The proportion of plots that contain at most two plants when a Poisson distribution is assumed amounts to $10^{1,2} = 16\%$. The empirical distribution shows a case with strongly clumped regeneration and many plots without any saplings.

2. Material und Methoden

Im Frühjahr 2001 wurden auf Lothar-Sturmflächen mit Verjüngungsschwierigkeiten im schweizerischen Mittelland acht 1,0 bis 1,8 Hektar grosse Versuchsflächen angelegt (Tabelle 1). Eine weitere Fläche kam im Frühjahr 2002 dazu. Auf diesen Flächen werden in einem Feldexperiment vier Verfahren der Bestandesbegründung getestet: Eine Reihenpflanzung, zwei Varianten der Trupppflanzung und reine Naturverjüngung. Pro Versuchsfläche ist jede Variante drei Mal wiederholt. Die

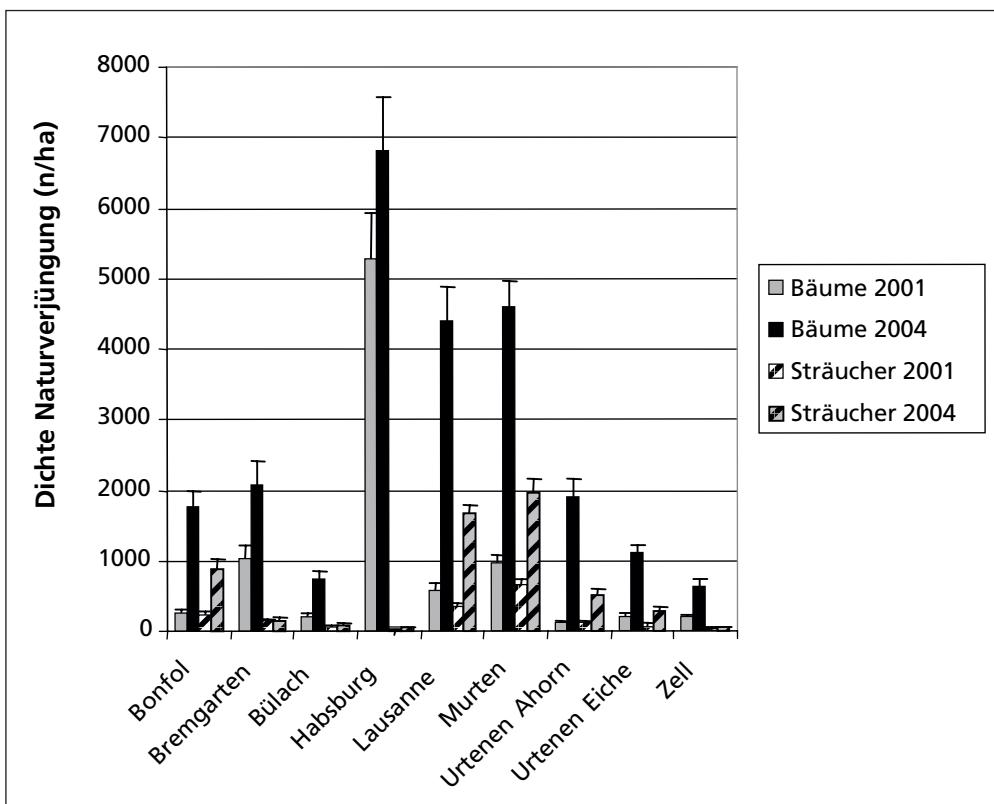


Abbildung 2: Dichte der Naturverjüngung 2001 und 2004 auf neun Sturmflächen.

Mittelwert \pm Standardfehler des Mittelwertes. Es wurden alle Verjüngungspflanzen ≥ 20 cm erfasst. Pro Sturmfläche flossen 141 bis 144 Probeflächen ein.

Figure 2: Density of natural regeneration in 2001 and 2004 on nine windthrow areas.

Mean \pm standard error of mean. Every sapling exceeding 20 cm in height was sampled. In each area, 141 to 144 plots were studied.

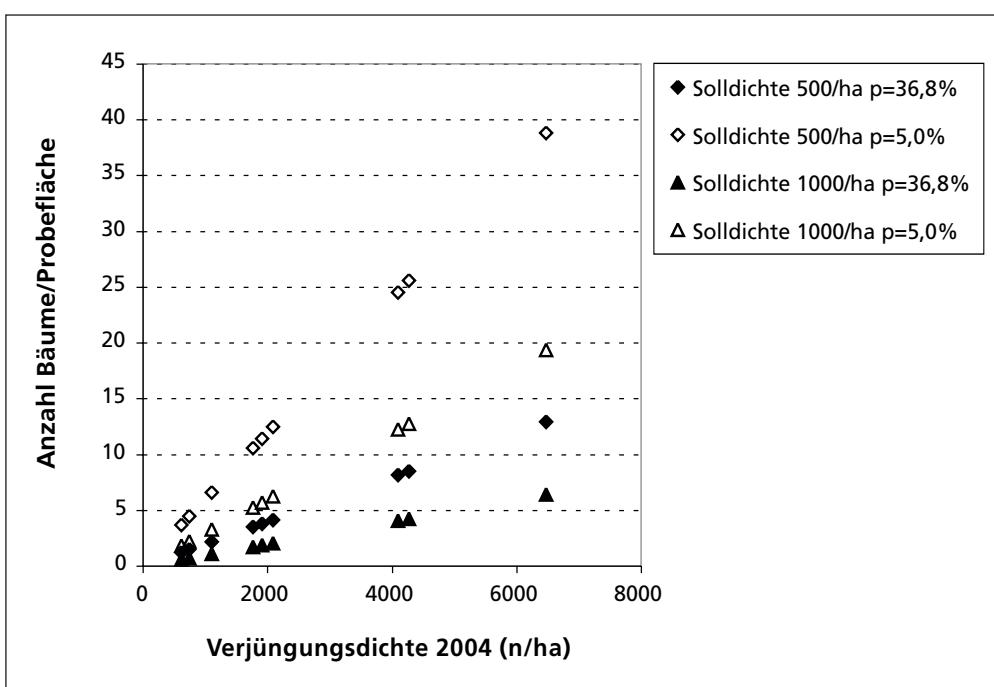


Abbildung 3: Prüfwerte der Nullflächendiagramme bei den auf den Versuchsfächeln im Sommer 2004 festgestellten Verjüngungsdichten.

p = kumulative Häufigkeit. Lesebeispiel: Bei einer tatsächlichen Verjüngungsdichte von 4090 Bäumchen/ha sollten bei Poisson-Verteilung mit Solldichte 1000 Bäumchen/ha 5% der Probeflächen mindestens 12,3 Bäumchen aufweisen, 36,8% mindestens 4,1 Bäumchen.

Figure 3: Target values for zero-plot diagrams for the sapling densities found in summer 2004 in the study areas.

p = cumulative frequency. Example: If the real sapling density is 4090/ha and a Poisson distribution with a target density of 1000 saplings/ha is assumed, 5% of the plots should contain at least 12.3 saplings, and 36.8% at least 4.1 saplings.

Versuchsfächen liegen auf mässig sauren Buchenwaldstandorten (Tabelle 1). Die Versuchsanlage, die Varianten und die Aufnahmemethoden sind in KOCH & BRANG (2005) detailliert beschrieben.

