

Kronennutzung aus nährstoffkundlicher Sicht

Vor allem auf empfindlichen Standorten stehen hohe Nährstoffverluste geringen finanziellen Gewinnen gegenüber

Wendelin Weis, Christian Kölling und Thomas Schäff

Die Nutzung von Kronenbiomasse im Wald ist heute weit verbreitet. Die daraus erzeugten Waldhackschnitzel sind ein günstiger und begehrter Brennstoff für Biomasseheizkraftwerke und private Haushalte. Allerdings sind die zusätzlichen Erlöse, die der Waldbesitzer durch die Kronenernte im Vergleich zur Stammholznutzung erzielen kann, vergleichsweise gering. Äste, Zweige und Nadeln der Baumkronen enthalten jedoch überproportional viele Nährelemente. Daher kann bei intensiver Nutzung der Kronenbiomasse langfristig die Fruchtbarkeit des Standorts herabgesetzt werden.

Jährlich wird im bayerischen Staatswald etwa eine Million Schüttraummeter Waldhackgut erzeugt (Bayerische Staatsforsten 2012). Gemessen an der Gesamtproduktion von Hackschnitzeln in Bayern sind das allerdings nur etwas mehr als 20 %, 65 % kommen aus den Privatwäldern, der Rest aus den Körperschaftswäldern (Gaggermeier et al. 2014). Neben Stammresten bilden Wipfel mit einem Durchmesser größer 12 cm am stärkeren Ende (= Zopf) das Hauptsortiment zur Hackschnitzelgewinnung (vgl. Merkblatt der Bayerischen Staatsforsten »Grundsätze zur Bereitstellung von Energieholz«). Die vollmechanisierte Holzernte mit Harvester und Forwarder ist geradezu prädestiniert für eine effektive Ernte von Kronenmaterial. Wipfelstücke können vom Harvester direkt an der Rückegasse abgelegt und leicht vom Forwarder aufgenommen und abtransportiert werden. An der Forststraße oder an zentralen Sammelstellen werden die Nadelholzwipfel zu Waldhackschnitzel verarbeitet.

Bei Fichten liegt der Massenanteil von Ästen, Zweigen und Nadeln in den Wipfeln zwischen 35 und 55 %, wobei schlechtwüchsige Bestände mit eng stehenden Ästen höhere Anteile an

Feinreisig aufweisen. In der Regel dienen auf der Rückegasse anfallende Äste zur Armierung, um Bodenverdichtungen zu reduzieren und die Befahrbarkeit zu erhalten. In seltenen Fällen werden auch diese Äste zur Hackschnitzelerzeugung genutzt. Bei der motormanuellen Holzernte wird – im Gegensatz zur vollmechanisierten – im Bestand entastet. Das Kronenmaterial fällt dann verteilt auf der gesamten Bestandsfläche an.

Hackschnitzel haben sich als eine besonders günstige Energiequelle am Markt etabliert. Die Zahl der Biomasseheizkraftwerke ist gerade im letzten Jahrzehnt stark gestiegen. Auch wenn nur noch mit einem moderaten Anstieg der Anlagenzahl zu rechnen ist, wird der Bedarf an Biomasse als Energieträger hoch bleiben. Damit stellen Waldhackschnitzel auch künftig eine zusätzliche Einnahmequelle für Waldbesitzer dar. Dies gilt umso mehr, als der Bedarf nicht alleine aus Kurzumtriebsplantagen, aus der Altholzverwertung oder durch Schnittgut aus Landschaftspflegemaßnahmen gedeckt werden kann.

Ökonomisch ist die Hackschnitzelerzeugung aus Kronenmaterial allerdings weniger lukrativ als die Erzeugung von Stammholzsortimenten. Bei einer Durchforstung von Fichtenaltbeständen trägt sie nur wenige Prozent zum erntekostenfreien Gesamterlös bei. Der Beitrag erhöht sich etwas, wenn die gesamte Umtriebszeit betrachtet wird, da in jungen Beständen mehr Kronenmaterial in Relation zum Derbholz vorhanden ist. Letztlich sind die finanziellen Zugewinne für den Waldbesitzer gering. Zugleich entstehen aber Opportunitätskosten für mögliche Kompensationsmaßnahmen oder zukünftige Ertragseinbußen. Daher muss bei der energetischen Nutzung von Biomasse aus dem Wald gewährleistet sein, dass die wichtigere und ertragreichere Produktion von Stammholz nicht ins Hintertreffen gerät. Die geringen Erträge aus der Kronennutzung dürfen nicht durch langfristige Einbußen bei der Holzproduktion erkauft werden.

