

Vorbeugender Hochwasserschutz durch Wald und Forstwirtschaft in Bayern

Ergebnisse eines Demonstrationsvorhabens

BAYERISCHE
STAATSFORSTVERWALTUNG



**Vorbeugender Hochwasserschutz
durch Wald und Forstwirtschaft
in Bayern**
Ergebnisse eines Demonstrationsvorhabens

Titelbild: Zahmer und wilder Halblech [Fotos: JÖRG, SCHNELL, Montage: KENNEL]

ISSN 0945 – 8131

Herausgeber und
Bezugsadresse: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF)
Am Hochanger 11
85354 Freising
Tel. / Fax 08161 - 71 - 4881 / - 4971
E-mail: poststelle@fo-lwf.bayern.de *
Internet: www.lwf.uni-muenchen.de/

Verantwortlich: Olaf Schmidt, Leiter der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft

Autor: Dr. Martin Kennel
Projektbearbeiter (LWF): Dr. Martin Kennel
Jose Canalejo
Alexander Schnell
Armin Troycke
Enno Uhl

Projektsteuerungsgruppe:
Leitung: Olaf Schmidt, LWF
Mitglieder: Dr. Alfred Fuchs, Forstamt Freising
Klaus Dinsler, Funktionsstelle Schutzwaldsanierung, Forstamt Sonthofen
Alois Zollner, Waldarbeitsschule Laubau
Dirk Schmechel, Forstdirektion Oberbayern-Schwaben
(ab 1.7.2003 Kessler)
Hans-Ulrich Sinner, LWF SG 1
Prof. Dr. Teja Preuhsler, LWF SG 2
Dr. Reinhard Mößmer, LWF SG 3
Dr. Gunter Ohrner, LWF SG 4
Hans-Jürgen Gulder, LWF SG 5
Dr. Martin Kennel, LWF

Redaktion und
Schriftleitung: Dr. Alexandra Wauer

Druck: Lerchl-Druck, Freising

Auflage: 750

Alle Rechte vorbehalten.

Nachdruck, auch auszugsweise, sowie fotomechanische und elektronische Wiedergabe nur mit Genehmigung des Herausgebers.

© Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Mai 2004

Vorwort

Zwischen Wald und Wasser besteht ein besonderer Zusammenhang. Zum einen prägt Wasser manche Waldgesellschaften wie Au- und Bruchwälder ganz entscheidend. Andererseits beeinflussen Wälder und ihre Böden das Wasser in seiner Qualität, seinem Versickerungs- und Abflussverhalten. Als Mensch profitieren wir davon in besonderer Weise, sei es als sauberes Trinkwasser oder in Form eines verbesserten Hochwasserschutzes. Gerade Letzteres wurde uns mit den jüngsten Hochwasserereignissen wie dem Pfingsthochwasser 1999 in Bayern oder dem katastrophalen Hochwasser des Sommers 2002 an der Elbe nur allzu deutlich vor Augen geführt.

Grundvoraussetzung für einen erfolgreichen und nachhaltigen Hochwasserschutz ist eine ursachenorientierte und integrierte Hochwasserschutzstrategie. Mit dem Aktionsprogramm 2002 hat Bayern die Grundlage für eine moderne Hochwasserschutzpolitik geschaffen. Das Programm beruht auf drei wichtigen Säulen: Dem vorbeugenden und technischen Hochwasserschutz sowie der weitergehenden Hochwasservorsorge.

Insbesondere beim vorbeugenden Hochwasserschutz, also dem natürlichen Rückhalt des Niederschlagswassers auf der Fläche, fällt neben den landwirtschaftlichen Flächen vor allem den Wäldern und ihren Böden die entscheidende Rolle zu. Mit dem im Jahr 2000 initiierten Maßnahmenpaket zum vorbeugenden Hochwasserschutz in der Land- und Forstwirtschaft wird diese Aufgabe mit Leben erfüllt. Einen Beitrag dazu leistet auch das von der LWF konzipierte Demonstrationsvorhaben Vorbeugender Hochwasserschutz durch Wald- und Forstwirtschaft in Bayern.