Die Naturverjüngung von Bäumen und Sträuchern wurde auf jeder Versuchsfäche auf 141 bis 144 Probeflächen mehrmals aufgenommen. In diesem Aufsatz werden die Daten aus den Jahren 2001 und 2004 verwendet. Die Stichproben sind in einem systematischen Dreiecksgitter im Endabstand der Zielbaumarten Stieleiche (*Quercus robur* L., Endabstand 12 m) bzw. Bergahorn (9 m) angeordnet. Jede Stichprobe umfasst zwei konzentrische kreisförmige Probeflächen: Einen Innenkreis von 0,50 m² Fläche (0,40 m Radius), der wegen möglicher Trittschäden durch die Feldaufnahmen nicht aufgenommen

wurde, und einen Außenkreis von 10,5 m² Fläche (1,83 m Radius, nach Abzug des Innenkreises: 10,0 m² Fläche), in dem alle natürlich verjüngten Gehölze (Mindesthöhe 20 cm) erfasst wurden. Von diesen Daten wurde für diesen Aufsatz nur die Anzahl Individuen pro Gehölzart und Probefläche verwendet, und zwar getrennt für Bäume und Sträucher. Als Baumarten kamen vor: *Abies alba*, *Acer pseudoplatanus*, *A. platanoides*, *Betula pendula*, *Carpinus betulus*, *Fagus sylvatica*, *Fraxinus excelsior*, *Larix decidua*, *Pinus sylvestris*, *P. strobus*, *Picea abies*, *Populus nigra*, *P. tremula*, *Prunus avium*, *Quercus petraea*, *Q. robur*, *Salix spec.*, *Sorbus aucuparia*, *Tilia platyphyllos*, *Ulmus glabra*. Als Sträucher kamen vor: *Corylus avellana*, *Crataegus spec.*, *Lonicera xylosteum*, *Prunus padus*, *Sambucus racemosa*, *S. nigra*, *Viburnum opulus*.

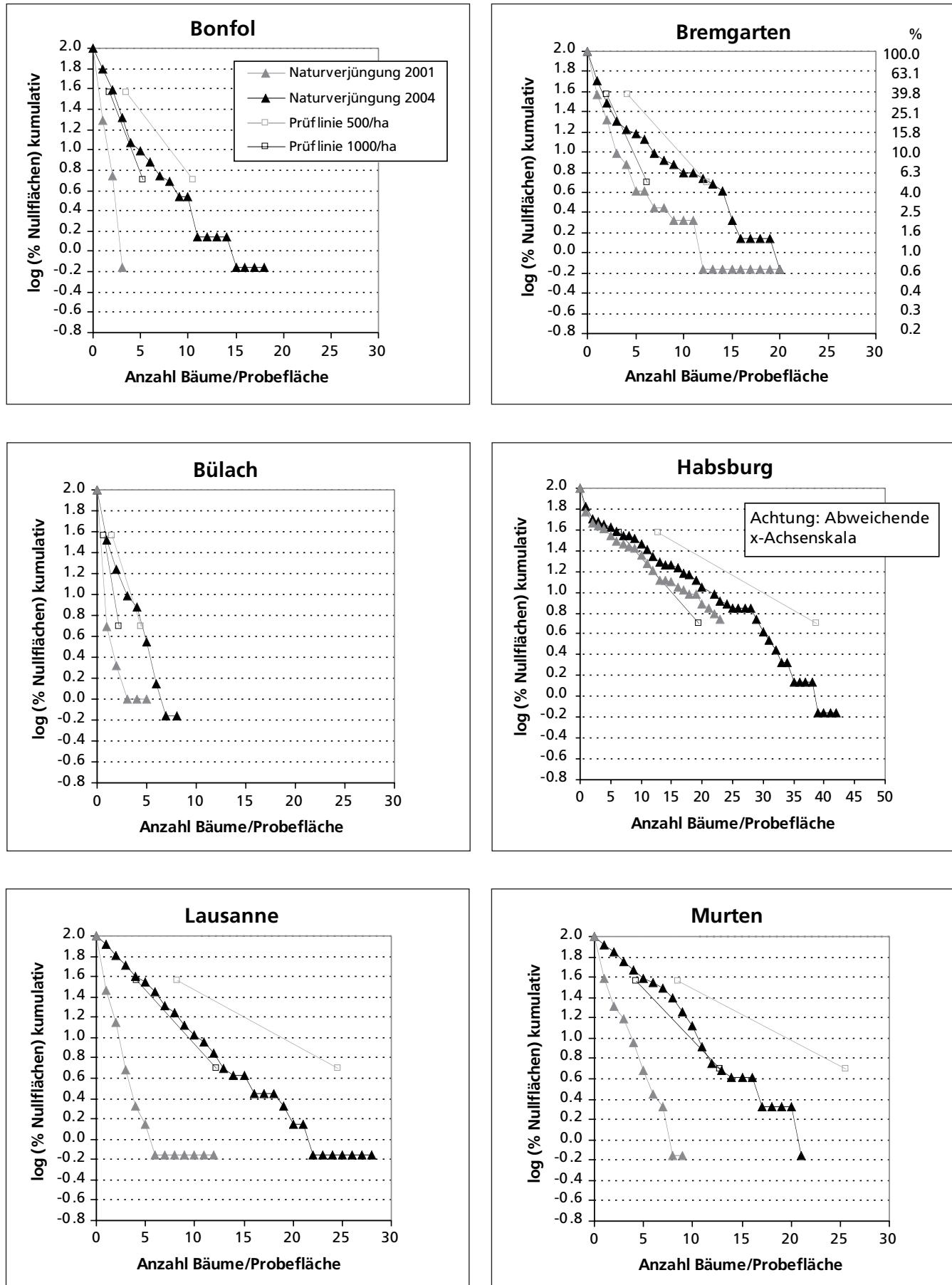


Abbildung 4: Nullflächendiagramme nach Cox (1971) von neun Sturmflächen.

Die Prüflinien gelten für Solldichten von 500 bzw. 1000 Verjüngungspflanzen/ha mit zufälliger Häufigkeitsverteilung und sind mit der tatsächlichen Verjüngungsdichte 2004 korrigiert. Die Prüflinien gelten somit für 2004. Sie verlaufen beim hier auf der vertikalen Achse verwendeten logarithmischen Massstab gerade, können also beiderseits extrapoliert werden.

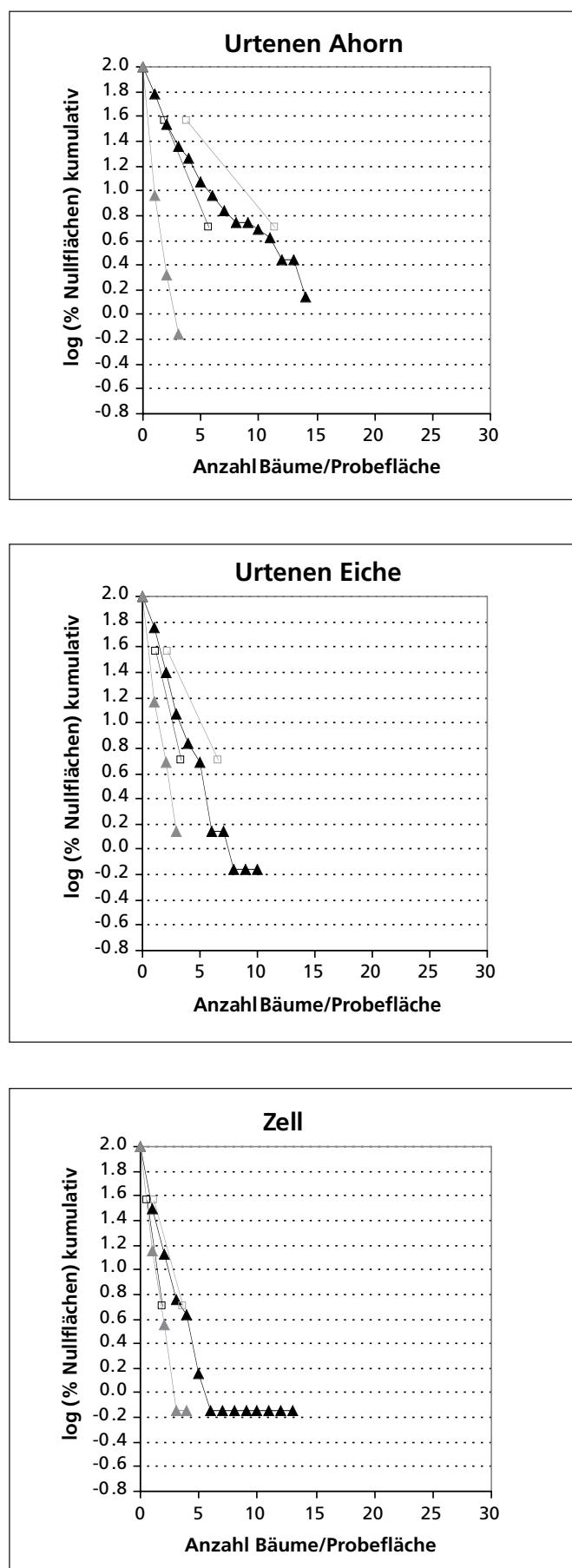


Figure 4. Zero-plot diagrams according to Cox (1971) from nine windthrow areas.

