

# Der Kronenzustand in Deutschland

Die Waldzustandserhebung (WZE) gilt neben der BZE und dem Intensiven Forstlichen Monitoring als ein fundamentaler Bestandteil des Forstlichen Umweltmonitorings. Die Kronenverlichtung stellt hierbei den wichtigsten Indikator für den Zustand der Bäume dar. Die WZE findet verpflichtend auf einem systematischen 16 x 16 km-Raster statt, Rasterverdichtungen sowie Rasteränderungen sind jedoch üblich. Von 2006 bis 2008 wurde die WZE bundesweit auf dem verdichteten Raster der BZE durchgeführt. In der vorliegenden Studie erfolgten die Raum-Zeit-Modellierung sowie die Bestimmung von Einflussgrößen unter Berücksichtigung der BZE-Daten mithilfe von generalisierten additiven gemischten Modellen [1, 2].

Nadine Eickenscheidt, Nicole Augustin, Nicole Wellbrock, Petra Dühnelt, Lutz Hilbrig

Die WZE wurde infolge der Diskussion um die neuartigen Waldschäden ins Leben gerufen. In Deutschland fand sie erstmalig 1984 statt und wird seit 1990 jährlich im gesamten Bundesgebiet durchgeführt. Für die Auswertung standen die Daten der Jahre 1989 bis 2015 zur Verfügung. Berücksichtigt wurden die vier häufigsten Baumarten, die Gemeine Fichte (*Picea abies*), die Gemeine Kiefer (*Pinus sylvestris*), die Rotbuche (*Fagus sylvatica*) sowie Stiel- und Traubeneiche (*Quercus robur* und *Q. petraea*). Die Fichte macht 32 % aller Bäume auf dem 16 x 16 km-Raster aus, gefolgt von der Kiefer mit 29 %, der Buche mit 16 % und den Eichen mit 6 %. Die Bewertung der Kronenverlichtung erfolgt visuell in 5-%-Stufen von 0 % (keine Kronenverlichtung) bis 100 % (Baum ist abgestorben). Im Rahmen der WZE werden zusätzliche Parameter wie das Alter, die Fruktifikation und der Insektenbefall erhoben. Die beiden Nadelbaumarten stellen mit 70 Jahren (gewichteter Median für das 16 x 16-km Raster) die im Mittel jüngsten Bäume, während die Buche mit 90 Jahren und die Eiche mit 103 Jahren im Mittel älter sind.

## Raum-Zeit-Entwicklung der Kronenverlichtung

Für die Raum-Zeit-Modellierung wurden die Daten sämtlicher Rasterdichten verwendet, die Schätzung des deutschlandweiten Zeittrends erfolgte für das flächen-repräsentative 16 x 16 km-Raster der WZE

### Schneller Überblick

- Das Bestandesalter repräsentiert die wichtigste Steuergröße für die Höhe der Kronenverlichtung bei allen vier Hauptbaumarten
- Die Kronenverlichtungen der Fichte und Kiefer sind niedriger als bei Buche und Eiche
- Es rücken vermehrt die Folgen des Klimawandels (Trockenstress, zunehmende Fruktifikation, Insektenmassenvermehrung) in den Vordergrund

von 2014. Die Raum-Zeit-Modelle zeigen eine gute Anpassung an die Daten mit einem adjustierten Bestimmtheitsmaß zwischen 0,41 (Kiefer) und 0,55 (Fichte). Da aus der Literatur bekannt ist, dass das Bestandesalter einen deutlichen Einfluss auf die Höhe der Kronenverlichtung aufweist, wurde das Alter zusätzlich zur Raum-Zeit-Kompo-