Wolfgang Sailer

Ministerialrat

Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Methodik.....	5
3	Ergebnisse.....	7
	3.1 Hydrologische Grundlagen (Ergebnisse der Literaturrecherche).....	7
	3.1.1 Hydrologie des Wasserabflusses.....	7
	3.1.2 Wasserabfluss aus Wäldern und anderen Landnutzungsarten.....	11
	3.1.3 Einflussfaktoren des Hochwasserabflusses aus Waldgebieten.....	16
	3.2 Versuch einer monetären Bewertung der Wirkungen des Waldes auf den Hochwasserabfluss.....	19
	3.2.1 Ersatzkostenansatz.....	20
	3.2.2 Produkt-Funktions-Ansatz.....	21
	3.2.3 Bewertung der Ergebnisse der monetären Abschätzungen.....	22
	3.3 Rechtliche Rahmenbedingungen für den Hochwasserschutz im Wald.....	23
	3.4 Sicherung der Hochwasserschutzfunktion von Wäldern.....	25
	3.4.1 Wald im Wassereinzugsgebiet (speziell Bergwald).....	25
	3.4.2 Feuchtstandorte im Wald (speziell Moore).....	31
	3.4.3 Auwälder.....	35
4	Diskussion der Ergebnisse.....	40
	4.1 Wirksamkeit des Waldes im Einzugsgebiet für den vorbeugenden Hochwasserschutz.....	40
	4.2 Wirksamkeit des Waldes in den Flussauen für den vorbeugenden Hochwasserschutz.....	41
	4.3 Monetäre Bewertung der Hochwasserschutzfunktion von Wäldern.....	42
	4.4 Wirksamkeit von Öffentlichkeitsarbeit zum Nutzen des Waldes für den Hochwasserschutz.....	42
	4.5 Auswirkungen der Klimaänderung auf die Hochwassergefährdung.....	48
5	Verwertbarkeit der Ergebnisse.....	49
	5.1. für die forstliche Praxis.....	49
	5.2. für die forstliche Wissenschaft.....	50
	5.3 Anregungen für weitere Untersuchungen.....	51
6	Zusammenfassung.....	52
7	Literatur.....	54
8	Verzeichnis der Abbildungen.....	58
9	Verzeichnis der Tabellen.....	60
10	Anhang.....	61

1 Einleitung

In den letzten Jahren verursachten in Mitteleuropa, darunter auch in Bayern (Abbildung 1, Tabelle 1) mehrere extreme Hochwässer erhebliche Personen- und hohe Sachschäden. Die Fluten überschritten zum Teil großräumig die Ausmaße eines 100-jährlichen Hochwassers, auf das üblicherweise die Bemessung technischer Hochwasserschutzeinrichtungen ausgerichtet ist.

