

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

**Herausgeber:** Schweizerischer Forstverein

**Band:** 163 (2012)

**Heft:** 11

**Artikel:** Berechnung von Mehraufwand und Minderertrag infolge des Trinkwasserschutzes im Wald

**Autor:** Blattert, Clemens / Bürgi, Anton / Lemm, Renato

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1097689>

### **Nutzungsbedingungen**

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

### **Conditions d'utilisation**

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

### **Terms of use**

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

**Download PDF:** 10.04.2026

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

# Berechnung von Mehraufwand und Minderertrag infolge des Trinkwasserschutzes im Wald

Clemens Blattert Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)\*  
Anton Bürgi Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)  
Renato Lemm Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)

## Calculation of additional expense and reduced revenue as a result of drinking water protection in the forest

A good portion of the drinking water in Switzerland originates from groundwater wells in the forest. Within the framework of the Water Protection Ordinance these forest areas are designated as groundwater protection zones (core zone, S1; inner protection zone, S2; further protection zone, S3) to protect the drinking water supply against contamination. The designation of a forest area as a protection zone is connected to prescriptions and recommendations influencing forest management and causing additional costs for forest enterprises. On behalf of the Federal Office for Environment, an Excel tool has been developed. With this tool, the additional expense and reduced revenue can be calculated quickly and easily. To reflect the requirements in the tool, courses of action were defined, as they occur in forest management (e.g. no chemical wood treatment in the S2 and S3 zone, utilization of non-polluting fuels and lubricants). Subsequently, these courses were converted into mathematical formulae quantifying the additional costs. Three harvesting methods common in forest management were thereby distinguished, a motor-manual harvesting method, a fully mechanized harvesting method and a harvesting method for steep slopes. The results calculated with the drinking water protection tool can form an essential basis for the discussion on compensation payment for water services from forest management and provide a better communication between forest managers and water suppliers. However, the results of the tool are to be regarded rather as guidelines and should not be taken as absolutely.

**Keywords:** forest management, ecosystem services, water protection, costs, Excel tool  
**doi:** 10.3188/szf.2012.0437

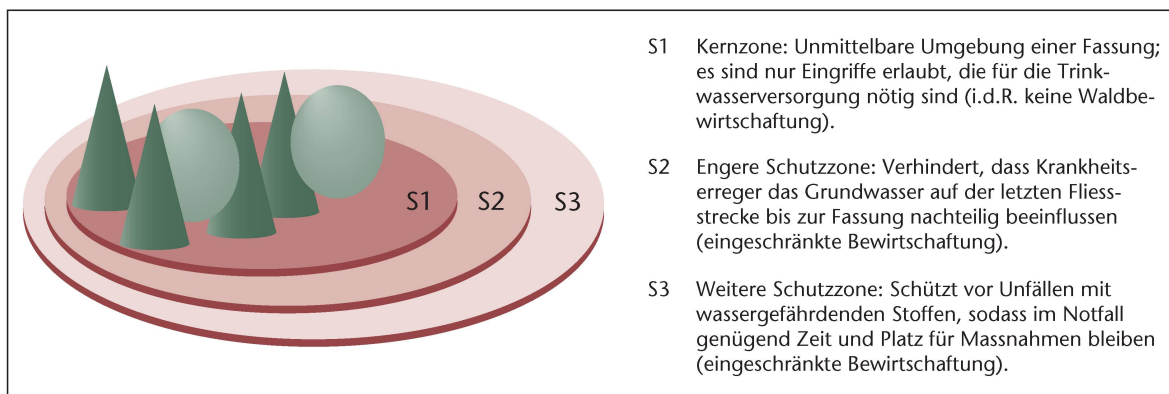
\* Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf, E-Mail clemens.blattert@wsl.ch

In der Schweiz werden rund 80% des Trinkwassers aus Grundwasservorkommen gewonnen. Ein grosser Teil davon stammt aus der Grundwasserfassung im Wald (Buwal 2003). Laut dem Landesforstinventar liegen in der Schweiz rund 47% der Grundwasserschutzzone in Waldarealen (Brändli 2010). Trinkwasser aus bewaldeten Gebieten ist naturrein und im Vergleich zu Wasser aus landwirtschaftlichen Gebieten ohne jegliche Aufbereitung nutzbar. Dies hat verschiedene Gründe: Im Gegensatz zur Landwirtschaft setzt die Waldwirtschaft weder Düngemittel noch Pestizide ein. Zudem schützt das Rodungsverbot die Grundwasserschutzzone im Wald sehr wirksam und langfristig gegenüber anderen Raumnutzungen. Damit ist das Risiko, dass eine Trinkwasserfassung im Wald belastet wird, sehr klein (Buwal 2003).

Um die für die Trinkwasserbereitstellung bedeutenden Waldgebiete vor Verunreinigungen zu bewahren und die Wasserqualität stetig zu gewährleisten, werden diese Gebiete im Rahmen der Gewäs-

serschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 (GSchV, SR 814.201) durch sogenannte Grundwasserschutzzone geschützt. Die Grundwasserschutzzone bestehen aus dem Fassungsbereich (Kernzone S1), der engeren Schutzzone (S2) und der weiteren Schutzzone (S3; Abbildung 1). In der Zone S1 sind gemäss der GSchV nur bauliche Eingriffe und Tätigkeiten zulässig, welche der Trinkwasserversorgung dienen und für welche der Fassungsgebietseigentümer verantwortlich ist. Diese Eigentumsbeschränkung kommt folglich einer Enteignung gleich. Die Zuweisung einer Waldfläche zu den Schutzzone S2 und S3 ist für die Forstbetriebe mit der Einhaltung mehrerer Vorgaben verbunden, die sie in der Waldbewirtschaftung beeinflussen (Spjevak & Bürgi 2008).

Das Erbringen beziehungsweise Unterlassen von bestimmten Handlungen durch die Forstbetriebe, welche die gesellschaftlichen Interessen und Bedürfnisse an Oberflächen- und Grundwasser befriedigen, entspricht einer wasserwirtschaftlichen Leistung der Waldwirtschaft. Diese Leistung bedeu-



**Abb 1** Zum Schutz der Trinkwasserfassung im Wald scheiden die Kantone Grundwasserschutzzonen aus. Diese umschliessen die Fassungen in drei Zonen (Buwal 2003; GSchV).