The target lines indicate target densities of 500 (1000) saplings/ha, with random distribution, and have been corrected for the real sapling densities in 2004. They are therefore valid for 2004. Since these lines run straight when the vertical axis exhibits a logarithmic scale, they can be extrapolated to both sides.

Die Sollverläufe für die Nullflächendiagramme wurden, separat für jede Untersuchungsfläche, nach der Idee von Cox (1971, S. 120) festgelegt. Cox geht davon aus, dass ein bestimmter Prozentsatz an Nullflächen einer bestimmten Grösse tolerierbar ist. Als Nullflächengrösse verwendet Cox die mittlere (bzw. maximale) Standfläche f_{mn} eines Einzelbaums in der jeweiligen Entwicklungsphase (siehe unten).¹ Der erste Punkt des Sollverlaufs liegt bei jener Anzahl Individuen pro Probefläche, die bei der gemessenen Verjüngungsdichte in 36,8% der Fälle unterschritten werden darf. Der Anteil von 36,8% ist der Anteil von Probeflächen ohne Verjüngung bei Poisson-Verteilung. Der zweite Punkt wird bei jener Anzahl Individuen pro Probefläche gewählt, die in 5,0% der Fälle unterschritten werden darf (Cox 1971, S. 121). Die Prüflinie ist die Verbindung zwischen diesen zwei Punkten.

Im Sinn unterschiedlich strenger Prüfbedingungen nahm ich dabei als mittlere Standfläche f_{mn} eines Bäumchens in der Jungwuchsphase zwei Werte an: 10 m² und 20 m², was bei quadratischer Verteilung der Bäumchen einer Solldichte von 1000 bzw. 500 Individuen/ha entspricht. Diese Standflächen wurden bewusst hoch bzw. die Dichtewerte tief angesetzt, weil auf den untersuchten Sturmflächen immer noch mit Nachverjüngung zu rechnen ist; in den Jahren 2001 bis 2004 wuchsen jährlich 730 ± 142 Gehölzpflanzen/ha (Mittelwert \pm Standardfehler) über die Aufnahmeschwelle von 20 cm Höhe (Koch & Brang 2005, S. 14). Schodterer (2000) hingegen rechnet z.B. bei Fichten in der Jungwaldphase mit Standflächen von deutlich unter 10 m². Die Multiplikation der genannten Standflächen mit der tatsächlichen Verjüngungsdichte ergab die Sollwerte der Individuenzahl pro Probefläche, die in 36,8% bzw. 5% der Fälle unterschritten werden dürfen (Cox 1971, S. 120 und 121), und damit die Lage der Prüflinie.

Mit dieser Berechnungsart berücksichtigt die Prüflinie die Verjüngungsdichte. Ein Vergleich zwischen Prüflinien und tatsächlicher Individuenzahl pro Probefläche sagt damit nur noch etwas über die Regelmässigkeit der Verteilung aus. Liegt die aus den zu prüfenden Daten abgeleitete kumulative Häufigkeitsverteilung der Individuenzahl pro Probefläche im Nullflächendiagramm links (unterhalb) der Prüflinie, dann sind die Individuenzahlen regelmässiger als zufällig verteilt, was dann erwünscht ist, wenn die Standortsproduktivität für die Holzproduktion ausgenutzt werden soll; liegt die Kurve rechts der Prüflinie, dann ist die Verjüngung geklumpter als bei zufälliger Verteilung zu erwarten wäre.

Als Indikator für Fehlstellen der Verjüngung wurde der Anteil von Probeflächen ohne Verjüngung verwendet. Dieser Anteil ist ein im Nullflächendiagramm dargestellter Spezialfall; er entspricht der Differenz zwischen dem ganz links liegenden Punkt (in der kumulativen Häufigkeitsverteilung: 100% bzw. $\log(100\%) = 2,0$) und dem nächstliegenden Punkt, der, wie oben beschrieben, bei Poisson-Verteilung bei einer kumulativen Häufigkeit von $100,0 - 36,8\% = 63,2\%$ (bzw. logarithmiert 1,80) liegt.

Als zusätzlicher Index zur Charakterisierung der räumlichen Verteilung der Verjüngung wurde der Quotient zwischen Varianz und mittlerer Individuenzahl pro Probefläche gebildet (Cox 1971, S. 6 ff.; Diggle 2003, S. 31). Bei Poisson-Verteilung wird dieser so genannte Varianz-Mittelwert-Index $q = 1$, bei Tendenz zu Aggregation wird $q > 1$ und bei Tendenz zur Regelmässigkeit wird $q < 1$. Die Grösse $q(N-1)$, mit $N =$ Anzahl Stichproben, ist bei Poisson-Verteilung χ^2 -verteilt mit $N-1$ Freiheitsgraden (Diggle 2003, S. 31).

¹ Der besseren Vergleichbarkeit wegen werden die gleichen Symbole wie in Cox (1971) verwendet.

3. Resultate

3.1 Verjüngungsdichte

Die Verjüngungsdichte der Bäumchen pro Versuchsfläche lag im Sommer 2001 zwischen $118 \pm 35/\text{ha}$ (Mittelwert \pm Standardfehler des Mittelwertes²) und $5285 \pm 652/\text{ha}$, im Sommer 2004 zwischen $617 \pm 121/\text{ha}$ und $6806 \pm 864/\text{ha}$ (Abbildung 2). Auf je drei Versuchsflächen lag die Dichte im Sommer 2004 um 1000 Bäumchen/ha, um 2000 Bäumchen/ha und über 4000 Bäumchen/ha. Die Dichte der Sträucher lag im Sommer 2001 zwischen $35 \pm 16/\text{Stück/ha}$ und $646 \pm 102/\text{Stück/ha}$, im Sommer 2004 zwischen $49 \pm 18/\text{Stück/ha}$ und $1965 \pm 199/\text{Stück/ha}$. Die Sträucher werden bei den folgenden Analysen ausgeschlossen.

3.2 Nullflächendiagramme mit Prüflinien

Die pro Versuchsfläche errechneten Prüflinien der Nullflächendiagramme sind in Abbildung 3 zusammengestellt, unter der Annahme einer Poisson-Verteilung, der gewählten Solldichten und der im Sommer 2004 festgestellten Verjüngungsdichten. Je höher die im Sommer 2004 festgestellten Verjüngungsdichten liegen, desto mehr Bäume pro Probefläche sind gefordert. Auch bei höherer Solldichte (1000 gegenüber 500 Bäumchen/ha) sind mehr Bäume pro Probefläche gefordert. Die Prüflinien in Abbildung 3 sind für die Verteilung der Verjüngung im Sommer 2004 gültig; entsprechende Prüflinien unter Annahme der festgestellten Verteilung im Sommer 2001 sind nicht dargestellt. Sie würden unterhalb der in Abbildung 3 dargestellten Prüflinien liegen.

Die Nullflächendiagramme der einzelnen Flächen zeigen folgende Muster (Abbildung 4): Die tatsächliche Verteilung der Anzahl Bäume pro Probefläche im Jahr 2004 liegt auf allen Flächen zwischen den beiden Prüflinien. Die Häufigkeitsverteilung der Bäume pro Probefläche erfüllt also die bei einer Poisson-Verteilung von 500 Bäumchen/ha zu erwartenden Werte, aber nicht die bei einer Poisson-Verteilung von 1000 Bäumchen/ha zu erwartenden Werte.

