

# Wenn der Maitrieb zum Märztrieb wird

Lehrstuhl für Ökoklimatologie der TU München untersucht extreme Wetterereignisse und ihre Auswirkungen in der Phänologie

Christoph Schleip, Christine Cornelius und Annette Menzel

**Extremereignisse in der Phänologie können eine entscheidende Rolle in der Ökologie von Wäldern spielen. Die Wahrscheinlichkeit, dass phänologische Ereignisse extrem früh eintreffen, ist insbesondere in den letzten beiden Dekaden um die Hälfte – und damit sehr deutlich – angestiegen. So ergrünen Bäume im Frühling in extremen Jahren circa 18 Tage früher. Auch Untersuchungen aus dem Nationalpark Berchtesgaden zeigen im Mittel entlang eines Höhengradienten temperaturabhängige Verfrühungen von 17 Tagen. Es ist damit zu rechnen, dass alle 50 Jahre der Maitrieb und die Blattentfaltung einmal mit circa 35 Tagen Verfrühung auftritt. Dann können die »Maitriebe« schon mal im März austreiben. Dadurch kann es zu einer Erhöhung des Spätfrost-risikos und zu einer Verschiebung der ökologischen Nische verschiedener Waldbaumarten kommen.**

Zu den beobachteten und prognostizierten Auswirkungen des Klimawandels gehört unter anderem eine höhere Frequenz und Intensität von Extremereignissen. Ein Extremereignis wird als ein seltenes Wetter- und Naturereignis definiert, welches stark vom Durchschnitt abweicht. Der Zusammenhang zwischen Klima, Extremereignissen und deren Auswirkungen auf Ökosysteme ist außerordentlich komplex. Durch Verknüpfung von Phänologie – der Lehre der jährlich wiederkehrenden Ereignisse in der Tier- und Pflanzenwelt – mit mathematischen Ansätzen werden diese Zusammenhänge genauer beschrieben.

## Phänologie und Extremereignisse

Phänologische Ereignisse in gemäßigten Breiten sind überwiegend temperaturgesteuert, bisher wurden meist die Veränderungen von mittleren Eintrittsterminen analysiert (Menzel et al. 2006). In Zukunft werden allerdings auch extreme Ereignisse in der Phänologie immer wahrscheinlicher, was enorme Auswirkungen auf die Atmosphäre, die Biosphäre sowie auf gesamte Ökosysteme haben wird. Oft werden allerdings nur meteorologische Parameter betrachtet. Nur wenige Publikationen beschreiben die Auswirkung von Extremereignissen auf die Phänologie (Parmesan et al. 2000; Luterbacher et al. 2007). Weitgehend vernachlässigt wurde die Frage, ob sich extreme phänologische Ereignisse in ihrer Häufigkeit und Stärke verändert haben, ein Hinweis auf kritische Störungen in Ökosystemen (Parmesan 2007; Jentsch et al. 2007). Da Extremereignisse per Definition relativ selten sind, ist die Datenbasis oft dünn und die konventionellen statistischen Analysen sind meist wenig aussagekräftig. Wir haben deshalb neben der *Gauß-Perzentil Methode* eine *semi-parametrische Quantil Methode* und eine moderne *Extremwertmethode (Block Maximum Methode)* für unsere Analyse verwendet.

An acht Waldbaumarten haben wir den Maitrieb der Lärche (*Larix decidua*), der Fichte (*Picea abies*) und der Kiefer (*Pinus silvestris*) sowie die Blattentfaltung von Birke (*Betula pendula*), Schwarzerle (*Alnus glutinosa*), Buche (*Fagus sylvatica*), Eiche (*Quercus robur*) und Esche (*Fraxinus excelsior*) untersucht.

Ausgewählt wurden nur Stationen aus dem Beobachtungsnetz des Deutschen Wetterdienstes, die über eine nahezu vollständige Beobachtungszeitreihe von mehr als 50 Jahren (1951–2008) verfügen. In Abhängigkeit von der untersuchten Phase variiert somit die Anzahl der verfügbaren Stationen innerhalb Deutschlands zwischen 11 und 70. Um regional-klimatische Unterschiede zu berücksichtigen, wurden die Eintrittstermine standardisiert (»standardisierte Anomalien«), das heißt, für jede Station und für jedes Jahr wurde vom Eintrittstermin der langjährige Mittelwert abgezogen und anschließend durch die empirische Standardabweichung geteilt.

