

Nr. 40 - 2016

137039578 M



# BFW. Praxisinformation



## Wasser.Wald

<http://bfw.ac.at>

**Bundesforschungszentrum für Wald**

Seckendorff-Gudent-Weg 8, 1131 Wien, Österreich



Dieses Papier stammt aus nachhaltig bewirtschafteten Wäldern und kontrollierten Quellen.  
www.pefc.at

## Inhalt

MICHAEL ENGLISCH Wald und Wasser – ein (fast) ideales Paar .....	3
BERTHOLD HEINZE Wasser.Wald: Auwaldbewirtschaftung zwischen Holzproduktion, neuen Schädlingen und Krankheiten sowie Naturschutz .....	6
GERNOT HOCH, THOMAS L. CECH, BERNHARD PERNY Die Profiteure vom Wald ohne Wasser: Warum Trockenheit Borkenkäfer, Triebsterbenspilze und andere Schadorganismen begünstigt .....	9
MICHAEL ENGLISCH, ERNST LEITGEB, KARL GARTNER, ROLAND KÖCK, EDUARD HOCHBICHLER Potenzial und Sicherung der Trinkwasserspeicherung in Österreichs Wäldern .....	12
GERHARD MARKART, BERNHARD KOHL, BERNADETTE SOTIER Bergwälder als Abflussregulatoren .....	16
VERONIKA LECHNER, MARC ADAMS Drohngestützte Erhebungen von Bergwäldern und des Feststofftransportes .....	20

## Impressum

ISSN 1815-3895

© April 2016

Nachdruck nur nach vorheriger schriftlicher Zustimmung seitens des Herausgebers gestattet.

Presserechtlich für den Inhalt verantwortlich:

Peter Mayer

Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW)

Seckendorff-Gudent-Weg 8,

1131 Wien, Österreich

Tel.: +43 1 87838 0

Fax: +43 1 87838 1250

http://bfw.ac.at

Redaktion: Christian Lackner, Ernst Leitgeb, Michael Englisch, Gerhard Markart

Layout und Umschlag: Johanna Kohl

Titelbild: BFW - Florian Winter

Bezugsquelle: BFW-Bibliothek

Tel.: +43 1 87838 1216

E-Mail: bibliothek@bfw.gv.at



### Wald und Wasser – zwei kongeniale Partner

Wald und Wasser sind zwei so miteinander verwachsene Bereiche, dass wir am BFW beschlossen haben, sie in den Mittelpunkt unseres BFW-Praxistages zu rücken. Die Bereitstellung von Trinkwasser wird gesellschaftspolitisch national und global an Bedeutung gewinnen.

Laut Weltwasserbericht 2015 der UNESCO haben weltweit rund 750 Millionen Menschen keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser. In Österreich verbraucht eine Person durchschnittlich 135 Liter Wasser täglich, wobei nur drei Liter getrunken werden. Die anderen 132 Liter fallen für Dusche, WC, Abwasch und dergleichen an. Nicht berücksichtigt ist dabei der globale „Wasserfußabdruck“, den wir durch unseren Lebensstil weltweit hinterlassen.

**Wasser hat aber eine bedrohliche Komponente** – als Naturgefahr. Es wird geschätzt, dass 90 Prozent aller Naturgefahren mit Wasser in Verbindung stehen – mit einer stark steigenden Anzahl von Menschen, die von diesen Gefahren bedroht sind. Wenn man bedenkt, dass 1700 Gemeinden in Österreich als Wildbach-, Lawinen- oder Erosionsgebiete gelten, dann bekommt man eine Vorstellung, wie wichtig das richtige Verhältnis von Wald und Wasser ist. Wären keine schützenden Wälder vorhanden, müsste man nach Schätzungen von Experten (BMLFUW) mit 350 Millionen Ausgaben rechnen, um ihre Wirkung zu ersetzen – um ein Vielfaches mehr als jene durchschnittlichen Ausgaben, die für Wälder und Infrastruktur gegen Naturgefahren ausgegeben wurden.

**Die Wasserleistungen des Waldes** sind dementsprechend von großer Bedeutung: Stimmt die Überschirmung im Wald, kann Niederschlag zu einem hohen Prozentsatz verdunsten, ein Teil gelangt gar nicht erst in den Boden, wo er bei verdichteten Verhältnissen enormen Schaden anrichten kann. Ein stabiler Wald mit der geeigneten Baumartenwahl gewährleistet Trinkwasserqualität und einen gesunden Waldboden, der Wasser aufgrund seines Speichervermögens verzögert abfließen lassen kann. Die Mitwirkung an der Verringerung des Abflusses ist also ein aktiver Beitrag zum Hochwasserschutz. Ein gesunder Wald bedeutet kontinuierliche Trinkwasserversorgung und langfristige Sicherheit vor Naturgefahren für uns und unsere Infrastruktur.

Das und noch viel mehr erwartet sie in dieser BFW-Praxisinformation. Wir wünschen eine interessante Lektüre.

Dr. Peter Mayer

Leiter des BFW

Dr. Michael Englisch

Institut für Waldökologie und Boden des BFW

## Wald und Wasser – ein (fast) ideales Paar

**Wald ist hinsichtlich der Bereitstellung von qualitativ hochwertigem Trinkwasser, aber auch der Dämpfung und Verzögerung von Hochwasserspitzen von eminenter Bedeutung.**

Der Wald unterscheidet sich vom Acker oder Grünland deutlich in der Wasserbilanz: Insbesondere ist die Menge jenes Niederschlagswassers, das auf Blätter und Nadeln auftrifft und direkt verdunstet, ohne den Boden zu erreichen (Interzeption), im Wald deutlich höher als etwa auf Gras- oder Ackerland. Die Tiefensickerung ist allerdings im Wald geringer als bei Grasland. Die Interzeption von Nadelbäumen liegt deutlich höher als bei Laubbäumen, während die Tiefensickerung unter Nadelbäumen geringer ist als unter Laubbäumen.

Der Wasserverbrauch (Verdunstung oder Transpiration) von Wäldern ist trotz ihrer höheren Blatt- und Nadelmasse nur geringfügig höher als jener von Acker oder Grünland.

### Die Wasserpumpe Waldbestand

Welche Baumart pumpt am meisten Wasser aus dem Boden? Die Birke, die oft als „Wasserprasser“ bezeichnet wird,

verbraucht pro Gramm Blattmasse mehr als das Siebenfache an Wasser als die Douglasie. Rechnet man dies jedoch auf den Bestand hoch, so verbraucht die Douglasie aufgrund ihrer wesentlich höheren Nadelmasse pro Jahr tendenziell mehr Wasser (Tabelle 1). Die Unterschiede im Wasserverbrauch werden also für die verschiedenen Baumarten auf Bestandesebene oft überschätzt.

### Reinigende Wirkung des Waldes beeinflusst Wasserqualität

Inwieweit haben nun der Wald, die Baumartenzusammensetzung und die Waldbewirtschaftung Einfluss auf die Wasserqualität? Schon alleine durch das Vorhandensein von Wald fehlen waldfremde Nutzungen (etwa durch Industrie, Gewerbe und Haushalt). Es wird damit auch kein oder wenig Düngermittel eingesetzt und eingeschränkt Pflanzenschutzmittel verwendet. Ebenso werden Abfallstoffe (Klärschlämme und ähnliches) im Wald nicht eingebracht.

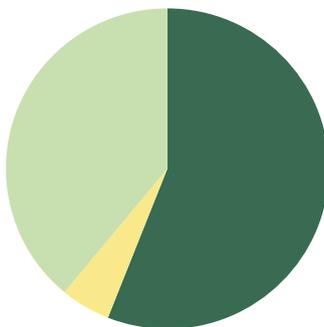
Sehr deutlich zeigt sich das an der im Wald deutlich geringeren Nitratbelastung des Grundwassers in Einzugsgebieten der Schweiz: Werte über 26 mg

Auf Bestandesebene liegt der Wasserverbrauch der Baumarten maximal um etwa den Faktor 2,5 auseinander, wobei Douglasie und Lärche den höchsten Wasserverbrauch haben, die Kiefer den geringsten.

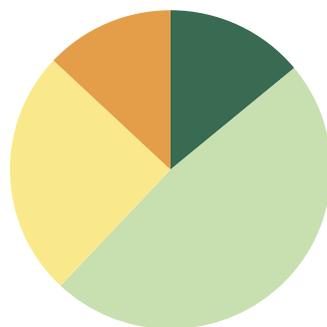
Baumart	Mittlere Transpiration (Blätter)	Laubmasse	Bestandes- transpiration
	[gH <sub>2</sub> O.g <sup>-1</sup> FG.d <sup>-1</sup> ]		
Birke	9,5	4940	430-480
Buche	4,8	7900	320-370
Lärche	3,2	13950	460-580
Kiefer	1,9	12550	240-300
Fichte	1,4	31000	390-450
Douglasie	1,3	40000	480-580

◀  
Tabelle 1:  
Mittlere Transpiration,  
Laubmasse und  
Bestandestranspiration  
unterschiedlicher  
Baumarten  
(Lyr et al. [eds.] 1992)

### forstwirtschaftlich genutzte Einzugsgebiete



### landwirtschaftlich genutzte Einzugsgebiete



mg Nitrat/Liter  
■ <10    ■ 10 bis 25    ■ 26 bis 40    ■ >40

▲ **Abbildung 1:** Nitratgehalte im Grundwasser in Abhängigkeit von der Bodennutzung in schweizerischen Einzugsgebieten (BUWAL/WSL 2005). Die Flächen entsprechen dem Anteil der Grundwasserfassungen mit dem jeweiligen Nitratgehalt [mg Nitrat.l<sup>-1</sup>]

Informationen zur Grünen Lunge Österreichs: [www.waldzahlen.at](http://www.waldzahlen.at)

Nitrat pro Liter Wasser werden im Wald im Gegensatz zu landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebieten selten gemessen, Werte über 40 gar nicht erreicht.

Im naturnahen Wald sind die Stoffkreisläufe weitgehend geschlossen; der Waldboden verfügt über eine höhere Reinigungswirkung, da die Bodenbearbeitung fehlt und der Humusgehalt höher ist. Dies alles plus die höhere biologische Aktivität und die bessere Durchwurzelung bewirken einen höheren Stoffentzug und geringere Stofffrachten im Wasser als in landwirtschaftlich genutzten Böden.

Allerdings bedeutet die größere Oberfläche von Beständen auch eine höhere Auskämmung von (Schad)stoffen wie Stickstoff und Schwermetallen aus der Luft. So haben beispielsweise Untersuchungen von v. Wilpert et al. (2001) gezeigt, dass der Eintrag von H<sup>+</sup>-Ionen und Ammonium-Stickstoff in Fichten-Althölzern um 130 %, in Buchen-Stangenhölzern um 30 % gegenüber dem Freiland erhöht ist.

### Laubbäume produzieren besseres Trinkwasser

Auch die Baumartenzusammensetzung hat einen nicht zu unterschätzenden Einfluss auf die Wasserqualität: Generell wird unter Laubbäumen hochwertigeres Trinkwasser produziert als unter Nadelbäumen. So werden im Sickerwasser

unter Laubbäumen geringere Nitratkonzentrationen gemessen, da die Auskämmung von Stickstoff geringer ist, die Durchwurzelungstiefe im Allgemeinen größer ist und die geringere Interzeption ein Mehr an Sickerwasser (Verdünnungseffekt) bedeutet.

Unter Laubbäumen wird im Allgemeinen mehr Mineralbodenhumus als unter Nadelbäumen gebildet, dies bedeutet mehr Adsorption und damit geringere Stofffrachten im Sickerwasser. Eine Ausnahme sind stickstoffproduzierende Baumarten wie die Erle: So wurden unter Beständen von Amerikanischer Roterle bei vergleichbarer Stickstoff-Ionenkonzentration im Eintrag und geringerem Bestandesniederschlag weit aus höhere Stickstoffkonzentrationen im Bodenwasser gemessen als unter Douglasienbeständen (van Miegroet et al. 1992).

Baumartenzusammensetzung und Waldbewirtschaftung zusammen zeigen nach Untersuchungen von v. Wilpert et al. (2001) erheblichen Einfluss auf die Wasserqualität: So sind die Austräge von Nitrat, Sulfat, Chlor, Magnesium und Kalzium unter Kleinkahlschlag wesentlich höher als unter Buchenverjüngung. Wais et al. (2008) stellten fest, dass – allerdings stark standortsabhängig – die Sickerwasserfrachten umso geringer sind, je kleinflächiger die Bewirtschaftungsform ist. Ebenso stellten diese Autoren fest, dass Nitratspitzen im Sickerwasser durch Vorverjüngung und Bodenvegetation abgepuffert werden können.