Die Verteilungskurven in den Nullflächendiagrammen verschoben sich von 2001 bis 2004 bei den Flächen Bremgarten, Bülach, Habsburg, Urtenen Eiche und Zell nur wenig nach rechts. Auf diesen Flächen nahm die Verjüngungsdichte um höchstens 1300 Bäumchen/ha zu, auf den übrigen um mindestens 1500/ha. Die starken Zunahmen auf den Flächen Lausanne (3528 Bäumchen/ha) und Murten (3313 Bäumchen/ha) sind auch auf den Nullflächendiagrammen deutlich.

Die kumulative Häufigkeitsverteilung der Anzahl Bäumchen pro Probefläche war stark von der Anzahl verwendeter Probeflächen abhängig. Wurden statt 141 bis 144 Probeflächen nur 10, 20 oder 50 zufällig ausgewählte Probeflächen verwendet, so wich der Verlauf des Diagramms bei unter 50 Probeflächen teilweise deutlich vom Verlauf mit 141 bis 144 Probeflächen ab (Abbildung 5). Wurden je 10 Probeflächen aus einer der drei Wiederholungen des Feldexperimentes auf einer Versuchsfläche zufällig gewählt, so unterschieden sich die Nullflächendiagramme dieser Stichproben erheblich (Abbildung 5).

3.3 Anteil Probeflächen ohne Verjüngung

Ein einzelner, aus dem Nullflächendiagramm (Abbildung 4) ebenfalls ablesbarer Wert ist der Anteil der Probeflächen ohne Verjüngung (Abbildung 6). Dieser nahm von 2001 bis 2004 markant ab, von durchschnittlich 74% auf 42%. Auf den Flächen Bülach und Zell war er 2004 mit über 67% noch am höchsten, auf den Flächen Lausanne und Murten mit 17% am tiefsten.

Der Anteil Probeflächen von 10 m^2 Fläche ohne jede Verjüngung war mit den Verjüngungsdichten eng negativ korreliert (Abbildung 7). Die Daten der Fläche Habsburg wurden dabei

² Da eine Normalverteilung der Werte aufgrund der vielen Probeflächen ohne Verjüngung nicht vorausgesetzt werden kann, müssen diese Masse vorsichtig interpretiert werden.

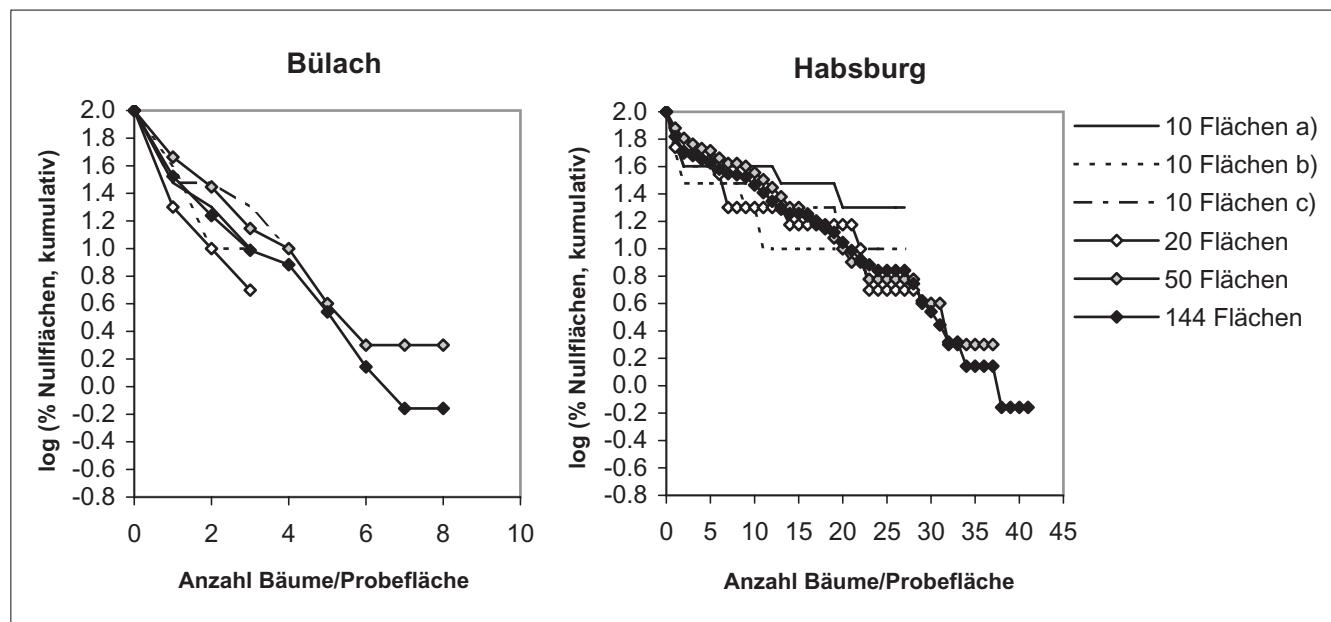


Abbildung 5: Nullflächendiagramme nach Cox (1971) von zwei Sturmflächen, berechnet mit unterschiedlicher Probeflächenanzahl.

Pro Sturmfläche flossen 10, 20, 50 oder 144 Werte ein. Bei der Variante mit 10 Flächen wurden die Kurven separat für drei mit a), b) und c) bezeichnete Teilflächen (Wiederholungen) berechnet.

Figure 5: Zero-plot diagrams according to Cox (1971) from two windthrow areas, calculated using different sample sizes.

For each plot, 10, 20, 50 or 144 values were used. In the variant with 10 plots, the curves were calculated separately for three areas (replicates within the study area) designated with a), b) and c).

ausgeschlossen, weil hier die Verjüngungsdichte innerhalb der Fläche stark variiert: in einer Wiederholung des Feldexperiments ist die Dichte hoch (was zu insgesamt hoher Verjüngungsdichte führte), in zwei Wiederholungen dagegen tief (was zu einem insgesamt hohen Anteil von Probeflächen ohne Verjüngung führte).

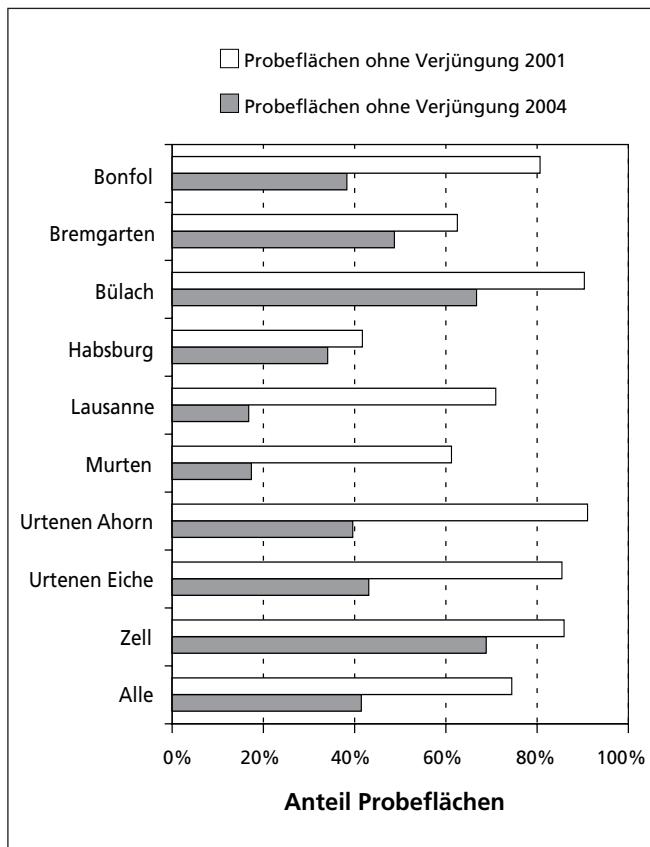


Abbildung 6: Anteil der Probeflächen ($10 m^2$) ohne Verjüngung auf neun Sturmflächen in den Jahren 2001 und 2004.

