

Die Mistel und ihr Einfluss auf das Wachstum der Kiefern im Reinbestand

Eric Andreas Thurm, Barbara Meyer-Münzer, Alexandra Wauer, Hans-Joachim Klemmt
Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Freising

1 Einleitung

Die weißbeerige Mistel (*Viscum album* L.) ist ein Hemiparasit. Sie ist in der Lage, Wasser und Nährsalze eines Wirtsbaumes anzuzapfen, betreibt aber selbst noch Photosynthese. Eine Besonderheit der Mistel ist ihre Fähigkeit zu sehr hohen Transpirationsraten, welche auch dann noch aktiv sind, wenn der Wirtsbaum durch Trockenstress seine Stomata geschlossen hat (Dobbertin, 2005; Durand-Gillmann et al., 2014; Sangüesa-Barreda et al., 2013). Besonders in Zeiten vermehrter Wasserverknappung kann der Einfluss der Mistel für die Forstwirtschaft zunehmend relevanter werden.

Die Mistel ist in Mitteleuropa weit verbreitet und kommt in drei Unterarten vor: Kiefernmistel (*V. album* ssp. *austriacum* (WIESB.) VOLLM.), Tannenmistel (*V. album* ssp. *abietis* (WIESB.) ANCH.) und Laubholzmistel (*V. album* L. ssp. *album*). Die Arten unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Wirtswahl. Die Kiefernmistel, in der es in diesem Beitrag geht, kommt auf der Waldkiefer (*Pinus sylvestris* L.), der Schwarzkiefer (*Pinus nigra* J.F.ARNOLD) und der Bergkiefer (*Pinus mugo* ssp. *uncinata* (DC.) DOMIN) vor. Selten befällt sie auch die Gemeine Fichte (*Picea abies* (L.) KARST.) sowie Lärchenarten (*Larix* ssp.).

Auch die Ausbreitung der Mistel ist an spezielle Arten gekoppelt. Das liegt hauptsächlich daran, dass der Samen der Mistel von einem klebrigen „Sekret“ umgeben ist, zu dessen erfolgreichen Verbreitung nur wenige Vogelarten in der Lage sind. Hauptsächlich sind drei Arten dazu befähigt: die Misteldrossel (*Turdus viscivorus* L.), der Seidenschwanz (*Bombycilla garrulus*) und die Mönchsgrasmücke (*Sylvia atricapilla*). Misteldrosseln und Seidenschwänze fressen die Beeren als Ganzes und scheiden nach einer kurzen Verdauungszeit von 5 bis 10 Minuten die unverdauten Mistelsamen wieder aus. Die Mönchsgrasmücken dagegen öffnen die Beeren und „kleben“ sie auf diese Weise auf einen Ast. Trotz Ornithochorie bleibt die Ausbreitung auf einen außergewöhnlich geringen Raum beschränkt.

Mistelsamen haften sich nach ihrer Keimung zunächst an der Rinde fest. Ein Primärsenker erreicht nach circa 8 Wochen das Kambium der Wirtspflanze. Anschließend wächst die Mistel nicht aktiv, sondern wird umwallt und auf diese Weise in das Wirtsxylem implementiert. Ist ein Wirtsbaum sehr vital, kann er den Mistelkeimling überwallen und damit abtöten. Ein geschwächter Baum dagegen kann sich kaum gegen die Etablierung eines Mistelkeimlings wehren. Danach wird er die der Etablierungsstelle folgenden Astpartie im Laufe der Zeit immer schlechter mit Wasser und Nährstoffen versorgen können. Der Ast wächst geringer als nicht befallene Äste, bildet weniger Nadeln aus und trägt damit weniger zur Photosynthese bei als ein gesunder Ast.

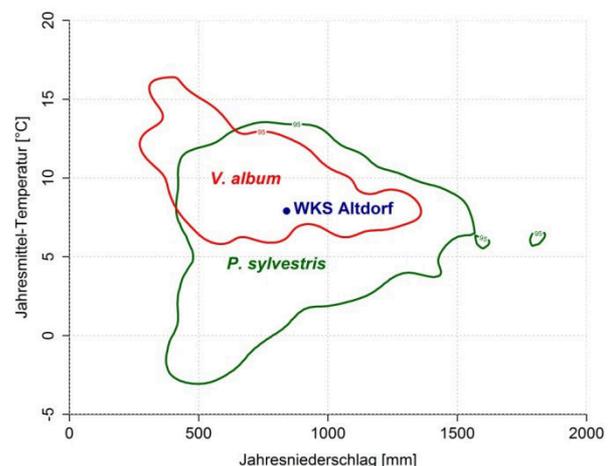


Abb. 1: Klimahüllen der Waldkiefer (grün - Daten nach Thurm et al., 2018) und der weißbeerigen Mistel (rot - Daten Level I); die Waldklimastation Altdorf befindet sich in der Schnittfläche beider Klimahüllen.

Aus verschiedenen kieferndominierten Gebieten werden seit einiger Zeit großflächige Absterbeereignisse dokumentiert. Zahlreiche Studien beschäftigen sich mit deren Ursachen (beispielsweise Rigling et al. 2006; Galiano et al. 2010; Rigling et al. 2013). In diesen Regionen tritt auch die Kiefernmistel vermehrt auf. Erste Erkenntnisse weisen darauf hin, dass es sich nicht um einzelne Faktoren handelt, die zum Absterben führen, sondern um langfristig wirkende „Prozessketten“. Die Mistel ordnet sich dabei

zwischen verschiedenen abiotischen und anderen biotischen Faktoren ein. Um den Kontext des europaweiten Kiefernsterbens zu verstehen, bedarf es einer Auswertung mit einem großen geographischen Gradienten in Europa. Die hier vorgestellte Pilotstudie hat daher den Anspruch, den Zuwachsverlust durch die Mistel auf Einzelbaum- und Bestandesebene aufzuzeigen. Des Weiteren dient die Arbeit der methodischen Aufarbeitung und soll die Basis darstellen für weiterführende Forschungsarbeiten.