Auch Durchforstungseingriffe beeinflussen die Nitratgehalte des Sickerwassers: Gartner (unveröff.) stellte nach einer Durchforstungsmaßnahme in einem 60-jährigen Buchenbestand in 60 cm Bodentiefe unter Buche nahe Klausen-Leopoldsdorf eine Verdoppelung der allerdings sehr geringen Nitrat-Ausgangskonzentrationen von 6 mg/Liter über einen Zeitraum von zwei Jahren fest.

### Literatur

Kann beim Autor angefordert werden.

Durch Sturmschäden und Borkenkäferkalamitäten kann sowohl die Trinkwasserqualität als auch die Wasserspende verändert werden: Ab einem Anteil von etwa 25-30 % abgestorbener Bäume nahmen in den untersuchten Einzugsgebieten sowohl der Oberflächenabfluss als auch die Nitratkonzentration im Quell- als auch im Bachwasser stark zu (Zimmermann et al. 2000), während die Nitratwerte im Grundwasser mehr oder weniger unverändert blieben.

### Empfehlungen für Quellschutzgebiete der Stadt Wien

Mehrere Autoren haben sich damit beschäftigt, welche Art der Waldbewirtschaftung die Trinkwasserqualität am besten fördert: So empfiehlt Köck (2009) etwa für das Wiener Quellenschongebiet Maßnahmen wie ein Kahlschlagverbot und rät zu

- einem Dauerwaldkonzept (Stabilität),
- Eingriffsstärkenbegrenzung (15 - 25 % der Bestandesgrundfläche),
- höhenstufenabhängigen Mindestüberschirmungsgrad [70 -90 % (montan) und 60 - 80 % (subalpin)] und
- die Forcierung der Naturverjüngung.

Weiters spricht sich Köck dafür aus, die Baumartenvielfalt gemäß Potenzieller Natürlicher Waldgesellschaft (Stabilität der Waldbestände) zu fördern und Hydrotone mit angepasster Bewirtschaftung auf der Basis von PNWG und Bodentyp abzugrenzen. Auch Waldzertifizierungssysteme wie PEFC geben Empfehlungen hinsichtlich der Bewirtschaftung von Wäldern mit Wohlfahrtsfunktion und des Wasserschutzes.

### Was kostet Grundwasserschutz?

In der Schweiz wurden an Hand von Fallbeispielen die zusätzlichen Kosten für die Einhaltung der gesetzlichen Vorschriften in Grundwasserschutzzonen (S2, S3) mit 35 und 166 Schweizer Franken pro Jahr und Hektar, für darüber hinausgehende Empfehlungen mit 134



Foto: BirgitH/pixelio.de

und 187 Schweizer Franken pro Jahr und Hektar errechnet und Abgeltungsmodelle entwickelt (Bürgi & Spjevak 2008).

Kann der Wald Hochwasserspitzen abschwächen? Über das Ausmaß der Waldwirkung darauf gibt es sehr divergierende Angaben, da direkte Vergleiche aufgrund der Vielzahl an Einflussfaktoren (Geologie, Bodengründigkeit, Neigung, Bewaldungsprozent) nur selten möglich sind. Die meisten Autoren gehen von Werten zwischen 5 und 30 % aus. Als Beispiel sei eine Arbeit von Rieger (2012) für das Einzugsgebiet der Windach in Bayern angeführt. Hier wurden abhängig vom Bewaldungsprozent und der Stärke des Hochwassers Werte bis zu 35 % Abflussdämpfung erreicht.

Sowohl in Hinblick auf die Wasserqualität als auch auf die Wasserspende besitzt der Wald ein starkes Regulierungspotenzial, das durch angepasste Bewirtschaftungsmethoden erheblich beeinflusst werden kann. Dieses Potenzial wird von den Standortseigenschaften und Einflüssen von außen (z.B. Stoffeinträge, Klimawandel etc.) begrenzt.



▲ Durch eine angepasste Waldbewirtschaftung kann die Wasserqualität und auch die Wasserspende entscheidend beeinflusst werden

Grundwasserschutz kostet im Allgemeinen über 100 Schweizer Franken pro Jahr und Hektar

Dr. Michael Englisch,  
Bundesforschungsanstalt für Wald,  
Institut für Waldökologie und Boden,  
Seckendorff-Gudent-Weg 8,  
1131 Wien,  
michael.englisch@bfw.gv.at

BERTHOLD HEINZE

## Wasser.Wald: Auwaldbewirtschaftung zwischen Holzproduktion, neuen Schädlingen und Krankheiten sowie Naturschutz

**Auwälder stellen ein eigenständiges, faszinierendes Landschaftselement dar. Es haftet ihnen ein Flair von Wildheit oder Urtümlichkeit an; Forstleute schätzen die kurzen Produktionszeiten und gänzlich anderen Produktionsbedingungen.**

Diese „Eigenständigkeit“ der Auwälder lässt sich auch sprachgeschichtlich verfolgen; der Wortstamm ist in vielen Fluss- und Ortsnamen erhalten. Als Holzlieferant, Weide- oder Jagdgebiet, für die Fischerei und andere Nutzungen waren sie von alters her bedeutend. Der Gegensatz zwischen der dichterischen „lieblichen Aue“ und katastrophalen Überschwemmungen ist tief im Bewusstsein verwurzelt.

### Vielfältige Aulandschaften in Österreich

Größere Aulandschaften existieren in Österreich entlang einiger Flüsse im Osten und Süden; als „offene Auen“

gelten Abschnitte der Donau bei Klosterneuburg und im Nationalpark Donauauen unterhalb von Wien sowie das Machland. Abgedämmte Auen mit stark verändertem Wasserhaushalt finden sich im Tullner Feld oder im Eferdinger Becken. An den Nebenflüssen March, Leitha und Traun sind noch größere Fragmente vorhanden. Am Unterlauf der Mur gibt es entlang der slowenischen Grenze noch Auwald. Aber auch z.B. an Traisen, Ybbs, Salzach, Inn, Drau, Lech und Rhein finden sich Reste von 100 ha oder mehr. Die Lage naturschutzrelevanter Aulandschaften wurde von Lazowski (1997) erhoben.

Aus der Sicht der österreichischen Waldinventur sind ca. 1,3 % des Waldes als Auwald eingestuft, das sind etwa 50.000 ha. Ebensoviele an Fläche nehmen Bachauen ein; dazu kommen noch ca. 30.000 ha Grauerlenbestände an Gebirgsflüssen. Lokal ist Auwald in Niederösterreich und Wien sehr bedeutend (33 % der Wälder auf Wiener Stadtgebiet sind Auwälder). Viele Auwaldreste sind als Standorte von seltenen Pflanzen- und Tierarten speziell geschützt, wie etwa am Tiroler Inn oder am Lech und in Osttirol, wo beispielsweise die Deutsche Tamariske noch zu finden ist.

### Viele Ansprüche an den Auwald

Doch nicht nur der Naturschutz stellt Ansprüche an den Auwald – Eigentümer sehen sich auch mit Erholungssuchenden, mit Trinkwassergewinnung, Hochwasser-Rücksichten (Retentionsräume) sowie mit der Landwirtschaft, Verkehrswegen (Brücken) und teilweise sogar der

Hintergrundinformation zu Auen auf waldwissen: [www.waldwissen.net/dossiers/wsl\\_dossier\\_auen/index\\_DE](http://www.waldwissen.net/dossiers/wsl_dossier_auen/index_DE)

▼  
Eigentümer von Auwäldern sind mit zahlreichen Ansprüchen konfrontiert, wie z. B. Erholungssuchende, Naturschützer und Infrastrukturerhalter



Schifffahrt konfrontiert (Buchhäusl 2015). Alle diese Ansprüche stellen für die Bewirtschaftung eine zunehmend komplexe Aufgabe dar. Dabei sollte die Produktionskapazität dieser nährstoffreichen und gut wasserversorgten Standorte vom volkswirtschaftlichen Standpunkt aus auch genutzt werden.

### Weich oder hart

Im Detail hängen die Standorte im Auwald stark vom Substrat, das die Flüsse angeschwemmt haben, ab. Die Höhe der Aufschüttung oder Anlandung bestimmt die Entfernung zum Grundwasser, und die Körnigkeit des Bodens seine Durchlässigkeit. Deshalb sind natürliche Auwälder Mosaik von Kleinstandorten, und die hohe Dynamik und rasche Sukzession sorgen für ständig wechselnde Waldbilder. „Weiche Auen“ werden häufig überschwemmt, und durch die teilweise noch – oder wieder – auftretende Verlagerung des Flussbettes entstehen auf Rohboden Weiden- und Pappelbestände. Mit zunehmender Reifung der Standorte spricht man von der „harten Au“, in der Hartlaubhölzer dominieren. Leider ist vom ursprünglichen Baumarten-Trio der harten Au – Eiche, Ulme, Esche – derzeit nur mehr die Eiche als forstliche Option übrig, da Krankheiten den anderen beiden zusetzen.

### Sortenzüchtung

Das große Potenzial zur Holzproduktion wurde nach dem 2. Weltkrieg erkannt, als die „Holznot“ mithilfe raschwüchsiger Baumarten beseitigt werden sollte (und teilweise wurde). Das wurde durch Züchtung raschwüchsiger Pappeln und durch die Umwandlung unproduktiver Niederwälder erreicht. Flussregulierungen, Kraftwerksbau und Hochwasserschutz griffen zu dieser Zeit ebenfalls in die Auwälder ein. Bei den Hybridpappeln stand die Sortenzüchtung im Mittelpunkt, da Krankheiten ein Problem darstellen. Nur durch ständig neue Sorten können diese im Zaum gehalten werden.



Zur Zeit ist die Vielfalt der Sorten in Österreich nicht sehr groß; im Hinblick auf den Erhalt der Produktivität sollten neue getestet werden. Dies ist wichtig, da die Esche auf Grund des Eschentriebsterbens kaum mehr gepflanzt wird.

Hybridpappel-Sorten können „mit den Füßen im Wasser“ auch heiße, trockene Sommer überstehen, was im Hinblick auf den Klimawandel interessant ist. Das BFW führt die „Nationale Liste“ der Pappelsorten, die für forstliche Zwecke eingesetzt werden können (Tabelle), und hilft bei der Auswahl. Eine

Symptome des Eschentriebsterbens:  
Merkblatt unter  
<http://bfw.ac.at/rz/bfw-cms.web?dok=4467>

#### Nationale Liste zugelassener Pappelsorten in Österreich und weiteres Pappel-Vermehrungsgut

typische „Hybridpappeln“ ( <i>P. x canadensis</i> )	,Pannonia', ,Kopecky', ; Koltay' (HU) ,Jacometti 75A', ,I-45/51', ,Florence Biondi', ,I-214' (IT) ,Donk' (NL)
„Balsam“-Pappeln, für kühlere Klimate und kalkfreie Böden	,Muhle Larsen', ,Rochester', ,Oxford', ,Androscoggin', ,Kamabuchi-1'
weitere:	
einheimische Schwarzpappeln für Naturschutz-Zwecke	9 reine <i>Populus nigra</i> (BFW-Versuchsgarten Tulln)
zu testende Neuzüchtungen sind vorhanden in:	Ungarn, Kroatien, Republik Serbien; Italien, Frankreich; Belgien

Biber - Landschaftsgestalter mit Konfliktpotenzial:  
[www.waldwissen.net/wald/wild/management/wsl\\_biber\\_landschaftsgestalter/index\\_DE](http://www.waldwissen.net/wald/wild/management/wsl_biber_landschaftsgestalter/index_DE)

BFW-Projekt „Esche in Not“: Das Aussterben der Baumart Esche soll verhindert werden - Start einer großen Erhaltungsinitiative:  
[www.esche-in-not.at](http://www.esche-in-not.at)

#### Literatur

Lazowski, W. (1997): Auen in Österreich - Vegetation, Landschaft und Naturschutz. Wien, Umweltbundesamt: Monographien Band 81.

Buchhäusel, T. (2015): Alles unter einem Hut – Multifunktionalität im Auwald. Forstzeitung (Wien) 08-2015, 22-23.

Dr. Berthold Heinze,  
Bundesforschungszentrum für Wald,  
Institut für Waldgenetik,  
Seckendorff-Gudent-Weg 8,  
1131 Wien,  
[berthold.heinze@bfw.gv.at](mailto:berthold.heinze@bfw.gv.at)



Foto: M. Großmann/pixelio.de

Sammlung von reinen, einheimischen Schwarzpappel-Klonen für Naturschutzzwecke ist am BFW verfügbar.