Pro Sturmfläche flossen 141 bis 144 Probeflächen ein.

Figure 6: Proportion of plots ($10 m^2$) without saplings on nine windthrow areas in 2001 and 2004.

In each area, 141 to 144 plots were studied.

3.4 Zusammenhang zwischen Verjüngungsdichte 2001 und Zunahme der Verjüngung von 2001 bis 2004

Auf allen neun Sturmflächen stellte sich die Verjüngung bis 2004 auf Probeflächen, die 2001 noch keine Verjüngung auf-

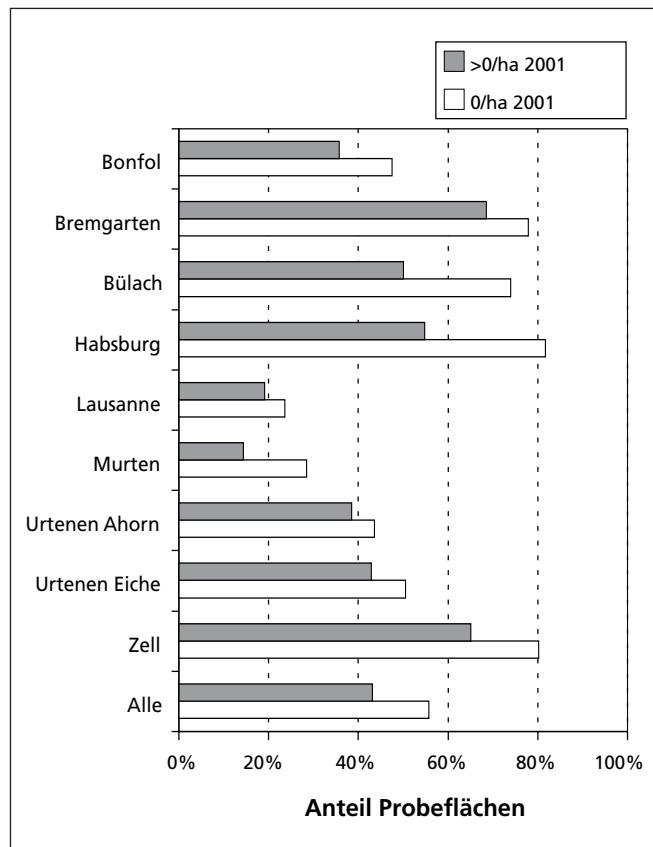


Abbildung 8: Anteil der Probeflächen ohne Zunahme der Verjüngungsdichte von 2001 bis 2004 auf neun Sturmflächen, getrennt nach Probeflächen mit und ohne Verjüngung 2001.

Figure 8: Proportion of plots without increases in sapling density between 2001 and 2004 in nine windthrow areas. Plots with and without saplings in 2001 are shown separately.

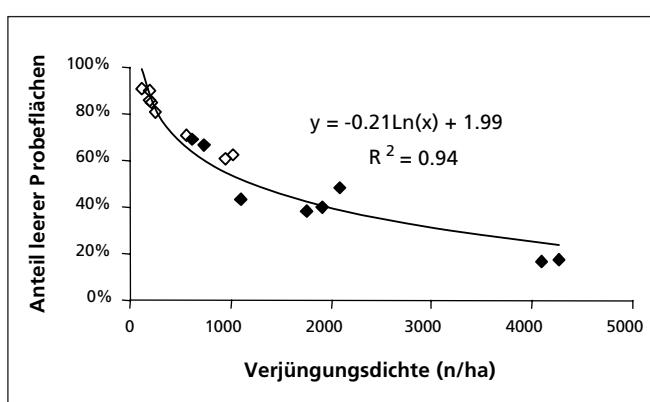


Abbildung 7: Zusammenhang zwischen dem Anteil von verjüngungsfreien Probeflächen von $10 m^2$ Ausdehnung und der Verjüngungsdichte.

Leere Rhomben bezeichnen Dichten im Jahr 2001, ausgefüllte solche im Jahr 2004. Die Werte der Fläche Habsburg wurden ausgeschlossen.

Figure 7: Relationship between the proportion of $10 m^2$ sapling-free plots and sapling density.

Empty rhombus shapes designate densities recorded in 2001, and filled ones those recorded in 2004. Values from the study area Habsburg were excluded.

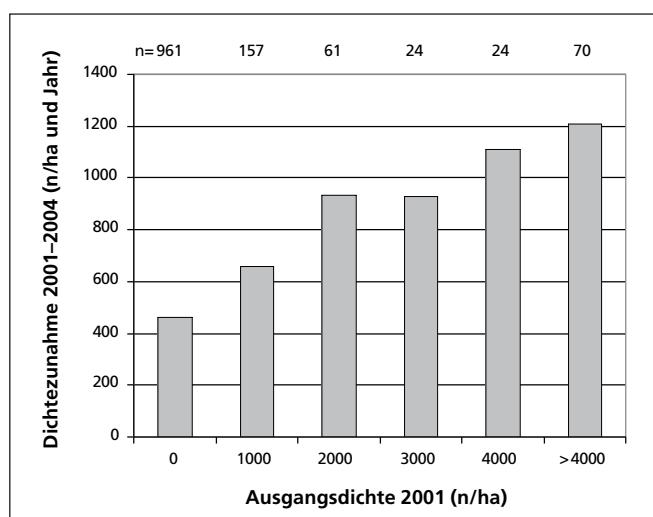


Abbildung 9: Zunahme der Verjüngungsdichte von 2001 bis 2004 bei unterschiedlicher Ausgangsdichte 2001 auf insgesamt 1293 Probeflächen von neun Sturmflächen.

Figure 9: Increase in sapling density from 2001 to 2004 in 1293 plots from nine windthrow areas, classified according to initial density in 2001.

wiesen, seltener ein als auf solchen mit Verjüngung 2001 (*Abbildung 8*). Insgesamt lag der Anteil der Probeflächen, die sowohl 2001 als auch 2004 keine Verjüngung aufwiesen, bei 56%. Auf diesen Flächen hatten sich also bis 2004, und damit auch von 2001 bis 2004, keine Bäume angesamt. Bei den Probeflächen, die 2001 bereits Verjüngung aufwiesen, war der Anteil ohne Zunahme der Verjüngungsdichte von 2001 bis 2004 mit 43% geringer. Der Anteil verjüngungsfreier Probeflächen y im Sommer 2004 liess sich mit dem Anteil verjüngungsfreier Probeflächen im Sommer 2001 x schätzen mit der Funktion $y = 0,723x$ ($R^2 = 0,59$, $N = 9$). Entsprechend war auch die Zunahme der Verjüngungsdichte von 2001 bis 2004 umso höher, je dichter die Verjüngung 2001 bereits war (*Abbildung 9*).

3.5 Varianz-Mittelwert-Index

Der Varianz-Mittelwert-Index zeigte mit Werten deutlich über 1 auf allen Flächen deutliche Aggregation an und nahm von 2001 bis 2004 überall zu, mit Ausnahme der Fläche Bülach (*Abbildung 10*). Der χ^2 -Test unter Annahme einer zufälligen Verteilung ergab für jede Fläche in beiden Jahren p-Werte von $<0,001$, mit Ausnahme von Bonfol 2001 ($p = 0,01$). Die Hypothese einer zufälligen Verteilung (Poisson-Verteilung) muss also klar verworfen werden. Varianz-Mittelwert-Index und Verjüngungsdichte waren positiv linear korreliert (Daten 2004, Pearson-Korrelation, $R^2 = 0,61$).