2 Methode

2.1 Studiengebiet

Der circa 100-jährige Kiefern-Reinbestand im Nürnberger Reichswald ist repräsentativ für die Landschaft und deshalb seit 1990 auch Teil des intensiven Umweltmonitorings. Der Standort zählt zu den Ärmsten in Bayern, eine geringe Nährstoffversorgung (Parabraunerde) sowie eine niedrige Wasserhaltekapazität (Sand) kennzeichnen ihn. Der durchschnittliche Gesamtwuchs des Bestandes liegt bei 8,2 Vfm/ha in der letzten Periode bei einer Oberhöhe von 23,6 m im Alter von 94 Jahren. Die Bestandesparameter der letzten Jahre sind in Tab. 1 zusammengefasst. Der Bestand verzeichnete seit Beginn des neuen Jahrtausends einen erheblichen Zuwachssprung. Dazu tragen insbesondere die erhöhten Nährstoffeinträge bei, die in der gesamten Region auf der Standorteinheit zu beobachten sind. Weiterhin wurde der Zuwachssprung durch eine starke Durchforstung im Jahre 2003 verursacht, auf die der Bestand trotz seines hohen Alters noch positiv reagierte.

Die jährliche Waldzustandserhebung brachte in den letzten Jahren in dem Bestand einen vermehrten Mistelbefall zu Tage. Das umfassende Datenvolumen prädestinierte den Bestand für eine Pilotstudie zur Kiefernmistel.

Tab. 1: Bestandesparameter der Versuchsfläche Altdorf, fünfjähriges Mittel der Stammzahl (NV), der Oberhöhe (HO), des Durchmessers der Oberhöhenbäume (DO), der mittleren Höhe (HGV), des mittleren Durchmessers (DGV), der Grundfläche (GV), des Vorrats (VV), des laufenden Grundflächenzuwachses (IG) und des laufenden Volumenzuwachses (IV)

| Jahr | Alter | NV | HO [m] | DO [cm] | HGV [m] | DGV [cm] | GV [m ²] | VV [m ³] | IG [m ² /a] | IV [m ³ /a] |
|------|-------|-----|-----------|------------|------------|-------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 2002 | 79 | 930 | 22.6 | 28.8 | 20.3 | 21.5 | 35.5 | 335.1 | 0.4 | 5.2 |
| 2007 | 84 | 553 | 23.0 | 31.3 | 21.4 | 24.8 | 27.6 | 273.6 | 0.5 | 6.1 |
| 2012 | 89 | 510 | 23.3 | 33.1 | 21.8 | 26.3 | 28.6 | 289.2 | 0.7 | 8.5 |
| 2017 | 94 | 493 | 23.6 | 35.1 | 22.3 | 28.0 | 31.2 | 323.6 | 0.7 | 8.2 |

2.2 Dendrometrische Aufnahmen

Im Rahmen der planmäßigen Durchforstungen wurden im Oktober 2017 Stammscheiben in 1,3 m Höhe gewonnen, um den Einfluss der Mistel auf den Zuwachs beschreiben zu können. Der Eingriff wurde als klassische Niederdurchforstung geführt. Für die Studie wurden im Zuge dieser Durchforstung Stammscheiben von 30 Bäumen gewonnen. 15 Bäume waren dabei mit Misteln befallen. Die 15 restlichen, nicht befallenen Bäume dienten als Kontrollkollektiv. Die Stammscheiben wurden mit der LINTAB (RINNTECH, Heidelberg, Deutschland) mit einer Genauigkeit von 1/100 mm in alle vier Himmelsrichtungen eingemessen. Die Jahrring-Reihen wurden visuell mit dem Programm TSAP-Win Pro (RINNTECH) synchronisiert und anschließend baumweise durch arithmetische Mittelung zusammengefasst. Um die verschiedenen Bäume miteinander vergleichen zu können, wurde der Alterstrend des Zuwachses mittels der Hugershoff-Funktion eliminiert (Abb. 2). Da der Mistelbefall wahrscheinlich das Wachstum kontinuierlich vermindert und damit die Alters-Wachstumskurve absenkt, wurde die Hugershoff-Funktion nur bis zum Jahr 2000 an die Bohrkerndaten angepasst (drei Jahre bevor die ersten Misteln datiert wurden).

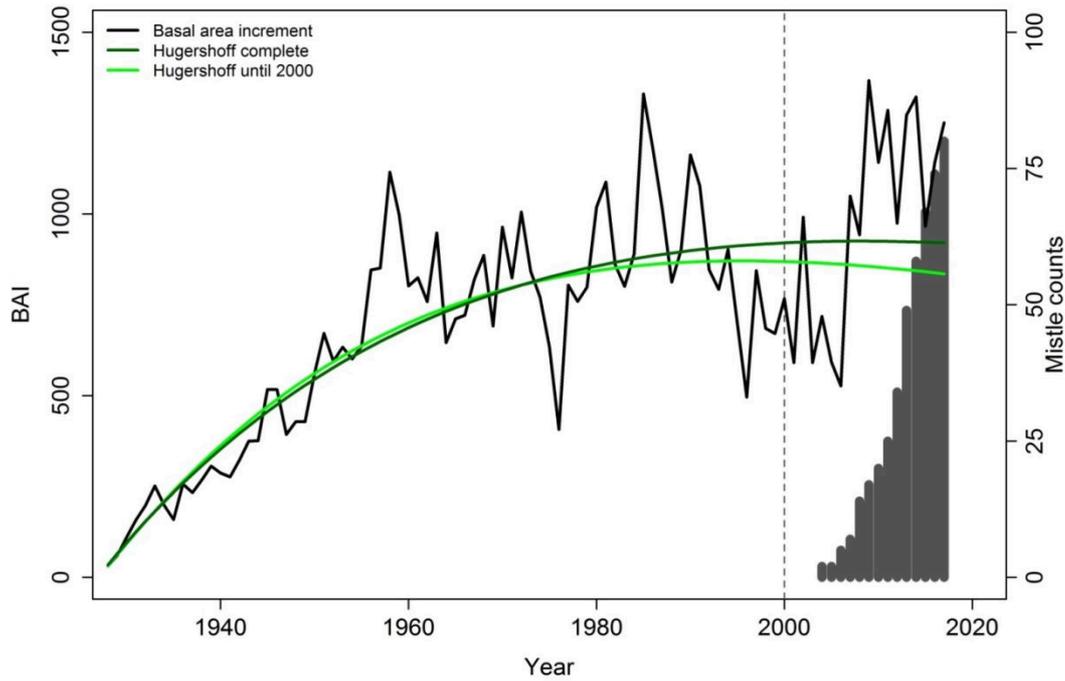


Abb. 2: Exemplarische Darstellung des angewandten Detrending-Verfahrens des Grundflächen-Zuwachses (BAI) einer Waldkiefer (schwarze Linie); die ansteigende Anzahl der Misteln an den gefälltten Bäumen ab 2003 sind mit schwarzen Balken dargestellt. Die Hugershoff-Funktion, die zur Bereinigung des Alterstrends dient, wurde nur bis zum Jahr 2000 angepasst (dunkelgrüne Linie), da eine Anpassung über den kompletten Zeitraum (hellgrüne Linie) zu einer Verzerrung geführt hätte.