Auch die Ulmenarten sind derzeit als „verloren“ zu betrachten. Es gibt jedoch in letzter Zeit neue Klone in Südeuropa, die eine dauerhafte Krankheitsresistenz versprechen. Die Eiche – in der Au meist die Stieleiche – gilt als nicht so attraktive Baumart, da vor allem die Anlage und Pflege von Beständen viel Zeit und Erfahrung erfordern. Deshalb sind gebietsfremde Baumarten in der Au ein ständiges Thema. Neben den Hybridpappeln sind es die Schwarz- oder die Hybridnuss oder Götterbaum und Robinie. Die beiden letzteren, obwohl teilweise gute Holz-Qualitäten liefernd, werden aber zunehmend als „florenerfälschend“ gesehen, mit großem Einfluss auf die Ökosysteme.

#### Erle und Esche drohen auszufallen

Auch entlang der Bachauen treten Krankheitsprobleme auf. Die *Phytophthora*-Erlenkrankheit ist noch nicht vorbei. Die Eschen sind stark vom Eschentriebsterben betroffen (Schadpilz: *Hymenoscyphus fraxineus*). Forschungen zur Ökosystem-Sanierung sind deshalb ein Gebot der Stunde, für Esche, Ulme und Erle.

Die Auswirkungen gebietsfremder Baumarten sind noch in manchen Details zu untersuchen, z.B. inwiefern einheimische Arten wirklich verdrängt oder durch Einkreuzung „fremder Gene“ beeinflusst werden. Waldbaukonzepte für z.B. Natura 2000-Gebiete müssen auch ständig adaptiert werden. Die Suche nach resistenten oder toleranten Genotypen wird derzeit für die Esche intensiv betrieben.

#### Managementkonzepte für Biber

Vierert erobert sich der Biber entlang der Flüsse sein Territorium zurück. Damit einher gehen Probleme bei der Wegesicherung, bei Aufforstungen und beim Freihalten von Gräben und Wasserläufen. Obwohl der Großteil der Tiere in Niederösterreich lebt, ist kein Bundesland „verschont“. Durch „Biberbeauftragte“ und Management-Konzepte wird versucht, dieser Situation gerecht zu werden.

Der Schutz der Biodiversität ist vielen Österreicherinnen und Österreichern ein Anliegen; viele Auen sind eindrucksvoll und sollten in vernünftigem Maß erhalten werden. Einen Ausgleich zwischen den vielfältigen Interessen im Auwald zu schaffen, fällt nicht leicht. Auf der Grundlage objektiv erhobener Daten, wie sie das BFW in vielfältiger Weise liefern kann, lassen sich leichter faktenorientierte Lösungen finden.



## Die Profiteure vom Wald ohne Wasser: Warum Trockenheit Borkenkäfer, Triebsterbenspilze und andere Schadorganismen begünstigt

**Das Jahr 2015 zeigte deutlich auf, wie sehr Waldbäume bei Wassermangel in Bedrängnis kommen. Vorzeitiger Laubfall, Blattdürre, Schütten von Nadeln waren als Reaktion der Bäume zu beobachten. Buchdrucker und Kupferstecher verursachten beachtlichen Schadholzanfall im Norden und Osten Österreichs – nicht zuletzt durch den Trockenstress der Fichten begünstigt. Dieser Beitrag will der häufig förderlichen Wirkung des Wassermangels auf bestimmte Schadinsekten und Pathogene näher auf den Grund gehen.**

Wie wirkt Trockenheit auf den Baum? Ist die Wassernachfuhr ungenügend, schließt der Baum die Spaltöffnungen. In der Folge ist die Assimilation eingeschränkt, der Baum produziert weniger Kohlenhydrate. Und auch deren Verteilung auf die Organe und das Gewebe kann sich ändern, was sich etwa in deutlich verringertem Zuwachs in Trockenjahren äußert. Übersteigt die Trockenheit ein bestimmtes Ausmaß, können die Folgen für den Baum tödlich sein.

### Drei Ursachen für das Absterben des Baumes

Drei Möglichkeiten werden diskutiert, wie es letztlich zum Tod des Baumes kommen kann (vgl. Klein 2015):

1. Hydraulisches Versagen (irreversible Embolien),
2. Verhungern durch Aussetzen photosynthetischer Aktivität wegen Schluss der Spaltöffnungen oder
3. Attacke durch Schadorganismen.

Es scheint also auf der Hand zu liegen, dass Schadorganismen vom Trockenstress bei ihren Wirtsbäumen profitieren. Und tatsächlich zeigen Untersuchungen, dass trockengestresste Pflanzen bessere Nahrungsqualität aufweisen können, wenn Nährstoffe konzentrierter oder besser ausgewogen vorliegen. Es können allerdings auch die Gehalte an sekundären Metaboliten (z.B. Tannine) erhöht sein. Die Abwehrfähigkeit durch Harzdruck ist bei Trockenstress verringert.

Trockenheit (meist zusammen mit höherer Temperatur) bietet darüber hinaus pflanzenfressenden Insekten günstigere Entwicklungsbedingungen, was sich auch ohne Änderung der Nahrungsqualität in einer rascheren Entwicklung und einem besseren Wachstum und zu meist auch in einer geringeren Sterblichkeit durch Krankheiten und Parasiten äußert. Trockenheit und Wärme können also einerseits direkt förderlich auf das Insekt wirken, andererseits indirekt über die Verbesserung der Eignung der Wirtspflanze (Mattson & Haack 1987).

### Die Profiteure

Aber nicht alle Fraßgilden der Schadinsekten werden gleichermaßen beeinflusst: Blatt- und Nadelfresser profitieren von optimalen Temperatur- und Feuchtebedingungen sowie eventuell besserer Nahrungsqualität. Rindenbrüter sind in erster Linie durch die herabgesetzte Wirtsabwehr begünstigt.

Wie Larsson (1989) feststellt, ist es gerade diese Gruppe, die am stärksten von Trockenstress profitiert, denn vitale Bäume sind bei niedriger Käferpopulationsdichte für Borkenkäfer nicht zur Be-

Trockenheit im Wald –  
Schwerpunkt auf  
waldwissen:  
[www.waldwissen.net/  
waldwirtschaft/schaden/  
trockenheit/fva\\_trocken-  
heit\\_w2\\_1/index\\_DE](http://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/schaden/trockenheit/fva_trockenheit_w2_1/index_DE)

Neues Merkblatt zu Fichtenborkenkäfern: <http://bfw.ac.at/rz/bfw/cms.web?dok=4467>

siedelung tauglich. Eine umfangreiche Metaanalyse bestätigt dies: Schäden durch sekundäre Schadorganismen an verholzten Organen (z.B. Borkenkäfer, Triebsterbenspilze) sind signifikant stärker, wenn die Bäume unter Trockenstress leiden.

Und mit zunehmendem Stresslevel steigt das Schadensausmaß an (Jactel et al. 2012). Bei 40 % der untersuchten Insekten und pathogenen Pilze war hingegen der Schaden bei Trockenstress leicht oder sogar signifikant geringer. Eine Studie zeigt den Zusammenhang zwischen Trockenheit und Anfälligkeit für den Buchdrucker auf. Fichten wurden experimentell unter Trockenstress gesetzt. Auf die Versuchsbäume wurden Buchdrucker angesetzt, diese konnten sich aufgrund des deutlich verringerten Harzflusses nach Trockenstress im Frühjahr signifikant öfter erfolgreich in gestresste als in gesunde Bäume einbohren (Netherer et al. 2015).

zu Massenvermehrungen und den Schwarzkiefern setzte vor allem im niederösterreichischen Industrieviertel das Kiefertriebsterben zu. All dies steht in Zusammenhang mit der extremen Trockenheit im Sommer 2015.

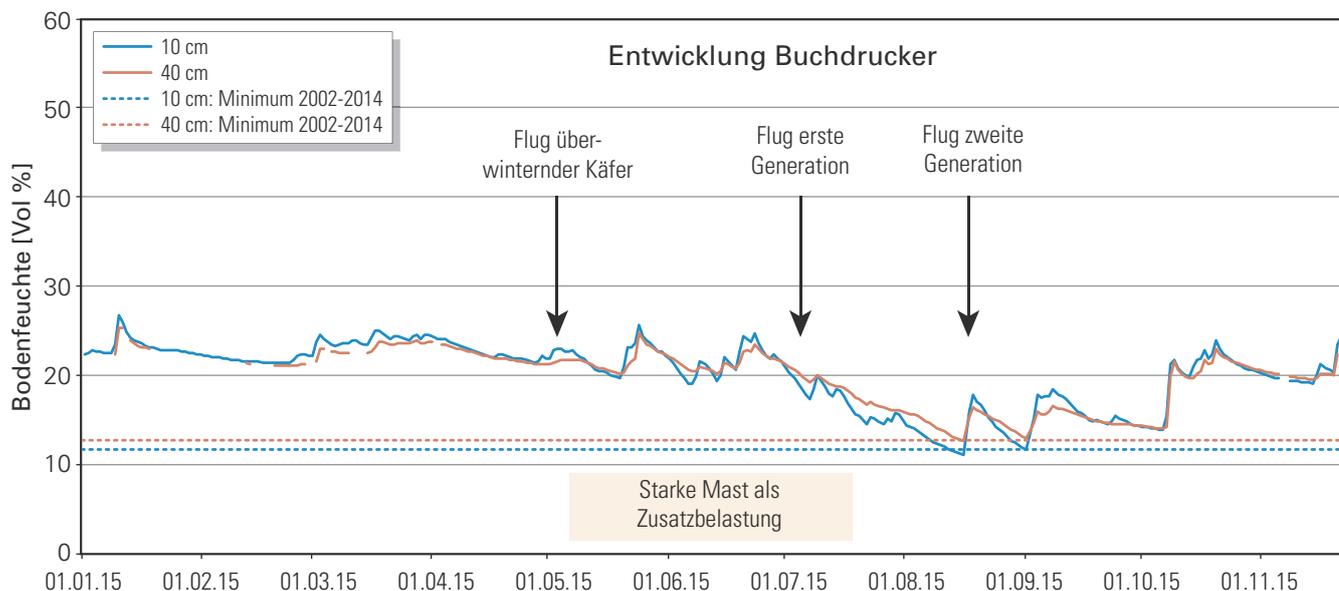
Bei den Fichtenborkenkäfern ermöglichten in manchen Gebieten winterliche Schnee- oder Eisbruchschäden der überwinterten Borkenkäfergeneration günstige Startbedingungen. Die erste Brut entwickelte sich aufgrund der normalen Frühjahrstemperaturen noch nicht auffallend schnell. Beim Ausflug fand die erste neue Generation des Buchdruckers Anfang Juli Bäume vor, die unter beginnendem Trockenstress litten, der in diesem Jahr durch die starke Mast der Fichte, die auch Nährstoffe band, weiter verstärkt wurde.

Die Entwicklung der entstehenden zweiten Käfergeneration lief aufgrund der hohen Temperaturen sehr rasch ab. Diese zweite Generation traf auf Bäume, die bereits extrem unter Trockenstress litten (Abbildung 1). Massenhaft erfolgreiche Attacken in der zweiten Augusthälfte waren die Folge. Weiterhin warme Temperaturen erlaubten in vielen Regionen eine vollständige Entwicklung einer dritten Generation, die im Frühjahr

▼  
Abbildung 1:  
Bodenfeuchte der BFW-Messstation Weitra und Entwicklung der Buchdrucker

### Borkenkäferentwicklung 2015

Unter den sekundären Schadorganismen an verholzten Organen kam es 2015 in den betroffenen Regionen Österreichs beispielsweise bei den Fichtenborkenkäfern Buchdrucker und Kupferstecher



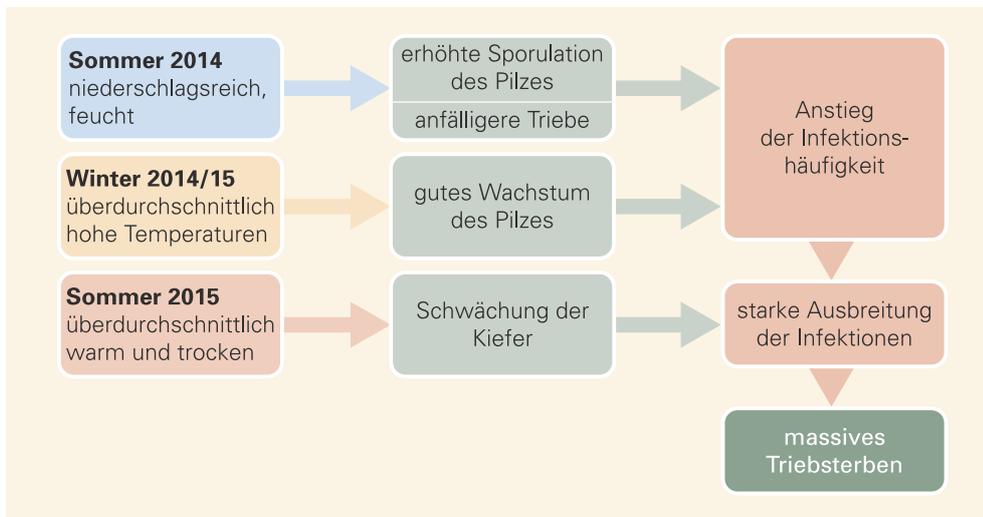


Abbildung 2:  
Zusammenhang zwischen Witterungsbedingungen, deren Wirkung auf die Schwarzkiefer sowie den Pilz *Diplodia sapinea*. Die besondere Konstellation in den Jahren 2014 und 2015 förderte die starke Ausbreitung der Krankheit und führte zum massiven Auftreten des Triebsterbens

2016 zu neuen Angriffen ausfliegen wird, wenn nicht rechtzeitig Forstschutzmaßnahmen getroffen werden. Neben dem Buchdrucker war es vor allem der Kupferstecher, der die anfälligen Fichten zu nutzen wusste.