## Gauß-Perzentil Methode

Zur Quantifizierung von Extremwerten liefern Häufigkeitsverteilungen der jeweiligen Zeitreihen, die in normierter Form Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen (*engl. Probability Density Functions, PDF*) heißen, einen möglichen Lösungsansatz (Trömel und Schönwiese 2006). Für alle verfügbaren Daten einer Baumart, das heißt über alle verfügbaren Stationen innerhalb Deutschlands und über die gesamte Zeitperiode (1951–2008), haben wir eine Gauß-Verteilung berechnet. Ausgehend von dieser »Basisverteilung« werden die unteren und oberen fünf Prozent der Daten (5 %- und 95 %-Perzentile) abgeleitet. Daten, die solche Schwellen unter- bzw. überschreiten, werden dann als *extrem* definiert und für jede Dekade deren Unterschreit- bzw. Überschreitwahrscheinlichkeit berechnet.

Bei allen untersuchten Baumarten zeigt der Mittelwert der Verteilungen besonders in den letzten beiden Dekaden auf eine signifikante Verfrühung der phänologischen Ereignisse hin. Im gleichen Zeitraum steigt bei fast allen Baumarten die Wahrscheinlichkeit, dass ein frühes Ereignis auftritt, von 0,04 auf 0,08; gleichzeitig sinkt die Wahrscheinlichkeit für ein extrem spätes Ereignis von 0,06 auf 0,01. Da die Standardabweichung keinen korrespondierenden Trend aufweist, ist die extreme Verfrühung nicht auf eine steigende Variabilität der Eintrittstermine zurückzuführen, sondern auf eine echte Verschiebung der Häufigkeitsverteilungen.