Baumkronen als Nährstoffquelle

Bei dem Export von Wipfelstücken und Ernterückständen aus den Beständen wird häufig vergessen, dass es sich hier um sehr nährstoffreiches Material handelt. Waldrestholz ist damit kein Abfallprodukt, sondern gleicht beim Belassen im Wald einer



Foto: W. Weis

Abbildung 1: Harvestereinsatz in einem Fichtenbestand: Äste und Baumwipfel bleiben konzentriert auf beziehungsweise an der Rückegasse liegen und können von dort leicht abtransportiert werden.

organischen Düngung. Damit tragen die Ernterückstände zum Humusaufbau bei und verbessern die Wasser- und Nährstoffversorgung. Die Standortsqualität bleibt so erhalten und wird unter Umständen sogar erhöht. Während der erntekostenfreie Erlös des zu Hackschnitzeln verarbeiteten Kronenmaterials vergleichsweise gering ist, führt die Kronennutzung zu mindestens einer Verdopplung des Nährelementexports. Besonders kritisch ist die Entnahme von Ästen, Zweigen und Nadeln zu beurteilen. Hier ist das Missverhältnis zwischen dem finanziellen Gewinn und dem Nährstoffexport am größten. Zusätzlich steigt die Qualität der Hackschnitzel und die damit erzielbaren Erlöse bei geringeren Anteilen von benadeltem bzw. belaubtem Feinschnitzel (Mergler et al. 2012).

Geringe Gewinnsteigerungen bei deutlich erhöhten Nährelementexporten durch Kronennutzung zeigen auch Modellrechnungen für die acht Fichtenflächen der bayerischen Waldklimastationen: Die mittlere Biomasse des Wipfelmaterials betrug bei einer Zopfgrenze von 12 cm rund 25 %. Berücksichtigt wurde das Wipfelholz (Stammholz kleiner 12 cm Durch-

messer), das bei der Stammentastung anfallende Material (»Reisig Fixlängen«) und die Äste, Zweige und Nadeln des Wipfelstücks (»Reisig Wipfel«). Der durchschnittliche erntekostenfreie Erlös der Kronennutzung belief sich auf weniger als 10 % des Gesamterlöses. Dabei wurden zur Berechnung Erntekosten für Stammholz von 15 €/m³, Kosten für die Hackschnitzelbereitstellung frei Werk von 69 €/t_{atro} für Kronenrücken, Hacken und Transport (Kuptz et al. 2015), Holzpreise für Fixlängen von Oktober 2015 und Hackschnitzelpreise von 19 € pro Schüttraummeter (frei Werk) angesetzt. Im Gegensatz zum relativ geringen Erlösanteil lag der Anteil der im Kronenmaterial gespeicherten Hauptnährelemente für Phosphor bei 68, für Stickstoff und Kalium bei 57, für Magnesium bei 52 und für Calcium bei 46 %. Dabei waren die Nährelementanteile abhängig von der Nährstoffversorgung am Standort, dem Alter und der Wuchsleistung des Bestands (Abbildung 2 und Tabelle 1). In jungen oder schlechtwüchsigen Beständen mit hoher Stammzahl und geringen Einzelbaumdimensionen – hier das Beispiel der Waldklimastation Rothenkirchen (Wuchsbezirk 8.1 Frankenwald) – war im Kronenmaterial mehr Biomasse gebunden. Demensprechend höher fiel der Anteil am erntekostenfreien Gesamterlös durch Kronennutzung aus. Allerdings lagen die Nährstoffentzüge durch den Abtransport des Kronenmaterials bei weit über 50 %. In älteren und gut wüchsigen Beständen – Beispiel Ebersberg (Wuchsbezirk 13.1 Münchner Schotterebene) – erreichte der anteilige Erlös der Kronennutzung nur noch wenige Prozent. Auch der Biomasseanteil war deutlich geringer. Trotzdem war dort noch immer etwa die Hälfte der Nährstoffe gebunden und würde im Erntefall dem Standort entzogen.