4. Diskussion

Durch Auswertungen von Daten zur Naturverjüngung auf neun Sturmflächen konnte Folgendes gezeigt werden:

- Die Naturverjüngung war geklumpt verteilt.
- Probeflächen ohne Verjüngung und solche mit nur spärlicher Verjüngung waren häufiger, als bei einer zufälligen Verteilung von 1000 Pflanzen/ha zu erwarten gewesen wäre.
- Die Klumpung nahm von 2001 bis 2004 zu.
- Die Nullflächendiagramme zeigten flächen spezifische Muster der Häufigkeitsverteilung der Baumzahlen pro Probefläche, z.B. Häufungen von Probeflächen ohne Verjüngung.
- Die Nullflächendiagramme blieben erst ab Probeflächenanzahlen von rund 50 relativ stabil.
- Auf Probeflächen ohne Verjüngung im Jahr 2001 kam bis 2004 weniger Naturverjüngung hinzu als auf solchen mit

Verjüngung im Jahr 2001. Auch Probeflächen ohne jede Zunahme waren unter den Probeflächen ohne Verjüngung im Jahr 2001 häufiger als unter den Probeflächen mit Verjüngung.

Eine reine Beurteilung der Dichtemittelwerte (Stammzahlen) der Naturverjüngung hätte zum Schluss geführt, dass sich vier Jahre nach Lothar drei der neun Flächen ausreichend natürlich verjüngt haben, mit Dichten über 4000 Bäumchen/ha (Habsburg, Lausanne, Murten, *Abbildung 2*). Die erhebliche Streuung der Dichten weist immerhin bereits auf erhebliche Verjüngungsunterschiede innerhalb der Versuchsflächen hin (*Abbildung 2*). Tatsächlich ist der Anteil noch verjüngungsfreier Probeflächen nur auf zwei dieser drei Flächen mit – aufgrund der Dichte scheinbar ausreichender – Verjüngung gering (Lausanne, Murten, *Abbildung 8*). In der verjüngungsreichen Fläche Habsburg ist dieser Anteil ähnlich hoch wie in den Flächen Bülach und Zell (*Abbildung 8*), welche Dichten von unter 1000 Bäumchen/ha aufweisen (*Abbildung 2*). Dies kommt daher, dass auf der Fläche Habsburg die Verjüngung stark geklumpt ist (*Abbildung 10*). Ohne Berücksichtigung der Fläche Habsburg sind Verjüngungsdichte und Anteil verjüngungsfreier Probeflächen eng negativ korreliert (*Abbildung 7*). Bei Verjüngungsdichten von 5000 Bäumchen/ha ist mit rund 20% Probekreisen von 10 m^2 Grösse ohne Verjüngung zu rechnen, bei solchen von 2000 Bäumchen/ha mit rund 40% und bei solchen von 1000 Bäumchen/ha mit rund 55%. Ähnlich geklumpte Verteilungen in Naturverjüngungen fanden auch Duc (1991) in Emmentaler Plenterwäldern und FARROKH-PUR (1981, S. 155) in bayerischen Bergmischwäldern.

Im Jahr 2001 waren 74% der 10 m^2 grossen Probeflächen noch ohne Verjüngung, drei Jahre später 42%. Pro Jahr nahm der Anteil verjüngungsfreier Probeflächen um durchschnittlich 11% ab, mit Extremwerten von 2,5% (Fläche Habsburg) und 18,0% (Fläche Lausanne). Wenn die bisherigen Abnahmefolgen pro Fläche linear extrapoliert werden, dann werden 10% verjüngungsfreie Probeflächen (bzw. 90% mit Verjüngung) im Durchschnitt sechs Jahre nach dem Sturm erreicht. Dies kann aber auch zwölf (Habsburg) bis dreizehn Jahre (Zell) dauern. Tatsächlich dürfte es aber länger dauern, denn es sterben laufend Samenbäume auf den Sturmflächen und in den angrenzenden Beständen ab. Daher ist die Zunahme der Verjüngungsdichte von 2001 bis 2004 auch umso höher, je dichter die Verjüngung 2001 bereits war (*Abbildung 9*). Hingegen scheint die Bodenvegetation die Baumverjüngung auf den

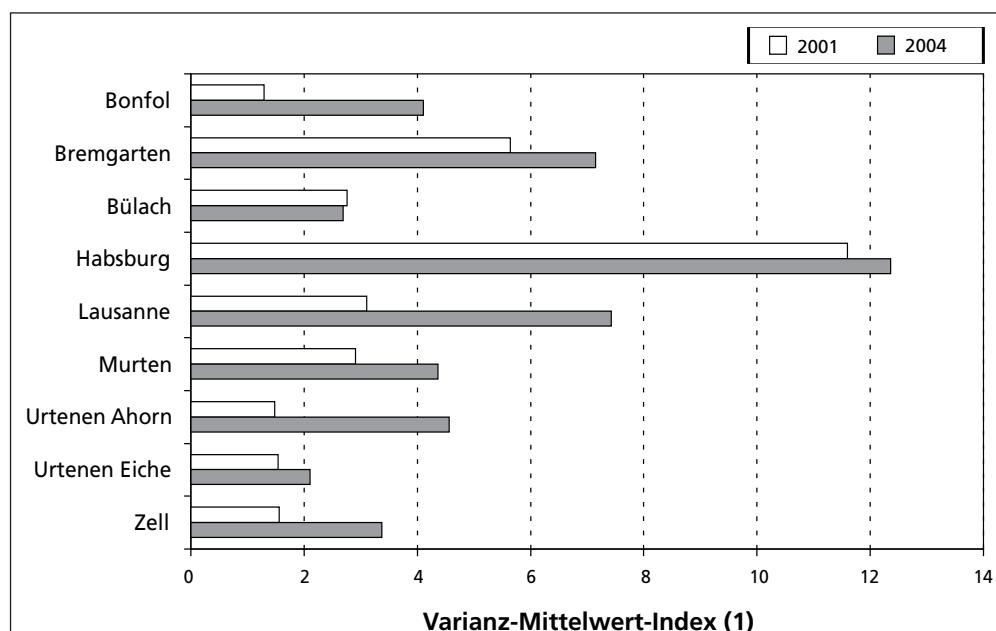


Abbildung 10: Varianz-Mittelwert-Index der Verjüngungsdichte 2001 und 2004 auf neun Sturmflächen.

Der Index wird berechnet als Quotient Varianz/Mittelwert der Anzahl Bäumchen pro Probefläche. Pro Sturmfläche flossen 141 bis 144 Werte ein.

Figure 10: Variance-mean index of sapling density in 2001 and 2004 in nine windthrow areas.

The index is calculated as the quotient of variance: mean of the number of saplings on each plot. Each windthrow area contributed 141 to 144 plots.

untersuchten Flächen nur geringfügig zu hemmen. Im Zeitraum 2001 bis 2004 war ein solcher Einfluss statistisch nicht nachweisbar (Koch & BRÄNG 2005).

Die Prüflinien wurden hier mit Solldichten von 500 und 1000 Bäumchen/ha für die Jungwuchsstufe berechnet. Auf allen neun Sturmflächen wurden die Prüfbedingungen für Solldichten von 500 Bäumchen/ha erfüllt, diejenigen für 1000 Bäumchen/ha verfehlt. Noch strengere Prüfbedingungen, wie sie sich aus Solldichten von 2000 bis 3000 Bäumchen/ha ergäben, werden somit noch deutlicher verfehlt – nicht in erster Linie, weil die Verjüngung durchschnittlich zu wenig dicht ist, denn das ist nur auf drei Flächen der Fall (Abbildung 2), sondern weil sie zu stark geklumpt vorkommt. Zwar ist der Prozess der Naturverjüngung noch nicht abgeschlossen, wie die jährliche Zunahme von durchschnittlich 532 Bäumchen/ha (ohne Sträucher, Median 432/ha) zeigt, doch er dürfte sich verlangsamen (siehe oben). Wenn eine Verjüngung nicht zumindest so verteilt ist, wie bei einer zufälligen Verteilung von 1000 Bäumchen/ha zu erwarten ist, so dürfte der heranwachsende Bestand in der Stangenholzphase Lücken aufweisen.

