

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 171 (2020)

Heft: 5

Artikel: Früher Laubfall der Buche während der Sommertrockenheit 2018 : Resistenz oder Schwächesymptom?

Autor: Wohlgemuth, Thomas / Kistler, Martin / Aymon, Celine

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1097305>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 02.05.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Früher Laubfall der Buche während der Sommertrockenheit 2018: Resistenz oder Schwächesymptom?

Thomas Wohlgemuth	Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL (CH)*
Martin Kistler	BINA Engineering SA (CH)
Celine Aymon	Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL (CH)
Frank Hagedorn	Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL (CH)
Arthur Gessler	Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL (CH), und Institut für terrestrische Ökosysteme, ETH Zürich (CH)
Martin M. Gossner	Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL (CH)
Valentin Queloz	Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL (CH)
Irina Vöggtli	Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL (CH)
Ulrich Wasem	Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL (CH)
Yann Vitasse	Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL (CH)
Andreas Rigling	Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL (CH), und Institut für terrestrische Ökosysteme, ETH Zürich (CH)

Früher Laubfall der Buche während der Sommertrockenheit 2018: Resistenz oder Schwächesymptom?

Die Sommertrockenheit 2018 führte in verschiedenen Regionen der Schweiz zum vorzeitigen Laubfall bei Buchen (*Fagus sylvatica* L.). Es stellte sich die Frage, ob dieser Laubfall als Resistenzreaktion aufgefasst werden soll, die den Buchen einen physiologischen Vorteil verschafft, oder als ausgeprägtes Schwächesymptom. Zur Beantwortung dieser Frage führten wir im Spätsommer 2018 Zustandserhebungen bei 781 ausgewachsenen Buchen mit frühem und 138 mit normalem Laubfall (insgesamt 919 Bäume) in den Regionen Aargau/Zürich (AG/ZH), Baselland (BL) und Schaffhausen (SH) durch. Erneute Begutachtungen und Probenahmen verschiedener Parameter im Frühling und Sommer 2019 zeigten, dass von den Buchen mit frühem Laubfall regional zwischen 1.4% und 4.7% abstarben. Die mittlere Kronenmortalität im Sommer 2019 betrug für Bäume mit frühem Laubfall in BL 35.6%, in SH 30.0% und in AG/ZH 17.4%. Bei Bäumen mit normalem Laubfall in der Nachbarschaft lagen die Werte nur bei 13.0% (BL) und 5.3% (AG/ZH). Die mittleren Mortalitätsraten stiegen 2019 vom Frühling bis zum Sommer an. Bäume mit frühem Laubfall trugen generell mehr Früchte (Mast-Effekt). In BL traten bei Bäumen mit frühem Laubfall signifikant mehr Rindenschäden und Nekrosen auf als bei Bäumen mit normalem Laubfall. Bäume mit frühem Laubfall wurden dort häufiger von Buchenwollschildläusen befallen, und deren Blätter im Kronendach wurden stärker durch Insekten und Pilze beeinträchtigt. In AG/ZH wiesen die Bäume mit frühem Laubfall deutlich häufiger Schleimfluss auf, und sie standen öfter am Waldrand. Aufgrund unserer Resultate stellt der verfrühte Laubfall bei Buchen, wie er sich während der ausgeprägten Sommertrockenheit 2018 ereignete, ein Schwächesymptom dar, das durch die Beobachtung gestützt wird, dass viele Zweige und Äste im Jahr nach der Trockenheit nicht mehr ausgetrieben haben bzw. abstarben.

Keywords: beech dieback, crown mortality, *Fagus sylvatica*, summer drought 2018, weakness symptom
doi: 10.3188/szf.2020.0257

* Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf, E-Mail thomas.wohlgemuth@wsl.ch

Das Jahr 2018 war in der Schweiz wie auch in vielen anderen Gebieten Europas durch aussergewöhnlich warmes Wetter geprägt (Toreti et al 2019). Das Sommerhalbjahr von April bis September war in der Schweiz 2.4 °C wärmer als der Normwert der Periode 1981–2010 und damit das wärmste seit Messbeginn im Jahr 1864 (BAFU 2019). Im Hochsommer ereigneten sich mehrtägige Hitzeperioden mit Temperaturen bis zu 36.2 °C (Sion am

5. August 2018). Gleichzeitig fielen im Sommerhalbjahr in Gebieten des Mittellandes nur etwa 60% des üblichen Regens (MeteoSchweiz 2018). Deutschland verzeichnete mit 54% der üblichen Niederschläge den zweitrockensten Sommer nach 1911.¹ Als Folge

¹ Pressemitteilung des Deutschen Wetterdienstes vom 30.8.2018, www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2018/20180830_deutschlandwetter_sommer_news.html (15.5.2020)

des grossen Niederschlagsdefizits und der lang anhaltenden Hitzeperioden verloren die Buchen (*Fagus sylvatica* L.) in zahlreichen Gebieten Europas, insbesondere in Deutschland, Frankreich und in der Nordschweiz, ab Ende Juni, vor allem aber im Juli und August, frühzeitig ihr Laub. Im darauffolgenden Frühjahr 2019 zeigten dieselben Buchen abgestorbene Äste, Rindenverletzungen und Schleimfluss mit oft erheblichem Ausmass.² Im Hardwald in Muttenz, Kanton Basel-Landschaft, wurden bis Mitte Juli 2019 mehr als 4400 Bäume, insbesondere durch die Trockenheit abgestorbene Buchen, gefällt. Bis zum Herbst erhöhte sich dieser Wert auf geschätzte 6000 Bäume, was mehr als der Hälfte des Bestandes entspricht (Mitteilung Bürgergemeinde Basel).

Sowohl aus meteorologischer als auch aus forstwirtschaftlicher Sicht handelte es sich um eine sehr aussergewöhnliche Trockenheit. Das letzte vergleichbare Ereignis in der Schweiz war vor über 70 Jahren die massive Trockenheit von 1947 (Rathgeb et al 2020, dieses Heft). In der Praxis wurde das 2018-Ereignis deshalb weitgehend als einzigartig und nie dagewesen empfunden. Dass ganze Bestände frühzeitig ihr Laub verloren und einzelne Bäume, überraschenderweise auch Buchen, unmittelbar durch die Trockenheit abstarben, war für die Schweizer Forstpraxis ein Novum. Die Buche – wie auch die Fichte (*Picea abies* [L.] H. Karst) – ist als potenziell trockenheitsempfindlich bekannt (Gessler et al 2007, Meier & Leuschner 2008, Vitasse et al 2019), und langfristige Waldwachstumsreihen zeigten deutliche Wachstumseinbussen dieser beiden Arten, insbesondere in den 1940er-Jahren (Zingg & Bürgi 2008, Bircher et al 2016). Anzahl und Ausmass der Schäden übertrafen jedoch alle Erwartungen. Tatsächlich hatte ein grossflächiges Absterben von Buchenbeständen in Deutschland bereits schon einmal stattgefunden, und dieses war auch schon in-

tensiv untersucht worden (Schindler 1951). Allerdings liess sich aus den verschiedenen Befunden kein ultimativer Grund für das Absterben der Bäume finden. Das Zusammenspiel von Buchenwollschildläusen, *Nectria*-Pilzen und Witterungseinflüssen wurde als Komplexkrankheit unter dem Namen «Buchenrindennekrose» bekannt (Houston et al 1979, Petercord 2006). Zahlreiche Symptome und Merkmale der aktuellen Trockenheitsschäden decken sich mit der Buchenrindennekrose Anfang der 1940er-Jahre im Schweizer Mittelland (Leibundgut & Frick 1943) und generell mit Beschreibungen über das grosse Buchensterben in Deutschland in den Nachkriegsjahren (Schindler 1951). Das Ereignis von 2018 dürfte daher helfen, einzelne Faktoren der Buchenkomplexkrankheit besser zu verstehen.

Nicht nur die unmittelbare Reaktion der Bäume auf die Trockenheit (Resistenz) ist von Interesse, sondern auch deren mittelfristige Erholung (Resilienz). Dabei spielen sowohl die Vitalität der Bäume als auch die Auswirkungen der Trockenheit auf die Populationen von Schadorganismen eine Rolle. Aus diesem Grund wurde in Regionen, in denen 2018 viele Buchen mit verfrühter Laubverfärbung und mit verfrühtem Laubfall in den Monaten Juli/August (im weiteren Text vereinfacht als «früher Laubfall» bezeichnet) beobachtet wurden, ein systematisches Monitoring von Buchen begonnen. Im Vordergrund standen die Fragen, ob und wie viele Buchen mit frühem Laubfall absterben oder sich erholen und welche Faktoren auslösend oder verstärkend auf die vermuteten Mortalitätsprozesse wirken (Manion 2003, Stephenson et al 2019). Hierfür wurde eine erste Einschätzung von 964 Buchen mit frühem und normalem Laubfall im Spätsommer 2018 durchgeführt. Erneute und ergänzende Erhebungen an diesen Bäumen folgten im Frühjahr und im Sommer 2019. Die Ergebnisse sollen Aufschluss darüber geben, ob ein früher Laubfall als physiologischer Vorteil aufgefasst werden kann, um exzessiven Wasserverlust zu vermeiden, oder ob er eine Schwächung des Baumes widerspiegelt.

Untersuchungsregion und Methoden

In den drei Regionen Baselland (BL), Bremgarten/Knonauer Amt (einfachheitshalber Aargau/Zürich; AG/ZH) und Schaffhausen (SH) wurden Gruppen von je drei bis fünf ausgewachsenen Buchen mit frühem Laubfall (ursprünglich n=825) sowie benachbarte Buchen mit normalem Laubfall (ursprünglich n=139) von Ende August bis Anfang September 2018 markiert (Abbildung 1). Als Referenz

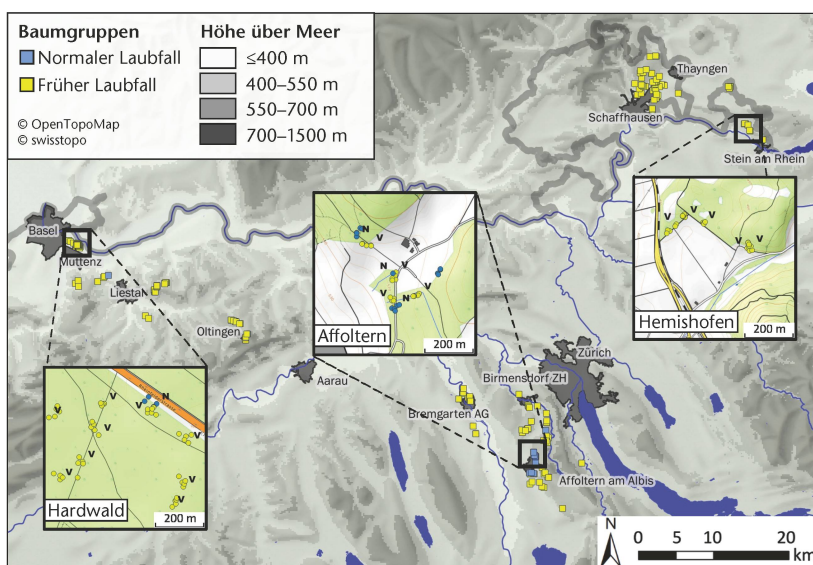


Abb 1 Buchen mit frühem und normalem Laubfall in Gruppen (Quadrate) und in den vergrösserten Ausschnitten als Einzelbäume (Kreise).