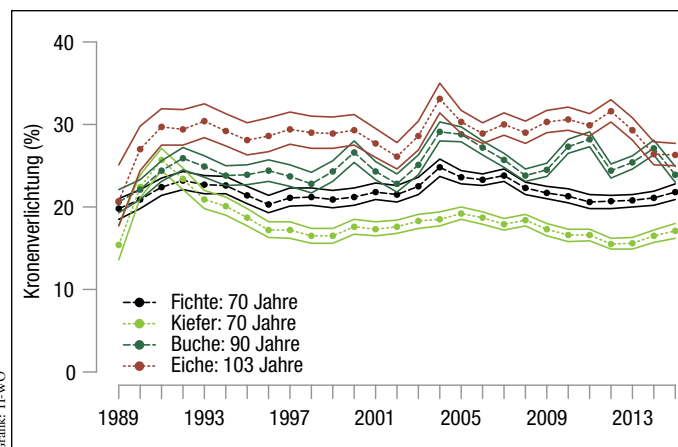


Abb. 1: Geschätzte mittlere Kronenverlichtung mit Vertrauensbereich für die Fichte, Kiefer, Buche und Eiche von 1989 bis 2015. Es wurde ein einheitliches Raster (16 x 16 km WZE-Raster von 2014) sowie Bestandesalter für jede Baumart verwendet.

nente im Modell berücksichtigt. Dies schafft die Möglichkeit, den Alterseffekt herauszunehmen und Risikogebiete altersunabhängig aufzudecken. Die Modellergebnisse zeigen, dass sowohl das Bestandesalter als auch die Raum-Zeit-Komponente hochsignifikante Effekte auf die Kronenverlichtung der vier Baumarten haben ( $p < 0,0001$ ). Mit zunehmendem Bestandesalter nimmt die Kronenverlichtung zu. Bei Fichte und Buche ist diese Zunahme nahezu linear, während bei Kiefer und Eiche die Zunahme ab einem Alter von 50 bis 60 Jahren deutlich geringer ist.

Zu Beginn der 1990er-Jahre nahm die Kronenverlichtung aller Hauptbaumarten zu (Abb. 1). Grund für die vergleichsweise hohe Kronenverlichtung war in erster Linie die anhaltende Trockenheit, die vor allem Nordost-Deutschland betroffen hat. Insbesondere die Kiefer, die schwerpunktmäßig im Norddeutschen Tiefland wächst, wies daher Anfang der 1990er die höchsten Kronenverlichtungen auf, die für die Kiefer zwischen 1989 und 2015 beobachtet wurden. Während die Kronenverlichtung der Kiefer

ab 1991 wieder abgenommen hat und seit 1996 auf einem relativ konstanten Niveau um die 18 % geblieben ist, zeigen die anderen Baumarten eine nur geringe Abnahme der Kronenverlichtung nach der Trockenheit zu Beginn der 1990er-Jahre und höchste Kronenverlichtungen nach dem Extremtrockenjahr 2003 (Abb. 1).

Im Gegensatz zu den Nadelbäumen weist insbesondere die Buche deutliche Schwankungen auf. Diese lassen sich auf den Einfluss der Fruktifikation auf die Kronenverlichtung zurückführen. In Mastjahren wie z. B. 2004 oder 2011 lagen somit höchste mittlere



Foto: Eickenscheidt



Foto: Eickenscheidt



Foto: Eickenscheidt

Abb. 2a: Bei der Buche hat die Fruktifikation Einfluss auf die Kronenverlichtung.

Abb. 2b: Der Insektenbefall spielt bei Eiche ähnlich wie bei Kiefer eine wichtige Rolle.

Abb. 2c: Bei der Fichte zeigt sich ihre Empfindlichkeit gegenüber Trockenstress.

Kronenverlichtungen für die Buche vor. Im Mittel weist die Kiefer mit 19 % die niedrigste und die Eiche mit 29 % die höchste Kronenverlichtung auf.

Die Raum-Zeit-Entwicklung wird exemplarisch am Beispiel der Buche dargestellt (Abb. 3). Zu Beginn wurden hohe Kronenverlichtungen in Nordost-Deutschland

beobachtet und im Trockenjahr 1992 in Mittel-Deutschland sowie am Südrand von Deutschland. Infolge des Trockenjahres 2003 kam es in Mittel- und Süd-Deutschland großflächig zu erhöhten Kronenverlichtungen und in den Folgejahren kristallisierte sich Südwest-Deutschland als Schwerpunktgebiet erhöhter Kronen-

verlichtung heraus (Abb. 3). Diese Verschiebung von Nordost-Deutschland nach Südwest-Deutschland wurde ebenfalls für Fichte, Kiefer und Eiche beobachtet. Bei der Eiche stellen außerdem die Westfälische Bucht und das Harzer Umland Gebiete langjähriger hoher Kronenverlichtung dar.