Die Zunahme der Klumpung der Naturverjüngung kann mehrere Gründe haben, von denen folgende drei als die wahrscheinlichsten zu prüfen wären: 1) Bei den einwachsenden Bäumen handelt es sich um geklumpt auftretende Vorverjüngung, welche bei der Aufnahme 2001 die minimale Aufnahmehöhe von 20 cm nicht erreicht hatte und daher noch nicht erfasst wurde. 2) Der Sameneintrag ist innerhalb einer Fläche umso höher, je näher angrenzende Altbestände und Überhälter (Samenbäume) liegen. Das dürfte z.B. in Bonfol zutreffen, wo einige Buchen- und Eichen-Überhälter stehen. 3) Die Probeflächen weisen unterschiedliche Ansamungs- und Aufwuchsbedingungen auf, z.B. infolge unterschiedlich entwickelter Konkurrenzvegetation. Weiterhin ist anzunehmen, dass die Klumpung der Naturverjüngung nicht mehr lange zunimmt, sondern bei einsetzender konkurrenzbedingter Mortalität wieder zurückgeht.

Welche Aussagen macht nun das Nullflächendiagramm möglich? Zunächst ist anzumerken, dass der Begriff «Nullflächendiagramm» den dargestellten Sachverhalt schlecht trifft. Tatsächlich handelt es sich bei den hier in Anlehnung an Cox (1971) dargestellten Diagrammen um kumulative Häufigkeitsverteilungen der Anzahl Bäume pro Probefläche, in logarithmischer Darstellung. Dann ist hervorzuheben, dass sich in den Prüflinien des Nullflächendiagramms nur die räumliche Verteilung abbildet, nach Korrektur mit der Verjüngungsdichte. Cox (1971) hat die Achsen des Nullflächendiagramms bewusst so konstruiert. Dies unterscheidet das Nullflächendiagramm vom hier verwendeten Varianz-Mittelwert-Index, der mit der Verjüngungsdichte, wie gezeigt, positiv korreliert.

Die Nullflächendiagramme zeigen, unterhalb von y-Werten von $\log (\% \text{ Nullflächen kumulativ}) \approx 0,4$, also 2,5% der Probeflächen, auffällige Kurvenknick. Diese ergeben sich als Artefakte aus der geringen Anzahl Probeflächen mit grösserer Anzahl Bäumchen. Dieser Bereich des Nullflächendiagramms ist somit kaum interpretierbar. Bei geringer Probeflächenanzahl sind ähnliche Knicke im ganzen Diagramm zu finden (Abbildung 5). Gebogene Verläufe oberhalb von y-Werten von $\log (\% \text{ Nullflächen kumulativ}) \approx 0,4$ zeigen hingegen interpretierbare Verteilungsmuster an. Verjüngungsdichten in dem Bereich, in dem das Nullflächendiagramm flacher verläuft als die Prüflinie(n), sind untervertreten; bei steilerem Verlauf sind die Verjüngungsdichten übervertreten. Daher sind bei konkavem, nach unten durchhängendem Verlauf (Flächen Bonfol, Bremgarten, Urtenen Ahorn, Abbildung 4) Probeflächen mit sehr wenig Bäumen häufiger als bei zufälliger Verteilung. Bei konvexem, nach oben gebogenem Verlauf (Flächen Habsburg, Murten) sind Flächen mit grösserer Anzahl Bäume häufiger als bei zufälliger Verteilung.

Fünf der neun Diagramme (Bonfol, Bremgarten, Bülach, Urtenen Ahorn, Zell) folgen im Bereich von wenigen Bäumen pro Probefläche etwa der Prüflinie für eine Verjüngungsdichte von 1000 Bäumchen/ha, verlaufen dann flacher und nähern sich der Prüflinie für eine Verjüngungsdichte von 500 Bäumchen/ha an. Die Häufigkeit baumzahlarmer Flächen entspricht also etwa einer zufälligen Verteilung bei Verjüngungsdichte von 1000 Bäumchen/ha; Flächen mittlerer Baumzahl sind dann eher so häufig, wie bei einer zufälligen Verteilung bei Verjüngungsdichte von 500 Bäumchen/ha zu erwarten wäre.

Aus den Nullflächendiagrammen lässt sich auch ablesen, dass Probeflächen ohne Verjüngung, verglichen mit einer zufälligen Verteilung von 500 bis 1000 Bäumchen/ha, in zwei Versuchsflächen übervertreten waren: In Habsburg und Bremgarten verlaufen die Kurven im Bereich zwischen null und einem Bäumchen pro Probefläche steiler als beide Prüflinien und kreuzen im Bereich zwischen fünf und zehn Bäumchen pro Probefläche die Prüflinie für eine Verjüngungsdichte von 1000 Bäumchen/ha.

Diese detaillierten Informationen zur Häufigkeit von Verjüngungsdichten sind aus einfachen Indizes nicht ableitbar. So geben die Nullflächendiagramme ein differenzierteres Bild als z.B. Klumpungsindizes, da die ganze Verteilung beurteilt wird. Dies ist für Forschungszwecke interessant, denn hinter spezifischen Mustern müssen bestimmte Verjüngungsabläufe und Einflussfaktoren stehen. Zum Beispiel könnten die Nullflächendiagramme der Baumarten verglichen werden; es ist zu erwarten, dass leichtsamige Baumarten weniger geklumpt auftreten als schwersamige.

Für die Praxis scheint es hingegen weniger interessant, Nullflächendiagramme selbst zu erstellen, denn auf Sturmflächen bedarf es, zumindest bei den hier geprüften Verjüngungsdichten von deutlich unter 10 000 Bäumchen/ha, der hohen Anzahl von rund 50 Probeflächen, um zu stabilen Resultaten zu kommen (Abbildung 5). Die Nullflächendiagramme erlauben zudem keine Aussagen zum Auftreten verjüngungsfreier Stellen, deren Grösse die Probeflächengrösse (hier 10 m²) überschreitet. Sollen solche Stellen erfasst werden, geht es nicht ohne flächige terrestrische Erfassung (vgl. ANONYMUS 2002).

Trotzdem sind die Resultate dieser Studie praxisrelevant. Aufgrund dieser und anderer Studien (SCHÖLCH 1998; mehrere Autoren in HUSS & HEHN 2001; ANGST *et al.* 2004; RAETZ 2004) ist das Naturverjüngungspotenzial auf Sturmflächen grundsätzlich optimistisch einzuschätzen, besonders wenn noch Samenbäume im Abstand von rund 50 m vorhanden sind. Die Zunahme der Klumpung der Verjüngung in den vorliegenden Daten deutet aber darauf hin, dass sich auf grossen Sturmflächen mit Verjüngungsschwierigkeiten kleinere «Fehlstellen» der Verjüngung nicht rasch füllen. Die Verjüngung stellt sich also nicht bevorzugt dort ein, wo sie noch fehlt, sondern eher dort, wo sie bereits vorhanden ist. Je nach Bewirtschaftungsziel kann dies erwünscht sein, da es zu stärker strukturierten Beständen führt. Es kann aber auch unerwünscht sein, da es zu Produktionsausfällen führt oder punktuell die Schutzwirkung gegen Naturgefahren vermindert. Dann sind Ergänzungspflanzungen angebracht.

Zusammenfassung

Nullflächendiagramme nach Cox (1971) zeigen die Häufigkeitsverteilung von Punktdaten. Solche Diagramme wurden mit Daten zur Baumverjüngung erstellt, welche auf neun Windwurfflächen auf 1293 kreisförmigen Probeflächen von 10 m²

Grösse erfasst worden waren. Die Verjüngung trat in Dichten von 600 bis 6500 Bäumchen/ha auf und war deutlich geklumpt. Die Nullflächendiagramme zeigen, welche Baumzahlen pro Probefläche im Vergleich zu einer zufälligen Verteilung unter- und welche übervertreten sind. Auf allen neun Flächen waren spärlich verjüngte Probeflächen häufiger als bei einer zufälligen Verteilung von 1000 Bäumchen/ha. Die Verjüngung war immerhin häufiger als bei einer zufälligen Verteilung von 500 Bäumchen/ha. Die Klumpigkeit der Verjüngung nahm von 2001 bis 2004 zu. Auf Probeflächen ohne Verjüngung im Jahr 2001 kam weniger Verjüngung hinzu als auf solchen mit Verjüngung. Insgesamt scheinen Nullflächendiagramme nützlicher für Anwendungen in der Forschung als in der Praxis.