- S1 Kernzone: Unmittelbare Umgebung einer Fassung; es sind nur Eingriffe erlaubt, die für die Trinkwasserversorgung nötig sind (i.d.R. keine Waldbewirtschaftung).
- S2 Engere Schutzzone: Verhindert, dass Krankheitserreger das Grundwasser auf der letzten Fließstrecke bis zur Fassung nachteilig beeinflussen (eingeschränkte Bewirtschaftung).
- S3 Weitere Schutzzone: Schützt vor Unfällen mit wassergefährdenden Stoffen, sodass im Notfall genügend Zeit und Platz für Massnahmen bleiben (eingeschränkte Bewirtschaftung).

tet zusätzliche Kosten und verminderte Einnahmen, da mit ihr meistens Nutzungsbeschränkungen bei der Waldbewirtschaftung verbunden sind. Der Forstbetrieb muss die Produktionsprozesse im Wald gemäss der forstlichen Bewirtschaftung unter Wasserschutzgesichtspunkten verändern beziehungsweise hinsichtlich seiner sonst erwerbswirtschaftlich ausgerichteten Waldbewirtschaftung einschränken (Rüping 2009).

Das im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (Bafu) entwickelte Trinkwasserschutz-Tool ermöglicht den betroffenen Forstbetrieben, den Mehraufwand und Minderertrag für ihre Grundwasserschutzzone zu berechnen. Mit dem einfachen, auf Microsoft Excel basierenden Tool kann ein Revierleiter oder ein Vertreter der Wasserversorger unter Eingabe der wichtigsten Eigenschaften und Bewirtschaftungsmethoden einer Schutzzone die zusätzlichen Kosten berechnen, die durch die Einhaltung der Vorgaben bei der Waldbewirtschaftung entstehen. Die mit

dem Trinkwasserschutz-Tool ermittelten Ergebnisse können ein wesentliches Fundament für die Kommunikation zwischen den Forstbetrieben und den Wasserversorgern bezüglich des Themas Ausgleichszahlungen bilden.

### Berücksichtigte Vorschriften und Empfehlungen

Der Mehraufwand und der Minderertrag, die durch die Ausweisung von Grundwasserschutzzonen bei der Waldbewirtschaftung entstehen, sind die Folge einer gesetzlichen Vorschrift (Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung vom 18. Mai 2005, ChemRRV; SR 814.81) und zwei Empfehlungen des Bundes (Buwal 2004, Buwal 2005). Diese sollen zur Sicherung und Verbesserung der Wasserqualität beitragen (Tabelle 1).

- *Keine chemische Behandlung von Holz/keine Lagerung von behandeltem Holz (gesetzliche Vorschrift):* Polterplätze, sofern mit ihrem Betrieb Insektizideinsatz, Bewässerung oder Rindenanhäufung verbunden sind, können eine Gefährdung für das Grundwasser darstellen (Rüping 2009). Durch den Verzicht auf Pestizide und Herbizide bei der Holzlagerung im Einzugsgebiet von Trinkwasserfassungen können potenzielle Verschmutzungsquellen ausgeschaltet werden (Hegg et al 2004).

- *Umweltverträgliche Treib- und Schmierstoffe, keine ungeschützte Lagerung und Umfüllung von Betriebsstoffen, kein Betanken von Maschinen innerhalb der S2 (Empfehlungen):* Überall dort, wo mineralöhlhaltige Betriebsstoffe zum Einsatz kommen, können Böden, Wasser und Luft besondere Gefahren drohen. Durch den Einsatz von biologisch abbaubaren Betriebsstoffen kann die Gefahr einer Verschmutzung des Trinkwassers vermieden werden. Der Einsatz von biologisch schnell abbaubaren Hydraulikölen hat sich mittlerweile im Forstbereich weitestgehend als Standard durchgesetzt. Die Verwendung von Biodiesel und Rapsöl als Treibstoff werden hingegen oft noch kritisch betrachtet (Rüping 2009).

Gesetzliche Vorschrift und Empfehlungen des Bafu		Gültigkeit	Resultierende Massnahme
V	Keine chemische Behandlung von Holz/keine Lagerung von behandeltem Holz	S2 und S3	Zusätzlicher Transport des Holzes ausserhalb S3
E	Umweltverträgliche Treib- und Schmierstoffe	S2 und S3	Verwendung von umweltverträglichen Treib- und Schmierstoffen
E	Keine ungeschützte Lagerung und Umfüllung von Betriebsstoffen	S2 und S3	Betanken der Motorsägen mit Auffangwannen
E	Kein Betanken von Maschinen	S2	Betanken der Motorsäge ausserhalb S2
E	Bodenschonende Befahrung	S2 und S3	Umsetzen der Erntemaschinen bei hoher Bodenfeuchte
E	Bevorzugen von Laubbaumarten	S2 und S3	Erhöhung des Laubholzanteils
E	Entfernen von Schlagabraum	S2	Hacken und Entfernen der Ernterückstände

**Tab 1** Gesetzliche Vorschrift (V; ChemRRV) und Empfehlungen des Bafu (E; Buwal 2004, Buwal 2005), die im Trinkwasserschutz-Tool berücksichtigt werden und die daraus abgeleiteten Massnahmen für die Berechnungen (Spjevak & Bürgi 2008, Usbeck et al 2010).

- *Bodenschonende Befahrung (Empfehlung):* Der Einsatz von schweren Erntemaschinen und Rückefahrzeugen bei der Holzernte birgt die Gefahr der Bodenverdichtung und der Verschlechterung der Bodenfunktionen. Der notwendige Gasaustausch mit der Wurzelzone wird unterbunden. Gleichzeitig führt die Bodenverdichtung zu einer Versiegelung des Oberbodens und hemmt damit die Wasserinfiltration. Dieser negative Effekt wird durch die Konzentration der Befahrung auf dauerhaft konzipierte Rückegassen beschränkt. Das Ausmass der Bodenschäden hängt aber auch von den physikalischen Bodeneigenschaften ab und kann durch eine je nach Jahreszeit und Witterung eingeschränkte Befahrung verringert werden (Lüscher et al 2010).