Standortverschlechterung durch Kronennutzung?

Besonders auf nährstoffarmen Standorten kann der hohe Nährstoffentzug bei intensiver Biomassenutzung langfristig zu einem Verlust der Standortsqualität führen und sich mindernd auf die Wuchsleistung auswirken. Der geringe Mehrertrag durch Nutzung des Kronenmaterials kann so durch zukünftige Verluste bei der Stammholzproduktion mehr als wettgemacht werden. Die in der Literatur berichteten längerfristigen Zuwachseinbußen in Folge von Vollbaumnutzung erreichen

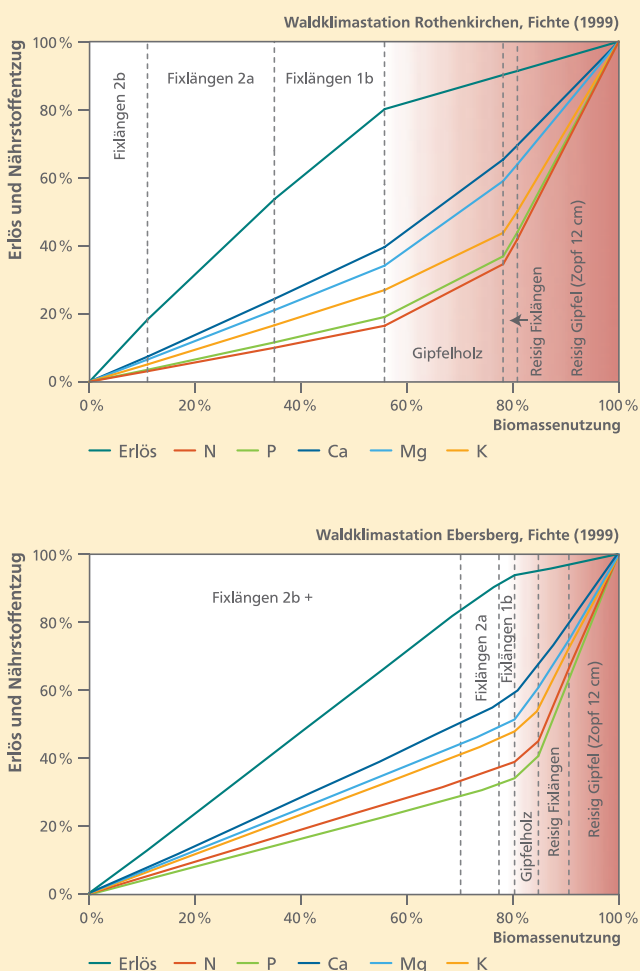


Abbildung 2: Erntekostenfreier Erlös und Nährelemententzug im Vergleich zur genutzten Biomasse für Fixlängensortimente (Länge 4,1 m; Stärkeklassensortierung; Zopfgrenze 12 cm) und Kronenmaterial am Beispiel zweier Fichtenbestände.

Tabelle 1: Ertragskundliche Kenngrößen der Fichtenbestände (WKS Rothenkirchen und Ebersberg)

	WKS Rothenkirchen	WKS Ebersberg
Alter bei Aufnahme (1999)	47	83
Stammzahl pro Hektar	984	567
Brusthöhendurchmesser des Grundflächenmittelstamms	21 cm	44 cm
Höhe des Grundflächenmittelstamms	18,7 m	30,9 m
Grundfläche	34 m ² /ha	86 m ² /ha
Volumen Derbholz m. Rinde	295 m ³ /ha	1132 m ³ /ha

Werte bis etwa 20 % (Thiffault et al. 2011). Eine Übertragung der Ergebnisse auf die bayerischen Wälder ist schwierig, da viele der Untersuchungen in Regionen mit geringen Stickstoffeinträgen stattfanden. Dagegen liegt die Stickstoffdeposition in den Wäldern Mitteleuropas seit den letzten 50 Jahren teilweise deutlich über dem Bedarf der Bäume. Stickstoffmangel spielt daher in Bayerns Wäldern nur auf wenigen Sonderstandorten eine Rolle. Trotzdem zeigen auch Untersuchungen aus unserem Nachbarland Österreich in jungen Fichtenbeständen deutliche Zuwachsrückgänge nach Vollbaumnutzung (Sterba 2003).