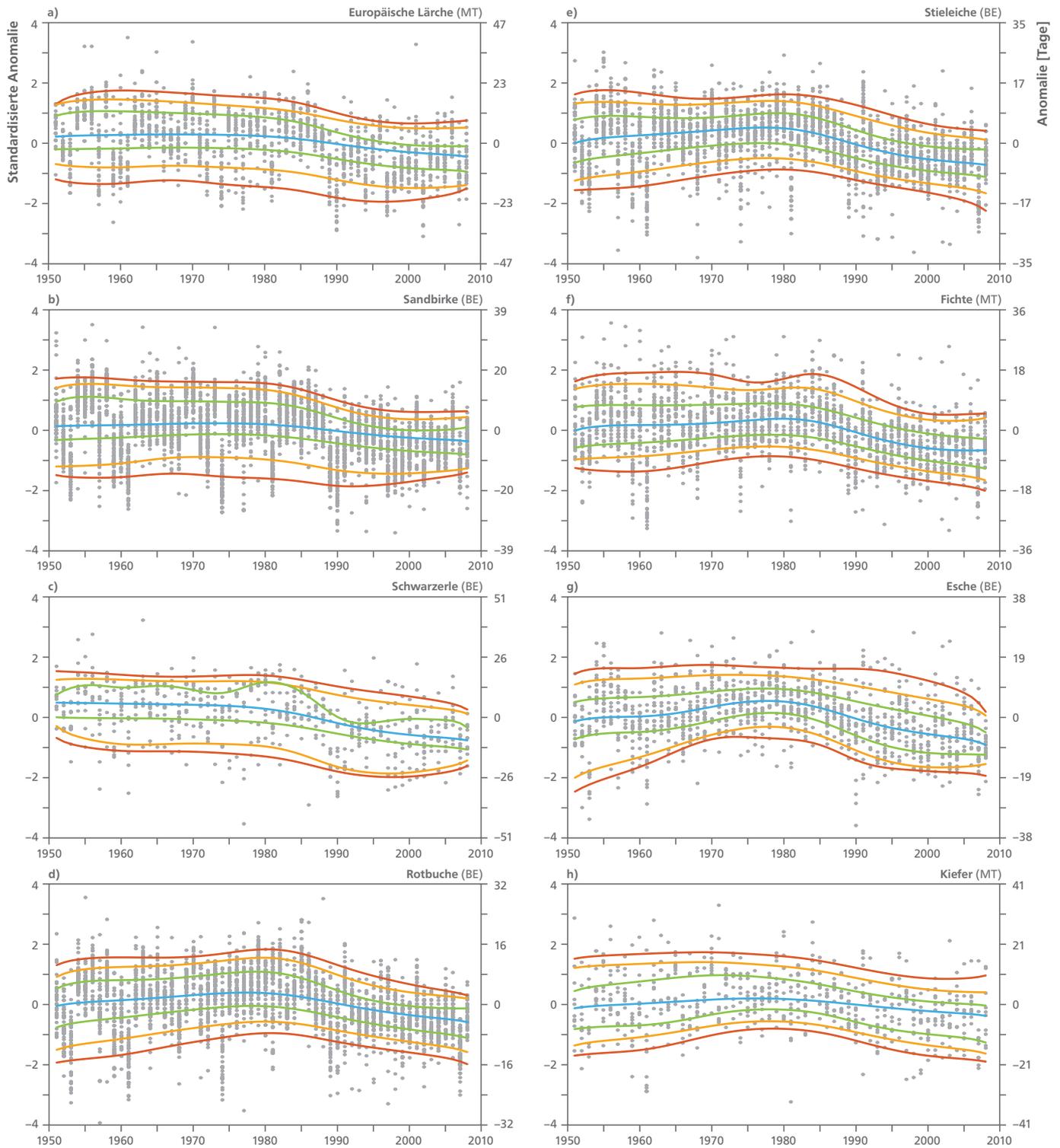


Abbildung 1: Für phänologische Zeitreihen von 1951 bis 2008 wurden mit der Semi-Quantil Methode Splines für die 5., 10., 25., 50., 75., 90. und 95. Quantile geschätzt. Das 95. und 5. Quantil werden als extrem späte bzw. frühe Eintrittstermine definiert. Die linke y-Achse zeigt »standardisierte Anomalien« auf, dagegen zeigt die rechte y-Achse für jede Baumart die entsprechende Anomalie (Abweichungen in Tagen vom langjährigen Mittelwert). Jeder einzelne Kreis repräsentiert eine phänologische Station. Die Baumarten sind chronologisch (von a nach h) nach ihrem mittleren Eintrittstermin angeordnet. Eine standardisierte Anomalie entspricht in Tagen: bei Lärche 11,7; Birke 9,8; Erle 12,8; Buche 7,9; Eiche 8,6; Fichte 9,1; Esche 9,6; Kiefer 10,3.

— Median  
 — 25., 75. Quantile  
 — 10., 90. Quantile  
 — 5., 95. Quantile  
 MT: Maitrieb  
 BE: Blattentfaltung

### Semi-Quantil Methode

Semi-parametrische Ansätze schließen die Lücke zwischen nicht-parametrischen und parametrischen Modellen mit sehr geringen Verteilungsannahmen (Bühlmann und Hothorn 2007). Bei unseren untersuchten Waldbaumarten kommt die Semi-Quantil Methode zu ähnlichen Ergebnissen (Abbildung 1). Bei fast allen Baumarten und Quantilen ist im zeitlichen Verlauf zunächst eine leichte Verspätung in den 1980er Jahren zu sehen, gefolgt von einer Verfrühung der Eintrittstermine in den Dekaden danach. Dieses zeitliche Verlaufsmuster ist besonders bei Baumarten, die eher spät im Frühjahr austreiben, zu erkennen (z.B. Eiche, Fichte und Esche). Betrachtet man jedoch die extrem frühen Ereignisse (10. und 5. Quantil) im Detail, so fällt auf, dass die Baumarten, die besonders früh im Jahr austreiben, wie zum Beispiel Lärche, Birke und Erle, in den letzten Jahren sogar eine Verspätung der extrem frühen Eintrittstermine erfahren haben. Im Durchschnitt über alle Baumarten beträgt die »standardisierte Anomalie« -1,8, das entspricht in etwa einer generellen Verfrühung von 18 Tagen. Bei einzelnen Baumarten und Phasen, wie zum Beispiel dem Maitrieb der Kiefer, kann sogar eine Verfrühung von bis zu 21 Tagen aufgezeigt werden.

### Extremwerttheorie (Block Maximum Methode)

Die meisten gängigen Verfahren zur Schätzung von Verteilungen sind so ausgelegt, dass die Anpassung für die Daten im Zentrum gut ist (wo in der Regel die große Mehrheit der Datenpunkte liegt), während die Ränder mit wenigen Daten eher ungenau geschätzt werden. Dies wird dann problematisch, wenn die Ränder einer anderen Verteilung entstammen als die weniger extremen Werte. Aus diesem Grund hat sich die Extremwertstatistik entwickelt, in deren Mittelpunkt die Modellierung extremer Ereignisse steht. Die Extremwertanalyse bezieht nur Daten ein, die auch in der Vergangenheit schon als extrem bewertet wurden. Sie konzentriert sich also nur auf die äußeren Abschnitte der PDFs, die sogenannten »Tails«, deren Verteilungen mit eigenen Funktionen beschrieben werden (Gumbel 1958; Coles 2001). Die Ergebnisse zeigen bei dieser Analyse, dass bei einer Wiederkehrperiode von 50 Jahren im Durchschnitt über alle Baumarten ein Extremereignis in Höhe von 3,5 Standardabweichungen auftritt. Dies würde bedeuten, dass der Wald alle 50 Jahre bis zu 35 Tage früher grün wird. Somit wird der Maitrieb alle 50 Jahre im Extremfall zu einem Märztrieb.