- *Bevorzugen von Laubbaumarten (Empfehlung):* Ein wichtiger Leitparameter für die Schadstoff- und Nährstoffbelastung der Gewässer und insbesondere für das Grundwasser ist die Stickstoffkonzentration, vor allem Nitrat (Rüping 2009). In Bezug auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser bestehen zwischen Beständen verschiedener Baumarten grosse Unterschiede. Unter Laubbäumen wird im Vergleich zu Nadelbäumen diesbezüglich hochwertigeres Trinkwasser produziert. Nadelbäume weisen besonders im Kronenbereich eine grössere Oberfläche auf und sind immergrün, was zu einer höheren Auskämung von Luftschadstoffen gegenüber den Laubbäumen und damit zu höheren Stickstoff- und Säureeinträgen führt. Zudem sind Interzeptionsverluste in den Nadelbeständen höher, was durch die Verringerung der Wassermenge die Stoffkonzentration im Sickerwasser zusätzlich erhöht (Rothe & Mellert 2004, Schleppi 2011).<sup>1</sup>

- *Entfernen von Schlagabraum innerhalb der S2 (Empfehlung):* Durch Entfernen von Ernterückständen können Stickstoffreserven im Wald reduziert werden und das Risiko, dass Nitratausträge aus dem Wald zu einer Belastung werden, wird minimiert (Lundborg 1997, Asche et al 2007). Allerdings werden dem Waldökosystem mit dem erhöhten Biomasseentzug auch andere wichtige Nährstoffe entnommen, wie Calcium, Magnesium, Kalium und Phosphor (Hässig et al 2009, Lemm et al 2010). Vor dem Entfernen von Ernterückständen aus Wasserschutzgründen sollte daher eine sorgfältige Abwägung erfolgen.

Generell hängt die Effektivität der forstlichen Massnahmen in Bezug auf die Nitratausträge immer stark von den örtlichen Bedingungen wie Bestand, Boden und Klima ab (Schleppi et al 2003). Eine Massnahme, welche sich positiv auf die Wasserqualität auswirkt, kann daher je nach Standort und Höhenlage variieren. Laut Wenger (2002) und Rothe & Mellert (2004) sind für die Trinkwasserqualität in Waldgebieten vielmehr die atmosphärischen Einträge an Stickstoffverbindungen, Säuren und Säurebildner von Bedeutung. Die atmogenen Einträge in die Wälder sind teilweise höher, als es deren Belastbarkeit

zulässt. Dies kann einen hohen Anteil unerwünschter stofflicher Einträge ins Grundwasser zur Folge haben (Wenger 2002).

## Berechnungsmethode und Tool-Aufbau

Für die Abbildung der gesetzlichen Vorschrift und der Empfehlungen im Tool wurden Massnahmen definiert, wie sie in der forstlichen Praxis auftreten (Tabelle 1). Die Massnahmen wurden anschliessend in mathematische Formeln zur Quantifizierung der Mehraufwendungen und Mindererträge umgesetzt. Ein wichtiges Kriterium hierbei war die einfache Kalkulierbarkeit. Den zukünftigen Anwendern wird somit die Möglichkeit gegeben, mit einem geringen Aufwand für Erfassung und Erhebung von Eingangsgrössen Kostenschätzungen durchzuführen.

Mehraufwände, die aus der Veränderung der technischen Produktionsprozesse im Wald unter Wasserschutzgesichtspunkten entstehen, wurden über die veränderten Massnahmenkosten bewertet, zum Beispiel zusätzlicher Transport des Holzes, Hacken und Entfernen der Ernterückstände, Umsetzen der Maschinen.

Die Mindererträge, welche aus den veränderten biologischen Prozessen infolge der Erhöhung des Laubholzanteils resultieren, wurden hingegen anhand des Ertragswertprinzips ermittelt (Moxter 1983). Hierzu wurde der erntekostenfreie Erlös einer angestrebten Laubholzbestockung mit dem erntekostenfreien Erlös des vorhandenen, meist nadelholzreicheren Bestandes verglichen. Die Differenz aus den beiden Erlösen bildet den zu erwartenden Minderertrag. Dabei wurde für die Berechnung des Laubholzes repräsentativ die Baumart Buche und für das Nadelholz die Baumart Fichte verwendet. Die Zielgrössen für den angestrebten Laubholzanteil wurden aus dem Projektbericht «Grundanforderungen an den naturnahen Waldbau» abgeleitet (Kaufmann et al 2010). Darin ist die natürliche Baumartenzusammensetzung für die verschiedenen Standorte der Schweiz definiert.

Da Fichte und Buche unterschiedliche Produktionszeiten haben, wurden die Ergebnisse über die Umtriebszeit in Franken pro Hektar und Jahr gemittelt. Dies ermöglicht eine gute Vergleichbarkeit und Bewertung der unterschiedlichen Beträge. Eine detaillierte Beschreibung der Formeln und deren Her-

<sup>1</sup> Forschungsergebnisse bezüglich der Nitratauswaschungen im Wald stammen hauptsächlich aus Versuchsflächen, die mit Fichte und Buche bestockt sind. Für eine detailliertere Beurteilung der Nitratkonzentrationen im Sickerwasser sind für die Zukunft daher noch weitere Erkenntnisse anzustreben, insbesondere hinsichtlich der wesentlich beeinflussenden Faktoren wie Baumart, Altersklasse, Verjüngungsverfahren und Standortverhältnisse (Rothe & Mellert 2004).

Holzernteverfahren (HV)	Fällen und Aufarbeiten	Rücken
HV 1: Motormanuelles Verfahren	Motormanuell (Motorsäge)	Forstspezialschlepper
HV 2: Vollmechanisiertes Verfahren	Harvester	Forwarder
HV 3: Verfahren für Steillagen	Motormanuell (Motorsäge)	Mobilseilkran

Tab 2 Standard-Holzernteverfahren, die für die Berechnungen im Trinkwasserschutz-Tool unterschieden werden.

leitung ist im Schlussbericht zu finden (Blattert et al 2012a).

Bei der Berechnung wird zudem zwischen drei in der Praxis gängigen Standard-Holzernteverfahren (HV) unterschieden (Tabelle 2), einem motormanuellen Ernteverfahren (HV1), einem vollmechanisierten Ernteverfahren (HV2) und einem Ernteverfahren für Steillagen (HV3). Durch die Aufteilung in drei HV wird indirekt der Geländesituation Rechnung getragen, indem zwischen befahrbaren (HV2) und nicht befahrbaren Beständen (HV3) unterschieden werden kann. Gleichzeitig wird indirekt auch der Brusthöhendurchmesser (BHD) des ausscheidenden Bestandes berücksichtigt. Bäume mit BHD über 50 cm können in der Regel nicht mehr durch einen Harvester geerntet, sondern müssen motormanuell gefällt werden. Diese Unterteilung ermöglicht somit eine realistische Abbildung der jeweiligen Situationen in den Grundwasserschutzzonen.