² ASCHE N, MEIER ZU BEERENTRUP M (2019) Buchensterben im Raum Detmold – Trocknis und Buchenborkenkäfer als Ursache? https://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/schaden/wuh_buchenschaeden/index_DE (15.5.2020)

Region	Noch vorhandene Bäume		Abgänge		Total
	LF 2018 normal	LF 2018 früh	Baum gefällt	Baum nicht mehr gefunden	
Aargau/Zürich	46	218	1	4	269
Baselland	92	268	30	5	395
Schaffhausen	0	295	2	3	300
Total	138	781	33	12	964

Tab 1 Anzahl untersuchter Buchen (Stand im Sommer 2019) mit normalem und frühem Laubfall (LF) im Jahr 2018 und Abgänge seit der Erstaufnahme.

für frühen Laubfall dienten deutlich verfärbte oder bereits abgefallene Blätter im Grossteil der Krone, dies im Unterschied zu Buchen im Bestand, deren Blätter noch grün waren. In der zuerst bearbeiteten Region SH wurden mangels Zeit keine Bäume mit normalem Laubfall erfasst. Die Baumgruppen verteilen sich über eine Höhe von 270 bis 810 m ü.M. Bei den Baumgruppen handelt es sich um Buchen, die sowohl in Misch- als auch in Reinbeständen relativ nah beieinanderstehen und in der Regel als herrschend oder mitherrschend eingeschätzt wurden. Die Bäume beider Gruppen gehörten möglichst vergleichbaren Durchmesserklassen an, und es wurden nur solche Bäume ausgewählt, die zum Zeitpunkt der ersten Auswahl keine deutlichen Schäden, zum Beispiel offensichtliche Kronenmortalität, aufwiesen. Durch Sicherheitshiebe (n=33) und Nichtwiederauffinden (n=12) fielen im Jahr 2019 insgesamt 45 Bäume und in wenigen Fällen hiermit ganze Baumgruppen weg. Für die Auswertungen wurden entsprechend 781 Buchen mit frühem und 138 Buchen mit normalem Laubfall berücksichtigt (Tabelle 1).



Abb 2 Unterschiedliche Stufen der Kronenmortalität. Die Beurteilung erfolgte unter Berücksichtigung der gesamten Krone, weshalb ein zweidimensionales Foto das Bild vor Ort nur näherungsweise darstellt. a) Kronenmortalität 5%, mit vereinzelt, meist kleineren Totästen und 35% Kronenverlichtung. b) Kronenmortalität 30%, mit einigen komplett ausgefallenen Grobästen und 55% Kronenverlichtung. c) Kronenmortalität 70% als Mittelwert für die Gesamtkrone, die hier im unteren Bereich deutlich weniger Totäste enthält. Im oberen Bereich (im Gegenlicht) liegt die Kronenmortalität bei etwa 80%; die Kronenverlichtung beträgt 65%.

Zustandsparameter und Symptome am Einzelbaum

Alle Bäume wurden mittels GPS grob eingemessen und mit schnell erfassbaren Zustandsparametern und Symptomen im September 2018 (Spätsommer) und 2019 in den Monaten April/Mai (Frühling 2019) und Juli/August (Sommer 2019) charakterisiert. Hierzu dienten der Stammdurchmesser auf Brusthöhe (BHD) sowie die soziale Stellung (vorherrschend, herrschend, mitherrschend) und die Lage bezüglich des Waldrandes. Diese grundlegenden Baumbeurteilungen folgten den Vorgaben des Landesforstinventars (Düggelin 2019). Der Fruchtbehang 2018 wurde qualitativ mit den Kategorien Leermast, Sprengmast, Halbmast und Vollmast beurteilt (Rohmeder 1972; vgl. MastWeb³).

Die Schadensparameter setzten sich zusammen aus dem Rindenzustand (Risse oder Aufplatzen vs. keine Schäden), der Baummortalität (lebend/abgestorben) und der Kronenmortalität in Prozent (Totastanteil in der Krone und Kronenverlichtung). Die Kronenmortalität (%) entspricht dem geschätzten Anteil toter Äste >4 cm Durchmesser bezogen auf das gesamte Kronenvolumen (Abbildung 2). Als Totast galt ein Ast, an dem keinerlei Knospenaustrieb mehr stattfand. Das Fehlen ganzer Äste wurde über eine Flächenschätzung berücksichtigt. Die Kronenmortalität ist ein Schwächeindikator (Schwächehypothese; Breda et al 2006), da sie im Mindesten einer vorübergehenden Reduktion der Blattmasse entspricht und an abgestorbenen oder abgebrochenen Ästen Pathogene eintreten können.

Die Kronenverlichtung wurde anhand der Kronenbilder der Sanasilva-Inventur von Müller & Stierlin (1990) in 5%-Schritten geschätzt und ergänzt die Aussage der Kronenmortalität. Sie gibt den prozentualen Blattverlust, d.h. den Anteil der nicht ausgebildeten oder nicht ausgetriebenen Knospen im Verhältnis zum maximal möglichen Wert, an. Die Totäste werden dabei nicht berücksichtigt. Aus diesem Grund fand eine Beurteilung der Kronenverlichtung für Bäume mit einer Kronenmortalität >90% nicht statt. Da die Erstaufnahme gegen Ende der Trockenperiode stattfand, kann nicht ausgeschlossen werden, dass Bäume mit frühem Laubfall schon vor der Trockenheit eine geringere Vitalität aufwiesen.

Für den Nachweis von Begleitparametern (Sekundärschäden) wurden vom Stammfuss bis in eine Höhe von 2 bis 2.5 m verschiedene Symptome erhoben. Rinden- und holzbewohnende Insekten wurden am Stamm bis in 2 m Höhe anhand des Auftretens der Buchenwollschildlaus sowie von Löchern oder Bohrmehlspuren von Borkenkäfern gezählt. Jeweils fünf Löcher pro Baum wurden kleinflächig (Durchmesser <1 cm) mit einem Messer so weit ausgeweitet, dass Rinden- von Holzbrüterbefall unter-

³ <https://mastweb.wsl.ch> (15.5.2020)

scheidbar wurde. War der Baum bereits abgestorben, wurde ein grösseres Rindenfenster von ca. 100 cm² entnommen. Aus den Rinden- und Bohrlochproben wurden holzbewohnende Insekten gesammelt, und ihre Artzugehörigkeit wurde im Labor morphologisch festgestellt. Präsenz und Häufigkeit von Schleimfluss und Rindennekrosen wurden bis auf 2.5 m Stammhöhe registriert. An feuchten Schleimflussstellen ohne offensichtliche Borkenkäferwirkung wurde ein *Phytophthora*-Schnelltest durchgeführt. Bei Präsenz von Pilzfruchtkörpern oder Fächermyzel (nur *Armillaria* spp.) wurden Proben genommen und die Pilzarten anschliessend im Labor bestimmt (morphologisch und molekular).

Der Befall durch blattfressende Insekten wurde im Juni 2019 an 48 Bäumen der Regionen BL und AG/ZH (je 12 Bäume beider Kategorien) über den Verlust an fotosynthetisch aktiver Blattfläche quantifiziert. Dazu wurden aus der Baumkrone je 50 Blätter von je einem Ast der Sonnen- und der Schattenkrone entnommen. Die jeweils durch Insektenfrass und Pilze betroffene Blattfläche wurde anhand einer Referenzabbildung in Prozent geschätzt. Unterdurchschnittlich kleine Blätter wurden nicht analysiert.

Da die Buchen-Stichprobe aus zwei Gruppen von Bäumen besteht, die sich bezüglich des Laubfalls unterscheiden (früh vs. normal), können die Effekte bezüglich Baum- und Standortparametern, Schäden und Begleiterscheinungen analog zu einer Kohortenstudie in der Medizin geprüft werden. Ein Zusammenhang zwischen einer oder mehreren Expositionen und dem Auftreten eines Symptoms (früher

Laubfall), wird als Vierfeldertabelle bzw. zweidimensionale Kontingenztafel dargestellt, woraus alle wesentlichen Kennzahlen für die Gruppe mit Symptomen (früher Laubfall) und eine Kontrollgruppe (normaler Laubfall) abgeleitet werden. Auf statistische Unterschiede der Kennzahlen (Verschiedenheit von 1) wurde mittels Chi-Quadrat-Tests geprüft.

Bestandsparameter und Umgebung

Der Waldstandort wurde für jeden Baum anhand seiner Koordinaten den Einheiten der kantonalen Kartierung zugeordnet. Da die Kartierungsschlüssel und Standorteinheiten in den Kantonen leicht variieren, wurden die Einheiten mit der Standorttafel der Wegleitung Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald (NaiS; Frehner et al 2009) vereinheitlicht (Ausnahme: Auenwaldgesellschaft 29A).

Zum groben Vergleich der drei Untersuchungsregionen wurden die MeteSchweiz-Wetterdaten 1982–2019 der drei SwissMetNet-Stationen Basel-Binningen (316 m ü.M.), Zürich-Affoltern (444 m ü.M.) und Schaffhausen (438 m ü.M.) verwendet, d.h. monatliche Mittelwerte, die auf bereits bereinigten Messwerten beruhen. Die Wasserbilanz berechnet sich als Differenz von Niederschlag und potenzieller Evapotranspiration, die sich aus den Messgrössen Temperatur, Feuchte, Wind und Strahlung ergibt (Zappa et al 2017). Die absoluten Werte der Wasserbilanz gelten für eine Referenzfläche mit Grasvegetation. In Buchenwäldern ist die Gesamtverdunstung, inkl. der Interzeptionsverluste, etwa 20% grösser als über Grasflächen (Zimmermann et al 2008).