Résumé

Répartition spatiale de la régénération naturelle sur de grandes surfaces de chablis provoquées par l'ouragan Lothar

Les diagrammes de surface zéro d'après le modèle de Cox (1971) montrent la distribution de fréquence de données de points. L'application de tels diagrammes a été testée à l'aide de données sur la régénération des arbres inventoriée dans neuf surfaces de chablis, à l'aide de 1293 placettes circulaires d'une surface de 10 m². La régénération, apparue à des densités de 600 à 6500 plants ha⁻¹, était nettement agrégée. Les diagrammes de surface zéro nous permettent de lire quelles fréquences de semis sont sous- ou surreprésentées par surface de chablis. Dans chacune des neuf surfaces, les placettes dotées de peu de régénération étaient plus fréquentes que dans le cas d'une répartition aléatoire de 1000 plants ha⁻¹. Néanmoins, la régénération était plus fréquente que dans une répartition aléatoire de 500 plants ha⁻¹. L'agrégation de la régénération a augmenté de 2001 à 2004. Dans les placettes dépourvues de régénération en 2001, l'augmentation du nombre de semis était inférieure au cas des placettes avec régénération. Dans l'ensemble, les diagrammes de surface zéro semblent plus utiles aux applications dans la recherche que dans la pratique.

Summary

Spatial distribution of natural regeneration on large windthrow areas created by the hurricane Lothar in 1999

Zero-plot diagrams (see Cox 1971) show the frequency distribution of point patterns. Such diagrams were tested using tree regeneration data sampled on nine windthrow areas, with 1,293 circular plots, each measuring 10 m². Regeneration occurred at densities of 600 to 6500 plants ha⁻¹ and was clearly clumped. The diagrams show which seedling frequencies are under or over-represented. In all nine areas, plots with little regeneration were more frequent than they would have been in a random distribution of 1000 plants ha⁻¹. Nevertheless, the regeneration was more frequent than if there had been a random distribution of 500 plants ha⁻¹. The clumpiness of the regeneration increased from 2001 to 2004. On plots without regeneration in 2001, the increase in saplings was smaller than on plots with regeneration in the same year. In summary, zero-plot diagrams would appear to be more useful for applied research than for management.

Literatur

- ALDINGER, E.; MICHELS, H.-G. 2001: Schlussfolgerungen zur natürlichen Wiederbewaldung in Baden-Württemberg aus standorts-kundlicher Sicht – Kriterien zur Beurteilung der Naturverjüngung auf Sturmflächen. Berichte Freiburger Forstliche Forschung 25: 123–131.
- ANGST, C. 2004: Vielfältige Waldentwicklung auf Lothar-Versuchsflächen. Informationsblatt Forschungsbereich Wald 17: 1–4.
- ANGST, C.; BÜRG, A.; DUELLI, P.; EGLI, S.; HEINIGER, U.; HINDENLANG, K.; KUHN, N.; LÄSSIG, R.; LÜSCHER, P.; MOSER, B.; NOBIS, M.; POLOMSKI, J.; REICH, T.; WERMELINGER, B.; WOHLGEMUTH, T. 2004: Waldentwicklung nach Windwurf in tieferen Lagen der Schweiz 2000–2003. Schlussbericht eines Projektes im Rahmen des Programms «Lothar Evaluations- und Grundlagenprojekte». Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf, 98 S.
- ANONYMUS 2002: Diagnostic d'une régénération naturelle: protocole Regenat. Office National des Forêts, Département Recherche et Développement, 7 S.
- COX, F. 1971: Dichtebestimmung und Strukturanalyse von Pflanzenpopulationen mit Hilfe von Abstandsmessungen. Ein Beitrag zur methodischen Weiterentwicklung von Verfahren für Verjüngungsinventuren. Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft 87: 182 S.
- DIGGLE, P.J. 2003: Statistical analysis of spatial point patterns, Second ed. Oxford University Press, London, New York, 159 S.
- DUCK, P. 1991: Untersuchungen zur Dynamik des Nachwuchses im Plenterwald. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 142, 4: 299–319.
- FARROKHPUR, B. 1981: Waldbaulich-ökologische Untersuchungen zur Verjüngung von Fichten-Tannen-Buchen-Mischbeständen. Inaugural-Dissertation. Forstwissenschaftliche Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg im Breisgau, 240 S.
- HUSS, J.; HEHN, M. (Hrsg.) 2001: Wiederbewaldung von Sturmschadensflächen. Waldbauliche Strategien in Forschung und Praxis: Erfahrungen und Empfehlungen. Berichte Freiburger Forstliche Forschung 25: 148 S. + Anhang.
- KOCH, R.; BRANG, P. 2005: Extensive Verjüngungsverfahren nach Lothar. Schlussbericht zuhanden der Forstdirektion des Buwal. Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf, 90 S. Zugriff über <http://e-collection.ethbib.ethz.ch>.
- LOETSCH, F. 1973: Prüfung von Verteilungsart und Dichte der Verjüngung mit Hilfe des Nullflächendiagramms. Forstarchiv 44: 77–83.
- RAETZ, P. 2004: Erkenntnisse aus der Sturmschadenbewältigung. Synthese des Lothar-Grundlagenprogramms. Schriftenreihe Umwelt 367: 86 S.
- SCHMIDER, P.; KÜPER, M.; TSCHANDER, B.; KÄSER, B. 1994: Die Waldstandorte im Kanton Zürich: Waldgesellschaften, Waldbau, Naturkunde. 2., durchgesehene Auflage, Zürich, 287 S.
- SCHODTERER, H. 2000: Grundlagen für die Beurteilung der Wildschäden an der Verjüngung im österreichischen Wald im Rahmen der Österreichischen Waldinventur. Dissertation, Universität für Bodenkultur, Wien.
- SCHODTERER, H. 2003: Die Verjüngung und Verjüngungsdefizite in subalpinen und montanen Wäldern Österreichs. BFW-Berichte, Schriftenreihe des Bundesamtes und Forschungszentrums für Wald 130: 7–16.
- SCHÖLCH, M. 1998: Zur natürlichen Wiederbewaldung ohne forstliche Steuerung: dargestellt an Beispielen aus Baden-Württemberg. Schriftenreihe Freiburger Forstliche Forschung 1: 245 S.
- SCHULZE, K. 1998: Herleitung waldbaulicher Zielvorgaben für Lebensraum- und Verbissgutachten. Forstliche Schriftenreihe, Universität für Bodenkultur, Wien, Bd. 12: 241–263.

Dank

Ich danke der Forstdirektion des Buwal für einen namhaften Beitrag zur Finanzierung dieser Studie, den beteiligten Waldeigentümern für die angenehme Zusammenarbeit und für das Übernehmen der Kosten für Pflanzung und Zäunung sowie meinen Mitarbeitern E. Cereghetti, C. Matter, K. Häne und U. Wasem und zahlreichen Praktikanten und Praktikantinnen, welche die Daten auf den Sturmflächen erfassten. Dr. Walter Keller sprach die Pflanzengesellschaften auf den Versuchsflächen an, Dieter Roduner half bei den Auswertungen mit, zwei Reviewer trugen massgeblich zur Verbesserung des Manuskripts bei und Silvia Dingwall korrigierte die englischen Texte. Auch ihnen bin ich zu Dank verpflichtet.

Verfasser

Dr. PETER BRANG, Eidg. Forschungsanstalt WSL, Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf. E-Mail: brang@wsl.ch.