Die vorgenommene Differenzierung in drei Standard-Holzernteverfahren bedingt für die Berechnung jedoch eine spezifische Berücksichtigung der darin abgebildeten Prozesse (Fällen, Aufarbeiten, Rücken) und ihrer personellen und maschinellen

Ausstattung. Die Auswirkungen sind auf zweierlei Arten erkennbar. Einerseits werden die Berechnungsformeln explizit an die Maschinenausstattung des jeweiligen HV angepasst (Verbrauch an Treib- und Schmierstoffen), was drei verschiedene Formeln zur Folge hat. Andererseits werden die abgeleiteten Massnahmen einzeln hinterfragt, ob sie für das jeweilige HV aus praktischer Sicht relevant sind. Wo dies nicht der Fall ist, werden die kostenrelevanten Massnahmen für das jeweilige HV ausgeklammert. So wird beispielsweise das Umsetzen der Maschinen nur im HV2 berücksichtigt oder das Hacken der Ernterückstände wird im HV3 vernachlässigt, da für das Verfahren mit Mobilseilkran ohnehin eine Vollbaumnutzung angenommen werden kann.

Abbildung 2 zeigt die verfahrensspezifische Berücksichtigung der kostenrelevanten Massnahmen, welche gleichzeitig die Grundstruktur für die Umsetzung des Tools in Excel darstellt. Nach Eingabe der Kenngrössen einer Schutzzone (Fläche und jährliche Holznutzungsmenge), kann sich der Anwender für ein HV entscheiden und durch Abarbeiten eines Stranges den Mehraufwand und den Minderertrag für seine Schutzzone berechnen. Eine ausführliche Beschreibung zum Aufbau des Trinkwasserschutz-Tools und dessen Benutzung kann im Benutzerhandbuch nachgelesen werden (Blattert et al 2012b).

### Fallbeispiele für die Berechnung

Anhand von drei Fallbeispielen, einer kleinen, einer mittleren und einer grossen Grundwasserschutzzone, wurden die Mehraufwände und Mindererträge mit dem Trinkwasserschutz-Tool berechnet (Tabelle 3). Die drei Fallbeispiele wurden bereits

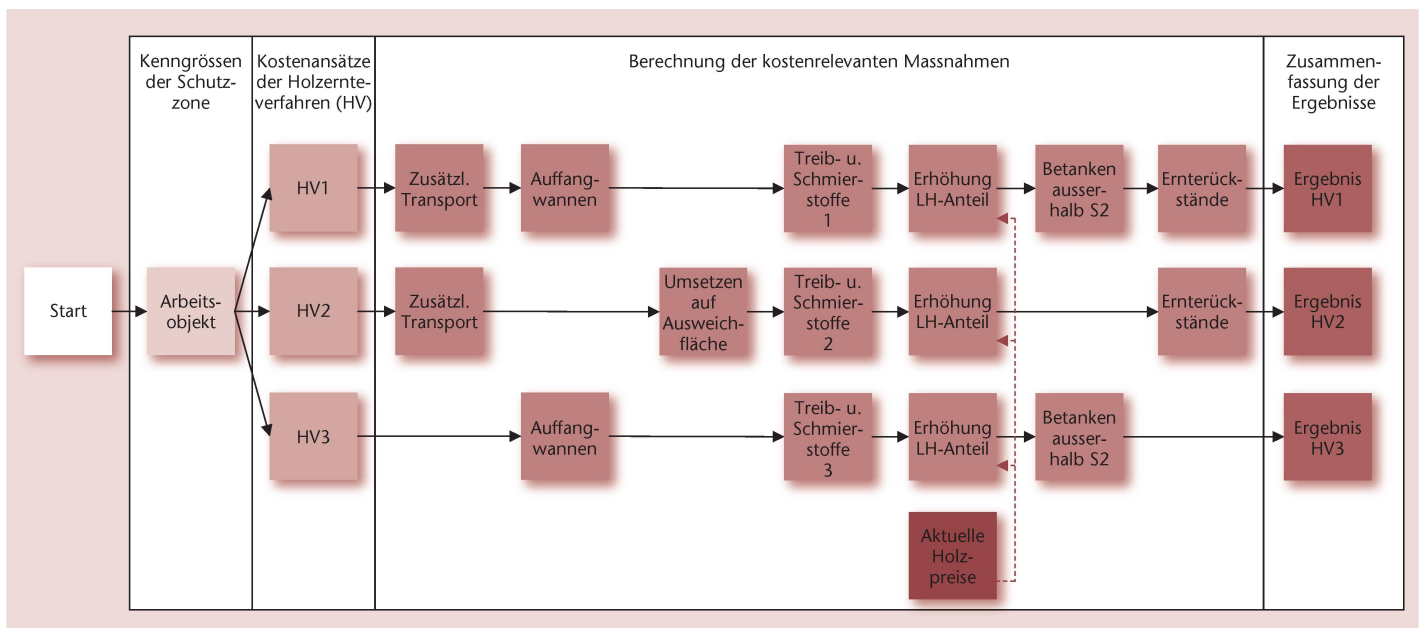


Abb 2 Aufbau des Trinkwasserschutz-Tools in Excel; die einzelnen Stränge spiegeln die drei Holzernteverfahren (Tabelle 2) mit ihren individuell berücksichtigten kostenrelevanten Massnahmen wider.

	Fallbeispiel 1: Surpierre (FR)	Fallbeispiel 2: Rheinfelden (AG)	Fallbeispiel 3: Bassins (VD)
Lokalname	Bois des Meules	Heimenholz	Les Orgères
Grösse S2	1 ha	14 ha	130 ha
Grösse S3	1.5 ha	47 ha	4675 ha
Ø Marschdistanz bis ausserhalb S2	50 m	260 m	750 m
Ø Transportdistanz bis ausserhalb S3	140 m	600 m	1500 m
Pflanzensoziologische Gesellschaft	7a	S2: 7a; S3: 7aB	12a
Laubholzanteil minimal/natürlich	50/100%	50/100%	60/100%
Jährliche Nutzungsmenge pro Hektar	11.3 m <sup>3</sup>		
Bonität Fichte/Buche	26/22		

Tab 3 Fallbeispiele, mit denen das Trinkwasserschutz-Tool exemplarisch durchgerechnet wurde.