### Extreme Phänologie im Nationalpark Berchtesgaden

Ergebnisse aus dem Nationalpark Berchtesgaden stützen die Aussagen über mögliche Extremereignisse. Seit mehr als 15 Jahren führen Mitarbeiter des Nationalparks phänologische Untersuchungen an verschiedenen Baumarten entlang eines Höhengradienten (600 bis 1.400 m) durch. Auf Grund der Temperaturabnahme mit der Höhe von 0,45 °C pro 100 Höhenmeter (Mittelwert März bis August; Konnerth 2004) sind unterschiedliche Temperaturszenarien gegeben, die für artspezifische Untersuchungen hinsichtlich der Reaktion auf Temperaturänderungen im Zuge des Klimawandels herangezogen werden können. Die hier untersuchten Baumarten, un-

### Frühlingsphänologie und Frostrisiko



Foto: M. Weiß

Spätfrostschäden an Buchen: Nach dem sehr frühen Blattaustrieb in der ersten Aprilhälfte 2011 haben starke Fröste Anfang Mai in weiten Teilen Bayerns umfangreiche Spätfrostschäden verursacht.

Klimatische Veränderungen wirken sich direkt auf einzelne Phänologiestadien, wie z.B. den Blatt- oder Blüthenaustrieb, aus. Die Phänologie ist deshalb einer der besten Bio-Indikatoren für Temperaturveränderungen. Phänologische Zeitreihen liefern somit wertvolle Aussagen über den Einfluss veränderter Umweltbedingungen auf die Vegetationsentwicklung. Phänologische Phasen werden in vielen Ländern Europas von naturinteressierten Bürgern beobachtet und auf den Tag genau festgehalten; deshalb sind zeitliche Verschiebungen genau quantifizierbar. Seit 2009 wird an der Waldklimastation Freising sogar eine innovative, automatische Phänokamera eingesetzt, die zeitlich hochaufgelöste Phänodatens liefert.

Die Entwicklungsstadien vieler Pflanzen im Frühling haben sich in Deutschland nachweislich verfrüht. Ein früherer Beginn der Vegetationsperiode kann das Risiko von Schäden durch Spätfrost erhöhen, da die Frostgefahr in den ersten Frühjahrsmonaten trotz Erwärmung erhalten bleibt.

Grundsätzlich ist zu beachten, dass nicht nur die Minimumtemperatur, sondern auch der Entwicklungsstand der Pflanzen entscheidend ist. So können z.B. geschlossene Blütenknospen Temperaturen bis -8 °C ertragen, ohne dass Schäden entstehen. Völlig geöffnete Blüten hingegen ertragen nur noch Temperaturen, die geringfügig unter dem Gefrierpunkt liegen. Die sehr gefürchteten Spätfröste können je nach Zeitpunkt im Obst-, Reb- und Gemüseanbau, aber auch in Waldkulturen große Schäden verursachen. Bei der Beurteilung von Frostereignissen spielen also die Minimumtemperatur, die Länge der Frostperiode und die phänologische Phase eine entscheidende Rolle.

ter anderem Lärche, Fichte und Bergahorn, treiben ihr Laub circa 2,6 Tage pro 100 m Höhendifferenz später aus. Mit jedem Grad Erwärmung verfrüht sich folglich das Ergrünen der Bäume um ungefähr fünf Tage. Der Zeitpunkt des Blattaustriebs wird vor allem durch die Temperaturen der vorangegangenen Monate bestimmt. Besonders deutlich wurde dies im Jahr 2007, als extrem warme Frühjahrstemperaturen (1,84 °C über dem Mittel des Beobachtungszeitraumes) zu einem extrem frühen Beginn des Blattaustriebs führten. Im Mittel zeigten sich die ersten neuen Blattspitzen 17 Tage früher. Auch in den Daten des Deutschen Wetterdienstes ist die extreme Verfrüfung besonders im Jahr 2007 wiederzuerkennen (Abbildung 1).

## Mögliche Auswirkungen von Extremereignissen

Bei der Interpretation unserer Ergebnisse ist zu beachten, dass die Definition von Extremen immer räumlich explizit und relativ zu der für die Gegenwart abgeleiteten Normskala erfolgt. Unsere Ergebnisse zeigen, dass die Häufigkeit von extrem frühen Eintrittsterminen beträchtlich zugenommen hat, und dass in absehbarer Zukunft solche Ereignisse eine enorme Intensität aufweisen können. Die Auswirkungen solcher Extremereignisse mit bis zu einer über einmonatigen Verfrüfung der Blattentfaltung und des Maitriebs sind vielfältig. Ein früher Blattaustrieb führt zwar häufig zu einer verlängerten Vegetationsperiode, erhöht aber gleichzeitig das Risiko von Spätfrostschäden. Auch die Anfälligkeit gegenüber Schadinsekten kann sich, je nach Populationsentwicklung und Synchronisation der Schadinsekten, verändern.