Der Bestand ist Teil des intensiven Umweltmonitorings. Seit 1990 werden u. a. jedes Jahr die BHD aller Bäume sowie die Höhen der stärksten Bäume gemessen. Die Baumhöhen des restlichen Bestandes wurden mithilfe der Sloboda-Funktion abgeleitet.

2.3 Erfassung und Klassifizierung der Misteln

Drei unterschiedliche Verfahren wurden zur Aufnahme der Misteln herangezogen.

- Im Rahmen der Durchforstung wurden die Misteln an allen gefälltten Bäumen erfasst und nach Größe klassifiziert (klein, mittel, groß). Ergänzend wurden die Durchmesser von 30 Misteln per Maßband nachgemessen. Mithilfe der Zählung der Verzweigungen konnte das Alter der Misteln bestimmt werden. Um die Größe der Misteln retrospektiv zu bestimmen, wurde der Zusammenhang von Mistelalter und Kreisfläche der Mistel mithilfe einer Chapman-Richards-Funktion nachvollzogen (siehe Abb. 3). Die Kreisfläche der Mistel wurde an Stelle der Kreisoberfläche als Bezugsgröße gewählt. Sie dient als Proxy für die zur Verdunstung zur Verfügung stehende Fläche und berücksichtigt besser den lichten Wuchs der Mistel.

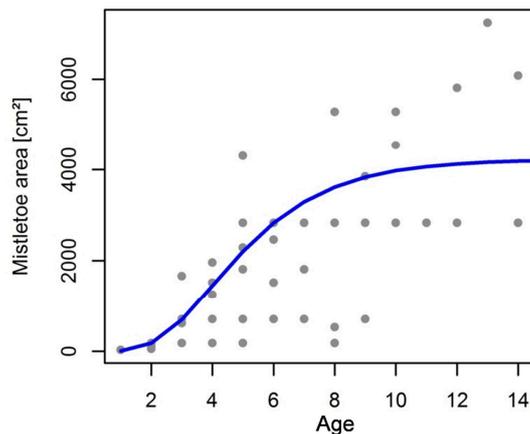


Abb. 3: Zusammenhang von Mistelkreisfläche und Alter der Mistel; angepasst mit einer Chapman-Richards-Funktion auf Basis der Misteln an den gefälltten Probebäumen.

- Im Rahmen des Monitorings wurden die Misteln an allen Bäumen vom Boden mittels Fernglas gezählt und ebenfalls in die oben genannten drei Größenkategorien eingruppiert.
- Des Weiteren wurden vom Bestand Orthophotos durch ein Drohne (AscTec Falcon 8 Trinity + Sony Alpha 7R, Ascending Technologies GmbH, Krailling, Deutschland) erstellt. Die Mistelflächen wurden in einer GIS-Umgebung händisch aus den Orthophotos ausgeschnitten (detaillierte Beschreibung siehe Ecke 2017).

2.4 Statistik

Für den Vergleich der Bohrkerndaten befallener und unbefallener Bäume eignen sich die Jahrring-Charakteristika „durchschnittlicher Zuwachs“ und „mittlere Sensitivität“. Die Charakteristika wurden für vier 20-Jahresperioden berechnet (ab 1940).

Die Berechnung der Zuwachsverluste erfolgte mit linear gemischten Modellen anhand (I) des Grundflächen-Zuwachses der entnommenen Bäume

$$BAII_{it} = Year + MArea_{it} + DBH_{it} + MArea_{it} * DBH_{it} + \varepsilon_i \quad (\text{eq. 1})$$

und (II) des Volumenzuwachses des Bestandes über den jährlichen Aufnahmen

$$IV_{it} = Year + MArea_{it} + DBH_{it} + Year_{it} * MArea_{it} + MArea_{it} * DBH_{it} + b_i + \varepsilon_i \quad (\text{eq. 2}).$$

Dabei wurde versucht, das Wachstum durch das Jahr der Betrachtung (*Year*), die Grundfläche der Mistel (*MArea*) und dem Brusthöhendurchmesser (*DBH*) zu erklären. Die Indizes *i* und *t* repräsentieren den einzelnen Baum und den Messzeitpunkt. Da wir Zuwachszeitreihen verwenden, besteht in den Daten eine Nestung. Diese berücksichtigen wir mittels eines gemischten Effektes, der auf dem Einzelbaum *b_i* liegt. ε stellt die Residuen dar. Alle Berechnungen wurden in der Softwareumgebung R angefertigt.

3 Ergebnisse

3.1 Befallssituation

Insgesamt waren 2017 37 % der Bäume im Bestand von Misteln befallen. Die Auswertung der Orthophotos ergab eine Befallsrate von 32 %. Die Ansprache mittels Fernglas vom Boden wies 27 % befallene Bäume aus. Weder auf den Orthophotos noch bei der terrestrischen Ansprache wurden alle Misteln erkannt. Das wahre Ausmaß des Befalls ließ sich erst an den gefälltten Bäumen erkennen. So waren die Bäume in Altdorf durchschnittlich von 1,8 Misteln befallen (1 - 5 Misteln). Unter den gefälltten Bäumen waren aber auch Exemplare mit 20 – 26 Misteln vertreten.

Die befallenen Bäume gehören dem oberen Bestandeskollektiv an (Kraft'sche Klasse 1 und 2; siehe Abb. 4). Auch wenn die Bäume, von denen Stammscheiben gewonnen wurden, mehrheitlich zum schwächeren Bestandeskollektiv zählten, ist auch hier ein Unterschied zu verzeichnen. Die befallenen Bäume waren signifikant höher, der BHD unterschied sich jedoch nicht.