		Holzernteverfahren			Holzerlös CHF/(ha × J)
		HV1 CHF/(ha × J)	HV2 CHF/(ha × J)	HV3 CHF/(ha × J)	
Fallbeispiel 1	Mehraufwand/Minderertrag	234	450	146	969
	Erntekosten	763	268	845	
Fallbeispiel 2	Mehraufwand/Minderertrag	330	464	194	969
	Erntekosten	763	268	845	
Fallbeispiel 3	Mehraufwand/Minderertrag	514	403	289	872
	Erntekosten	698	253	771	

Tab 4 Errechnete Mehraufwände und Mindererträge sowie Erntekosten je Fallbeispiel und Holzernteverfahren. Als Vergleich sind zusätzlich die Holzerlöse aufgeführt. Aufgrund der als identisch angenommenen Bewirtschaftungsintensität, Standortgüte und Laubholzanteile wurden bei den Fallbeispielen 1 und 2 die gleichen Erntekosten je Holzernteverfahren und die gleichen Holzerlöse errechnet.

durch Spjevak & Bürgi (2008) für eine Kalkulation der betriebswirtschaftlichen Auswirkungen infolge des Trinkwasserschutzes bei der Waldbewirtschaftung herangezogen. Die ausgewählten Waldstandorte in den Gemeinden Surpierre (FR), Rheinfelden (AG) und Bassins (VD) unterscheiden sich insbesondere bezüglich der Schutzzonengrösse. Für jedes Gebiet wurde ein Waldbestand ausgewählt, der für die ganze Schutzzone einen repräsentativen Charakter aufweist, vor allem hinsichtlich der Distanzen (zusätzlicher Transport des Holzes ausserhalb S3 und Betanken der Motorsäge ausserhalb S2) und der pflanzensoziologischen Gesellschaft (Erhöhung des Laubholz-Anteils; Spjevak & Bürgi 2008, Bürgi & Spjevak 2009). Die Intensität der Waldbewirtschaftung (jährliche Nutzungsmenge) sowie die Standortgüte (Bonität für Fichte und Buche) wurden für die Berechnungen bei allen Fallbeispielen als identisch angenommen. Gleichzeitig wurden für alle Schutzzonen jeweils alle drei HV berechnet, unabhängig davon, ob das gewählte HV auch der Realität entspricht. Dieses Vorgehen bildet nicht die tatsächlichen Verhältnisse in den Schutzzonen ab, ermöglicht aber eine bessere Beurteilung der Tool-Eigenschaften.

## Ergebnisse

Die Gesamtkosten für eine Grundwasserschutzzone ergeben sich aus der Summe der einzel-

nen kostenrelevanten Massnahmen je HV. Für die drei Fallbeispiele variieren sie zwischen CHF 146.– (Fallbeispiel 1, HV3) und CHF 514.– pro ha und Jahr (Fallbeispiel 3, HV1; Tabelle 4, Abbildung 3).

Der grösste Anteil an den kostenrelevanten Massnahmen resultiert aus den Mindererträgen infolge der Erhöhung des Laubholzanteils (Abbildung 3). Besonders ausgeprägt sind diese im vollmechanisierten Ernteverfahren HV2. Der Minderertrag errechnet sich aus der Differenz der erntekostenfreien Erlöse des aktuellen, nadelholzreicheren Bestandes und des angestrebten Bestandes mit höherem Laubholzanteil. Da die vollmechanisierte Holzernte die kostengünstigste Variante ist, um Holz zu ernten, und Nadelholz zudem gegenüber Laubholz derzeit höhere Erlöse am Markt erzielt, ist die Differenz zwischen den beiden erntekostenfreien Erlösen besonders gross. Dementsprechend sind auch die Mindererträge im HV2 besonders ausgeprägt.

Die hohen Mindererträge im HV2 dürfen jedoch nicht zu dem Trugschluss führen, auf den Waldflächen, die für eine vollmechanisierte Holzernte geeignet sind, das Holz zukünftig nur motormanuell (HV1) oder mit dem Seilkran (HV3) zu ernten, um damit niedrigere Entschädigungen zu erzielen. Bei diesen beiden Ernteverfahren sind die Erntekosten aufgrund der motormanuellen Arbeit, des unwegsamen Geländes und der hohen Installations- und Betriebskosten eines Seilkranes besonders hoch (Tabelle 4). Würde zum Schutz des Grundwas-

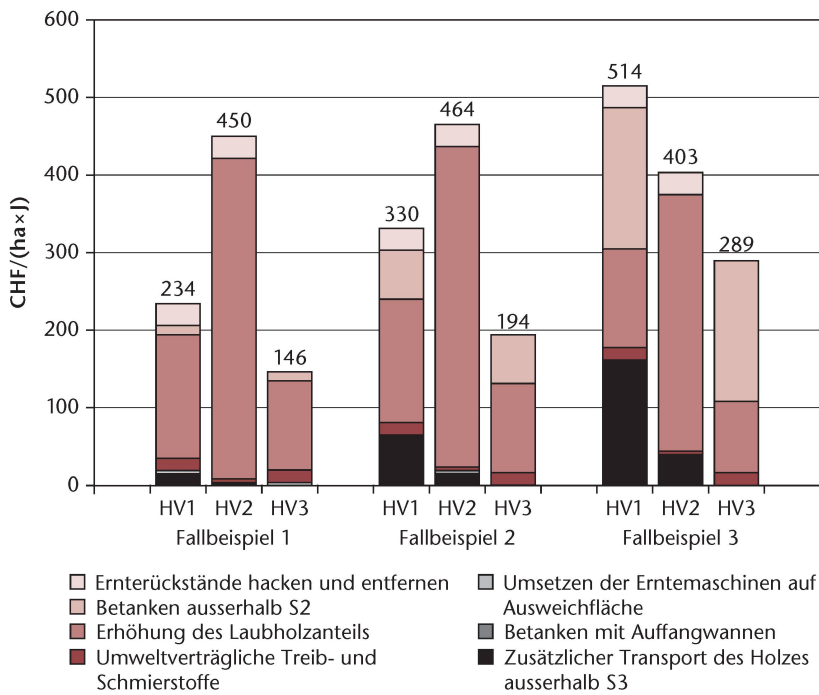


Abb 3 Verteilung der errechneten Mehraufwände und Mindererträge je Fallbeispiel und Holzernteverfahren (HV) auf die kostenrelevanten Massnahmen gemäss Tabelle 1.