### Massives Triebsterben an Schwarzkiefer

In den Schwarzkieferwäldern des niederösterreichischen Industrieviertels machte sich ein fortschreitendes Triebsterben massiv bemerkbar. Hauptursache dafür ist der Pilz *Diplodia sapinea*, der in vitalen Bäumen symptomlos als Endophyt vorkommt, hingegen nach Stress zunächst Triebe und Zweige, schließlich ganze Äste und Kronenpartien zum Absterben bringen kann.

Epidemien werden durch eine Kombination von klimatischen Faktoren, die die Infektion begünstigen, und klimatischen Stressfaktoren für den Baum ausgelöst. Fruchtkörper, die vor allem in Zapfenschuppen gebildet werden, stellen ein maßgebliches Infektionspotenzial dar. In niederschlagsreichen Sommern und nach milden Wintern (der Pilz wächst erst oberhalb von 8 °C) steigt die Besiedelung durch *D. sapinea* (Desprez-Loustau et al. 2007) an. Ist der Verholungsgrad der Triebe geringer, wird das Wachstum krankheitsbedingter Rindennekrosen gefördert (Wallis et al. 2011).

Niederschlagsreiche Vegetationsperioden führen zu stärkerer Belastung durch Pilzsporen und einer höheren Befallsanfälligkeit der Triebe.

Andererseits gilt Trockenstress als wichtigster Auslöser von Epidemien des Triebsterbens (Bachi und Peterson 1985, Blodgett et al. 1997). Durch den Wechsel von der latenten, endophytischen Phase zur aggressiven, krankheitsverursachenden Phase kommt es zu einer massiven Ausbreitung der Infektionen nach Trockenstress der Wirtsbäume (Stanosz et al. 2007). Und genau diese Abfolge klimatischer Bedingungen war in den betroffenen Regionen zu verzeichnen (Abbildung 2).

### Trockenheit kann Schadorganismen begünstigen

Diese Beispiele zeigen, wie bestimmte Schadorganismen von trockengestressten Wirtsbäumen profitieren können. Sie illustrieren die mannigfaltigen Wirkungen klimatischer Faktoren auf Krankheitserreger bzw. Schadinsekt und Wirtsbäum sowie die komplexen Wechselwirkungen. Trockenheit kann Schadorganismen begünstigen. Wir können dies nicht für alle Organismen annehmen, aber sekundäre Schädlinge wie Borkenkäfer oder das Kiefertriebsterben sind zumeist Profiteure vom Wald ohne Wasser.



Merkblatt Kieferschäden:  
<http://bfw.ac.at/rz/bfw-cms.web?dok=4467>

### Literatur

Kann beim Autor angefordert werden.

DI Dr. Gernot Hoch,  
Dr. Thomas L. Cech,  
DI Bernhard Perny,  
Bundesforschungszentrum für Wald,  
Institut für Waldschutz,  
Seckendorff-Gudent-Weg 8,  
1131 Wien,  
[gernot.hoch@bfw.gv.at](mailto:gernot.hoch@bfw.gv.at)

MICHAEL ENGLISCH, ERNST LEITGEB, KARL GARTNER, ROLAND KÖCK,  
EDUARD HOCHBICHLER

## Potenzial und Sicherung der Trinkwasser- speicherung in Österreichs Wäldern

**Der Wald gilt als die ideale Landnutzungsform für die Sicherung von Trinkwasser. Waldböden wirken als natürlicher Filter für Schadstoffe und sorgen so für reines Trinkwasser. Das Bundesforschungszentrum für Wald hat gemeinsam mit der Universität für Bodenkultur Österreichs Waldstandorte hinsichtlich ihres Trinkwasserpotenzials klassifiziert.**

Eine lange Liste an Fachliteratur (Rothe et al., 1998, Wenger, 2002, Weis et al., 2008, Hegg et al. 2012) sowie zahlreiche Erfahrungswerte bestätigen, dass Waldökosysteme in spezieller Art und Weise gestaltet bzw. bewirtschaftet werden müssen, damit sie die notwendigen Anforderungen für die Sicherung des Trinkwassers nachhaltig erfüllen können.

Um solche Fragen österreichweit beantworten zu können, wurden zwei Projekte im Rahmen der technischen Hilfe zur ländlichen Entwicklung 2007/2013 durchgeführt. Die zentralen Fragen, die mit diesen Projekten beantwortet werden sollten, waren:

- Wie hoch ist die Bodenwasserspeicherkapazität an den österreichischen Waldstandorten?
- Wie schaut das Trinkwasserpotenzial der wichtigsten österreichischen Waldstandorte aus?
- Wie kann durch geeigneten Waldbau das vorhandene Trinkwasserpotenzial gesichert werden?

Als Vorarbeit wurde im ersten Projekt die Wasserspeicherung im Waldboden errechnet. Diese wurde als Indikator für das Trinkwasserpotenzial angesehen.

Der Bodenwasserspeicher ist für verschiedene Bereiche des Wasserhaushalts von zentraler Bedeutung:

- Ein voller Bodenwasserspeicher kann für eine gewisse Zeit den Wasserverbrauch durch Verdunstung puffern, sodass der Bestand in dieser Zeit ohne Niederschlag auskommen kann.
- Die Trinkwasserproduktion in Quellenschutzwäldern ist unmittelbar vom Niederschlag geprägt, der Bodenwasserspeicher reguliert den Abfluss des Wassers in Quellen, Grundwasser und Flüsse.
- Durch Auffüllen des Bodenwasserspeichers können Niederschlags-spitzen abgefedert (gepuffert) und potenziell gefährliche Abflüsse verhindert werden.

### Was ist die Wasserspeicherkapazität?

Man kann sich die Wasserspeicherkapazität eines Bodens einfach so vorstellen, dass in ein definiertes Bodenvolumen so lange Wasser gegossen wird, bis das Wasser vom Boden nicht mehr gehalten



werden kann und es abfließt. Die Wassermenge, die der Boden gegen die Schwerkraft halten kann, nennt man Feldkapazität. Dieser Wert entspricht der Wasserspeicherfähigkeit des Bodens.

Dabei muss man aber berücksichtigen, dass Pflanzen nur einen Teil der Wassermenge im Boden nutzen können, da ein gewisser Prozentsatz des Wassers sehr stark an den Boden gebunden und damit für Pflanzen nicht verfügbar ist. Zieht man diesen Anteil (Totwasser) von der Feldkapazität ab, bekommt man den für Pflanzen verfügbaren Anteil des Wasserspeichers, die nutzbare Feldkapazität. Kennt man schließlich auch noch den Anteil, den die Luft im Boden bei Feldkapazität einnimmt (die sogenannte Luftkapazität), kann damit das gesamte Porenvolumen des Bodens bestimmt werden.

Mit Hilfe der am Bundesforschungszentrum für Wald (BFW) zur Verfügung stehenden Datensätze von Waldinventur, Waldbodenzustandsinventur (WBZI) und dem EU-Projekt BIOSOIL wurden die Wasserspeicherkapazitäten der Waldböden an den Waldinventurpunkten ab-

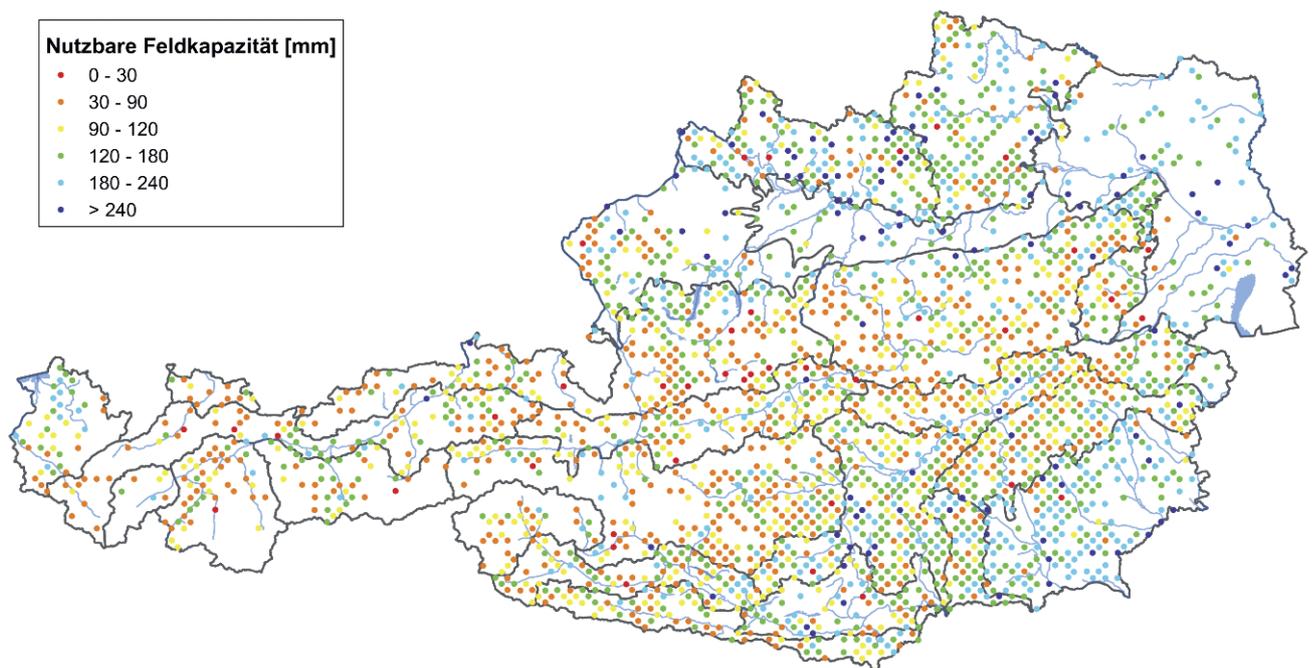
geschätzt. Zum einen wurden die in der deutschen Norm DIN 4220 angegebenen Werte für Feldkapazität, nutzbare Feldkapazität und Luftkapazität auf die in Österreich gebräuchlichen Bodenarten (ÖNORM L 1050) umgelegt. Damit konnten die von der Waldinventur ausgewiesenen Bodenarten direkt in die Berechnung einfließen.

Zum anderen konnten weitere wesentliche Parameter für die Ermittlung der Wasserspeicherkapazität, wie die Mächtigkeit der Bodenhorizonte bzw. der Auflage oder der Grobskelettanteil, ebenfalls aus dem Datensatz der Waldinventur entnommen werden. Dagegen wurden fehlende Informationen über den Humusgehalt des Mineralbodens von Daten der WBZI abgeleitet. Die Bodendichte wurde aus den Daten von BioSoil abgeschätzt.

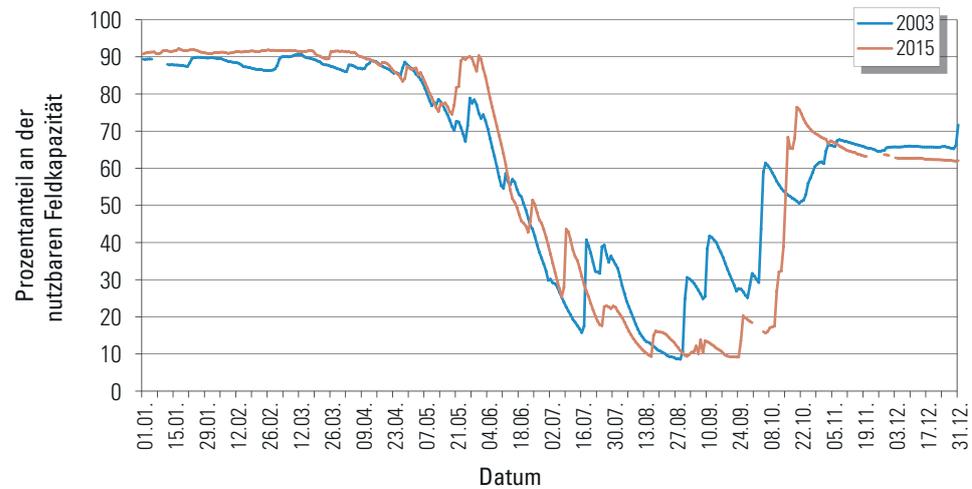
Für die Berechnung der oben angeführten Parameter wurde als Berechnungsbasis eine maximale Profiltiefe von einem Meter angenommen. Damit liegen nun erstmals österreichweite Aussagen über die Wasserspeicherfähigkeit des Waldbodens vor (Abbildung 1).