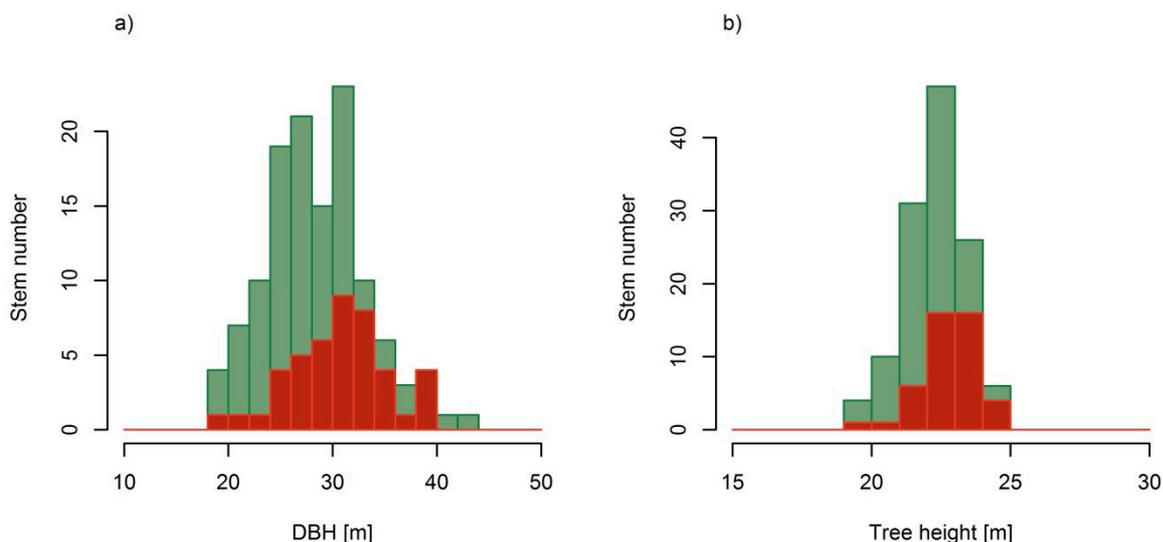


Abb. 4: Durchmesser- (a) und Höhenverteilung (b) anhand der absoluten Stammzahl auf der Versuchsfläche (mit Misteln befallene Bäume – rot, nicht befallene Bäume - grün)

3.2 Bohrkernauswertung

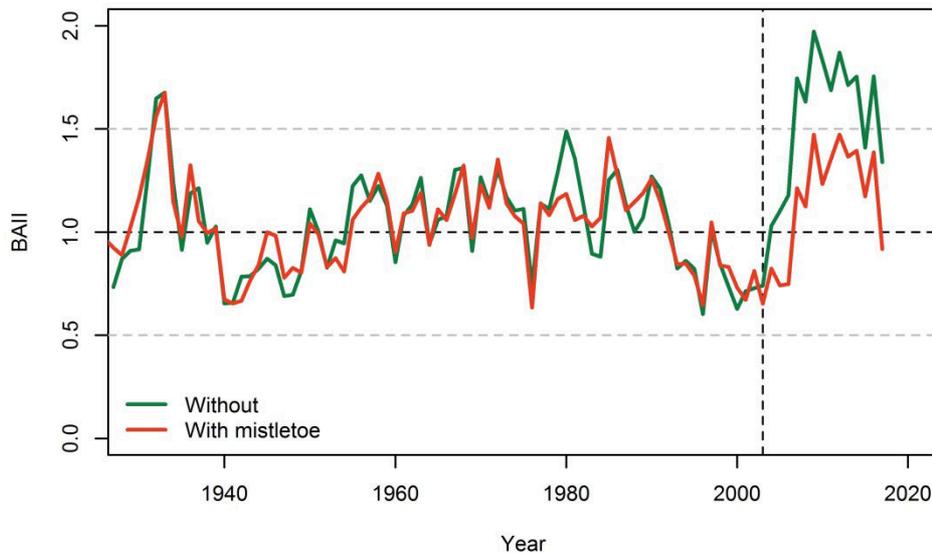


Abb. 5: Verlauf der Chronologie mit Mistel befallener Bäume (rot) und nicht befallener Bäume (grün); der Zeitpunkt des Trockenjahres 2003, in dem der Mistelbefall einsetzte, ist mit einer vertikalen gestrichelten Linie gekennzeichnet.

Der Vergleich der Bohrkern-Chronologie (befallen/unbefallen) ergab, dass sich die Chronologie der nicht mit Mistel befallenen ab 2003 besser entwickelt (Abb. 5). Dieser Unterschied trifft nicht auf die Grundflächenzuwächse zu (Abb. 6), sondern ist erst signifikant, wenn die alterstrendeliminierten Grundflächenzuwächse miteinander verglichen werden (für die Periode 2000 – 2017, ohne Abbildung). Die Analyse der mittleren Sensitivität (20-jährige Periode) zeigt, dass die mit Mistel befallenen Bäume in den vorherigen Perioden (1980 - 2000) eine geringere Sensitivität bzw. eine höhere Stabilität im Jahringzuwachs haben. Diesen Stabilitätsvorsprung im Zuwachs verlieren die Bäume dann in der Periode 2000 - 2017, sobald sie ab 2003 mit von Misteln befallen wurden.