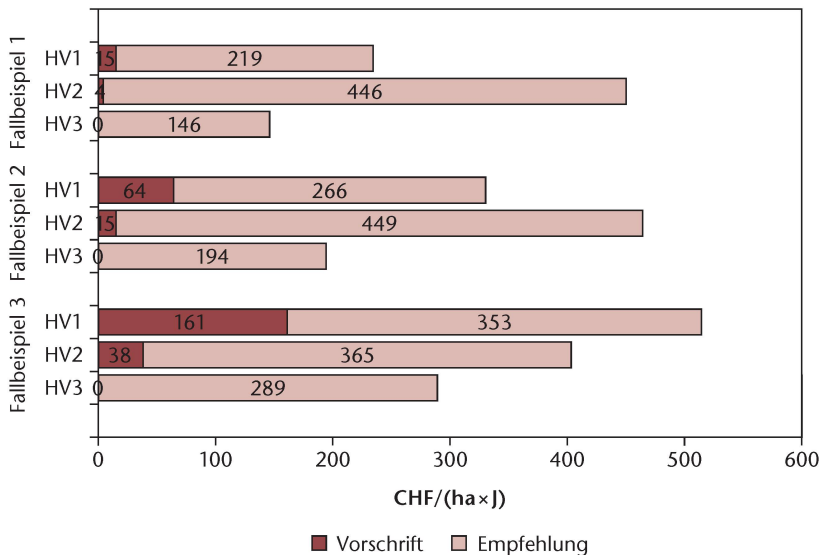


Abb 4 Aufteilung der Mehraufwände und Mindererträge je Fallbeispiel und Holzernteverfahren (HV) nach ihrem Ursprung (gesetzliche Vorschrift, Empfehlung des Bafu).

sers an den Forstbetrieb ergänzend die Forderung gerichtet, anstelle des HV2 das HV1 anzuwenden, müsste dem Betrieb zusätzlich die Differenz der Erntekosten zwischen den Verfahren entschädigt werden. Im Falle des ersten Beispiels müssten daher zu den CHF 234.– pro ha und Jahr weitere CHF 495.– (763.– minus 268.–; vgl. hervorgehobene Zahlen in Tabelle 4) addiert werden. Bei der Ermittlung der Mehraufwände und Mindererträge mit dem Trinkwasserschutz-Tool muss deshalb immer das HV ausgewählt werden, welches der jeweiligen Geländesituation entspricht.

Die zusätzlichen Kosten für das Betanken der Motorsäge ausserhalb der Schutzzone S2 und

der zusätzliche Transport des Holzes stehen in der Gesamtbetrachtung an zweiter Stelle. Bei kleinen Schutzzonen (Fallbeispiel 1) sind diese noch unbedeutend, aber mit steigender Flächengrösse der Schutzzone steigen diese Kosten stark an, da weitere Marsch- und Rückedistanzen zurückgelegt werden müssen (siehe HV1 und HV3 im Fallbeispiel 3).

Einen geringeren Einfluss auf die Gesamtkosten haben die Mehraufwände für das Entfernen von Ernterückständen und die Verwendung von umweltverträglichen Treib- und Schmierstoffen. Der Mehraufwand für die Anschaffung von Auffangwannen (HV1 und HV3) und für das Umsetzen der Maschinen (HV2) spielen für die Gesamtkosten pro Hektar und Jahr so gut wie keine Rolle.

Ein Vergleich der Mittelwerte aus den HV je Fallbeispiel mit den Ergebnissen von Spjevak & Bürgi (2008) zeigt, dass die Abweichungen in den Gesamtkosten der beiden Studien lediglich 7% bis 13% betragen. Diese Unterschiede lassen sich aber durch die differenzierte Berechnung anhand von drei HV und durch teilweise veränderte Berechnungsmethoden erklären (Blatter et al 2012a).

Das Verhältnis von gesetzlichen Vorschriften zu Empfehlungen liegt, wie Abbildung 4 zeigt, über alle Fallbeispiele und HV hinweg bei etwa 1 zu 9. Die Empfehlungen des Bafu machen demnach den wesentlichen Teil am Mehraufwand und Minderertrag aus. Bei den Empfehlungen handelt es sich um freiwillige, auf optimalen Wasserschutz ausgerichtete Leistungen der Forstbetriebe, die über die gesetzlichen Vorgaben hinausgehen. Der daraus entstehende Mehraufwand und Minderertrag müsste den Forstbetrieben als Anbieter von Wasserschutzleistungen mindestens ausgeglichen werden, wenn die alternative wasserschutzbezogene Waldbewirtschaftung zu einer erwerbswirtschaftlich ausgerichteten forstlichen Bewirtschaftung wirtschaftlich äquivalent sein soll (Rüping 2009).

## Fazit

Durch die Einhaltung der gesetzlichen Vorschrift sowie der Berücksichtigung der Empfehlungen des Bafu bei der Waldbewirtschaftung innerhalb von Grundwasserschutzzonen entstehen den Forstbetrieben Mehraufwände und Mindererträge. Das hier vorgestellte Trinkwasserschutz-Tool ermöglicht es, diese unter Beachtung von zonenspezifischen Eigenschaften und Bewirtschaftungsmethoden schnell und einfach zu berechnen.

Die mit dem Tool ermittelten Ergebnisse können eine wesentliche Grundlage für die Kommunikation zwischen den Waldbewirtschaftern und den Wasserversorgern im Rahmen der Inwertsetzung der wasserwirtschaftlichen Leistungen der Forstwirtschaft bilden. Die Ergebnisse sind aber nicht als ab-

solut anzusehen, sondern sie verstehen sich als Richtwerte. Zudem kann jeder Forstbetrieb, der in Verhandlungen mit Wasserversorgern tritt, selbst entscheiden, für welche der kostenrelevanten Massnahmen er Entschädigungen aushandeln möchte.