Datenband BioSoil:  
<http://bfw.ac.at/rz/bfw-cms.web?dok=9727>

▼  
**Abbildung 1:**  
 Nutzbare Feldkapazität im gesamten Bodenprofil (< 1 m) an den österreichischen Waldinventurflächen. Zusätzlich sind die Wuchsgebietsgrenzen nach Kilian et al. (1994) dargestellt



► **Abbildung 2: Nutzung des Wasserspeichers auf einem tiefgründigen Standort in zwei extremen Jahren (Commendewald bei Fürstenfeld)**



Wald-Hydrotope = Flächen, die hydrologisch relativ homogen reagieren und eine vergleichbare Trinkwasserspeicherung aufweisen, da die Bestände auf vergleichbaren Standorten stocken

### Wasservorrat im Boden wichtig

Diese Daten stellen eine wichtige Basis für waldbauliche und waldökologische Fragestellungen, auch im Zusammenhang mit dem Klimawandel, dar. Wie wichtig der Bodenwasserspeicher ist, zeigen Messungen im Commendewald bei Fürstenfeld aus den Jahren 2003 und 2015 mit extrem trockenen und heißen Sommermonaten. Glücklicherweise war an diesem Standort in beiden Jahren ausreichend Winterfeuchte vorhanden, sodass es zwei bis drei Monate gedauert hat, bis der Bodenwasservorrat praktisch aufgebraucht war (Abbildung 2). Dabei hat der Trockenstress im vergangenen Jahr noch länger andauert als im Jahr 2003.

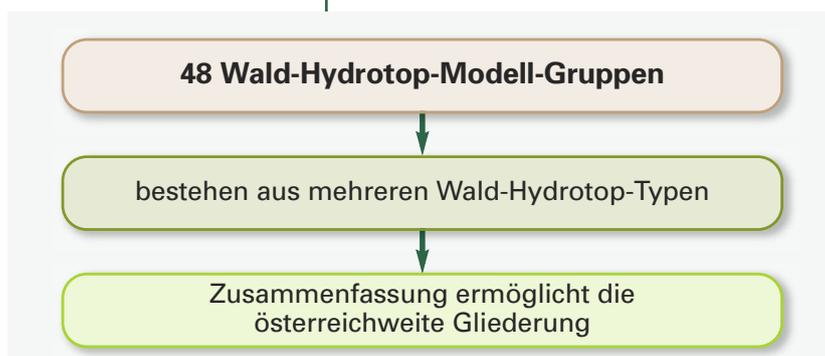
Die Daten der Wasserspeicherfähigkeit des Waldbodens wurden im Projekt zum Potenzial der Trinkwasserspeicherung und den Schutz der Trinkwasserreserven weiter verarbeitet. Hier sollte ein Instrument zur Planung und zur ziel-

orientierten Maßnahmenumsetzung entwickelt werden, mit dem die Trinkwasserqualität und -versorgung gesichert und verbessert werden kann.

In einem ersten Schritt wurden dazu Wald-Hydrotope definiert, das sind Flächen, die hydrologisch relativ homogen reagieren (Gurtz et al. 1999). Die Waldbodenzustandsinventur war die zentrale Datengrundlage, für Detailfragen wurde Fachliteratur herangezogen. Gliederungskriterien sind die klimatischen Verhältnisse, das Substrat, das Nährstoffangebot eines Standortes (Trophie) sowie ausgewählte Standorts- und Bodeneigenschaften (z.B. Relief, Skelettgehalt). Insgesamt wurden für Österreich 48 Wald-Hydrotop-Modell-Gruppen (WHM [Koeck et al. 2007]) zusammengefasst.

Für diese Wald-Hydrotop-Modell-Gruppen wurden Zielwalddefinitionen entwickelt, die standortsspezifisch beschreiben, wie die Trinkwasser-Ressourcenschutzfunktion dieser Wald-ökosysteme am besten gewährleistet werden kann. Von zentraler Bedeutung ist, dass die Waldbewirtschaftung auf die übergeordneten Ziele abgestimmt ist.

Die Zielwalddefinitionen orientieren sich an den Rahmenbedingungen der natürlichen Waldgesellschaft bzw. der potenziellen natürlichen Vegetation (PNV), da die erforderliche Stabilität



Hydrologisches Verhalten	Wald-Hydrotop-Modell-Gruppen	Anmerkung
mit hohem Trinkwasserproduktionspotenzial	Auwälder und bodenfeuchte, d.h. tiefgründige Eichen-Hainbuchenwälder mit Zuschusswasser	flächenmäßig von geringerer Bedeutung
	silikatische Fichten-Tannen-, Fichten-Tannen-Buchen- und Buchenwälder, wieder auf tiefgründigeren Standorten mit Zuschusswasser	
mit geringem Trinkwasserproduktionspotenzial	subalpine Fichten-Standorte, Karbonat-Fichten-Tannen-Buchen-Wälder, Karbonat-Buchenwälder und Schwarzkiefern-Wälder	Schwarzkiefern-Wälder sind flächenmäßig unbedeutend

und Resilienz der Waldökosysteme durch eine adäquate, mit den Standortbedingungen übereinstimmende Baumartenvielfalt und Baumartenverteilung am besten erreicht wird.

Für jede Wald-Hydrotop-Modell-Gruppe wurden Indikatoren zur Bewertung der Trinkwasser-Ressourcenschutzfunktion ausgewählt und deren mögliche Ausprägungen bewertet. Diese Indikatoren wurden unterschiedlich gewichtet (gewichtetes Scoring-Verfahren), um schließlich den Index der Trinkwasser-Ressourcenschutzfunktion (ITRS) zu berechnen. Das Berechnungsergebnis gibt an, ob ein Waldbestand bereits den Anforderungen des Trinkwasser-Ressourcenschutzes entspricht (grün), nur bedingt entspricht (gelb) oder aktuell nicht entspricht (rot).

Indikatoren für Hochwälder sind Baumartenanteile, Baumartenanzahl, Deckungsgrad der Baumschichten, Verjüngungsfläche/Jungwuchs, Baumarten-Zusammensetzung der Verjüngung, Schichtigkeit, Entwicklungsstufen/Bestand, Deckungsgrad der Bodenvegetation, Schäden und Totholzanteile. Zum Beispiel wirkt sich ein mehrschichtiger Bestand positiv auf die Trinkwasser-Ressourcenschutzfunktion aus.

Vor allem die Ziel-Baumartenanteile sind zentraler Bestandteil der Trinkwasser-Ressourcenschutzfunktion und wurden zur ITRS-Berechnung für jede Wald-Hydrotop-Modell-Gruppe taxativ beschrieben. Dabei wurden Mindest-

anteile für die dominanten und subdominanten Baumarten einer WHM-Gruppe festgelegt, und ein Pool aus Mischbaumarten beschrieben. Je mehr standortgemäße Baumarten vorhanden sind, desto besser für das Trinkwasserproduktionspotenzial.

In einem zweiten Schritt wurde das Trinkwasserproduktionspotenzial durch eine waldhydrologische Bewertung der 48 Wald-Hydrotop-Modell-Gruppen abgeschätzt. Diese Bewertung basiert einerseits auf bodenphysikalischen Kenngrößen wie der nutzbaren Wasserspeicherkapazität (nWSK) und der Feldkapazität sowie andererseits auf standorts- und bodenkundlichen Merkmalen der Probestandorte der Österreichischen Waldinventur 2007/09.

Schließlich wurde das Berechnungs- und Bewertungsschema des Index der Trinkwasser-Schutzfunktion (ITRS), gestützt auf MS Excel, digital umgesetzt. Zur Bestimmung der Wald-Hydrotop-Gruppen wurde ein html-basierter Bestimmungsschlüssel erarbeitet. Beide Instrumente sind über die Homepage des BFW abrufbar ([bfw.ac.at](http://bfw.ac.at), in Suche „Wald-Hydrotop“ eingeben). Jeder, der die gängigen forstlichen Fachdaten für den gewünschten Bestand zur Verfügung hat, kann den Bestand eigenständig in Bezug auf dessen Trinkwasser-Schutzfunktion bewerten.



## Literatur

- Gurtz, J., Baltensweiler, A., Lang, H., 1999. Spatially distributed hydrotop-based modelling of evapotranspiration and runoff in mountainous basins. *Hydrological Processes* 13, pp. 2751-2768.
- Hegg, C.; Jeisy, M.; Waldner, P., 2004. Wald und Trinkwasser. Eine Literaturstudie, Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL, 60 Seiten
- Kilian, W.; Müller, F.; Starlinger, F. (1994): Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs. Eine Naturraumgliederung nach waldökologischen Gesichtspunkten, FBVA-Berichte 82
- Koeck, R., Magagna, B., Hochbichler, E., 2007. KATER II Handbook – Final report regarding the land use category forestry. Download: [www.kater.at](http://www.kater.at)
- Richards, W.H., Koeck, R., Gersonde, R., Kuschnig, G., Fleck, W., Hochbichler, E. (2012): Landscape-Scale Forest Management in the Municipal Watersheds of Vienna, Austria and Seattle, USA: Commonalities Despite Disparate Ecology and History. *Natural Areas Journal* 32, 199-207.
- Rothe, A.; Kölling, C.; Moritz, K. (1998): Waldbewirtschaftung und Grundwasserschutz – Der aktuelle Kenntnisstand, AFZ- Der Wald 1998
- Weis, W.; Huber, C.; Göttlein, A. (2008): Waldverjüngung und Wasserqualität, LWF aktuell 66/2008
- Wenger, W. (2002): Bedeutung des Waldes für die Trinkwassergewinnung, LWF aktuell 34/2002

Dr. Michael Englisch,  
Dr. Ernst Leitgeb,  
Mag. Karl Gartner,  
Bundesforschungszentrum für Wald,  
Institut für Waldökologie und Boden,  
Seckendorff-Gudent-Weg 8,  
1131 Wien  
[michael.englisch@bfw.gv.at](mailto:michael.englisch@bfw.gv.at)

Dr. Roland Köck,  
Ao. Univ.-Prof.  
Dr. Eduard Hochbichler,  
Universität für Bodenkultur,  
Department für Wald- und  
Bodenwissenschaften,  
Institut für Waldbau,  
Peter-Jordan-Straße 82,  
1190 Wien

## Bergwälder als Abflussregulatoren

**Wie schaut der ideale Hochwasserschutzwald aus? Je nach Baumartenzusammensetzung und Dichte des Kronendaches können vier bis sechs Liter Wasser je Quadratmeter im Kronenraum zurückgehalten werden. Der Boden und die Art der Bewirtschaftung sind weitere maßgebende Faktoren.**

Bei Waldvegetation wird ein deutlich höherer Teil des Niederschlages als im Freiland über Interzeption und Transpiration an die Atmosphäre zurückgegeben (Abbildung 1):

- Die Interzeptionsleistung ist bei Grasland am geringsten.
- Bei Koniferen ist der Kronenrückhalt deutlich höher als bei Laubbäumen, in Abbildung 1 wird die Buche als Beispiel herangezogen.
- Der Wasserverbrauch aus dem Boden (die Transpiration) kann auch bei Gräsern sehr hoch sein.
- Für Fichte gibt es bezüglich der Transpiration unterschiedliche Angaben, die Transpiration kann auch deutlich höher sein (bis zur strichlierten Linie in Abbildung 1). Grundsätzlich ist die Transpirationsleistung von Fichten- und etwa auch Douglasienbeständen aufgrund der sehr hohen

Nadelmasse höher als bei Laubholzbeständen.