Alternativ zu aufwendigen und langwierigen Beobachtungen auf Versuchsflächen können die Auswirkungen des Nährstoffexports durch Bilanzen abgeschätzt werden. Die erwartete langfristige Entnahme von Nährelementen mit der Holzernte wird dem Nährstoffangebot am Standort gegenübergestellt. Das Nährstoffangebot entspricht dabei der Summe aus den atmosphärischen Nährstoffeinträgen und der Freisetzung durch Verwitterung im Boden abzüglich der Verluste, die durch den Austrag mit dem Sickerwasser entstehen. Als Beispiel zeigt Abbildung 3 für die Waldklimastation Rothenkirchen Angebot und Entzug von Magnesium bei unterschiedlicher Bewirtschaftung.

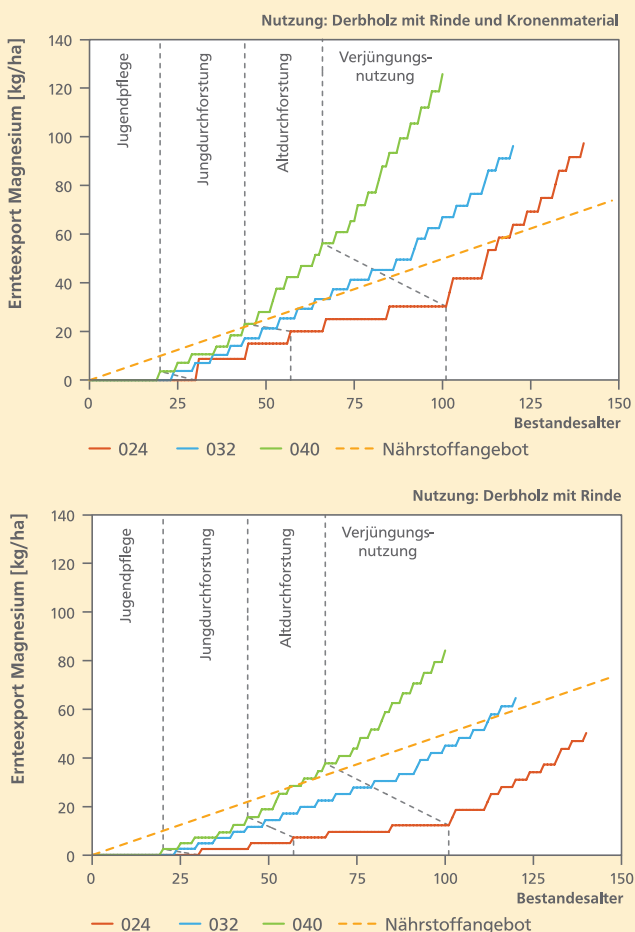


Abbildung 3: Vergleich des Magnesium-Exports mit und ohne Kronennutzung von Fichtenbeständen verschiedener Bonität mit dem Nährstoffangebot (= Nährstoffeintrag + Verwitterung – Sickerwasseraustrag) der WKS Rothenkirchen.