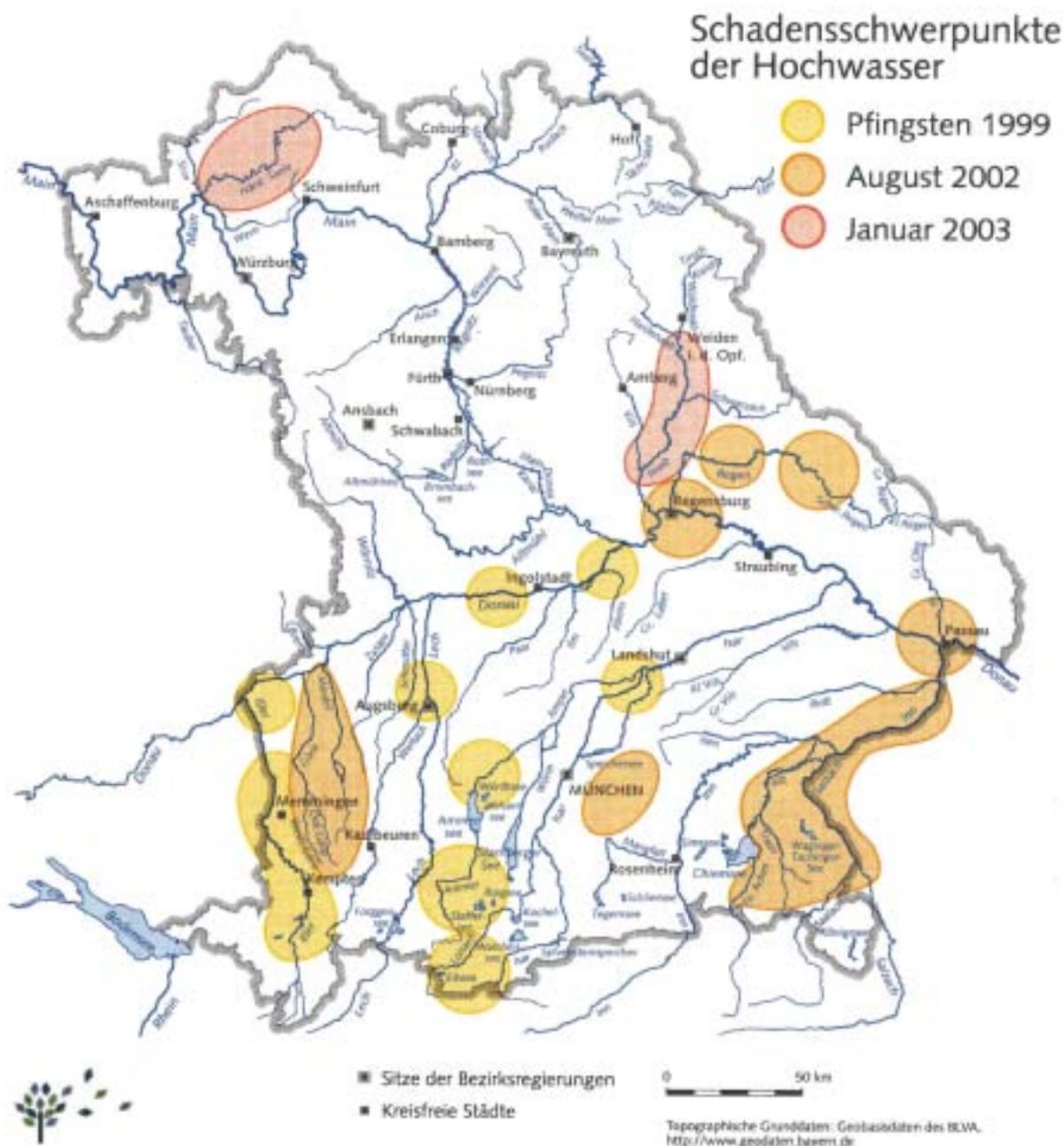


Abb. 1: Schadensschwerpunkte der Hochwasser 1999-2003 in Bayern (BayStMLU 2003)

Die „Elbeflut 2002“ war für Mitteleuropa eine der schwersten Überschwemmungskatastrophen seit dem Mittelalter, vergleichbar mit der „Jahrtausendflut“ vom August 1342. Aus diesem Jahr sind fast überall in Mitteleuropa Höchstwasserstände dokumentiert. Die Personen- und volkswirtschaftlichen Schäden waren beträchtlich (Tabelle 1). Ein noch größeres Ereignis wie das des Jahres 1342 würde „die Versicherer heute vor eine große Herausforderung stellen“ (MÜNCHENER RÜCKVERSICHERUNGSGESELLSCHAFT 2003).

Vor dem Hintergrund vermuteter, anthropogen bedingter Klimaänderungen, die zu globalen wie auch regionalen Veränderungen in der Häufigkeit und Intensität von Hochwassern führen können, gewinnt das Thema noch zusätzlich an Brisanz (BMU 2003).

Tab. 1: Die teuersten Hochwasser seit 1990 in Deutschland und weltweit (KRON 2002; MÜNCHENER RÜCKVERSICHERUNGSGESELLSCHAFT 2003)

Hochwasserereignis	Volkswirtschaftlicher Schaden	davon versichert	Zahl der Toten
Deutschland und Mitteleuropa			
8/2003 Elbe, Donau	D: > 9,2 Mrd. € Mitteleuropa: > 18,5 Mrd. €	20 % 17 %	21
12/1993 Mittelrhein, Saar, Mosel, Nahe, Neckar	0,6 Mrd. \$	30 %	
5/1999 Donau, südliche Donaunebenflüsse	0,43 Mrd. \$	10 %	5
8/1997 Oder	D: 0,36 Mrd. \$ gesamt: 5,9 Mrd. \$	10 %	
1/1995 Main, Nahe, Mittel-, Niederrhein, nördliche Donaunebenflüsse	0,32 Mrd. \$	41 %	
Weltweit			
1998 China Yangtze, Songhua	30,7 Mrd. \$	3 %	
1996 China Yangtze, Huang Ho	24 Mrd. \$	2 %	2.700
1993 USA Missouri, Mississippi	21 Mrd. \$	6 %	41