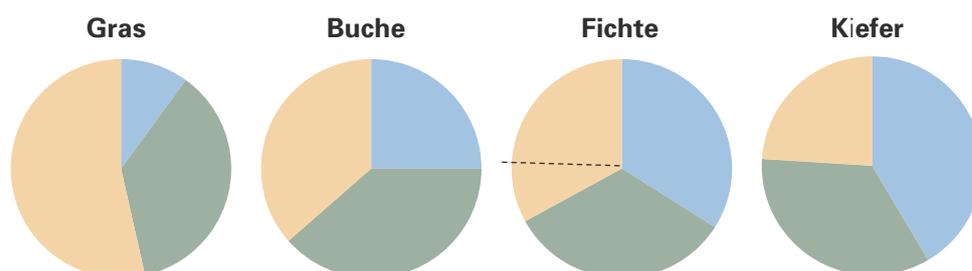
Immergrüne Nadelwälder verdunsten auch in den zuletzt häufiger auftretenden milden Wintern erhebliche Wassermengen. Dabei ist das Sickerwasserangebot in Verjüngungsflächen höher, der Wasserbedarf steigt mit zunehmendem Bestandesalter (Müller 2013).

Je nach Baumartenzusammensetzung und Dichte des Kronendaches können bei Regen vier bis sechs Millimeter (= Liter/m<sup>2</sup>) Wasser im Kronenraum zurückgehalten werden. Die Schlagwirkung von Windböen, z.B. bei Gewittern, verstärkt den Niederschlagsabsatz. Mit abnehmendem Überschirmungsgrad sinkt die Interzeptionsleistung sowohl bei Einzelereignissen als auch im Jahreschnitt.

Aufgrund des höheren Verdunstungsanspruches der Bäume sind daher bei gleichen Vorbedingungen die freien Porenanteile in Waldböden höher als in Nichtwaldböden. Dies bedeutet in der Regel auch ein höheres Retentionsvermögen der Waldböden bei Starkniederschlägen.

Zudem weisen Waldböden aufgrund der Vegetationsform Wald gänzlich andere Eigenschaften auf. Auf Humusauf-lagen wechselnder Mächtigkeit folgt ein

▼  
Abbildung 1:  
Durchschnittliche Kennwerte zum Wasserumsatz von Grasvegetation und Baumbeständen. Die Angaben basieren auf Zimmermann et al. (2008) und Müller (2013)



Mineralboden mit intensiver Durchwurzelung, abgestorbene Wurzeln reagieren als Dränröhren. Waldböden sind häufig deutlich lockerer als die Böden des umgebenden Freilandes.

### Wald und Abfluss

Am Bundesforschungszentrum für Wald (BFW) wurden in den letzten Jahrzehnten eine Vielzahl von Niederschlagssimulationen auf verschiedenen Boden-/Vegetationseinheiten im gesamten Ostalpenraum durchgeführt, um das Abflussverhalten zu bestimmen. Basierend auf diesen Untersuchungen wurde eine Geländeanleitung zur Abschätzung des Oberflächenabflussbeiwertes bei Starkregen entwickelt (Abflussbeiwert = dimensionslose Zahl, diese gibt das Verhältnis des abfließenden Niederschlagsanteiles zur Niederschlagsmenge an).

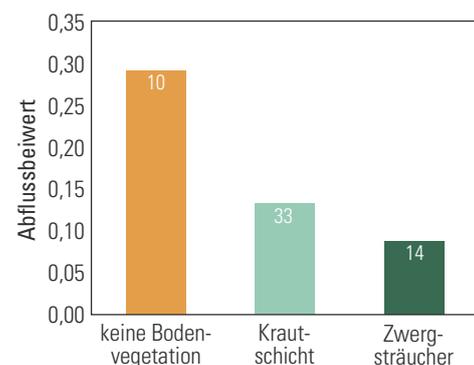
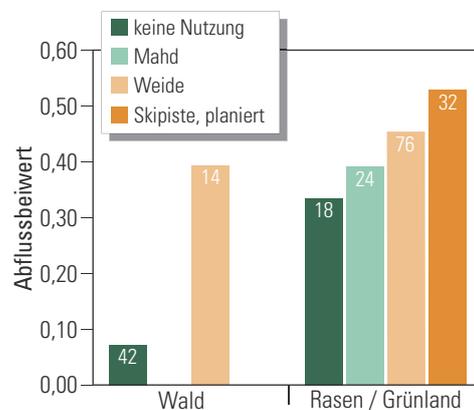
Art und Intensität der Bewirtschaftung sowie eventuelle Zusatznutzungen bzw. zusätzliche mechanische Belastungen beeinflussen das Abflussverhalten von Waldstandorten stark. Eine maßgebliche Zusatzbelastung stellt z.B. die Waldweide dar. Auch wenn nur wenige Standorte mit Waldweide beregnet wurden, so zeigen die Ergebnisse einen deutlichen Trend (Abbildung 2). Beweidete Wälder liefern bei Starkregen mehr Oberflächenabfluss. Die an und für sich hohe Infiltrationsleistung der Waldböden wird durch die Beweidung (Verlust an Bodenvegetation, Verdichtung) deutlich reduziert, sie nähern sich dem Abflussverhalten von Grünland-Weideflächen an.

Eine weitere Schlüsselrolle kommt der Waldbodenvegetation zu. Je rauer die Oberfläche, umso geringer der Oberflächenabfluss und umso langsamer die Fließgeschwindigkeit des Wassers an der Oberfläche (Abbildung 3). In Beständen ohne Bodenvegetation (z.B. dichte Fichtenbestände ohne Unterwuchs) ist der Anteil des Oberflächenabflusses deutlich höher als auf Standorten mit dichter krautiger Vegetation, am wenig-

sten Abfluss ist auf Einheiten mit dichtem Zwergstrauchbewuchs (Heidelbeere, Alpenrose,...) zu erwarten.

### Einfluss der Bewirtschaftung

Standortswidrige Baumarten verschlechtern die Hydrologie des Standortes. Vergleichende Beregnungen von Fichten- und Buchen-Standorten auf stark stauender, pseudovergleyter Braunerde im Kreisbach bei St. Pölten zeigen deutlich, dass die Fichte diese Böden nur oberflächennah aufschließt (bis 30 cm Tiefe), in den tieferen Bodenschichten blieb der Wassergehalt trotz einstündiger Beregnung mit 100 mm/h und danach mit 60 mm/h niedrig (Jost et al. 2012). Das Wurzelsystem der Buche reicht auf vergleichbarem Untergrund deutlich tiefer, der Niederschlag kann in tiefere Bodenschichten vordringen, sättigt den Boden von unten her auf. Die laterale Leitfähigkeit ist höher, das heißt der Zwischenabfluss im Boden erfolgt unter der Buche rascher.



Download der Geländeanleitung zur Abschätzung des Oberflächenabflussbeiwertes: <http://bfw.ac.at/rz/bfw-cms.web?dok=4343>

Mehr Infos zum Zusammenspiel von Vegetation und Abfluss: <http://bfw.ac.at/rz/bfw-cms.web?dok=5753>

Abbildung 2: Abfluss bei Starkregen im Wald und auf Grünlandstandorten. Waldweide erhöht den Abflussbeiwert beträchtlich

Abbildung 3: Dichte Waldbodenvegetation erhöht die Oberflächenrauigkeit, dadurch wird die Geschwindigkeit des Oberflächenabflusses gebremst und die Infiltration in den Boden erleichtert

Artikel zur Erfassung des Forstwegenetzes:  
<http://bfw.ac.at/rz/bfw-cms.web?dok=9461>

▼  
Abbildung 4:  
Forststraßen sind eine wichtige Grundlage für die Bewirtschaftung alpiner Wälder, jedoch auch maßgebliche Faktoren für erhöhten Abfluss und Feststoffaustrag bei Starkniederschlägen

▼▶  
Abbildung 5:  
Steiler Rückeweg auf bindigem Substrat. Abgesehen von der Art der Anlage ist eine rasche Sicherung der Oberfläche notwendig, um weiteren Bodenabtrag zu vermeiden



Viele Untersuchungen belegen den engen Zusammenhang zwischen Bewirtschaftung und Spitzenabfluss: Kahlschläge in Zusammenhang mit Verdichtung bewirken den höchsten Abflussanstieg und bergen auch ein hohes Erosionspotenzial. Die bodenfestigende Wirkung der Wurzeln bleibt nach der Schlägerung noch einige Jahre erhalten, nimmt jedoch sukzessive ab.

In der Phase des beginnenden Dichtstandes der Verjüngung ist die armierende Wirkung der Wurzeln des entfernten Bestandes bereits deutlich reduziert, die bodenfestigende Wirkung des Wurzelgeflechts der Jungbäume aber noch zu gering, daher sind gerade in Phasen des beginnenden Dichtstandes mitunter häufig Anbrüche auch im Wald zu beobachten. Besonders kritisch können sich in dieser Phase Verzögerungen in der Wiederbewaldung auswirken, beispielsweise aufgrund der Verdämmung des Jungwuchses durch invasive Neophyten oder hohen Wildstand.

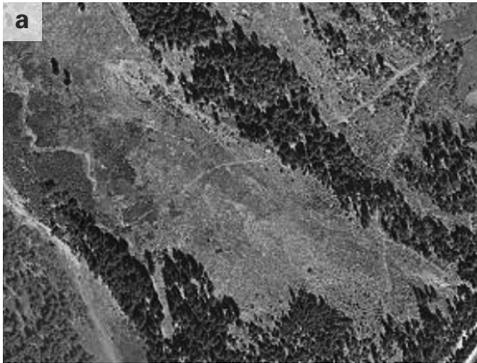
Die Dichte des Forstwegenetzes, die Anbindung der Straßen an die Gewässer (wie über Konzentration und Beschleunigung des Abflusses in Berggräben und Ausleitungen) und Verdichtung durch mechanische Belastungen sind Faktoren, die massiv zur Erhöhung des Spitzenabflusses und zum Feststoffaustrag in alpinen Einzugsgebieten bei Starkregen beitragen (Abbildung 4).

Beim Straßenbau im geeigneten Gelände wird der Anteil des Oberflächenabflusses zwangsläufig erhöht:

- durch den direkt auftreffenden Niederschlag auf die Straße und
- in Abhängigkeit vom Substrat durch Konzentration des Oberflächenabflusses und des Zwischenabflusses aus dem überliegenden Hang.

Bei der Erschließung erscheint daher die Beschränkung auf eine minimale Laufmeterdichte und die effiziente Ausnutzung schonender Bringungsverfahren (zum Beispiel Seilkran) sinnvoll. Auch Rückegassen und -wege können im steilen Gelände Erosionsherde darstellen (Abbildung 5). Daher ist es sinnvoll, nach Abschluss der Erntearbeiten die Rauigkeit beispielsweise durch Aufbringen und Fixieren von Schlagabraum zu erhöhen („Ausgrassen“) und Abflusskonzentrationen zu vermeiden (Ausleitungen vorsehen).

In vielen alpinen Einzugsgebieten wurde ab Mitte des 20. Jahrhunderts mit umfangreichen waldverbessernden Maßnahmen begonnen (Bestandesumbau, Agradierung geschneitelter oder streuge nutzter Bestände, umfangreiche Weidefreistellungen, kontrollierte Aufforstung von aufgelassenen Almflächen,...). Die positiven hydrologischen Effekte solcher Maßnahmen können über hydrologische Modellrechnungen, die etwa anhand von Pegelwerten auf ihre Plausibilität geprüft werden, nachgewiesen werden. Ein Beispiel für die den Abfluss verzögernde Wirkung der Aufforstung aufgelassener Weideflächen im Zuge des Hochwasserereignisses vom 22./23. August 2005 im Tiroler Paznauntal liefert Abbildung 6. Dort wurden ab 1950 größere Weideflächen in einen Fichtenbestand übergeführt. Die Weidefläche hätte beim 2005er-Ereignis wesentlich früher Abfluss geliefert (nach sieben Stunden), der Fichtenbestand reagiert erst nach 14 Stunden. Die Abflussspitze wird auf der Weidefläche bereits nach 16 Stunden, im

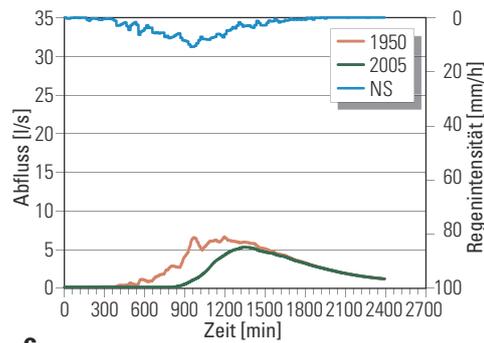


Bestand erst nach 22,5 Stunden, auf geringerem Niveau, erreicht.