Der Fichtenbestand stockt auf einem nährstoffarmen, schuttreichen Lehmboden aus Grauwacke. Zur Bilanzierung wurde deshalb eine geringe, aber ausreichende Nährstoffversorgung im Baum angenommen. Für drei unterschiedliche Wuchsleistungen typischer Fichtenbestände (Oberhöhenbonitäten im Alter 100 von 24, 32 und 40 m) sind die potenziellen Magnesiumentzüge bei fortwährender Vollbaumernte (Derbholz mit Rinde und Kronenmaterial) im Vergleich zur reinen Stammnutzung (Derbholz mit Rinde) aufgetragen. Einberechnet wurden jeweils 10 % Ernteverluste, Material, das am Standort liegen bleibt und deshalb nicht in die Bilanz eingeht. Durchforstungsabstände und Entnahmemengen beziehen sich auf die Bewirtschaftungsrichtlinien für Fichten im bayerischen Staatswald (Bayerische Staatsforsten 2009). Demnach beginnt die Ernte in der Jungdurchforstung etwa ab Alter 25 bei einer Bestandsoberhöhe von 12 m. Die Entnahmemengen pro Eingriff sollen 60 Erntefestmeter in der Jungdurchforstung, 70 Erntefestmeter in der Altdurchforstung und 80 Erntefestmeter in der Verjüngungsnutzung nicht überschreiten. Bestände mit niedriger Wuchsleistung werden damit in der Regel mit etwas längerer Umtriebszeit bewirtschaftet. Bezogen auf die gesamte Umtriebszeit erlaubt das Magnesiumangebot am Standort Rothenkirchen bei durchgehender Vollbaumernte nur eine Wuchsleistung unterhalb Oberhöhenbonität 24. Bei Verzicht auf Kronennutzung ist dagegen eine nährstoffnachhaltige Bewirtschaftung für Bonitäten nahe 32 möglich. Der Nährelementexport fällt bei Nutzung von Derbyholz mit Rinde gegenüber der Vollbaumnutzung auf zwei Drittel bei guter Wuchsleistung, in schlecht wüchsigen Beständen sogar auf die Hälfte. Dabei ist die Betrachtung einer ganzen Umtriebszeit unverzichtbar. Während in der Jugendpflege, also vor Beginn der Durchforstungsmaßnahmen, Nährstoffkapital am Standort angesammelt wird, nimmt der Export mit steigendem Bestandsalter überproportional zu. Höchste Nährstoffexporte fallen in der Regel in der Verjüngungsnutzung und Altdurchforstung an. Bilanzen kürzerer Zeiträume in jüngeren Beständen täuschen damit bessere Nährstoffbilanzen vor. Vergessen werden darf auch nicht, dass jedes Nährelement am Standort unterschiedlich reagieren kann und gesondert betrachtet werden muss. Steht nur ein einziger Nährstoff nicht ausreichend zur Verfügung, kann das Wachstum beeinträchtigt werden (Minimumgesetz nach Liebig). Schlechtwüchsige Standorte weisen aber häufig ein unzureichendes Angebot mehrere Nährelemente auf. In Rothenkirchen fehlen zum Beispiel neben Magnesium auch Calcium und Kalium.

Kronennutzung auf besonders anfälligen Standorten

Der Verzicht auf die Entnahme von Ästen, Zweigen und Nadeln bei der Holzernte fördert generell die Wasser- und Nährstoffversorgung im Bestand. Einige Standorte sind aber besonders anfällig gegenüber hohen Exporten von Biomasse und Nährelementen. Dabei spielt das Kronenmaterial sowohl als Humusbildner als auch als Nährstoffquelle eine Rolle. Humus ist vor allem auf Mineralböden mit geringer Mächtigkeit oder hohem Steingehalt wichtig. An solchen Standorten ist der



Abbildung 4: Flachgründige, skelettreiche Böden wie diese Rendzina auf Dolomitgrus sind gegenüber Biomasse- und Nährstoffentzug besonders anfällig.

Wurzelraum der Bäume häufig eingeschränkt, Wasser und Nährstoffe werden zu großen Teilen aus der organischen Auflage gewonnen. Humusaufbau schafft hier direkt ein Mehr an Wurzelraum. Zusätzlich wird beim Verzicht auf Kronennutzung das Nährstoffangebot erhöht, ein Aspekt, der auch für Böden von entscheidender Bedeutung ist, die zwar tiefgründig und gut durchwurzelbar sind, wo aber bereits das Ausgangsmaterial nur wenige Nährstoffe enthält. Geordnet nach ihrer Anfälligkeit gegenüber Kronennutzung (in absteigender Reihenfolge) sind folgende Standortstypen zu nennen:

- Fels-Humus-Böden, insbesondere in den Kalkalpen
- sehr skelettreiche Böden
- reine Sande
- sonstige nährstoffarme Standorte

Hinzu kommen die durch Nutzung degradierten Standorte, zum Beispiel Rekultivierungsflächen oder Flächen, auf denen in der Vergangenheit eine intensive Streunutzung stattgefunden hat. Auf Carbonat-Böden muss zusätzlich beachtet werden, dass dort das Nährelement Phosphor wegen des hohen pH-Werts im Boden nur eingeschränkt verfügbar ist. Vor allem in den Kalkalpen, wo flachgründige, humusreiche Böden direkt auf Kalk und Dolomit aufliegen, sollten deshalb möglichst hohe Mengen an Ernterückständen auf den Flächen verbleiben.