Für die Benutzung des Tools wäre es ideal, wenn die örtlichen Revierleiter gemeinsam mit den zuständigen Wasserversorgern den Mehraufwand und Minderertrag für ihre Grundwasserschutzzone berechnen würden. Aus der Zusammenarbeit ergibt sich automatisch ein gegenseitiges Vertrauen und ein Vertrauen in die Resultate. Dies ist wiederum eine wesentliche Voraussetzung für eine sachliche Diskussion im Rahmen der Inwertsetzung von Waldleistungen.

Für die effektive Bestimmung der Mindererträge infolge der Erhöhung des Laubholzanteils gilt es für die Zukunft zu überlegen, ökonomische Entscheidungshilfen anzuwenden, die stärker auf den aktuell vorhandenen, verschieden aufgebauten und oft nicht den Optimalvorstellungen entsprechenden Waldbeständen aufbaut. Möhring & Rüping (2007) beschreiben hierzu ein Bewertungskonzept für forstliche Nutzungsbeschränkungen, anhand dessen mit jährlichen Holzproduktionswerten unterschiedliche Bewertungsfälle berechnet werden können. Der Kapitalwert wird dabei in jährlich konstante Zahlungsgrössen (sogenannte Annuitäten) umgerechnet (Möhring et al 2006). Die Herleitung der Annuitäten erfolgt dabei in Abhängigkeit des Bestandesalters und der angestrebten Umtriebszeit. Dies ermöglicht im Vergleich zum aktuellen Ansatz, der vor allem eine andere Baumartenwahl berücksichtigt, eine flexible Quantifizierung des Wertverlustes infolge:

- einer vorzeitigen Auflichtung und Ernte der vorhanden Bestockungen, um sie durch andere Baumarten zu ersetzen,
- eines Aufschubs oder eines vorübergehenden Verzichts auf forstliche Produktion und
- einer langfristigen Erhaltung von Bestockungen über die eigentliche Hiebsreife hinaus (Nutzungsverzicht).

Dieses Bewertungskonzept liesse sich daher auch auf Bewertungsfragen im Zusammenhang mit Nutzungseinschränkungen bei Waldreservaten und der Erhöhung des Totholzanteils zum Schutz der Biodiversität übertragen. Um die entsprechenden Annuitäten effizient und flexibel (Standorte, Holzernnteverfahren, Holzerlöse, Qualitäten, Zinssätze) herzuleiten, bedarf es jedoch der Entwicklung geeigneter Simulationsmodelle.

Für die Zukunft wäre es ebenfalls sinnvoll, dieses Bewertungskonzept einer räumlichen Anwendung, in Form eines geografischen Informationssystems (GIS), zugänglich zu machen. Denn aus forstbetrieblicher Sicht ist bei strategischen Überlegungen stets der Blick auf den gesamten Forstbetrieb von Bedeutung. Durch die Verknüpfung mit einem

GIS-gestützten Planungsinstrument würden Karten zur Verfügung stehen (z.B. Bestandeskarten, digitale Geländemodelle), die für die räumliche Planung und Bewertung von wasserwirtschaftlichen Leistungen vorteilhaft und hilfreich sind (Rüping 2009). Dadurch könnten zum Beispiel wesentliche Bestandeskennwerte direkt in die Berechnungen eingebunden und die Geländebeziehungen für die Herleitung der Holzerntekosten besser beurteilt werden. ■

*Eingereicht: 28. März 2012, akzeptiert (mit Review): 21. Juni 2012*

## Download

Der Schlussbericht, das Benutzerhandbuch sowie das Trinkwasserschutz-Tool selbst können unter folgendem Link kostenlos heruntergeladen werden: [www.wsl.ch/dienstleistungen/produkte/software/index\\_DE](http://www.wsl.ch/dienstleistungen/produkte/software/index_DE)

## Dank

Die Autoren danken der Abteilung Wald des Bundesamts für Umwelt für die Unterstützung dieses Projektes.

## Literatur

- ASCHE N, DOHMEN H, DAME G, NOLTE N, HUSEMANN T (2007) Grundwasserschutz durch intensivierte Biomassenutzung. Allg Forst Z Waldwirtsch Umweltvorsorge 62: 594–597.
- BLATTERT C, BÜRGI A, LEMM R, THÖNY S (2012A) Trinkwasserschutz-Tool – Berechnung von Mehraufwand und Minderertrag infolge des Trinkwasserschutzes im Wald. Schlussbericht. Bern: Bundesamt Umwelt. 60 p.
- BLATTERT C, BÜRGI A, LEMM R (2012B) Trinkwasserschutz-Tool – Berechnung von Mehraufwand und Minderertrag infolge des Trinkwasserschutzes im Wald. Benutzerhandbuch. Bern: Bundesamt Umwelt. 27 p.
- BRÄNDLI UB, EDITOR (2010) Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der dritten Erhebung 2004–2006. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anstalt WSL. 312 p.
- BÜRGI A, SPJEVAK S (2009) Grundwasserschutz im Wald kostet. Wald Holz 90 (2): 30–33.
- BUWAL (2003) Grundwasser. Bern: Bundesamt Umwelt Wald Landschaft. 31 p.
- BUWAL (2004) Wegleitung Grundwasserschutz. Bern: Bundesamt Umwelt Wald Landschaft, Vollzug Umwelt. 141 p.
- BUWAL (2005) Grundwasserschutz im Wald. Bern: Bundesamt Umwelt Wald Landschaft. Merkblatt Vollzug Umwelt. 6 p.
- HÄSSIG J, ZIMMERMANN S, WALDNER P, THEES O, LEMM R (2009) Ein Modell zur Bewertung des Nährstoffentzugs durch die Holzernte. Erste Anwendung bei intensivierter Energieholznutzung im Schweizer Mittelland. In: Thees O, Lemm R, editors. Management zukunftsfähige Waldnutzung. Zürich: VDF Hochschulverlag. pp. 191–223.
- HEGG C, JEISY M, WALDNER P (2004) Wald und Trinkwasser – eine Literaturstudie. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anstalt WSL. 60 p.
- KAUFMANN G, STAEDELI M, WASSER B (2010) Grundanforderungen an den naturnahen Waldbau. Bern: Bundesamt Umwelt. 29 p.