Resultate

Laubfallzeitpunkt und Mortalität 2019 nach Region und Standort

Die untersuchten Buchen verteilten sich über ein breites Spektrum an Waldgesellschaften bzw. Standorttypen (Frehner et al 2009), standen aber zu über 90% in Waldmeister-Buchenwäldern (*Galio-Fagetum*; 7) und Lungenkraut-Buchenwäldern (*Pulmonario-/Lathyro-Fagetum* 9 und 10; Abbildung 3). In diesen Einheiten wurden auch die meisten Kontrollbäume mit normalem Laubfall festgelegt.

In der Region BL sind von 268 Bäumen mit frühem Laubfall bis im Sommer 2019 zehn abgestorben (3.7%), dagegen nur einer mit normalem Laubfall (1.1%). Werden die gefällten Bäume als bereits abgestorben angenommen, betrug die Mortalitätsrate für Bäume mit frühem Laubfall sogar 13.4%. Dieser Befund repräsentiert besonders die Situation im Hardwald, wo sich über die Hälfte der beobachteten Bäume befand. Ähnliche Prozentzahlen liegen für SH vor, wo 14 Bäume (4.7% der Bäume mit frühem Laubfall) abstarben; Vergleichsbäume mit normalem Laubfall fehlen hier. In der Region AG/ZH

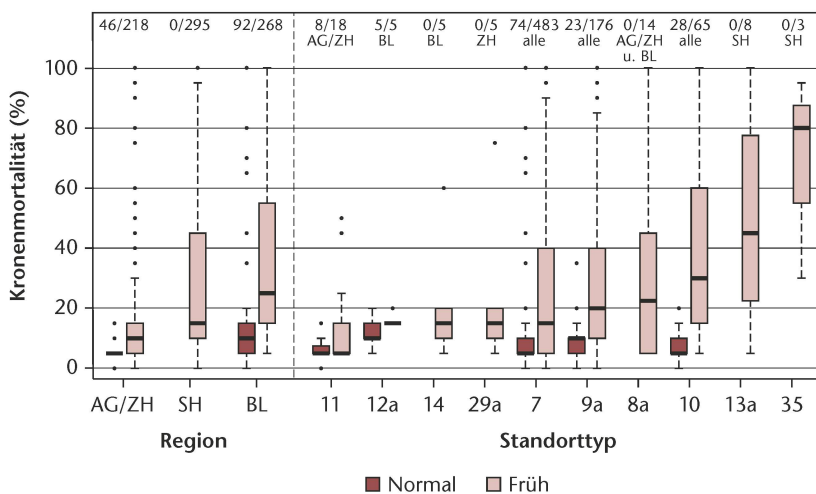


Abb 3 Boxplots der Kronenmortalität im Sommer 2019, kategorisiert nach Laubfallzeitpunkt sowie Region und Standorttyp (Frehner et al 2009), sortiert nach durchschnittlicher Kronenmortalität der Bäume mit frühem Laubfall. Die Zahlen über den Balken geben die Anzahl Bäume an, die Regionen weisen auf das Vorkommen der Waldgesellschaft hin: AG/ZH = Aargau/Zürich, BL = Baselland, SH = Schaffhausen. Nummern: 7 *Galio-Fagetum* (7a *typicum* und 7s *stachyetosum sylvaticae*), 8a *Milio-Fagetum typicum*, 9a *Pulmonario-/Lathyro-Fagetum typicum*, 10 *Pulmonario-/Lathyro-Fagetum melittetosum* (10a und 10w *Carex-flacca*-Variante), 11 *Aro-Fagetum*, 12a *Mercuriali-/Cardamino-Fagetum typicum*, 13a *Tilio-Fagetum typicum*, 14 *Carici (albae)-Fagetum typicum*, 29a *Ulmo-Fraxinetum typicum*, 35 *Galio-Carpinetum* (inkl. 35A *Stellario-Carpinetum*).

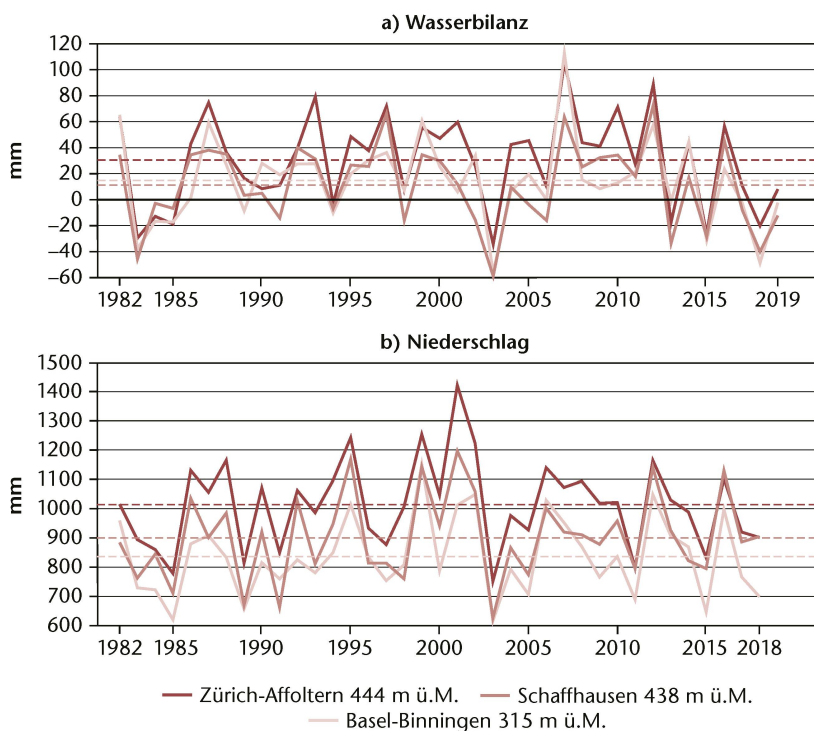


Abb 4 a) Wasserbilanz für die Monate Juni, Juli, August eines Jahres sowie Mittelwert (gestrichelt) je Region über die letzten 35 Jahre (Berechnung nach Zappa et al 2017). b) Niederschlag pro Jahr und Mittelwert für den gleichen Zeitraum. Die Station Zürich-Affoltern repräsentiert das schweizerische Mittelland mit einem Normwert von 1054 mm Jahresniederschlag (1981–2010).

Blattfall	Rindenschaden				Summe	
	nein		ja			
normal	82	89.13%	10	10.87%	92	100%
früh	58	69.88%	25	30.12%	83	100%
Summe	140		35		175	

Tab 2 Vierfeldertabelle für den Zusammenhang zwischen dem Vorhandensein von Rindenschäden im Sommer 2019 und dem frühen oder normalen Laubfall in der Region Basel-land. Das Risiko für Rindenschäden in der Kontrollgruppe mit normalem Laubfall beträgt 10.87% (10/92), jenes in der Testgruppe mit frühem Laubfall 30.12% (25/58). Das Risikoverhältnis, also der Faktor, mit dem ein Effekt (Rindenschäden), verglichen mit der Kontrollgruppe, häufiger in der Risikogruppe auftritt, ist 2.77 (10.87/30.12).

wurden von den Bäumen mit frühem Laubfall drei Bäume bzw. 1.4% tot angetroffen. Alle Bäume mit normalem Laubfall überlebten.

Die Kronenmortalität im Sommer 2019 war für Bäume mit frühem Laubfall in BL mit mittleren 35.6% am grössten, gefolgt von SH mit 30.0% und AG/ZH mit 17.4% (Abbildung 3). In BL lag die mittlere Kronenmortalität von Bäumen mit normalem Laubfall bei 13.0%, in AG/ZH dagegen bei nur 5.3%. Die regionalen Unterschiede widerspiegeln sich auch in der Verteilung der Kronenmortalität nach Standorttyp. Diese ist in den Standorttypen auf feuchten (11, 29a), frischen (12a) und lokal eher trockenen (14) Böden am geringsten und in solchen auf frischen (13a in SH) bis eher trockenen Böden (10, 35) am grössten.

Die Standorttypen entsprechen dem lokal herrschenden Langzeitklima. Der Blick auf monatliche Wetterdaten in den drei Regionen vermittelt

dagegen die Situation der letzten 35 Jahre (Abbildung 4a). Alle Regionen weisen im Mittel eine positive Wasserbilanz während der Sommermonate auf. Deutlich negative Sommerwerte traten in den letzten zehn Jahren jedoch mehrmals auf. Dabei sticht das Jahr 2018 hervor, erreicht jedoch nicht das Ausmass von 2003. In den fünf Jahren vor 2003 wurden im Falle von Basel und Zürich nie, in jenen vor 2018 jedoch dreimal negative Wasserbilanzen gemessen. In Schaffhausen fielen die Wasserbilanzen vor 2003 zweimal negativ aus. Drei negative Wasserbilanzen hintereinander traten in den untersuchten Regionen in den Jahren 1983 bis 1985 auf, zur Zeit des Waldsterbens. Die jährlichen Niederschlagswerte lagen in drei von fünf Jahren vor 2018 für alle Regionen ebenfalls unter dem langjährigen Schnitt (Abbildung 4b).

Laubfallzeitpunkt und gemessene Parameter

Ausgewählte Baumgruppen mit frühem Laubfall und in der Nähe stehende Kontrollgruppen mit normalem Laubfall wurden hinsichtlich der Standortparameter, der Schadenssymptome und der Begleiterscheinungen geprüft. Dazu dienten Teilmengen der Daten mit 92 vs. 83 Bäumen in der Region BL und 46 vs. 45 Bäumen der Region AG/ZH (Tabellen 2 und 3).

Die Baumgruppen mit normalem und frühem Laubfall unterschieden sich in der Region BL bezüglich Höhenlage, Position zum Waldrand, BHD und sozialer Stellung im Bestand nicht. Dies traf weitgehend auch für die Baumgruppen in der Region AG/ZH zu, doch hier standen die Bäume mit frühem Laubfall doppelt so häufig am Waldrand als im Waldinnern. In beiden Regionen waren die Bäume mit frühem Laubfall deutlich häufiger stark mit Früchten behangen.

In der Region BL wurden drei abgestorbene Bäume mit frühem Laubfall und einer mit normalem Laubfall festgestellt (nicht signifikant, Tabelle 3). Zusätzlich wurden jedoch 12 Bäume mit frühem Laubfall vorzeitig gefällt. Die meisten von diesen waren bereits im Frühling tot. Der Chi-Quadrat-Test mit diesen zusätzlichen «abgestorbenen» Bäumen würde einen Risikofaktor von 13.7 (hochsignifikant) ergeben. In der Region AG/ZH sind keine Bäume abgestorben. Die Kronenmortalität wurde in fünf Klassen geprüft. In der Region BL waren die Kronen bei rund 45% der Bäume mit frühem Laubfall zu 30% und mehr abgestorben, während nur 7.6% der Bäume mit normalem Laubfall solche Werte aufwiesen. Der Risikofaktor erreichte hier einen mittleren Wert von 6. Wesentlich tiefere Werte resultierten in der Region AG/ZH, wo die Kronenmortalität in der Klasse 15–20% 3.4-mal häufiger in Bäumen mit frühem Laubfall als in jenen mit normalem Laubfall war. Grössere Kronenmortalität wurde nur bei 16% der Bäume mit frühem Laubfall gemessen.