### Limitierte Wirkung der Waldvegetation

Die abflussreduzierende Wirkung der Waldvegetation ist nur mehr stark eingeschränkt gegeben bei:

- Sickerwasser, das den Wurzelhorizont bereits unterschritten hat und Hangwässern aus höher gelegenen waldfreien Bereichen, die den Wurzelhorizont unterschreiten. Hier greifen noch die Boden stabilisierende Wirkung des Wurzelwerks und die druckentlastende Wirkung abgestorbener Wurzeln, die als Entwässerungssysteme fungieren.
- linearem Oberflächenabfluss aus überliegenden (waldfreien) Bereichen. Durch den konzentrierten Abfluss wird der Waldboden als Rezeptor ausgeschaltet, das Wasser folgt oberflächlich den Tiefenlinien und beginnt insbesondere in gering bestockten oder waldfreien Bereichen zu erodieren.
- geringem Waldanteil im Einzugsgebiet.



c

### Der Weg zum idealen Hochwasserschutzwald?

Die Bewirtschaftung eines Waldes ist auf den jeweiligen Standort und das jeweilige (Schutz-)Ziel auszurichten. Dennoch lassen sich vereinfacht einige allgemein gültige Schlüsselkriterien formulieren:

- Den besten Effekt bringen mehrschichtige (Misch-)Bestände, Bestände mit nur einer Baumart tendieren zur Einschichtigkeit.
- Keine Vollbestockung, der Überschirmungsgrad sollte zwischen 0,7 und 0,9 liegen, mit dichter Bodenvegetation zur Erhöhung der Bodenrauigkeit. Für den subalpinen Bereich wird auch 0,6 als minimaler Überschirmungsgrad angegeben. Dann sollte die Bodenvegetation aber aus dichter Zwergstrauchheide bestehen.
- Dichtstand und mangelnde Dickungspflege erhöhen das Abflusspotenzial (reduzierte bzw. keine Bodenvegetation, bei Koniferen hydrophobe Wirkung der Humusauflage in Trockenphasen).
- Kleinflächige Nutzungen, rasche Wiederbewaldung mit standortstauglichen Baumarten bzw. standortsangepassten Baumarten in Hochlagen.
- Forststraßenbau und Bringung: Konzentration auf ein minimales Wegenetz, pflegliche Erschließung und Bringungstechniken, Vermeidung von Abflusskonzentrationen. Keine permanenten Erschließungsmaßnahmen in feuchten, vernässten und instabilen Bereichen.



Abbildung 6:

a: Weidefläche, ca. 1950

b: Die gleiche Fläche bestockt mit Fichte im Jahr 2005 (Überschirmungsgrad 0,7)

c: Unterschiedliche Abflussreaktionen der beiden verschiedenen Vegetationsformen (aus Kohl et al. 2009)

Vorträge der Innsbrucker Hofburggespräche: Systemzustände - Ausgangsbedingungen für Hochwasserereignisse (April 2014) als Download: <http://bfw.ac.at/rz/bfw-cms.web?dok=9827>

### Literatur:

Jost, G.; Schume, H.; Hager, H.; Markart, G.; Kohl, B. (2012): A hillslope scale comparison of tree species influence on soil moisture dynamics and runoff process during intense rainfall. *J. Hydrol.*, 420-421, 112-124.

Kohl, B.; Perzl, F.; Markart, G.; Klebinder, K.; Pirkl, H.; Riedl, F.; Stepanek, L. (2009): Hochwasser Paznaun 2005: Wald – Abfluss – Potentiale. Bericht der Wildbach- und Lawinerverbauung, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien.

Müller, J. (2013): Die Bedeutung der Baumarten für den Landschaftswasserhaushalt. 15. Gumpensteiner Lysimetertagung, 49-56.

Zimmermann, L.; Raspe, S.; Schulz, C.; Grimmeisen, W. (2008): Wasserverbrauch von Wäldern – Bäume und Bestände verdunsten unterschiedlich stark. *LWF aktuell* 66, 16-20.

DI Dr. Gerhard Markart, Mag. Dr. Bernhard Kohl, Dipl.-Geogr. Bernadette Sotier MSc, Bundesforschungszentrum für Wald, Institut für Naturgefahren, Rennweg 1, 6020 Innsbruck, [gerhard.markart@bfw.gv.at](mailto:gerhard.markart@bfw.gv.at)

VERONIKA LECHNER, MARC ADAMS

## Drohngestützte Erhebungen von Bergwäldern und des Feststofftransportes

**Wie man aus einem Schadereignis naturwissenschaftlichen Nutzen ziehen kann: Mit einer Drohne wurden hochaufgelöste Luftbilder des Murabgangs vom Juni 2015 am Seigesbach in Tirol erstellt. Anhand des Vergleichs von älteren Luftbildern mit aktuellen Luftbildern konnten Veränderungen in der Waldstruktur aufgezeigt und die Geschiebemengen berechnet werden.**

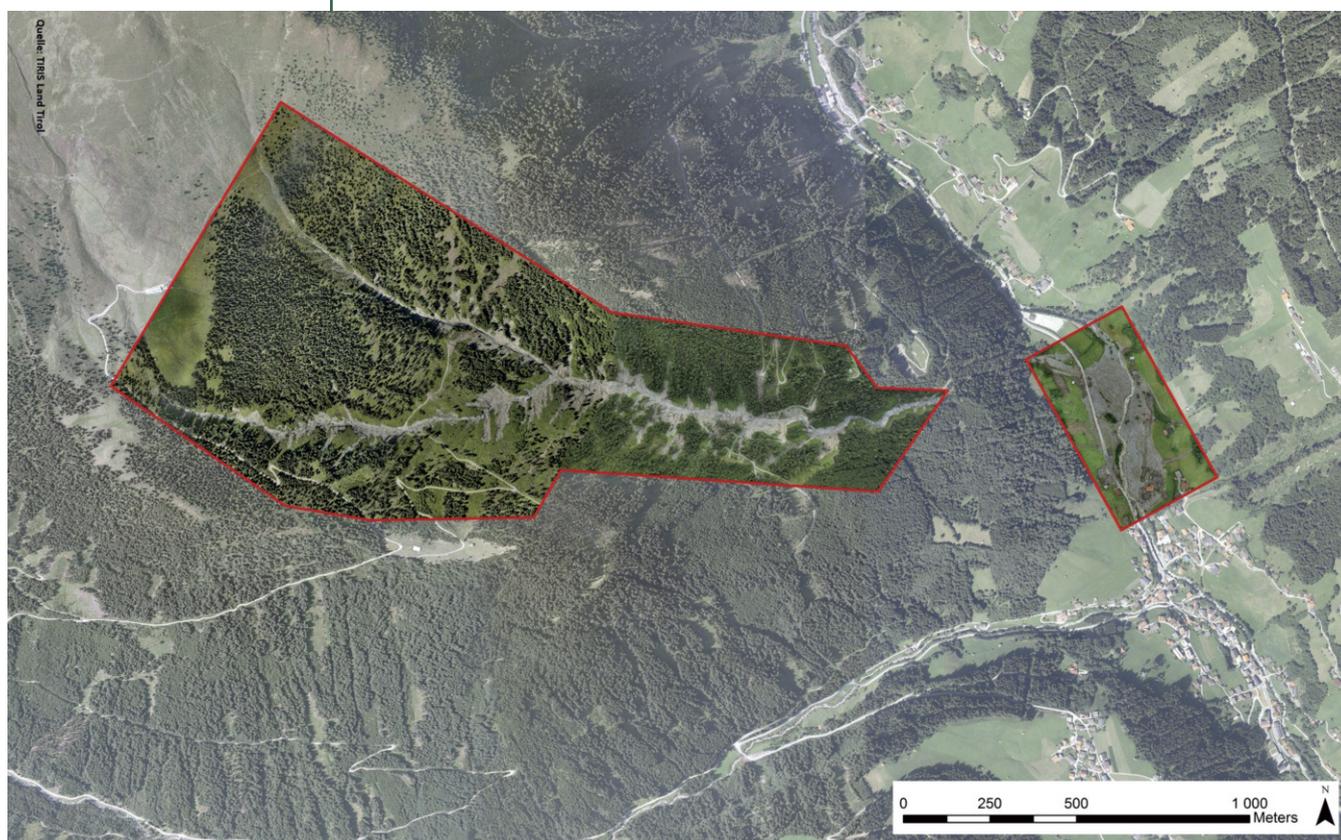
In der Nacht auf den 8. Juni 2015 kam es in der Gemeinde Sellrain (Tirol) im Einzugsgebiet des Seigesbachs zu einem großen Murereignis. In der Folge wurde das Bundesforschungszentrum für Wald

(BFW) von der Sektion Tirol der Wildbach- und Lawinenverbauung (WLV) mit der Dokumentation aus der Luft beauftragt.

### **Berghänge vor dem Ereignis bereits stark durchnässt**

Die Niederschlagsmengen im Mai 2015 lagen im Vergleich zum langjährigen Mittel 80 % über dem eines Durchschnittsjahres. Vom 19. bis 24. Mai war im Einzugsgebiet oberhalb von 1.500 m Seehöhe eine geschlossene Schneedecke vorhanden, welche bis einen Tag vor dem Ereignis vollständig abschmolz. Durch die erhöhten Niederschlagsmen-

▼  
Abbildung 1:  
Rot umrandet, die zwei Fluggebiete zur Dokumentation des Murereignisses am Seigesbach im Juni 2015



gen und die zusätzliche Schneeschmelze waren die Hänge bereits stark durchnässt. Am Vortag des Ereignisses kam es schon zu heftigen Wärmegewittern und in der Ereignisnacht vom 7. auf den 8. Juni erfolgte das extreme Niederschlagsereignis mit Hagelschauer (Drechsel, 2015). Es fiel in einem Zeitraum von etwa sechs Stunden 90 – 110 mm Niederschlag, Berichten zufolge der Großteil davon in den ersten drei Stunden (meteorologische Angaben zitiert nach Jenner 2015).

### **Einzugsgebiet des Seigesbaches**

Das Einzugsgebiet des Seigesbaches befindet sich im Öztal-Stubaikristallin und ist etwa vier Quadratkilometer groß. Das Fotscher Windegg bildet die höchste Erhebung im Einzugsgebiet und auf etwa 1.300 Seehöhe mündet der Seigesbach als orografisch rechter Zubringer in die Melach.

Außer einer Einlaufsicherung im Talbodenbereich war der Seigesbach bis vor dem Ereignis ein unverbauter Wildbach. Neben mehreren kleinen Murerignissen wurde 1928 durch einen Murgang ein Haus zerstört und es wurden 3 ha Kulturland verwüstet. 2003 staute sich durch den erhöhten Geschiebetransport Material an der Brücke im Talbodenbereich (Jenner, 2015).

Das langgestreckte Einzugsgebiet ist etwa zur Hälfte bewaldet, vorwiegend mit Fichten. Nach dem Ereignis 2003 wurden die Bäume im unmittelbaren Grabeneinhang im Hauptgraben des Seigesbaches entnommen. Dies führte dazu, dass während dem Murerignis im Sommer 2015 Wildholz nur eine sehr untergeordnete Rolle spielte.

### **Befliegungen mit Drohnen**

Die Datenaufnahme im Talbereich wurde am 9. Juni 2015 mit einem unbemannten Luftfahrzeug (UAV), einem Oktokopter eines externen Dienstleisters (Austro Drones), durchgeführt, da dieser die Bewilligung zur Befliegung über be-

siedeltem Gebiet hat. Mit dem Auftraggeber wurden die Fluggebiete festgelegt, im Talbereich drei Flüge durchgeführt und 1.000 Einzelluftbilder aufgenommen.

Um die Ergebnisse mit bestehenden Geodaten vergleichen zu können und die Genauigkeit der Ergebnisse sicher zu stellen, wurden zehn terrestrische Referenzpunkte vor der Befliegung ausgelegt und mit hoher Genauigkeit (im Durchschnitt 7 cm) eingemessen. Die Befliegungen im Talbereich konnten aufgrund des Flugverbots (G7- und Bilderberg-Treffen) nur an diesem Tag und in einem sehr knappen Zeitfenster (ca. 1,5 h) bei schwierigen Flugbedingungen erfolgen.

Das Einzugsgebiet des Seigesbaches bis zur Felsstufe im untersten Bereich der Fließstrecke wurde am 26. Juni 2015 mit einem weiteren UAV (Mentor Multiplex-Flächenflieger) des BFW befliegen. Während der vier Flüge wurden rund 4.000 Einzelluftbilder erzeugt. 20 terrestrische Referenzpunkte wurden im Einzugsgebiet ausgelegt und mit einer Genauigkeit von im Durchschnitt 14 cm eingemessen.