- LEMM R ET AL (2010) Ein Modell zur Bilanzierung des holzerntebedingten Nährstoffentzugs auf Schweizer Waldböden. *Schweiz Z Forstwes* 161: 401–412. doi: 10.3188/szf.2010.0401
- LUNDBORG A (1997) Reducing the nitrogen load: Whole-tree-harvesting: A literature review. *Ambio* 26: 387–393.
- LÜSCHER P, FRUTIG F, SCIACCA S, SPJEVAK S, THEES O (2010) Physikalischer Bodenschutz im Wald, Bodenschutz beim Einsatz von Forstmaschinen. Birmensdorf: Eidgenöss. Forsch.anstalt WSL, Merkblatt Praxis. 12 p.
- MOXTER A (1983) Grundsätze ordnungsgemässer Unternehmensbewertung. Wiesbaden: Gabler. 234 p.
- MÖHRING B, RÜPING U, LEEFKEN G, ZIEGLER M (2006) Die Anuität – ein «missing link» der Forstökonomie. *Allg Forst-Jagdztg* 177: 21–29.
- MÖHRING B, RÜPING U (2007) Bewertungskonzept für forstliche Nutzungsbeschränkungen. *Allg Forst Z Waldwirtsch Umweltvorsorge* 62: 487–489.
- ROTHER A, MELLERT KH (2004) Effects of forest management on nitrate concentrations in seepage water of forests in southern Bavaria, Germany. *Water Air Soil Pollut* 156: 337–355.
- RÜPING U (2009) Wasserschutz im Wald – betriebswirtschaftliches Bewertungskonzept und institutionelle Umsetzungsinstrumente. Frankfurt: Sauerländer. 256 p.
- SCHLEPPI P, WALDNER P, HEGG C (2003) Einfluss des Waldes auf Nitrat-Gehalte im Wasser. *Bündnerwald* 56 (4): 27–30.
- SCHLEPPI P (2011) Forested water catchments in a changing environment. In: Bredemeier M et al, editors. *Forest management and the water cycle: an ecosystem-based approach*. Berlin: Springer. pp. 89–110. doi: 10.1007/978-90-481-9834-4\_5
- SPJEVAK S, BÜRGI A (2008) Mehraufwand/Minderertrag in der Waldwirtschaft infolge des Trinkwasserschutzes. Birmensdorf: Eidgenöss. Forsch.anstalt WSL. 37 p.
- USBECK T, THÖNY S, BÜRGI A, LEMM R (2010) Mehrkosten und Mindererträge in den forstlichen Produktionsregionen der Schweiz infolge des Grundwasserschutzes. Birmensdorf: Eidgenöss. Forsch.anstalt WSL. 40 p.
- WENGER W (2002) Bedeutung des Waldes für die Trinkwassergewinnung. Freising: Bayer Landesanstalt Wald Forstwirtschaft, LWF aktuell 34 (11): 3–8.

## Berechnung von Mehraufwand und Minderertrag infolge des Trinkwasserschutzes im Wald

In der Schweiz stammt ein wesentlicher Teil des Trinkwassers aus Grundwasserfassungen im Wald. Um die für die Trinkwasserbereitstellung bedeutenden Waldgebiete vor Verunreinigungen zu bewahren, werden diese aufgrund der Gewässerschutzverordnung (GSchV) durch Grundwasserschutzzonen geschützt (Kernzone S1, engere Schutzzone S2, weitere Schutzzone S3). Die Zuweisung einer Waldfläche zu einer Schutzzone ist mit gesetzlichen Vorgaben sowie mit Empfehlungen für die Waldbewirtschaftung verbunden, welche bei den Forstbetrieben zu zusätzlichen Kosten führen. Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt wurde ein Excel-Tool entwickelt, mit dessen Hilfe der Mehraufwand und der Minderertrag schnell und einfach berechnet werden können. Für die Abbildung der Vorgaben im Tool wurden Massnahmen definiert, wie sie in der forstlichen Praxis auftreten (z.B. keine chemische Behandlung von Holz in den Schutzzonen S2 und S3, Verwendung von umweltverträglichen Treib- und Schmierstoffen). Die Massnahmen wurden anschliessend in mathematische Formeln zur Quantifizierung der zusätzlichen Kosten umgesetzt. Dabei wurde zwischen drei in der Praxis gängigen Standard-Holzernteverfahren unterschieden, einem motormanuellen Ernteverfahren, einem vollmechanisierten Ernteverfahren und einem Ernteverfahren für Steillagen. Die mit dem Trinkwasserschutz-Tool ermittelten Ergebnisse können im Rahmen der Diskussion zur Inwertsetzung der wasserwirtschaftlichen Leistungen der Waldwirtschaft eine wesentliche Grundlage für die Kommunikation zwischen Waldbewirtschaftern und Wasserversorgern bilden. Die Ergebnisse, die das Tool liefert, sind aber nicht als absolut anzusehen, sondern sind als Richtwerte zu betrachten.

## Calcul de l'augmentation des coûts et de la diminution du rendement liées à la protection de l'eau potable en forêt

En Suisse, une grande partie de l'eau potable est captée dans les eaux souterraines en forêt. Afin de préserver de toute pollution les aires forestières importantes pour la mise à disposition d'eau potable, des zones de protection des eaux souterraines (zone de captage S1, zone de protection rapprochée S2, zone de protection éloignée S3) sont délimitées dans le cadre de l'Ordonnance sur la protection des eaux (OEau). La désignation d'une zone de protection dans une aire forestière s'accompagne des directives légales et des recommandations qui influencent la gestion des forêts et entraînent des coûts supplémentaires pour les entreprises forestières. Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), un outil Excel a été développé afin d'aider à calculer rapidement et aisément l'augmentation des coûts et la diminution du rendement. Pour représenter les directives dans l'outil en question, des actions ont été définies telles qu'elles se présentent en pratique forestière (p. ex. pas de traitement chimique du bois dans les zones S2 et S3, utilisation de carburants et lubrifiants non polluants). Ces actions ont été ensuite converties en formules mathématiques permettant de quantifier les coûts supplémentaires. Trois méthodes standard de récolte du bois couramment utilisées en pratique ont été distinguées à cet effet: une récolte partiellement mécanisée, une récolte entièrement mécanisée et une récolte sur les terrains en pente. Les résultats obtenus par cet outil de protection de l'eau potable constituent une base essentielle à la communication entre les gestionnaires forestiers et les approvisionneurs d'eau, lors des discussions sur la valorisation des prestations de l'économie forestière en matière de gestion des eaux. Ces résultats ne devraient toutefois pas être considérés comme absolus, mais plutôt comme des valeurs indicatives.