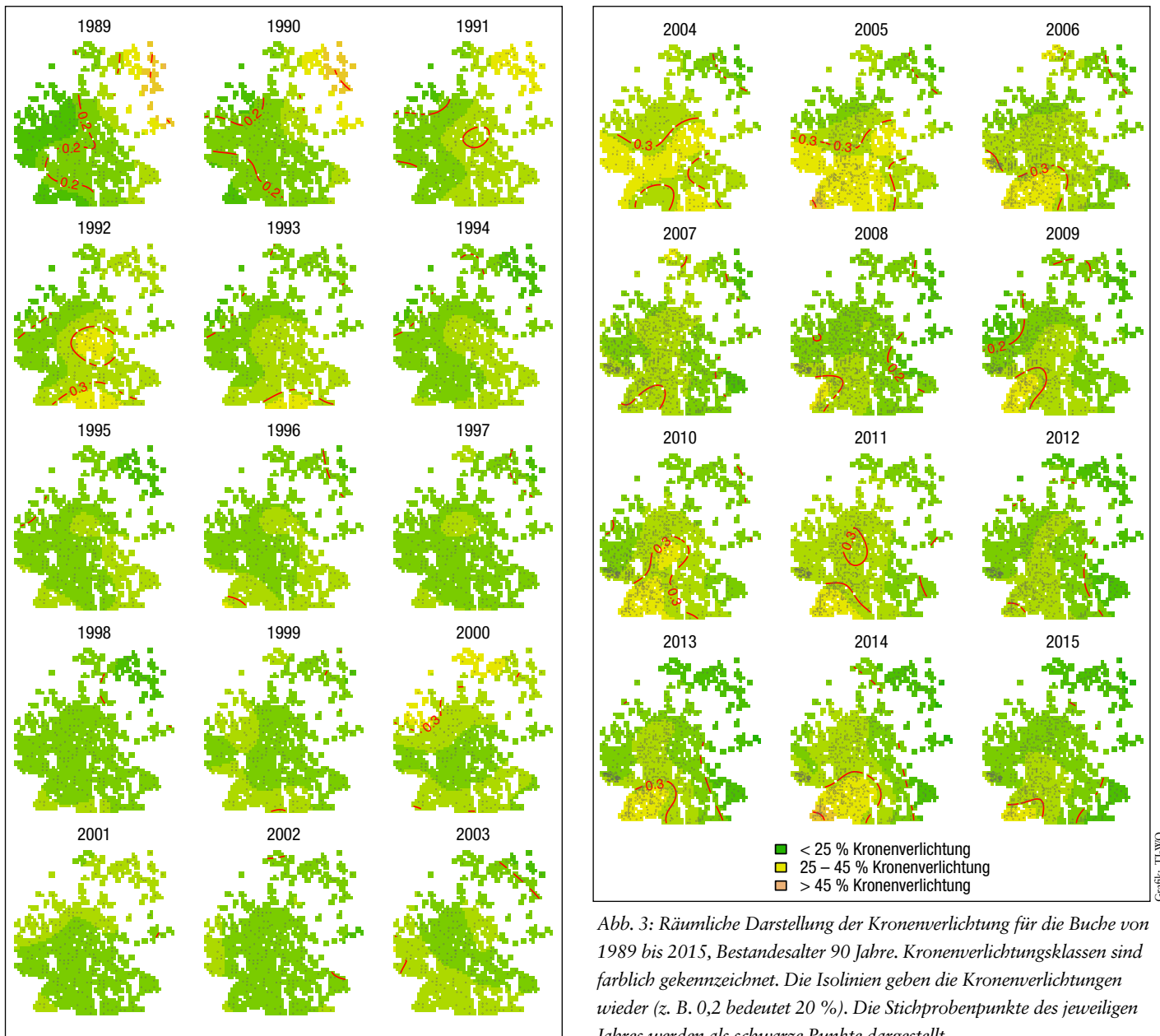


Abb. 3: Räumliche Darstellung der Kronenverlichtung für die Buche von 1989 bis 2015, Bestandesalter 90 Jahre. Kronenverlichtungsklassen sind farblich gekennzeichnet. Die Isolinien geben die Kronenverlichtungen wieder (z. B. 0,2 bedeutet 20 %). Die Stichprobenpunkte des jeweiligen Jahres werden als schwarze Punkte dargestellt.