Parameter	Baselland (n=360)				Aargau/Zürich (n=264)			
	normal n=92	früh n=83	Faktor	p	normal n=46	früh n=45	Faktor	p
Baum, Bestand								
Höhenlage <500 m ü.M.: ja	44.56	42.17	0.95	ns	13.04	8.89	0.68	ns
Waldrand: ja	32.61	37.35	1.15	ns	36.96	75.56	2.04	***
BHD ≤45 cm: ja	48.91	62.65	1.28	ns	34.78	45.71	1.31	ns
Baum vorherrschend: ja	22.83	19.28	0.84	ns	52.17	40.00	0.77	ns
Fruchtbehang 2018 stark: ja	66.30	97.59	1.47	***	43.48	97.78	2.25	***
Baumschäden								
Mortalität								
Ganzer Baum: ja ¹⁾	1.08	2.73	3.61	ns	0	0	–	
Baumkrone: 5 Klassen				***				**
0–10%	73.91	26.50	0.36		93.48	6.52	0.66	
15–20%	18.48	27.71	1.50		6.52	22.22	3.41	
30–45%	3.26	18.07	5.54		0.00	13.33	–	
50–70%	2.17	14.46	6.65		0.00	3.41	–	
75–100%	2.17	13.25	6.10		–	–	–	
Rindenschäden: ja	10.87	30.12	2.77	**	17.39	17.78	1.02	ns
Begleiterscheinungen								
Schleimfluss: ja	15.21	19.28	1.27	ns	4.34	28.89	6.64	**
Nekrosen: ja	16.34	31.33	1.92	*	26.09	22.22	0.85	ns
Holzbewohn. Insekten: ja	4.35	9.64	2.22	ns	4.35	6.67	1.53	ns
Buchenwollschildlaus: ja	30.43	48.19	1.58	*	43.48	51.11	1.17	ns
Blattschäden ≥10%: ja ²⁾	12.41	21.83	1.76	***	13.01	13.50	1.01	ns
Blattposition	beschattet	besonnt			beschattet	besonnt		
Früher Laubfall	14.83	28.83	1.94	***	7.67	19.33	2.52	***
Normaler Laubfall	10.17	14.67	1.44	*	8.00	18.17	2.27	***

Tab 3 Prozentzahlen der Vierfeldertabellen (normal: normaler Laubfall, früh: früher Laubfall), p-Wert (ns nicht signifikant, * sign., ** < 0.01; *** < 0.001) und Risikofaktor («Faktor») für die Regionen Baselland und Aargau/Zürich im Sommer 2019. 1) ohne gefällte Bäume; 2) n = 100 Blätter von je 12 Bäumen mit frühem und normalem Laubfall.

Die Baumrinde wies in der Region BL an Bäumen mit frühem Laubfall 2.8-mal häufiger Schäden auf als an Bäumen mit normalem Laubfall. Dagegen unterschieden sich in der Region AG/ZH die Rindenschäden nicht zwischen den zwei Baumgruppen.

Entwicklung der Kronenmortalität

Die Kronenmortalität lag aufgrund der Baumauswahl im Herbst 2018 nahe bei 0%, d.h., es wurden wie geplant nur Bäume ohne deutliche Kronenmortalität ausgewählt (Abbildung 5). Der Anteil abge-

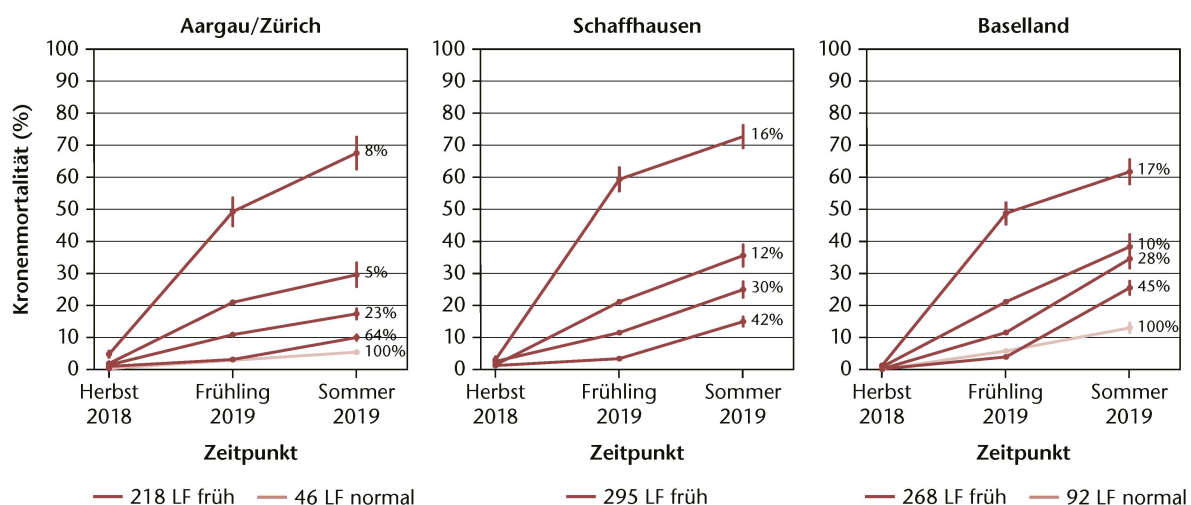


Abb 5 Zeitliche Entwicklung der Kronenmortalität (= Totastanteil) mit Standardfehlern, getrennt nach Bäumen mit frühem (dunkle Linien) und Bäumen mit normalem Laubfall (helle Linien). Die je vier Linien für die Bäume mit frühem Laubfall entsprechen den Kronenmortalitäten 0–5%, 10–15%, 20–25% und ≥30% im Frühling 2019. Die Prozentzahlen rechts geben die Anteile an Bäumen mit frühem und normalem Laubfall der regionalen Stichproben an.



Abb 6 Waldbestand bei Ramsen, Kanton Schaffhausen, im Sommer 2018 (a) und ein Jahr später im Sommer 2019 (b). Jeweils links Buchen und rechts eine Eiche, die ebenfalls Kronenmortalität aufweist.

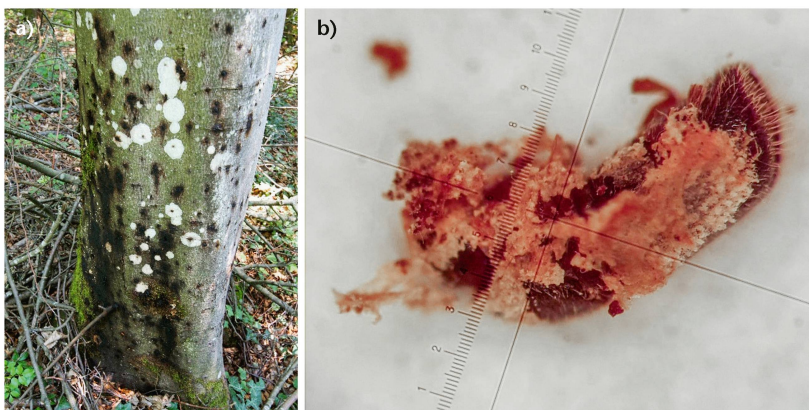


Abb 7 a) Starker Schleimfluss, ausgelöst durch einen Befall durch den Kleinen Buchenborkenkäfer (*Taphrorychus bicolor*). b) Der Saft führt beim Austrocknen zum Verkleben der Bohrgänge und Tiere. Im Idealfall kann der Baum auf diese Weise einen Befall verhindern.



Abb 8 Rautenförmige (a) und runde (b) Nekrosen (mit Beteiligung einer pathogenen Mikropilzart der Gattung *Botryosphaeria*) an Buchen im Sommer 2019.

storbener Äste in der Krone im Frühling 2019 diente daher als Referenz für den weiteren Verlauf bis zum Sommer 2019. Bei den meisten Bäumen erhöhte sich dieser Anteil (Abbildung 6). Geringste Werte wurden, wie schon oben erwähnt, in der Region AG/ZH beobachtet. Stärkere Anstiege verzeichneten die Bäume in den Regionen SH und BL.

Begleiterscheinungen

Insektenbefall

In den Regionen BL und AG/ZH war der Befall mit holzbewohnenden Insekten gering, jener mit Buchenwollschildlaus generell stärker und in BL an Bäumen mit frühem Laubfall signifikant häufiger (Tabelle 3). Bei den rindenbrütenden Insekten dominierte der Kleine Buchenborkenkäfer (*Taphrorychus bicolor* Hrbst.), der in 36% der Laborproben nachgewiesen wurde. Bei wenigen Bäumen wurden auch Frassgänge und Ausbohrlöcher des Buchenprachtkäfers (*Agrilus viridis* L.) festgestellt. Da Letzterer vor allem den nicht untersuchten Kronenraum befällt, ist von einem insgesamt höheren Befall auszugehen. Für die restlichen 59% der Rindenbrüter konnte die Käferart nicht nachgewiesen werden. Elf Bäume wiesen zusätzlich und fünf Bäume ausschliesslich Holzbrüterbefall auf. Unter diesen konnte je einmal der Kleine Holzbohrer (*Xyleborus saxeseni* Rtzb.), der Buchennutzholz-Borkenkäfer (*Trypodendron domesticum* L.) und der Gekämmte Nagekäfer (*Ptilinus pectinicornis* L.) nachgewiesen werden. In den übrigen 13 Fällen wurde entweder kein Insekt nachgewiesen, oder es wurden Fallen (Brutbilddektoren) über den Bohrlöchern installiert (siehe Gossner et al 2019), um später die ausfliegenden Tiere abzufangen.

Bei der Buchenwollschildlaus (*Cryptococcus fagisuga* Lindinger) wurde zwischen den Baumgruppen kein signifikanter Unterschied bezüglich Befallsstärke (verstreute Einzeltiere oder zahlreiche Individuen, dichte Ketten bzw. Ansammlungen bildend, siehe Köhler et al 2015) festgestellt. In den meisten Fällen handelte es sich um wenige, über den Stamm verstreute Tiere. Nur bei 1% der Fälle, an zehn Bäumen mit frühem und einem mit normalem Laubfall, konnte ein starker Befall festgestellt werden, bei dem sich zahlreiche Tiere zu dichten Ketten oder Ansammlungen vereinigten.