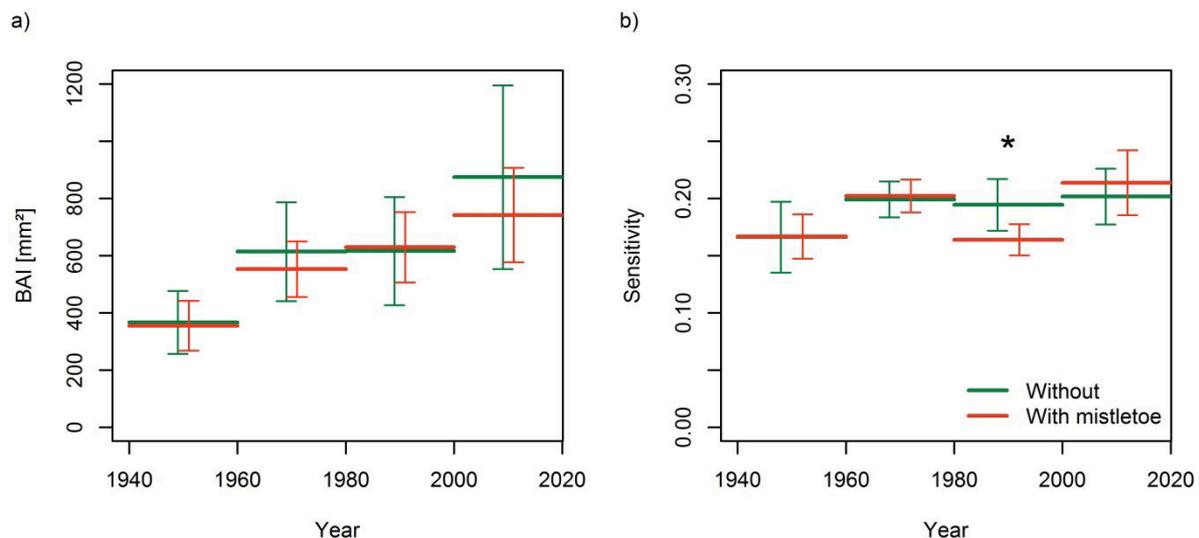


Abb. 6: Periodische Mittelwerte des Grundflächenzuwachses (BAI) (a) und der mittleren Sensitivität (b) getrennt für befallene und nicht befallene Bäume; Signifikanzen ($p < 0.05$) sind gekennzeichnet mit *.

Mithilfe des linear gemischten Modells (eq. 1) ließ sich an den Grundflächenzuwächsen der Probestämme ein signifikanter Zusammenhang ableiten, sowohl zur Mistelfläche sowie zur Wechselwirkung aus Mistelfläche und BHD (siehe Tabelle A1). Die Einzeljahre ab 2006 sowie das Jahr 2004 waren ebenfalls signifikant. Bei der Annahme eines exponentiellen Befalls eines Baumes mit Misteln (siehe auch Abb. 7) zeigt sich, dass die Mistel (bei 2,5 m² Mistelfläche in der Krone) den Zuwachs eines Baumes mit einem

Durchmesser von 24 cm (durchschnittlicher BHD unseres Bohrkollektivs) bis zu 21 % herabsetzen kann. Da die Probestämme lediglich das untere Bestandeskollektiv repräsentieren, lässt sich das Modell nicht ohne weiteres auf den gesamten Versuchsbestand transferieren.

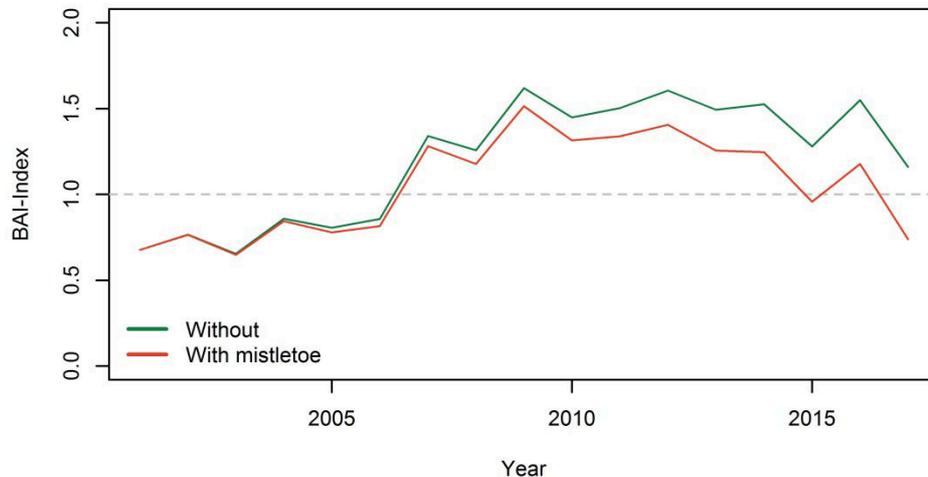


Abb. 7: Verlauf des trendeliminierten Grundflächenzuwachses (BAI-Index) eines 24 cm dicken Baumes (BHD) auf Basis eines linear gemischten Modells; grün – Annahme, dass der Baum nicht befallen ist, rot – seit 2003 nimmt der Befall am Baum exponentiell zu, die Misteln besiedeln ab 2017 eine Fläche von 2,5 m². Das entspricht einem mittelstark befallenen Baum mit etwa 5 - 7 großen Misteln.

Für die bestandesweise Auswertung wurde daher auf die dendrometrischen Daten des jährlichen Monitorings zurückgegriffen (eq. 2). Retrospektive, quantitative Einwertungen des Mistelbefalls waren nicht vorhanden. Deshalb beschränkten wir uns bei unserer Auswertung auf den Zeitraum zwischen 2015 und 2017. Den Berechnungen liegt die Annahme zu Grunde, dass sich die Mistelbefallsfläche in den drei Jahren nicht wesentlich verändert hat.

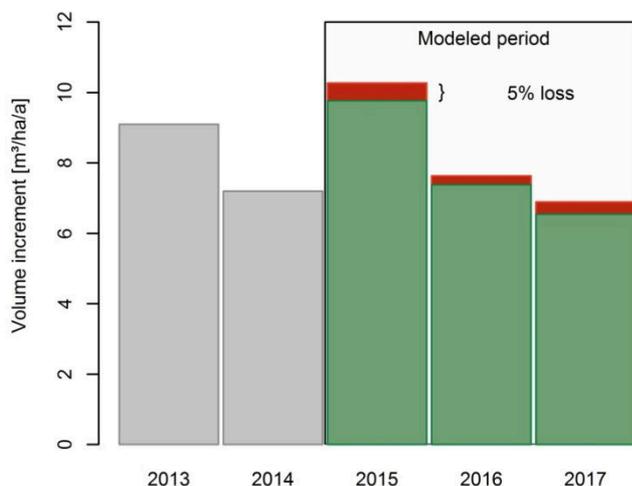


Abb. 8: Zuwachs pro ha des Bestandes in Altdorf. Modelliert wurden die Jahre 2015 – 2017 unter der Annahme von vorherrschendem Mistelbefall und keinem Mistelbefall. Die Differenz, die den Verlust auf Grund des Mistelbefalls angibt, ist rot dargestellt. Grau eingefärbt sind die gemessenen Zuwachswerte der vorangegangenen Jahre.