## Literatur

- Bühlmann, P.; Hothorn, T. (2007): *Boosting algorithms: regularization, prediction and model fitting*. Statistical Science, 22(4), S. 477–505
- Coles, S. (2001): *An introduction to statistical modeling of extreme values*. 208 S., Springer-Verlag London
- Gumbel, E.J. (1958): *Statistics of extremes*. 375 S., Columbia University Press, New York
- Jentsch, A.; Kreyling, J.; Beierkuhnlein, C. (2007): *A new generation of climate change experiments: events not trends*. Frontiers in Ecology and the Environment, 6(6), S. 365–374
- Konnert, V. (2004): *Standortkarte Nationalpark Berchtesgaden*. Forschungsbericht des Nationalparks Berchtesgaden 49, S. 1–151
- Luterbacher, J.; Liniger, M.A.; Menzel, A.; Estrella, N.; Della-Marta, P.M.; Pfister, C.; Rutishauser, T.; Xoplaki, E. (2007): *Exceptional warmth of autumn 2006 and winter 2007: Historical context, the underlying dynamics, and its phenological impacts*. Geophysical Research Letters, 34 (L12704)
- Menzel, A.; Sparks, T.H.; Estrella, N. et al. (2006): *European phenological response to climate change matches the warming pattern*. Global Change Biology, 12, S. 1969–1976
- Parmesan, C.; Root, T.L.; Willing, M.R. (2000): *Impacts of extremes weather and climate on terrestrial biota*. Bulletin of the American Meteorological Society, 81 (3), S. 443–450

Parmesan, C. (2007): *Influences of species, latitudes and methodologies on estimates of phenological response to global warming*. Global Change Biology, 13, S. 1860–1872

Trömel, S.; Schönwiese, C.-D. (2006): *Probability change of extreme precipitation observed from 1901 to 2000 in Germany*. Theoretical and Applied Climatology, 87, S. 29–39

Prof. Dr. Annette Menzel leitet das Fachgebiet für Ökoklimatologie, wo Dr. Christoph Schleip ([schleipc@wzw.tum.de](mailto:schleipc@wzw.tum.de)) und Christine Cornelius ([cornelius@wzw.tum.de](mailto:cornelius@wzw.tum.de)) als Post-Doktorand bzw. Doktorandin im Rahmen des Verbundprojekts FORKAST an phänologischen Fragestellungen arbeiten.

## Und alle Jahre wieder: Kastanienblüte im Herbst



Foto: M. Mößnang

Vor Königsfeld (Lkrs. Pfaffenhofen) steht ein Kastanienbaum, der regelmäßig im Herbst eine zweite Blüte zeigt. Die Aufnahme wurde am 24. September 2011 gemacht. Die Ursache dieses ungewöhnlichen Ereignisses ist wohl auf die Stressbelastung zurückzuführen, die der Schädlingsbefall der Roßkastanienminiermotte auslöst. In Wien, so haben bereits Mitte der 1990er Jahre Waldschutzexperten berichtet, blühten Kastanien vereinzelt im Oktober 1995 ein zweites Mal, nachdem die Bäume in den Jahren 1994 und 1995 von der Kastanienminiermotte stark befallen waren. In Folge des vorzeitigen Blattfalls wird die Blühinduktion aktiviert und der Baum reagiert mit einer zweiten Blüte. Obwohl der Befall mit Roßkastanienminiermotten weit verbreitet ist, sind Beobachtungen wie diese in Königsfeld doch gar nicht so häufig.

Eine weitere Erklärung, warum der Hormonhaushalt gerade dieser Kastanie derart durcheinanderkommt, könnten genetische Mutationen geben. Aber auch weitere noch unbekannte Prädispositionsfaktoren könnten eine Rolle spielen, wenn der Baum gegenüber Umweltreizen eine physiologische Überempfindlichkeit aufweist.

Was auch immer den Hormonhaushalt des Baumes durcheinander bringt, interessant wäre es zu wissen, ob andere ebenfalls solche Beobachtungen an Kastanien oder auch an anderen Baumarten gemacht haben. Wer Ähnliches beobachtet hat, sollte dies der Redaktion doch bitte melden.

Michael Mößnang