Schleimfluss und Pilze am Stamm

Im Spätsommer 2018 wurde Schleimfluss an acht Bäumen (0.8%) beobachtet. Im Frühling 2019 zeigten bereits 155 aller 964 Bäume (16%) und drei Monate später, im Sommer, gar 233 Bäume von den noch übrigen 919 Bäumen (25%) dieses Schadenssymptom. An 19% jener 155 Bäume mit Schleimfluss im Frühling war im Sommer kein Schleim mehr festzustellen, und bei fast der Hälfte dieser Bäume stieg die Kronenmortalität nicht weiter an. Im repräsentativen Vergleich war Schleimfluss an Stammfuß in BL in beiden Baumgruppen etwa gleich häufig anzutreffen (15.2 vs. 19.3%), im Gegensatz zu AG/ZH, wo Schleimfluss 6.6-mal häufiger an Bäumen mit frühem Laubfall als an solchen mit normalem Laubfall auftrat (Tabelle 3). An 16 Bäumen mit frühem und einem mit normalem Laubfall wurden in den untersten 2.5 m des Stammes weit über 50 Schleim-

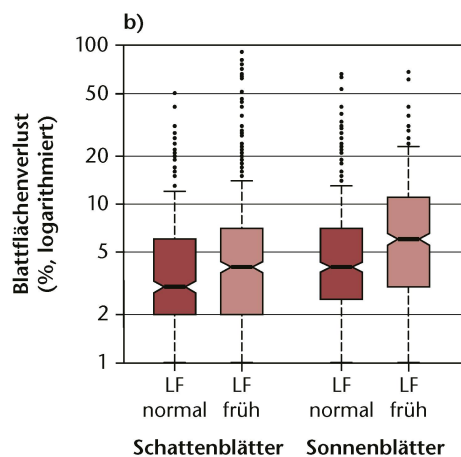


Abb 9 a) Reduktion der Blattfläche um 45% durch Lochfrass und zwei Platzminen des Buchenspringgrüsslers (*Orchestes fagi*). b) Gekerbte Boxplots der prozentualen Blattflächenverluste, d.h. Verlust von fotosynthetisch aktivem Gewebe, durch Herbivoren und Pilze an Schatten- und Sonnenblättern der ausgewählten Bäume mit normalem und frühem Laubfall (LF) in der Region Baselland. Die Kerben geben das Konfidenzintervall für die Mediane an.

flusstellen gefunden (Abbildung 7). Bei mehr als der Hälfte der von Schleimfluss betroffenen Bäume ist die Ursache unklar. Insgesamt wies nur ein Viertel der Bäume mit Schleimfluss einen Befall durch Insekten auf. Bei 14 Bäumen war der Schleimfluss durch einen Rindenbrüterbefall verursacht, wovon in acht Fällen der Kleine Buchenborkenkäfer gefunden wurde. Demgegenüber zeigten 16% der Bäume mit Befall durch den Kleinen Buchenborkenkäfer gar keinen oder fast keinen Schleimfluss (<10 Schleimflusstellen pro Meter), obschon sich zahlreiche Bohrlöcher fanden. Bei insgesamt acht Bäumen mit frühem Laubfall war der Schleimfluss durch Hallimasch (*Armillaria* sp.) bedingt. Dieser Schleimfluss lag typischerweise nur auf einer Seite des Stamms und nahm gegen den Boden (Wurzelaufstieg) hin zu. Die Anzahl der Schleimflusstellen lag meist bei ca. 20 Stück pro Laufmeter Stamm und blieb vom Boden bis 2.5 m Stammhöhe unter einem Wert von 50. Sämtliche *Phytophthora*-Schnelltests auf Schleimfluss fielen negativ aus, was darauf schliessen lässt, dass der Schleimfluss eine Reaktion auf die extremen klimatischen Bedingungen des letzten Jahres war.

Unter den saproben, d.h. Biomassezersetzenden Pilzen wurde die Kohlenbeere (*Hypoxylon* sp.) an 17 Bäumen und einmal die Vierfrüchtige Quaternaria (*Eutypella quaternaria*) beobachtet. Unter den pathogenen Pilzen am Stamm war der Hallimasch (an 17 Bäumen bzw. 1.8%) am häufigsten. An je einem Baum fanden sich der Brandkrustenpilz (*Ustilina deusta*) und das Scharlachrote Pustelpilzchen (*Nectria coccinea*). Letztere Pilzart kann über die Buchenwollschilde in die Rinde eindringen.

Auch der Spaltblättling (*Schizophyllum commune*), ein wichtiger Schwächeparasit, wurde an zwei Buchen entdeckt. Mit erstaunlicher Häufigkeit (55 Bäume bzw. 6%) wurden rautenförmige, selte-

ner auch rundliche Nekrosen (Abbildung 8) beobachtet. Während solche Nekrosen in der Region BL 1.9-mal häufiger an Bäumen mit frühem als an solchen mit normalem Laubfall angetroffen wurden, bestand in AG/ZH kein Unterschied zwischen den Baumgruppen. Sowohl das Phänomen als auch dessen Ursache sind zurzeit noch weitgehend unbekannt. Die Grösse dieser Nekrosen variiert stark, von wenigen Dezimetern bis hin zu einem Meter. Ein Mikropilz der Gattung *Botryosphaeria* scheint beteiligt zu sein.

Blattflächenverlust durch Insekten und Pilze im Sommer 2019

In den Kronen von Bäumen mit frühem Blattfall wurde in der Region BL im Folgejahr ein deutlich erhöhter Blattflächenverlust durch Herbivoren und Pilze im Vergleich zu Bäumen mit normalem Blattfall festgestellt (Tabelle 3, Abbildung 9). Kein Unterschied wurde dagegen in AG/ZH gefunden. In beiden Regionen war der Blattflächenverlust bei Sonnenblättern signifikant grösser als bei Schattenblättern (Tabelle 3, Abbildung 9b), was für Bäume mit frühem Laubfall allerdings etwas ausgeprägter war (Faktoren 1.9 und 2.5) als für jene mit normalem Laubfall (Faktoren 1.4 und 2.3). Der durchschnittliche Blattflächenverlust betrug bei Sonnenblättern etwa 5% und bei Schattenblättern etwa 2%. Häufigste Ursache war Lochfrass durch den Buchenspringgrüssler (*Orchestes fagi* L.), der an 81% aller untersuchten Blätter nachweisbar war. Im Mittel reduzierte der Lochfrass die Blattfläche um 4%. Den grössten Blattflächenverlust von durchschnittlich 9% verursachten Minen des Buchenspringgrüsslers. Diese fanden sich aber nur an wenigen (8%) der untersuchten Blätter. Unbekannte Herbivoren waren an 30% der Bäume für einen Blattflächenverlust von im Schnitt 6% der Blattfläche verantwortlich.

Diskussion

Die vergleichende, bis im Sommer 2019 dauernde Beobachtung von 919 Buchen mit frühem und normalem Laubfall im Trockenjahr 2018 zeigte, dass besonders in den Regionen BL und SH rund 4% der markierten Bäume mit frühem Laubfall abstarben; in BL waren es unter Einbezug der gefällten Bäume wahrscheinlich sogar 13%. Darüber hinaus zeigt der Vergleich der Kronenmortalität in der stark betroffenen Region BL bei Bäumen mit frühem Laubfall ein 6-mal häufigeres Auftreten von Kronen, die zu 30% und mehr abgestorben waren, als bei Bäumen mit normalem Laubfall. Auch Rindenschäden traten bei jenen Bäumen 2.8-mal häufiger auf.

Die deutliche und vermutlich noch nicht abgeschlossene Verschlechterung des Baumzustands vom Zeitpunkt der Erstaufnahme im Spätsommer

2018 bis in den Sommer 2019 spricht dafür, dass ein vorzeitiger Laubfall im Rahmen einer Trockenheit weniger eine Resistenzfunktion von Buchen gegenüber Trockenheit darstellt, sondern vielmehr als markanter Indikator für Trockenstress angesehen werden muss. Die Weiterführung der Beobachtung dieser Buchen wird zeigen, ob und zu welchen Anteilen die betroffenen Buchen neue Zweige und Äste bilden können. Besonders starke Wasserdefizite während der Sommertrockenheit 2018, zum Beispiel jene in den Buchenwäldern der Ajoie, haben in gewissen Buchenbeständen bereits im Frühjahr und Sommer 2019 zu Mortalitätsraten von 50 bis 80% geführt (BAFU 2019). Ein über mehrere Jahre andauernder Absterbeprozess von Buchen nach einer erstmaligen Beschädigung ist besonders auf der Alpensüdseite nach Brandeinwirkung zu beobachten (Maringer et al 2016).

Von den untersuchten Regionen waren BL und SH am Nordrand der Schweiz stärker betroffen als die Region AG/ZH. Das grössere Schadensausmass am Nordrand der Schweiz entspricht den negativen Wasserbilanzen und extremeren Niederschlagsdefiziten in den vorausgehenden Jahren. Dagegen wurden in der Region AG/ZH mit Standorttypen auf feuchten und frischen Böden wie dem Aronstab-Buchenwald die geringsten Kronenschäden bzw. die kleinsten Anteile an Bäumen mit starker Kronenmortalität festgestellt.

Die Buchen bildeten im Jahr 2018 nördlich der Alpen generell viele Früchte (Nussbaumer et al 2020), was zu einer Aufteilung der Ressourcen für Reproduktion und Wachstum führte (Hacket-Pain et al 2015, Bogdziewicz et al 2020). Unsere Resultate, die einen statistisch deutlichen Zusammenhang zwischen frühem Laubfall und der Fruchtmenge am Baum in den Regionen AG/ZH und BL belegen, deuten darauf hin, dass das Zusammentreffen von Samenmast und Sommertrockenheit zu einer Schwächung der Bäume führen kann. Dabei dürfte die Verlagerung von Kohlehydraten in die Frucht- und Samenbildung zu einer Reduktion der Osmoseregulation in den Blättern führen, die sich negativ auf die Baumvitalität auswirken könnte (vgl. McDowell et al 2011). In diesem Sinne kann Samenmast als Prädisposition für eine Schwächung der Bäume unter gleichzeitig ausgeprägter Sommertrockenheit betrachtet werden. In der Region AG/ZH, wo sich die Sommertrockenheit weniger stark auswirkte, befanden sich Bäume mit frühem Laubfall häufiger am Waldrand als im Waldinnern. Am Waldrand herrschen nicht nur höhere Luft- und Bodentemperaturen, grössere Sonneneinstrahlung und geringere Luftfeuchtigkeit, sondern auch höhere Windgeschwindigkeiten, was generell die Evapotranspiration der grösserkronigen Waldrandbäume im Vergleich zu solchen im Waldinnern erhöht (Buras et al 2018).