Die Modellierung auf Bestandesebene zeigte, dass der Zuwachs um circa 4,4 % (0,36 m³/ha/a) wegen des Befalls mit der Mistel sank (Tabelle A1 und Abb. 8). Der Zuwachsverlust war im Trockenjahr 2015 und auch 2017 stärker ausgeprägt (4,9 und 5,1 % bzw. 0,50 und 0,35 m³/ha/a).

4 Diskussion

4.1 Einfluss auf Wachstum und Stabilität

Mithilfe von Modellen, basierend auf Bohrkerndaten und Bestandesaufnahmen, konnten wir zeigen, dass die Misteln den Zuwachs auf Einzelbaum und Bestandesebene herabsetzen. Der Zuwachsverlust erhöht sich mit steigendem Befallsgrad und geringer werdendem Stammdurchmesser.

Auf Einzelbaumebene haben wir einen Verlust von 21 % festgestellt, bei einem angenommen Befall von 2,5 m² Mistelfläche. Auf Einzelbaumebene ist der Mistelbefall durch Bohrkernanalysen recht gut untersucht. Sangüesa-Barreda et al. (2012) kommen bei der Waldkiefer in Spanien auf Zuwachsverluste der Grundfläche von 51 %. In der Türkei zeigen Aufnahmen von Bilgili et al. (2018), dass mit einem Zuwachsverlust in Höhe von 41 % bis 64 % zu rechnen ist. Kanat et al. (2010) beziffern den Zuwachsverlust an Schwarzkiefern in der Türkei auf 36 % bis 50 %. Barbu (2009) ermittelte an stark befallenen Weißtannen in Rumänien einen Zuwachsverlust von mehr als 20 % im Vergleich zu kaum befallenen Weißtannen.

Die Zuwachsverluste der Studien rangieren in einem Bereich von 20 bis 60 %, womit sich unsere Studie eher bei einem vergleichsweise niedrigen Zuwachsverlust wiederfindet. Wir vermuten, dass die Ursache hauptsächlich der noch verhältnismäßig geringe Befall im Vergleich zu den anderen Studien ist. Bilgili et al. (2018) gibt beispielsweise an, dass sie an ihren 29 infizierten Bäumen 3055 Misteln ausgemacht haben. Drei intensiv untersuchte Kiefern aus der Studie von Sangüesa-Barreda et al. (2012) weisen 810 bis 826 Misteln auf. Auf unserer am stärksten befallene Kiefer befanden sich 26 Misteln und auch die von uns ermittelten 21 % Zuwachsverlust gehen eher von einem moderaten Befall von 5 - 7 großen Mistelbüschen aus. Eine Vergleichbarkeit unserer Kiefern ist daher nur bedingt möglich. Die Studien stimmen jedoch dahingehend überein, dass der Zuwachsverlust hochkorreliert ist mit dem Befallsgrad der Bäume. Da in unserem Bestand eine nahezu exponentielle Zunahme von Misteln in den letzten zwei Jahrzehnten zu verzeichnen war, dürfte auch hier mit einem höheren Zuwachsverlust in Zukunft zu rechnen sein.

Auf Bestandesebene haben wir einen Zuwachsverlust von rund 5 % ausgemacht. Studien, die sich ebenfalls auf die Bestandesebene beziehen, sind uns nicht bekannt. Dennoch erscheint auch hier der Verlust des Volumenzuwachses erstaunlich gering, wobei die Ursache wahrscheinlich ebenfalls in dem geringen Befall auf einen Einzelbaum bzw. auf Bestandesebene liegt.

Auch, dass das Trockenjahr 2015 nicht zu deutlich höheren Zuwachsverlusten durch die Mistel führte, war auffällig in unserer Auswertung. Sogar ein gegenteiliges Muster war zu verzeichnen - das Jahr 2015 führte sogar zu einem geringen Zuwachsplus im Vergleich zu 2014. Es ist nicht der Fall, dass sich das Jahr 2015 nicht als Trockenereignis in der Region äußerte, da die Klimamessungen direkt auf der Untersuchungsfläche ein deutliches Wasserdefizit verzeichneten (Abb. 9). Ein Zuwachsgewinn konnte auch an anderen Kiefern im Großraum der Untersuchungsfläche festgestellt werden. Eine Vermutung ist, dass die Bodenverhältnisse aus sandiger Deckschicht und wasserstauer Lehmschicht dazu führen könnten, die Kiefern nun im hohen Alter Wasseranschluss

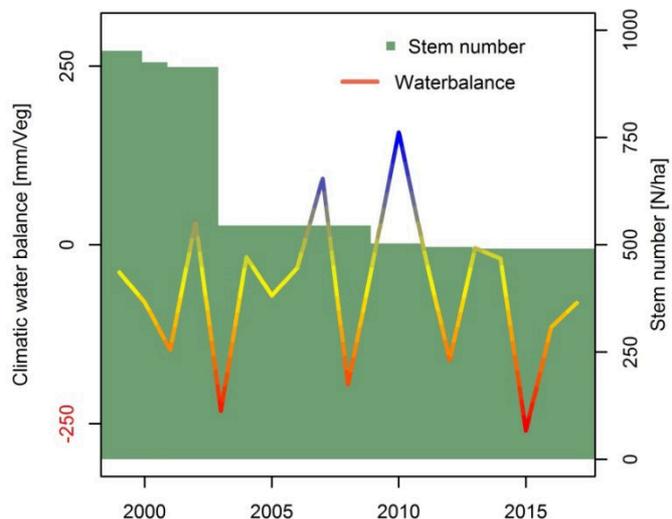


Abb. 9: Verlauf der Stammzahl pro Hektar auf der Versuchsfläche Altdorf (grün); die klimatische Wasserbilanz in der Vegetationsperiode (rot-blau Farbgradient) zeigt das generelle Wasserdefizit für die Kiefern und die Trockenstressjahre, 2003 und 2015.

besitzen und durch ausreichend Wasser positiv auf die warmen Temperaturen reagieren. Eventuell verbessert auch die verminderte Konkurrenz die Wasserversorgung der Kiefern (drastische Stammzahlabsenkung 2003, siehe Abb. 9)

4.2 Die Ursache der Verbreitung

Die Altersbestimmung der Misteln ergab, dass die ersten Misteln wahrscheinlich 2003 in den Bestand kamen bzw. sich die Mistel ab dann exponentiell im Bestand ausbreitete. Was jedoch war die Ursache für die Etablierung in dem Bestand? Wir vermuten, maßgeblich haben zwei Faktoren dazu beigetragen, die zeitlich ungünstig miteinander verknüpft waren.