Foto: Eickenscheidt

Abb. 4: Die Kronenverlichtung hat bei Kiefer ab 1991 wieder abgenommen.

## Steuergrößen der Kronenverlichtung

Das Bestandesalter repräsentiert die wichtigste Steuergröße für die Höhe der Kronenverlichtung bei allen vier Hauptbaumarten. Bis etwa die Hälfte der beobachteten Variabilität der Kronenverlichtung kann durch das Bestandesalter erklärt werden. Das Bestandesalter spiegelt jedoch z. T. auch die Bestandesituation wider. Bei der Fichte zeigt sich ihre Empfindlichkeit gegenüber Trockenstress. Sowohl die Verdunstung des Vorjahres als auch der Sandanteil des Bodens beeinflussen die Höhe der Kronenverlichtung der Fichte. Fichtenbestände in Regionen, die von hohen Verdunstungen betroffen sind und gleichzeitig auf sandigen Böden stocken, sind somit besonders von hohen Kronenverlichtungen betroffen, wie z. B. in Teilen des Schwarzwaldes. Des Weiteren spielt die Stickstoffdeposition bzw. Stickstoffversorgung der Fichte eine Rolle. Negative Effekte auf die Kronenverlichtung scheinen sowohl bei Mangel als auch bei deutlichem Überschuss aufzutreten, beide Kategorien kommen jedoch im Datensatz wenig vor (Abb. 5).

Die Kronenverlichtung der Buche wird von ähnlichen Steuergrößen beeinflusst wie die Kronenverlichtung der Fichte. Für die Buche lässt sich ebenso ein deutlicher Witterungseinfluss feststellen, der sich zum einen indirekt über die Fruktifikation zeigt und zum anderen direkt in Form von Trockenstress (Niederschlagssumme des Vorjahres). Die Stickstoffversorgung der Buche spielt ebenfalls eine entscheidende Rolle. Anders als bei der Fichte konnten für die Buche keine negativen Effekte einer Stickstoffüberversorgung, sondern nur einer Mangelerkrankung festgestellt werden. Nur wenige Buchen weisen jedoch eine unzureichende Stickstoffversorgung auf. Wie bei der Fichte kommen

die niedrigsten Kronenverlichtungen bei leicht luxuriöser Versorgung vor.

Im Vergleich zu Fichte und Buche konnten für die relativ trocken-resistente Kiefer wenig Anzeichen von Trockenstress beobachtet werden. Eine Ausnahme bildet der Zeitraum zu Beginn der Zeitreihe (mehrere Trockenjahre in Folge). Der Insektenbefall, der wiederum zum Teil von der Witterung gesteuert wird, spielt eine entscheidende Rolle für die Höhe der Kronenverlichtung der Kiefer. In der vorliegenden Studie konnte außerdem ein negativer Effekt von hohen austauschbaren Calciumvorräten im Boden auf die Kronenverlichtung der Kiefer gezeigt werden, der auf eine erschwerte Kaliumaufnahme infolge des Kalium-Calcium-Antagonismus insbesondere bei Trockenheit auf kalkreichen Standorten hinweisen könnte. Auch die Eiche zeigt weniger Trockenstress im Vergleich zur Fichte und Buche. Der Insektenbefall spielt hier ähnlich wie bei der Kiefer eine wichtige Rolle und ist weit verbreitet im Bundesgebiet.