Trockenheit als Auslöser von Schleimfluss, Pilz- und Insektenbefall

In der Region AG/ZH war an den Bäumen mit frühem Laubfall Schleimfluss zahlreicher als an solchen mit normalem Laubfall, in BL waren die Nekrosen und die Buchenwollschildläuse häufiger sowie der Blattflächenverlust durch Insekten und Pilze grösser. Bei knapp 20% der Bäume mit Schleimfluss im Frühling 2019 war dieses Symptom im Sommer nicht mehr sichtbar, und bei der Hälfte dieser Bäume stieg die Kronenmortalität in diesem Zeitraum nicht mehr an, was als Zeichen der Erholung von Buchen gedeutet werden kann. Unsere Beobachtung, dass Sonnenblätter generell grössere Verluste aufwiesen als Schattenblätter, steht im Widerspruch zu Yamasaki & Kikuzawa (2003), die bei Sonnenblättern von *Fagus crenata* einen geringeren Insektenfrass fanden und diesen mit einem grösseren Gehalt an Abwehrstoffen im Vergleich zu Schattenblättern erklärten. Vermutlich beginnen aber viele Herbivoren schon auf jungen Blättern zu fressen, bevor die Abwehrstoffe gebildet werden (Schardt et al 2006), was unsere Resultate erklären könnte.

Wassermangel und geringer Saftfluss, Wunden durch absterbende Äste, Nekrosen, Nährstoffmangel (Gessler et al 2017) sowie eine verringerte Produktion von Abwehrsubstanzen (McDowell et al 2011) vereinfachen es Pilzen und Insekten, Bäume zu befallen. Ausgetrocknetes Holz hingegen ist für die meisten Insekten nicht attraktiv. In der Region Basel fanden sich einige Buchen, die stehend vertrockneten und weder Borkenkäferbefall noch Pilze aufwiesen. Dies legt nahe, dass die extreme Trockenheit ohne Sekundärbefall direkt zum Absterben von Bäumen führte. Doch könnten noch nicht durchgeführte Blattanalysen Aufschluss darüber geben, ob die Bäume mit frühem Laubfall durch die Trockenheit weniger in die Blattabwehr investierten und damit anfälliger auf Blattfrass waren.

Mit der Buchenrindennekrose bzw. der Buchenkomplexkrankheit wird unter anderem das Scharlachrote Pustelpilzchen (*Nectria coccinea*) in Verbindung gebracht. Die Nekrose entsteht durch interagierende abiotische und biotische Faktoren. Zu den abiotischen Faktoren gehört massgeblich ein gestörter Wasserhaushalt, der die Bäume schwächt, zu den biotischen Faktoren der Befall durch die Buchenwollschildlaus, über die das Scharlachrote Pustelpilzchen in die Rinde eindringen kann (Butin 2011). Ob die Buchenwollschildlaus eine wichtige Rolle für den Pilzbefall spielt, ist aber unklar (Köhler et al 2015) und auch mit unseren Beobachtungen nicht zu klären.

Der Befall durch saprobe Pilzarten stellt für trockenheitsgestresste Bäume wie in unserer Untersuchung keine Gefahr dar, im Gegensatz zu krankheitserregenden (pathogenen) Pilzen, die den Tod von Bäumen bewirken können. Der Hallimasch, ein

wichtiger Totholzbesiedler und -zersetzer, kann allerdings neben toten auch geschwächte Bäume befallen; dann wird er zum Pathogen. Der Honiggelbe Hallimasch (*Armillaria mellea*) ist in unseren Wäldern beispielsweise einer der bedeutendsten Krankheitserreger von Laubbäumen. Ein Befall des Kammbiums führt zum Absterben des Wirtsbaumes (Butin 2011).

Neben dem Absterben grösserer Kronenteile führen Rindennekrosen zu idealen Eintrittspforten für holzbewohnende Insekten, die wiederum Pilze mitführen und Eintrittspforten für weitere Pilze schaffen. Dieses Zusammenspiel treibt das Absterben weiterer Baumteile voran. Die stark ansteigende Anzahl an Borkenkäfern (=Bohrlöcher) vom Frühling bis in den Sommer 2019 (hier nicht dargestellt) spricht eindeutig für einen Sekundärbefall. Dagegen wurden an den stehend vertrockneten Buchen im Hardwald (BL) keinerlei Spuren von Rindenbrütern festgestellt. Unklar bleibt das Ausmass der Wirkung von Rindenbrütern auf den Schleimfluss.

Früher Laubfall: Resistenzreaktion oder Frühindikator von Mortalität?

Ein früher Laubfall wird als Strategie von Laubbäumen beschrieben, um einer Austrocknung während einer lange währenden Trockenheit zu entgehen (Munné-Bosch & Alegre 2004, Breda et al 2006). Im Kranprojekt der Universität Basel in Hölstein (BL) wurden an Buchenblättern, die sich im August 2018 verfärbten, Messungen von Blattstickstoffgehalten vorgenommen. Die Werte von rund 1% der Blattmasse deckten sich erstaunlicherweise mit Werten aus Messungen an Herbstlaub 2017 am Boden (Schuldt et al 2020), also jenen Werten, die im normalen abgeworfenen Herbstlaub von Buchen gefunden werden (Zeller et al 2001). Die Blattseneszenz (Alterung und Verfärbung) im Herbst ist ein kontrollierter Vorgang, der in Abhängigkeit von Temperatur und Lichtverhältnissen dazu führt, dass Stickstoff aus den Blättern zurückgezogen wird, bevor das Blatt durch programmierten Zelltod abstirbt. Die niedrigen Stickstoffgehalte würden dafür sprechen, dass der frühe Laubfall im Sommer 2018 einem kontrollierten physiologischen Vorgang entspräche, um der Austrocknung durch zu grosse Wasserdefizite zu entgehen und gleichzeitig die für den Baum wichtigen Nährstoffe aus den Blättern in die Zweige abzuziehen (Breda et al 2006, Ruehr et al 2019). Ein solcher Rücktransport von Nährstoffen aus den Blättern über das Phloem in die Speichergewebe basiert allerdings auf einem intakten Wassertransport (Hölttä et al 2014). Demgegenüber wird auch vermutet, dass die Blattmortalität durch das Abreissen des Wasserfadens und damit einhergehende Luftembolien in den Leitbahnen (engl. hydraulic failure) der Blattstängel hervorgerufen wird (Wolfe et al 2016, Hochberg et al 2017). Auch Funktionsstörungen im Metabolismus von Blattzel-

len infolge hoher Temperaturen an der Blattoberfläche kommen als Ursache infrage. Insbesondere können diese zu fotooxidativem Stress führen, d.h. dem Überhandnehmen von zellschädigenden Sauerstoffradikalen in den Zellen wegen Hitze und Trockenheit (Juvany et al 2013). Die hohen Kronenmortalitäten, die wir im Sommer 2019 an unseren Bäumen mit frühem Laubfall beobachtet haben, widersprechen einer kontrollierten Seneszenz. Sie deuten viel eher auf eine starke Schädigung von Zweigen und Ästen hin, in denen es in den Wasserleitbahnen zum Abriss der Wassersäule kam und infolgedessen die Wasserzufuhr irreversibel geschädigt wurde; dies auch im Gegensatz zur Zellschädigung in Blättern, die später erfolgt (Trueba et al 2019).

Der frühzeitige Laubfall bei Buchen ist somit ein deutlicher Indikator für Wassermangel, der einer teilweisen oder vollständigen Schädigung von Zweigen und Ästen folgt. Es ist naheliegend, dass erneute Phasen von Trockenheit während der Vegetationszeit den Stress erhöhen und das Absterben weiterer Kronenteile auslösen werden. Die insgesamt grösseren Kronenmortalitäten in den trockeneren Regionen Ajoie, BL und SH unterstützen diese Vermutung.

Verstärkende Faktoren von Trockenheitsschäden

Verschiedene Extremereignisse können einer Sommertrockenheit vorausgehen, insbesondere Frost, Schneebruch und Windeinwirkung. Das markanteste vorbelastende Ereignis im Jahr 2018 war sicherlich der Wintersturm Burglind am 3. Januar 2018. Burglind war nach den Stürmen 1967, 1990 (Vivian) und 1999 (Lothar) der viertstärkste Sturm auf der Alpennordseite in der Schweiz seit mehreren Jahrzehnten (Usbeck 2015). Von Burglind waren viele Bäume betroffen, doch ist unerforscht, ob und zu welchem Prozentsatz die Feinwurzeln durch Sturmeinwirkung abreißen und ob dieser Prozess die Wasseraufnahme schwächt. Dagegen zeigten Seidl & Blennow (2012) für Fichtenwälder in Südschweden eine deutliche Wachstumsreduktion nach dem Sturm Gudrun (2005). Frost wird als weiterer Risikofaktor für spätere Trockenheitsschäden ins Spiel gebracht (Schindler 1951). Ein Spätfrost, wie er im April 2017 in der Schweiz verbreitet auftrat (Vitasse & Rebetez 2018), kann zum teilweisen oder vollständigen Absterben der Blätter führen und einen Baum vorübergehend schwächen (Dittmar et al 2006, Vitasse et al 2019). In der Schweiz sind den früheren Jahren mit ausserordentlicher Trockenheit ebenfalls Extremereignisse vorausgegangen (Pfister et al 1988), doch fehlt bisher eine Analyse der verstärkenden Effekte auf die Auswirkungen von nachfolgender Trockenheit. Die aufgehende Samenmast unter extremer Trockenheit hat zum seltenen Phänomen des Abbruchs der vollständigen Fruchtentwicklung bei den Buchen geführt (Nussbaumer et al 2020).

Welche Zukunft für die Buche?