- 1) Das Trockenstressjahr 2003 - Mit diesem Jahr ereignet sich in Mitteleuropa eine Jahrhundert-trockenheit (Ciais et al., 2005). Die klimatische Wasserbilanz, die durch die Waldklimastation auf der Fläche erfasst wurde, belegt ein drastisches Wasserdefizit (Abb. 9). Der Volumenzuwachs des Bestandes brach auf rund 3 Vfm/ha ein. An den Kiefern ist im Folgejahr die Kronen-transparenz durch Nadelverluste deutlich gestiegen (Wauer et al., 2018).
 - 2) Die Durchforstung 2003 – Der Bestand in Altdorf verfügt im Alter von 80 Jahren mit 930 Bäu-men pro Hekar über eine ausgesprochen hohe Stammzahl (730 N/ha, II.5 Ertragsklasse Wiede-mann 1943). Diese wurde 2003 durch eine Niederdurchforstung auf 560 Bäume pro Hektar herabgesetzt. Der Eingriff erfolgte wahrscheinlich nach der Vegetationsperiode.
- Somit entfiel der positive Effekt der Konkurrenzminderung. Die Bäume waren durch die Trockenheit exponiert für die Ausbreitung der Mistel. Der plötzlich hohe Lichtgenuss im Bestand begünstigte ei-ne Etablierung der lichtliebenden Mistel und macht auch den Bestand attraktiver für den Einflug von Vögeln.
 - Da die Kiefer nicht in der Lage ist, die entstandenen Lücken schnell zu schließen, blieb auch in den folgenden Jahren der Bestand ein attraktives Habitat für Vögel.

5 Schlussfolgerung

5.1 Waldbauliche Konsequenz

Wie kann jedoch mit der Etablierung umgegangen werden? Anders als im Obstbau lassen sich bei Waldbäumen nur im Einzelfall gärtnerische Arbeiten, beispielsweise Astentfernungen, vornehmen. Kanat et al. (2010) beschreiben, dass diese Maßnahme bei den Weißtannen durchaus zu einer Verbes-erung des Wachstums geführt hat. Derartige Maßnahmen sind jedoch kostenintensiv, da ein bloßes Entfernen der Misteln oft nicht ausreicht, denn aus dem verbleibenden Stumpf können Adventivspros-sen austreiben.

Ein naheliegendes Mittel scheint die Entnahme von mistelbefallenen Bäumen durch „Waldschutzhiebe“ zu sein. Auch hier ist Vorsicht geboten. In der Regel werden nur stark befallene Exemplare entdeckt. Dies sind meist die dicksten und höchsten Bäume des Kollektivs. Gerade solche herausragenden Bäume sind bevorzugte Vogelwarten. Entnimmt man diese, in der Regel großkronigen Bäume, erhalten die benachbarten Bäume wesentlich mehr Licht. Dies fördert das Wachstum der bisher ggf. dort vorhande-nen Misteln sowie auch den Neubefall.

Die Mistel ist einerseits wirtsspezifisch und verfügt andererseits nur über eine kurze Ausbreitungsdis-tanz. Die effektivste und ökologischste Alternative scheint daher zu sein, die Mischung von Nadel- und Laubbaumarten im Bestand zu verwirklichen.

5.2 Wissenschaftliche Konsequenz

Bei der Auswertung der Daten stellten wir fest, dass unser anfangs gewähltes Probekollektiv nicht die gesamte Durchmesserbreite des Bestandes abdeckt, sondern wegen des niederdurchforstungsartigen Eingriffs vor allem die schwachen Bäume enthielt. Besonders die starken Bäume (Kraft'sche Klassen 1 und 2) sind jedoch von dem Mistelbefall betroffen (siehe auch Hülsmann et al., 2013). Daher ist es von hoher Bedeutung, das gesamte Bestandeskollektiv zu beproben. Nur auf diese Weise lässt sich der Ein-fluss auf den Zuwachs der starken Bäume richtig abbilden.

Die Resilienz des gesamten Bestandes ist ein wichtiger Faktor im Klimawandel. Um diesen beurteilen zu können, ist weiterhin bedeutend herauszufinden, inwieweit die schwachen Bäume in der Lage sind, die Zuwachseinbrüche im Bestand aufzufangen. Eine Studie von Pretzsch et al. (2018) zeigt, dass besonders bei Trockenstress die Leistung der schwachen Bäume zum Bestandeszuwachs beiträgt. Die Studie bezieht sich derzeit jedoch auf stärker strukturierte Mischbestände. Es ist davon auszugehen, dass einschichtige Kiefern-Reinbestände nicht in diesem Umfang von der Umverteilung des Zuwachses profitieren. Dennoch scheint es lohnend, das Potential der schwächeren Bäume und somit die Resilienz des Bestandes zu untersuchen.

Weiterhin sollte künftig beobachtet werden, inwieweit der Mistelbefall zu einem Umsetzen im Bestand beiträgt. Der Angleichung der Jahrrings sensitivität der befallenen Bäume an die unbefallenen, schwächeren Bäume mit vormals niedriger Sensitivität ist schon ein erstes Indiz für eine Verschiebung der Stabilität im Baumkollektiv.

Der Vergleich zwischen den am besten geeigneten Verfahren zur Mistelbestimmung soll an dieser Stelle nur am Rande erwähnt werden, da die Auswertung wesentlicher Bestandteil der Arbeiten von Ecke (2017) und Behrendt (2017) waren und dort detailliert zu finden sind. Insgesamt steht fest, dass weder die visuelle Ansprache vom Boden noch die Aufnahme mit einer Drohne die Gesamtzahl der Misteln am Baum vollständig erfassen kann. Bisher zeigt nur die Auszählung nach einer Fällung das gesamte Ausmaß eines Mistelbefalls auf. In Zukunft muss eine vollautomatische Detektierung der Misteln aus Orthophotos priorisiert werden. Neben einer schnellen Auswertungsroutine und Objektivität bietet sie den Vorteil, die in der Lichtkrone sitzenden, vom Boden aus schwer anzusprechenden Misteln zu entdecken. Vor allem in dichten oder in zwei- und mehrschichtigen Beständen ist die Ansprache vom Boden aus zeitaufwändig, wenig genau und manchmal nahezu unmöglich.