## Folgerungen

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Kronenverlichtungen der Fichte und Kiefer niedriger sind als die Kronenverlichtungen der Buche und Eiche. Hier spielt u. a. der Alterseffekt eine Rolle. Die direkten Wirkungen der Schwefeleinträge, die vor ihrer Reduzierung im Rahmen des Luftreinhalteprogramms in den 1980er-Jahren erheblich zu hohen Kronenverlichtungen vor allem der Nadelbäume in den Mittelgebirgen beigetragen haben, sind zurückgetreten. In den Vordergrund rücken nun unter den gegebenen Vorbelastungen der Waldböden die Folgen des Klimawandels. Neben dem direkten Effekt von Trockenstress spielen auch indirekte

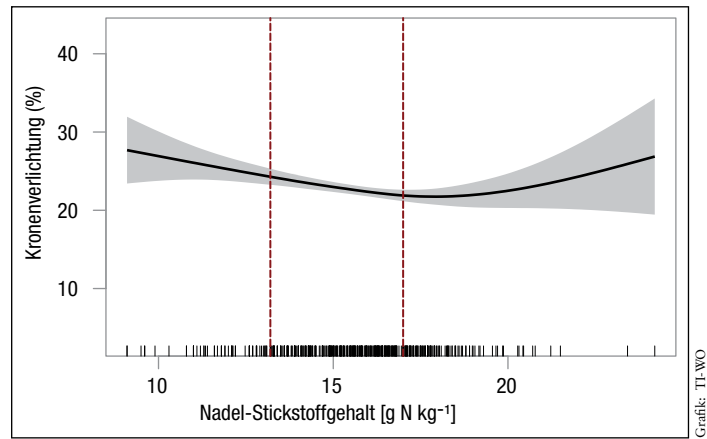


Abb. 5: Effekt des Stickstoffgehalts im aktuellen Nadeljahrgang auf die Kronenverlichtung der Fichte. Die Striche an der x-Achse spiegeln die Stichprobenbelegung wider. Der grau schattierte Bereich kennzeichnet den Vertrauensbereich. Die rot gestrichelten Linien geben die Grenzen des Normalbereichs der Stickstoffversorgung nach Göttlein (2015)[3] wieder.

Grafik: TI-WO

Effekte über zunehmende Fruktifikation und Insektenmassenvermehrung bzw. die Ausbreitung wärmeliebender Insekten und Pilze eine entscheidende Rolle. In dem untersuchten Zeitraum sind negative Effekte der Witterungsveränderung auf die Kronenverlichtung insbesondere in Südwest- und Mitteldeutschland zu beobachten. Auch den chronisch hohen Stickstoffeinträgen in die Waldökosysteme und möglichen Wechselwirkungen mit Klimaänderungen sollten weiterhin Beachtung geschenkt werden. Ziel sollten ein weiterer Rückgang der Bodenversauerung und eine weitere Reduzierung von Schadstoffeinträgen sein, um Stressfaktoren für die Waldbäume zu verringern und somit eine bessere Regenerationsfähigkeit und Anpassungsfähigkeit an den Klimawandel zu fördern.

## Literaturhinweise:

- [1] AUGUSTIN, N.; MUSIO, M.; VON WILPERT, K.; KUBLIN, E.; WOOD, S.; SCHUMACHER, M. (2009): Modeling spatio-temporal forest health monitoring data. *Journal of the American Statistical Association*, 104 (487), 899-911. [2] WOOD, S. N. (2006): Generalized additive models. An introduction with R. Boca Raton, Florida, USA: Chapman & Hall/CRC. [3] GÖTTLEIN, A. (2015): Grenzwertbereiche für die ernährungsdiagnostische Einwertung der Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Eiche, Buche. *Allgemeine Forst Und Jagdzeitung*, 186 (5/6), 110-116.

Dr. Nadine Eickenscheidt, nadine.eickenscheidt@thuenen.de, Dr. Nicole Wellbrock und Lutz Hilbrig sind wissenschaftliche MitarbeiterInnen und Petra Dühnelt ist technische Mitarbeiterin am Thünen-Institut für Waldökosysteme, Eberswalde. Dr. Nicole Wellbrock ist Bundesinventarleiterin für die Waldzustandserhebung und die Bodenzustandserhebung im Wald. Dr. Nicole Augustin ist Associate Professor am Department of Mathematical Sciences an der Universität Bath.