Sensible Standorte können, wenn es sich um Fels-Humus-Böden, flachgründige, skelettreiche oder rein-sandige Flächen handelt, mittels Bodenansprache leicht identifiziert werden. Schwieriger wird es bei der Einschätzung anderer nährstoffarmer Standorte. Einen guten Hinweis auf eingeschränkte Nährstoffverfügbarkeit liefert der Bestand selbst. Können Klima und Wasserversorgung als limitierende Standortfaktoren ausgeschlossen werden, weist die geringe Produktivität auf Nährstoffmängel hin. Ist die Ernährung deutlich eingeschränkt, können Verfärbungen an den Nadeln und Blättern der Bäume beobachtet werden. Ty-

pisch sind zum Beispiel Nadelvergilbungen bei Fichte auf Magnesium armen Standorten. Häufig sind solche Erscheinungen aber nur vorübergehend, da der Bestand durch Wachstumsreduktion den Bedarf an Nährstoffen einschränken kann und so eine ausreichende Versorgung vor allem der zur Fotosynthese unersetzbaren Blätter und Nadeln sicherstellt. In Bayern können Standorte mit geringer Basenausstattung (Calcium, Magnesium, Kalium) über das Standortinformationssystem der Bayerischen Forstverwaltung (BaSIS) identifiziert werden. Kritisch sind hier Basensättigungstypen der Stufe 4 und 5. Auch die Bayerischen Staatsforsten verwendet Kronennutzungskarten zur Nutzungsanpassung an das standörtliche Nährstoffangebot. Für Standorte mit geringem Phosphorangebot und Flächen, die wegen hoher Schwefel- («Saurer Regen») und Stickstoffeinträge der letzten Jahrzehnte hohe Sickerwasserausträge von Calcium, Magnesium und Kalium kompensieren müssen, ist die Nährstoffausstattung allerdings noch unzureichend abgebildet. Aktuell wird deshalb an verbesserten Hilfsmitteln zur standortangepassten Kronennutzung gearbeitet.

Literatur

Bayerische Staatsforsten (2009): Waldbauhandbuch Bayerische Staatsforsten: Bewirtschaftung von Fichten- und Fichtenmischbeständen, 83 S.

Bayerische Staatsforsten (2012): <http://www.baysf.de/de/wald-bewirtschaften/holzverkauf/waldhackschnitzel.html>

Gaggermeier, A.; Friedrich, S.; Hiendlmeier, S.; Zettinig, C. (2014): Energieholzmarkt Bayern 2012. Untersuchung des Energieholzmarktes in Bayern hinsichtlich Aufkommen und Verbrauch. LWF, Freising und C.A.R.M.E.N. e.V. Straubing

Mergler, F.; Schulmeyer, F.; Zormaier, F.; Hüttl, K. (2012): Bereitstellung von Waldhackschnitzeln. Merkblatt 10 der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft.

Kuptz, D.; Schulmeyer, F.; Hüttl, K.; Dietz, E.; Turowski, P.; Zormaier, F.; Borchert, H.; Hartmann, H. (2015): Optimale Bereitstellungsverfahren für Holzhackschnitzel. Berichte aus dem Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe 40, Straubing und Freising-Weihenstephan, 324 S.

Sterba, H. (2003): Growth after biomass removal during precommercial thinning. In: Limbeck-Lilineau, B., Steinmüller, Th., Stampfer, K.: Austro2003: High Tech Forest Operations for Mountainous Terrain, 5.-9.10.2003, Schlägl, Austria; CD-Rom Proceedings, 9

Thiffault, E.; Hannam, K. D.; Paré, D.; Titus, B. D.; Hazlett, P. W.; Maynard, D. G.; Brais, S. (2011): Effects of forest biomass harvesting on soil productivity in boreal and temperate forests – A review. *Environmental Reviews* 19, S. 278–309

Weis, W.; Blumenthal, B.; Göttlein A. (2014): Wälder der nördlichen Kalkalpen: Ernährung, Wasser- und Stoffhaushalt. LWF aktuell 99, S. 38–41

Dr. Wendelin Weis und Thomas Schäff sind Mitarbeiter der Abteilung »Boden und Klima« der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Dr. Christian Kölling vom Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Roth leitete bis 30. November 2015 die Abteilung »Boden und Klima«.

Korrespondierender Autor: Dr. Wendelin Weis, Wendelin.Weis@lwf.bayern.de