Die Sommertrockenheit 2018 hat vor Augen geführt, dass Mortalitätsphänomene, die bisher nur in den trockensten Regionen der Schweiz vorkamen (Rigling et al 2013, Rigling et al 2018) neuerdings auch Buchenstandorte auf der Alpennordseite betreffen. Während im Hitzesommer 2003 ein verfrühter Laubfall bei Buchen vor allem auf flachgründigen und sonnenexponierten Standorten festgestellt wurde (Beat Forster, persönliche Mitteilung), traf es 2018 ganze Bestände in den trockensten Regionen der Schweiz nördlich der Alpen. Auch wenn ähnliche Ausmasse in den trockenen Nachkriegsjahren 1947 und 1949 verzeichnet wurden (Müller 1948, Kuster 1951; Rathgeb et al 2020, dieses Heft), ist die Situation heute, nach einer Phase von rund 30 Jahren starker Klimaerwärmung (CH2018 2018) eine neue. Da die CO₂-Gehalte in der Atmosphäre weiterhin zunehmen, werden die Temperaturen mit grosser Wahrscheinlichkeit weiter ansteigen, womit auch die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Extremereignissen wie der Sommertrockenheit 2018 zunehmen wird (IPCC 2019). In Deutschland entbrannte nach dem Hitzesommer 2003 bereits eine lebhafte Diskussion über die Zukunft der Buche in mehreren Fachartikeln. Während Rennenberg et al (2004) die Buche im südlichen Mitteleuropa provokativ generell infrage stellten, wurde vor voreiligen Verallgemeinerungen für das betreffende Buchenareal gewarnt (Ammer et al 2005) und auf die Risikoverteilung mittels Baumartenmischung und durch Einbringen von trockenheitsresistenter Buchenherkünfte hingewiesen (Bolte 2005). Tatsächlich fehlten nach 2003 repräsentative Erhebungen über die Auswirkungen der Trockenheit auf die Schäden bei Buchen (Breda et al 2006). Die Diskussion über die Zukunft der Buche ist nun auch in der Schweiz lanciert und sollte auf der Grundlage von Daten und Beobachtungen geführt werden. Insbesondere zeigen repräsentative Erhebungen zu den Waldzuständen von Buchenwäldern (Sanasilva, Landesforstinventar, IAP-Walddauerbeobachtungsprogramm) landesweit nur wenig Auswirkungen der Sommertrockenheit 2018, was vor allem darauf hindeutet, dass der Grossteil der Buchenstandorte abseits der extremen Trockenheitswirkung 2018 liegt.

Die nächsten Jahre werden nicht nur zeigen, wie viele der untersuchten Bäume mit frühem Laubfall noch absterben werden, sondern auch, ob Trockenheit während der Vegetationszeit wie im Jahr 2018 häufiger oder gar zum Normalfall wird. Angesichts der Tatsache, dass im Gegensatz zu den Altbäumen der Buchenjungwuchs oft kaum unter der Trockenheit gelitten hat, stellt sich die Frage, ob junge Buchen bereits an die neuartigen heissen und trockenen Sommer mit vorübergehender Ressourcenlimitierung akklimatisiert sind (siehe Review von Mencuccini 2003) und in welcher Weise ein direk-

ter Einwuchs einen deutlichen Vegetationswechsel vorerst abdämpft. Zu dieser Frage ist noch zu wenig empirisches Wissen vorhanden. Nichtsdestotrotz: In den trockensten Regionen nördlich der Alpen, und dazu zählen ebenfalls das vom Föhn beeinflusste Walensee-Seeztal-Gebiet, Teile des Jurasüdfusses und die Ajoie, sind ausgewachsene Buchen nun deutlich geschwächt.

Fazit

Unsere Untersuchungen an 919 Buchen in Gebieten mit frühem Laubfall im Sommer 2018 zeigen, dass die vorzeitige Blattverfärbung mit deutlich erhöhten Kronenmortalitäten im Folgejahr zusammenhängen. Die generelle Zunahme an toten Ästen vom Frühling bis in den Sommer ist ein deutliches Indiz für das Abbrechen des Wasserfadens in Leitbahnen durch die Folgen der Trockenheit. Wir deuten deshalb einen Laubfall bei Buchen, der bereits in den Monaten Juli/August stattfindet, als Schwächezeichen bzw. als Indikator für eine teilweise unterbrochene Wasserzufuhr in Ästen und Zweigen. Von einer Resistenzfunktion des verfrühten Laubfalls kann nur dann gesprochen werden, wenn Zweige und Äste im Folgejahr nach einer Sommertrockenheit wieder voll austreiben, was in den hier untersuchten Regionen nicht der Fall war. ■

Eingereicht: 6. Dezember 2019, akzeptiert (mit Review): 3. Juni 2020

Dank

Wir bedanken uns bei allen Forstdiensten für die Hilfe bei der Suche nach geeigneten Standorten, bei Doris Schneider für die Hilfe beim Bestimmen von Borkenkäfern und bei Carolina Cornejo für die molekulare Absicherung der Artbestimmungen.

Literatur

- AMMER C, ALBRECHT A, BORCHERT H, BROSINGER F, DITTMAR C ET AL (2005) Zur Zukunft der Buche (*Fagus sylvatica* L.) in Mitteleuropa – kritische Anmerkungen zu einem Beitrag von Rennenberg et al (2004). Allg Forst- Jagdztg 176: 60–67.
- BAFU ET AL, EDITOR (2019) Hitze und Trockenheit im Sommer 2018. Auswirkungen auf Mensch und Umwelt. Bern: Bundesamt Umwelt, Umwelt-Zustand 1909. 91 p.
- BIRCHER N, CAILLERET M, ZINGG A, BUGMANN H, PLUESS AR (2016) Potenzielle Grundflächenveränderungen auf Bestandesebene im Klimawandel. In: Pluess AR, Augustin S, Brang P, editors. Wald und Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien. Bern: Haupt. pp. 157–175.
- BOGDZIEWICZ M, ASCOLI D, HACKET-PAIN A, KOENIG WD, PEARSE IS ET AL (2020) From theory to experiments for testing the proximate mechanisms of mast seeding: an agenda for an experimental ecology. Ecol Lett 23: 210–220.
- BOLTE A (2005) Zur Zukunft der Buche in Mitteleuropa. AFZ/Der-Wald 60 (20): 1077–1078.

- BREDA N, HUC R, GRANIER A, DREYER E (2006) Temperate forest trees and stands under severe drought: a review of ecophysiological responses, adaptation processes and long-term consequences. *Ann For Sci* 63: 625–644.
- BURAS A, SCHUNK C, ZEITRAG C, HERRMANN C, KAISER L ET AL (2018) Are Scots pine forest edges particularly prone to drought-induced mortality? *Environ Res Lett* 13: 025001.
- BUTIN H (2011) Krankheiten der Wald- und Parkbäume: Diagnose, Biologie, Bekämpfung. Stuttgart: Ulmer, 4 ed. 319 p.
- CH2018 (2018) CH2018 – climate scenarios for Switzerland. Zürich: National Centre Climate Services. 271 p.
- DITTMAR C, FRICKE W, ELLING W (2006) Impact of late frost events on radial growth of common beech (*Fagus sylvatica* L.) in Southern Germany. *Eur J For Res* 125: 249–259.
- DÜGGELIN C (2019) Schweizerisches Landesforstinventar. Feldaufnahme-Anleitung 2019. Birmensdorf: Eidgenöss. Forsch. anstalt WSL. 257 p.
- FREHNER M, BURNAND J, CARRARO G, FREY HU, LÜSCHER P (2009) Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion. Anhang 2A: Bestimmen des Standortstyps. Bern: Bundesamt Umwelt Wald Landschaft. 180 p.
- GESSLER A, KEITEL C, KREUZWIESER J, MATYSSEK R, SEILER W ET AL (2007) Potential risks for European beech (*Fagus sylvatica* L.) in a changing climate. *Trees* 21: 1–11.
- GESSLER A, SCHAUB M, MCDOWELL NG (2017) The role of nutrients in drought-induced tree mortality and recovery. *New Phytol* 214: 513–520.
- GOSSNER MM, FALCK K, WEISSER WW (2019) Effects of management on ambrosia beetles and their antagonists in European beech forests. *For Ecol Manage* 437: 126–133.
- HACKET-PAIN AJ, FRIEND AD, LAGEARD JGA, THOMAS PA (2015) The influence of masting phenomenon on growth-climate relationships in trees: explaining the influence of previous summers' climate on ring width. *Tree Physiol* 35: 1–12.
- HOCHBERG U, WINDT CW, PONOMARENKO A, ZHANG YJ, GERSONY J ET AL (2017) Stomatal closure, basal leaf embolism, and shedding protect the hydraulic integrity of grape stems. *Plant Physiol* 174: 764–775.
- HÖLTÄ T, MENCUCINI M, NIKINMAA E (2014) Ecophysiological aspects of phloem transport in trees. In: Tausz M, Grulke N, editors. *Plant ecophysiology*. Dordrecht: Springer, vol 9, pp. 25–36.
- HOUSTON DR, PARKER EJ, PERRIN R, LANG KJ (1979) Beech bark disease: a comparison of the disease in North America, Great Britain, France, and Germany. *Eur J For Path* 9: 199–211.
- IPCC (2019) IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate. Summary for Policymakers. Approved Draft Headline Statements.
- JUVANY M, MÜLLER M, MUNNÉ-BOSCH S (2013) Photo-oxidative stress in emerging and senescing leaves: a mirror image? *J Exp Bot* 64: 3087–3098.
- KÖHLER G, PAŠALIĆ E, WEISSER WW, GOSSNER MM (2015) Beech forest management does not affect the infestation rate of the beech scale *Cryptococcus fagisuga* across three regions in Germany. *Agric For Entomol* 17: 197–204.
- KUSTER J (1951) Forstliche Chronik 1950. *Schweiz Z Forstwes* 102: 530–534.
- LEIBUNDGUT H, FRICK L (1943) Eine Buchenkrankheit im schweizerischen Mittelland. *Schweiz Z Forstwes* 94: 297–306. doi: 10.5169/seals-764617
- MANION PD (2003) Evolution of concepts in forest pathology. *Phytopathology* 93: 1052–1055.
- MARINGER J, CONEDERA M, ASCOLI D, SCHMATZ D, WOHLGEMUTH T (2016) Resilience of European beech forests (*Fagus sylvatica* L.) after fire in a global change context. *Int J Wildland Fire* 25: 699–710.
- MCDOWELL NG, BEERLING DJ, BRESHEARS DD, FISHER RA, RAFFA F ET AL (2011) The interdependence of mechanisms underlying climate-driven vegetation mortality. *Trends Ecol Evol* 26: 523–532.
- MEIER IC, LEUSCHNER C (2008) Belowground drought response of European beech: fine root biomass and carbon partitioning in 14 mature stands across a precipitation gradient. *Glob Chang Biol* 14: 2081–2095.
- MENCUCINI M (2003) The ecological significance of long-distance water transport: short-term regulation, long-term acclimation and the hydraulic costs of stature across plant life forms. *Plant Cell Environ* 26: 163–182.
- METEOSCHWEIZ (2018) Hitze und Trockenheit im Sommerhalbjahr 2018 – eine klimatologische Übersicht. Zürich: Meteo-Schweiz, Fachber 272. 38 p.
- MÜLLER H (1948) Forstliche Chronik 1947. *Schweiz Z Forstwes* 99: 438–443.
- MÜLLER E, STIERLIN HR (1990) Sanasilva Kronenbilder. Mit Nadel- und Blattverlustprozenten. Birmensdorf: Eidgenöss. Forsch. anstalt WSL, 2 ed. 129 p.
- MUNNÉ-BOSCH S, ALEGRE L (2004) Die and let live: leaf senescence contributes to plant survival under drought stress. *Funct Plant Biol* 31: 203.
- NUSSBAUMER A, MEUSBURGER P, SCHMITT M, WALDNER P, GEHRIG R ET AL (2020) Extreme summer heat and drought lead to early fruit abortion in European beech. *Sci Rep* 10: 5334.
- PETERCORD R (2006) Die Buchenwollschildlaus (*Cryptococcus fagisuga* LIND.) als Auslöser der Buchenrindennekrose. Mitt Forschungsanst Waldök Forstwärts Rheinland-Pfalz 59: 53–62.
- PFISTER C, BÜTIKOFER N, SCHULER A, VOLZ R (1988) Witterungsextreme und Waldschäden in der Schweiz. Eine historisch-kritische Untersuchung von Schadenmeldungen aus schweizerischen Wäldern in ihrer Beziehung zur Klimabelastung, insbesondere durch sommerliche Dürreperioden. Bern: Bundesamt Forstwesen Landschaftsschutz. 70 p.
- RATHGEB U, BÜRGI M, WOHLGEMUTH T (2020) Waldschäden wegen Dürre von 1864 bis 2018 in der Schweiz und insbesondere im Kanton Zürich. *Schweiz Z Forstwes* 171: 249–256. doi: 10.3188/szf.2020.0249
- RENNENBERG H, SEILER W, MATYSSEK R, GESSLER A, KREUZWIESER J (2004) Die Buche (*Fagus sylvatica* L.) – ein Waldbaum ohne Zukunft im südlichen Mitteleuropa? *Allg Forst- Jagdztg* 175: 210–224.
- RIGLING A, BIGLER C, EILMANN B, FELDMEYER-CHRISTE E, GIMMI U ET AL (2013) Driving factors of a vegetation shift from Scots pine to pubescent oak in dry Alpine forests. *Glob Chang Biol* 19: 229–240.
- RIGLING A, MOSER B, FEICHTINGER L, GÄRTNER H, GIUGGIOLA A ET AL (2018) 20 Jahre Waldföhrensterben im Wallis: Rückblick und aktuelle Resultate. *Schweiz Z Forstwes* 169: 242–250. doi: 10.3188/szf.2018.0242
- ROHMEDER E (1972) Das Saatgut in der Forstwirtschaft. Hamburg: Parey. 273 p.
- RUEHR NK, GROTE R, MAYR S, ARNETH A (2019) Beyond the extreme: recovery of carbon and water relations in woody plants following heat and drought stress. *Tree Physiol* 39: 1285–1299.
- SCHARDT M, FAUSTER B, GRUPPE A, SCHOPF R (2006) Einfluss der Blattposition auf Befallshäufigkeit und Entwicklungserfolg von *Rhynchaenus fagi* L. (*Coleoptera: Curculionidae*) an Buche (*Fagus sylvatica* L.). *Mitt Dtsch Ges Allg Angew Ent* 15: 41–44.
- SCHINDLER C (1951) Das Buchensterben. *Forstarchiv* 22: 109–119.
- SCHULDT B, BURAS A, AREND M, VITASSE Y, BEIERKUHNEIN C ET AL (2020) A first assessment of the impact of the extreme 2018 summer drought on Central European forests. *Basic Appl Ecol* 45: 86–103.
- SEIDL R, BLENNOW K (2012) Pervasive growth reduction in Norway spruce forests following wind disturbance. *PLoS ONE* 7: e33301.