Die Pilotstudie diente maßgeblich dazu, erstmals den Zuwachsverlust auf Bestandesebene zu beschreiben. Bei der Untersuchung zeigte sich, dass der Probestand durchaus einige Sondersituationen enthielt, wie beispielsweise die Zuwachszunahme durch Nährstoffeinträge, Einfluss durch eine starke Durchforstung, etc.. Um die Analyse auf Bestandesebene weiter voran zu bringen, bedarf es dringen weiterer Probestände, die unterschiedliche klimatische und standörtliche Gradienten abdecken. Des Weiteren scheint die Beobachtung unterschiedlicher Mischungsgrade als höchst praxisrelevant, um die Frage beantworten zu können: Wie effektiv ein Baumartenmischung als Prävention gegen exponentielle Ausbreitung ist?

Danksagung

Unser Dank richtet sich an Herrn Simon Ecke und Herrn Kai Behrendt, die mit ihrer Bachelor- bzw. Masterarbeit dazu beitragen, dass die Datengrundlage für unsere Auswertung geschaffen und die Literatur zur Mistel gesichtet wurde.

Anhang

Tabelle A1: Koeffizienten der Modellierung von dem Grundflächenzuwachs des Einzelbaumes und von dem Volumenzuwachs des Bestandes.

| Independent variables: | Dependent variables: | |
|---------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| | Basal area increment (eq. 1) | Vol. increment (eq. 2) |
| MArea | 0.000 ** | 0.000 *** |
| DBH | -0.001 | 0.002 *** |
| MArea:DBH | 0.000 ** | 0.000 * |
| MArea:Year2016 | | 0.000 |
| MArea:Year2017 | | 0.000 |
| Year2002 | 0.090 | |
| Year2003 | -0.021 | |
| Year2004 | 0.182 * | |
| Year2005 | 0.129 | |
| Year2006 | 0.180 * | |
| Year2007 | 0.665 *** | |
| Year2008 | 0.582 *** | |
| Year2009 | 0.944 *** | |
| Year2010 | 0.772 *** | |
| Year2011 | 0.827 *** | |
| Year2012 | 0.930 *** | |
| Year2013 | 0.817 *** | |
| Year2014 | 0.849 *** | |
| Year2015 | 0.604 *** | |
| Year2016 | 0.873 *** | 0.011 *** |
| Year2017 | 0.485 *** | 0.011 *** |
| Year2016:DBH | | -0.001 *** |
| Year2017:DBH | | -0.001 *** |
| MArea:Year2016:DBH | | 0.000 |
| MArea:Year2017:DBH | | 0.000 |
| Constant | 0.829 ** | -0.027 *** |

Significance code: *p<0.05; **p<0.01; ***p<0.001

Literaturverzeichnis

- Barbu, C., 2009. Impact of mistletoe attack (*Viscum album* ssp. *abietis*) on the radial growth of silver fir. A case study in the North of Eastern Carpathians. *Ann For Res* 52, pp. 89–96.
- Behrendt, K., 2017. Die Nadelholzmistel in Bayern - Analyse von Befallssituation, Ursachen und Auswirkungen anhand von Langzeitmonitoringdaten. Master thesis, Freising.
- Bilgili, E., Ozturk, M., Coskuner, K.A., Baysal, I., Serdar, B., Yavuz, H. et al, 2018. Quantifying the effect of pine mistletoe on the growth of Scots pine. *For. Path.* 48, e12435.
- Ciais, P., Reichstein, M., Viovy, N., Granier, A., Ogée, J., Allard, V. et al, 2005. Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature* 437, pp. 529–533.
- Dobbertin, M., 2005. Tree growth as indicator of tree vitality and of tree reaction to environmental stress: A review. *Eur J Forest Res* 124, pp. 319–333.
- Durand-Gillmann, M., Cailleret, M., Boivin, T., Nageleisen, L.-M., Davi, H., 2014. Individual vulnerability factors of Silver fir (*Abies alba* Mill.) to parasitism by two contrasting biotic agents: Mistletoe (*Viscum album* L. ssp. *abietis*) and bark beetles (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) during a decline process. *Ann For Sci* 71, pp. 659–673.
- Ecke, S., 2017. Aufnahme hochaufgelöster Luftbilder mittels UAV zur Visualisierung und räumlichen Analyse von Kiefernmisteln (*Viscum album* ssp. *austriacum* (Wiesb.) Vollmann) an Waldkiefern (*Pinus sylvestris* L.). Bachelorarbeit, Freising.
- Hülsmann, L., Evers, J., Eichhorn, J., 2013. Mistelbefall im Hessischen Ried - Kiefernserben durch die Mistel? *AFZ-Der Wald*, pp. 27–29.
- Kanat, M., Alma, H., Sivrikaya, F., 2010. The effect of *Viscum album* L. on annual diameter increment of *Pinus nigra* Arn. *African Journal of Agricultural Research* 5, pp. 166–171.

- Pretzsch, H., Schütze, G., Biber, P., 2018. Drought can favour the growth of small in relation to tall trees in mature stands of Norway spruce and European beech. *Forest Ecosystems* 5, p. 20.
- Sangüesa-Barreda, G., Linares, J.C., Camarero, J.J., 2012. Mistletoe effects on Scots pine decline following drought events: Insights from within-tree spatial patterns, growth and carbohydrates. *Tree Physiol* 32, pp. 585–598.
- Sangüesa-Barreda, G., Linares, J.C., Julio Camarero, J., 2013. Drought and mistletoe reduce growth and water-use efficiency of Scots pine. *Forest Ecol Manag* 296, pp. 64–73.
- Stiegler, J., Wörle, A., Zimmermann, L., Dietrich, H.P., 2016. Es war einmal ein heißer Sommer - Auswirkung der Trockenperiode 2015 auf die Durchmesserentwicklung von Bäumen. *LWFaktuell* 3, pp. 10-13.
- Thurm, E.A., Hernandez, L., Baltensweiler, A., Ayan, S., Rasztovits, E., Bielak, K. et al, 2018. Alternative tree species under climate warming in managed European forests. *Forest Ecol Manag* 430, pp. 485–497.
- Wauer, A., Klemmt, H.-J., Zimmermann, L., 2018. Sonderauswertung der Waldzustandserhebung. *AFZ-Der Wald*, pp. 43–48.