### **Ergebnisse**

Das BFW war für die Prozessierung, Analyse und Dokumentation der Ergebnisse (Einzugsgebiet und Ablagerungsgebiet im Tal) zuständig. Mittels einer photogrammetrischen Software wurden hochauflösende Orthofotos (georeferenzierte, geometrisch entzerrte Luftbilder) mit einer Bodenauflösung von fünf bis zehn Zentimeter erzeugt. Ebenso wurden digitale Oberflächenmodelle [DOM - absolute Höhe des Geländes und aller darauf befindlichen Objekte (Vegetation, Gebäude, etc.)] sowie Geländemodelle (DGM - Höheninformation des Geländes ohne darauf befindlicher Objekten) des Schadbereichs und des Einzugsgebiets erstellt.

Wie kommt man jetzt auf die Ablagerungshöhen und Erosionstiefen? Ganz vereinfacht gesagt: digitales

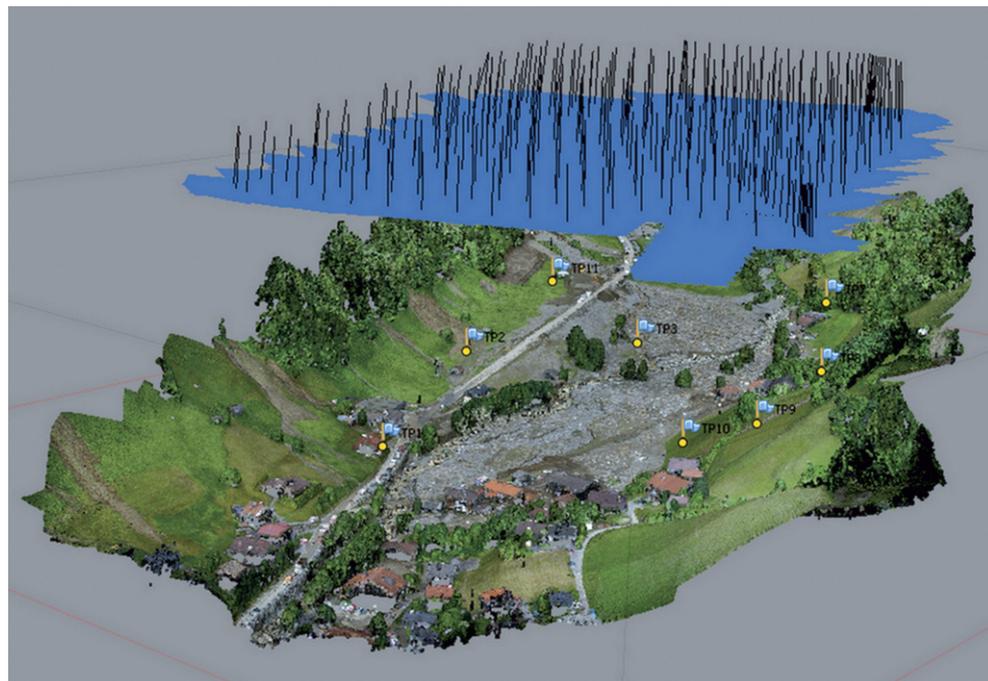
Leitfaden zur Blaikenbildung: [bfw.ac.at](http://bfw.ac.at), in Suche „Blaikenbildung“ eingeben

Studie zur Überprüfung von WLV-Bauwerken mit Drohnen: [bfw.ac.at](http://bfw.ac.at), in Suche „Bauwerke“ eingeben

Anwendungen von Drohnen im forstlichen Bereich  
Projekt NewFOR:  
[bfw.ac.at](http://bfw.ac.at), in Suche „Newfor“ eingeben

Video über die Flugdrohnen des BFW und ihre Einsatzmöglichkeiten:  
[www.youtube.com/waldforschung](http://www.youtube.com/waldforschung)

►  
**Abbildung 2:**  
 Aus den Einzelbildern  
 (blaue Fläche) wird ein  
 geometrisch entzerrtes  
 Luftbild berechnet, die  
 eingemessenen  
 terrestrischen Referenz-  
 punkte (blaue Fahnen)  
 dienen zum Einhängen in  
 ein globales Koordinaten-  
 system, dadurch wird  
 einen Vergleich mit  
 bestehenden Geodaten  
 ermöglicht



## Literatur

Adams, Marc & Lechner, Veronika (2015): UAV-Befliegung Sellrain/ Seigesbach (Endbericht). – Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft, Innsbruck.

Drechsel, Susanne (2015): Meteorologisches Gutachten zum Starkniederschlagsereignis am 6. und 7. Juni 2015 in Sellrain in Tirol. – Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Innsbruck.

Jenner, Annegret (2015): Ereignisdokumentation Seigesbach nach dem Hochwasserereignis in Sellrain/ Tirol am 07.07.2015, Geoforum 2015. – Wildbach- und Lawinerverbauung Tirol, Innsbruck.

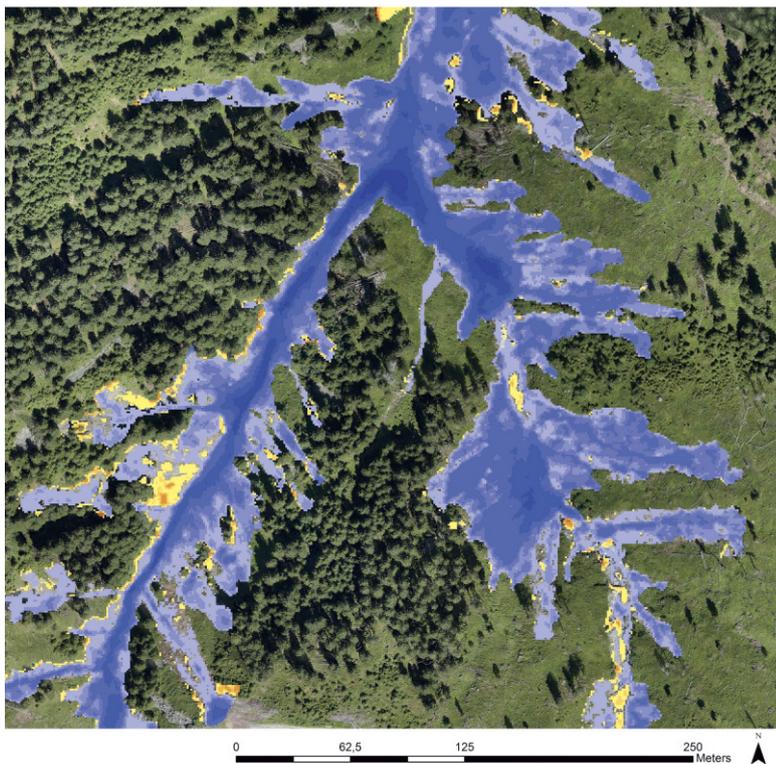
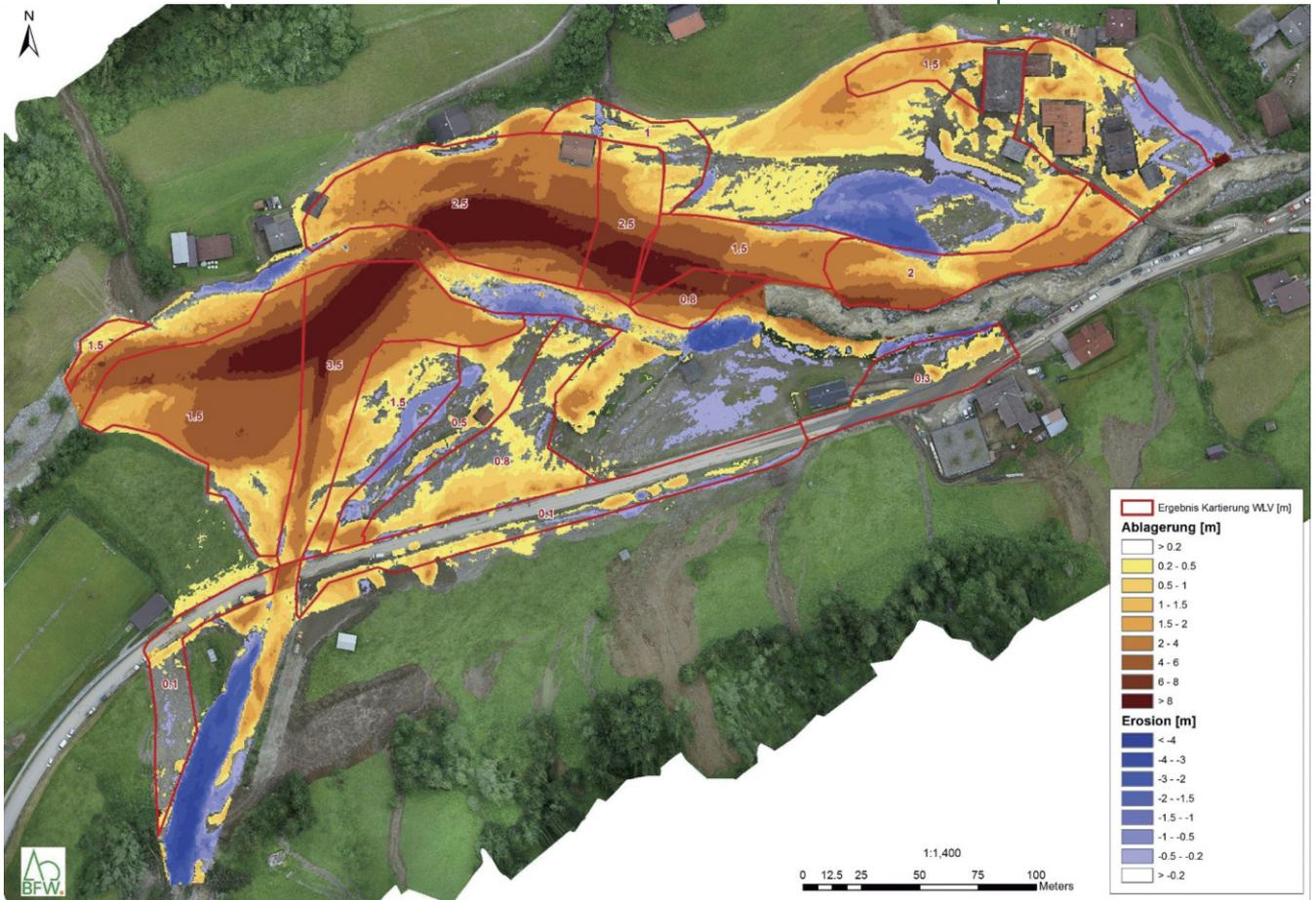
Dipl.-Ing. Veronika Lechner,  
 Mag. Marc Adams,  
 Bundesforschungszentrum für Wald,  
 Institut für Naturgefahren,  
 Hofburg, Rennweg 1,  
 6020 Innsbruck  
 veronika.lechner@bfw.gv.at

	Kubatur	Genauigkeit
<b>Talbereich</b>		
Ablagerung	120.000 m <sup>3</sup>	+/- 5.000 m <sup>3</sup>
Erosion	10.000 m <sup>3</sup>	+/- 2.000m <sup>3</sup>
<b>Einzugsgebiet</b>		
Ablagerung	45.000 m <sup>3</sup>	(+/- 13.000 m <sup>3</sup> )
Erosion	265.000 m <sup>3</sup>	(+/- 42.000 m <sup>3</sup> )

Höhenmodell nach dem Ereignis minus digitales Höhenmodell vor dem Ereignis, für letzteres wurden die durch Airborne Laserscanning (ALS) erzeugten digitalen Geländemodelle vom Amt der Tiroler Landesregierung herangezogen. Als Ergebnis erhielt man die Ablagerungshöhen und Erosionstiefen (in m) für das Untersuchungsgebiet (siehe Abbildung 3, Seite 23). Unter anderem aufgrund der unterschiedlichen Referenz-Geländemodelle (ALS-Befliegung TB: 2012-2014, 0,5 m Bodenauflösung; EZG: 2006-2009, 1 m Bodenauflösung) weichen Genauigkeit und Präzision der Ergeb-

nisse für die beiden Fluggebiete voneinander ab. Unter Berücksichtigung dieser Unsicherheiten ergeben sich folgende Geschiebekubaturen (Tabelle). Unsicherheiten in der Geschiebebilanz, die in Zusammenhang mit den aktuellen Umständen vor Ort (wie etwa Umlagerung oder Abtransport von Material durch die Einsatzkräfte) oder der Einwirkung der Melach stehen (beispielsweise Einbringungen oder Abtransport von Geschiebe) wurden im Zuge dieser Arbeit nicht untersucht und sind Ziel einer laufenden Studie.





▲  
Abbildung 3:  
oben: Differenz aus ALS-  
DGM (2009-2014) und  
UAV-DGM [m]; Kartierung  
der Ablagerungshöhen  
durch WLW, Sektion Tirol  
(rot) [m]

▼  
unten:  
Ausschnitt aus dem  
Einzugsgebiet -  
Differenzmodell aus ALS-  
DGM (2006-2009) und  
UAV-DGM [m]