- STEPHENSON NL, DAS AJ, AMPERSEE NJ, BULAON BM, YEE JL (2019) Which trees die during drought? The key role of insect host-tree selection. *J Ecol* 107: 2383–2401.
- TORETIA, BELWARDA, PEREZ-DOMINGUEZ I, NAUMANN G, LUTERBACHER J ET AL (2019) The exceptional 2018 European water seesaw calls for action on adaptation. *Earth's Future* 7: 652–663.
- TRUEBA S, PAN RH, SCOFFONI C, JOHN GP, DAVIS SD ET AL (2019) Thresholds for leaf damage due to dehydration: declines of hydraulic function, stomatal conductance and cellular integrity precede those for photochemistry. *New Phytol* 223: 134–149.
- USBECK T (2015) Wintersturmschäden im Schweizer Wald von 1865 bis 2014. *Schweiz Z Forstwes* 166: 184–190. doi: 10.3188/szf.2015.0184
- VITASSE Y, REBETEZ M (2018) Unprecedented risk of spring frost damage in Switzerland and Germany in 2017. *Clim Change* 149: 233–246.
- VITASSE Y, BOTTERO A, CAILLERET M, BIGLER C, FONTI P ET AL (2019) Contrasting resistance and resilience to extreme drought and late spring frost in five major European tree species. *Glob Chang Biol* 25: 3781–3792.
- WOLFE BT, SPERRY JS, KURSAR TA (2016) Does leaf shedding protect stems from cavitation during seasonal droughts? A test of the hydraulic fuse hypothesis. *New Phytol* 212: 1007–1018.
- YAMASAKI M, KIKUZAWA K (2003) Temporal and spatial variations in leaf herbivory within a canopy of *Fagus crenata*. *Oecologia* 137: 226–232.
- ZAPPA M, LIECHTI K, DELLER M, BARBEN M (2017) Wasserhaushalt der Schweiz 2.0. Eine validierte, modellgestützte Methode für die Bilanzierung der Wasserressourcen der Schweiz. *Wasser Energie Luft* 109: 203–212.
- ZELLER B, COLIN-BELGRAND M, DAMBRINE E, MARTIN F (2001) Fate of nitrogen released from 15N-labeled litter in European beech forests. *Tree Physiol* 21: 153–162.
- ZIMMERMANN L, RASPE S, SCHULZ C, GRIMMEISEN W (2008) Wasserverbrauch von Wäldern. *Freising: Bayer Landesanstalt Wald Forstwirtschaft, LWF aktuell* 66: 16–20.
- ZINGG A, BÜRGI A (2008) Trockenperioden seit 1900 und Wachstum von Waldbeständen: eine Analyse langfristiger Datenreihen. *Schweiz Z Forstwes* 159: 351–361. doi: 10.3188/szf.2008.0351

Chute précoce des feuilles de hêtre pendant la sécheresse estivale de 2018: résistance ou symptôme de faiblesse?

La sécheresse de l'été 2018 a provoqué une chute prématurée des feuilles de hêtre (*Fagus sylvatica* L.) dans différentes régions de Suisse. Doit-on interpréter cette chute des feuilles comme une réaction de défense qui donne aux hêtres un avantage physiologique, ou comme un symptôme d'affaiblissement avancé? Pour répondre à cette question, nous avons effectué dès la fin de l'été 2018 un suivi de l'état de 781 hêtres adultes qui ont montré une chute précoce des feuilles et de 138 hêtres qui ont montré une chute des feuilles normale (919 arbres au total) dans les cantons d'Argovie/Zürich (AG/ZH), de Bâle-Campagne (BL) et de Schaffhouse (SH). Des évaluations et des prélèvements renouvelés pour différents paramètres au printemps et à l'été 2019 ont montré qu'entre 1.4% et 4.7% des hêtres avec chute précoce des feuilles sont morts au niveau régional. La mortalité moyenne du houppier durant l'été 2019 pour les arbres à chute précoce des feuilles s'est élevée à 35.6% à BL, 30% à SH et 17.4% à AG/ZH. Pour les arbres avoisinants ayant présenté une chute normale des feuilles, les valeurs n'étaient que de 13.0% (BL) et 5.3% (AG/ZH). En 2019, les taux de mortalité moyens ont augmenté du printemps à l'été. Les arbres à chute des feuilles précoce portaient généralement plus de fruits (effet de faînée). Dans le canton de BL, ces arbres présentaient significativement plus de dommages sur l'écorce ainsi que des nécroses. De plus, ils étaient plus souvent attaqués par les cochenilles du hêtre et présentaient des attaques plus graves des feuilles de la canopée par les insectes et les champignons. A AG/ZH, les arbres à chute des feuilles précoce étaient plus souvent sujets aux suintements et se trouvaient plus souvent en lisière de forêt. D'après nos résultats, la chute prématurée des feuilles de hêtre au cours de la sécheresse estivale prononcée de 2018 est un symptôme de faiblesse: ce constat est étayé par l'observation de nombreuses branches sans feuilles dans l'année qui a suivi cette sécheresse.

Early leaf fall of European beech during the hot and dry summer of 2018: resistance or sign of weakness?

The hot and dry summer of 2018 resulted in early leaf fall of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in several regions in Switzerland. This raises the question whether such an event can be viewed as a resistance process that physiologically helped the trees to withstand this severe drought or whether the premature leaf fall was an indicator of drought-induced weakness. To answer the question, we assessed the conditions of 781 mature beech trees with early leaf fall and 138 with normal leaf fall (919 trees in total) in late summer 2018 in the regions of Aargau/Zürich (AG/ZH), Baselland (BL) and Schaffhausen (SH). Repeated surveys of the tree health and samples taken in spring and summer 2019 demonstrated that between 1.4% and 4.7% of the beech trees with early leaf fall died regionally. Average crown mortality in summer 2019 amounted to 35.6% (BL), 30% (SH) and 17.4% (AG/ZH) in trees with early leaf fall. For those with normal leaf fall, values were smaller with 13.0% (BL) and 5.3% (AG/ZH). Mortality rates increased in 2019 between spring and summer. Trees with early leaf fall produced more fruits (masting) before the drought. In BL, trees with early leaf fall showed higher amounts of bark damages and necroses as well as more frequent attacks by *Cryptococcus fagisuga*. Leaves in the crown of the trees were more often damaged by herbivores and fungi. In AG/ZH bark exudations were more often found in trees with early leaf fall. In addition these trees were standing more often at the forest edge. Our results confirm that early leaf fall in beech trees as happened during the hot and dry summer of 2018 is a sign of weakness. Observations of twigs and branches that failed to leaf-out one year after the drought support this view.