Nach dem „Pfingst-Hochwasser“ im Mai 1999 entwickelte die Bayerische Staatsregierung das Programm „Nachhaltiger Hochwasserschutz in Bayern - Aktionsprogramm 2020 für Donau- und Maingebiet“ und stattete es mit einem Investitionsvolumen von etwa 2,3 Mrd. € bis zum Jahr 2020 aus (BAYERISCHER LANDTAG 2003). Nach dem Hochwasser 2002 verabschiedete dann auch die Bundesregierung ein Fünf-Punkte-Programm zur Verbesserung des vorbeugenden Hochwasserschutzes.

Das Programm der Bayerischen Staatsregierung umfasst, symbolisch meist als drei Säulen dargestellt, Maßnahmen

- zum vorbeugenden Hochwasserschutz in der Fläche,
- zum technischen Hochwasserschutz,
- zur weitergehenden Hochwasservorsorge.

Das erste Maßnahmenpaket, vorbeugender Hochwasserschutz in der Fläche, sieht insbesondere die Gewässerentwicklung bzw. Renaturierung von Gewässern I. und II. Ordnung sowie die

Reaktivierung von natürlichen Rückhalteräumen vor. Dabei wird in der bereits genannten Landtagsdrucksache ausdrücklich auch auf die Maßnahmen des kürzlich begonnenen „Auenprogramms Bayern“ sowie auf die Daueraufgabe der Schutzwaldsanierung in Zusammenarbeit mit der Bayerischen Staatsforstverwaltung verwiesen.

1.	Vorbeugender Hochwasserschutz - Rückhalt in der Fläche	Zeithorizont
-	Gewässerentwicklungspläne für Gew I und II	bis 2006
-	Renaturierung von 2.500 km Gewässerstrecke bzw. 10.000 ha Uferfläche	bis 2020
-	Reaktivierung natürlicher Rückhalteräume	bis 2020

Die Umsetzung des Auenprogramms Bayern (derzeit in Aufstellung) und die Schutzwaldsanierung in Zusammenarbeit mit der Bayerischen Staatsforstverwaltung bleiben Daueraufgabe.

2.	Technischer Hochwasserschutz	Zeithorizont
-	Hochwasserschutz der Städte und Gemeinden für weitere 300.000 Einwohner	bis 2020
-	Deichnachsorgeprogramm (200 km Deiche mit höchster Priorität)	bis 2008
-	Hochwasserspeicher-Neubau (Furth im Wald, Goldbergsee)	bis 2020
-	Gesteuerter Hochwasserrückhalt (sog. Polder) mit mindestens 30 Mio. m ³ Rückhaltevolumen	bis 2020

Des Weiteren werden in den nächsten Jahren verstärkt Hochwasserschutzmaßnahmen an den Wildbächen durchgeführt.

3.	Weitergehende Hochwasservorsorge	Zeithorizont
-	Ermittlung und Festsetzung von Überschwemmungsgebieten (Gew. I, II und größere Gew III)	bis 2006
-	Ausweisung von Vorrangflächen für den Hochwasserschutz in den Regionalplänen	bis 2003
-	Innovationsprogramm Hochwassernachrichtendienst	bis 2004
-	Modellgesteuertes Hochwassermanagement und Speicherbewirtschaftung	bis 2020
-	Pilotvorhaben Lechstudie	bis 2004

Abb. 2: Maßnahmen zur Umsetzung des Programms „Nachhaltiger Hochwasserschutz in Bayern -Aktionsprogramm 2020 für Donau und Maingebiet“ (Bayerischer Landtag, Drucksache 14/11227)

Aber auch die vorgesehenen Maßnahmen zum technischen Hochwasserschutz haben enge Berührungspunkte zum Wald. Insbesondere Maßnahmen wie Deichsanierung oder Deichrückverlegung, die Anlage gesteuerter Rückhaltebecken (Polder) in den Flussauen sowie die verstärkten Hochwasserschutzmaßnahmen an Wildbächen zählen dazu. Ebenso können die raumordnerischen Maßnahmen der weitergehenden Hochwasservorsorge, etwa Vorrangflächen für den Hochwasserschutz in Regionalplänen auszuweisen, forstlich bedeutsam werden. Für den Wald und die Landwirtschaft erstellte das Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten ebenfalls beginnend im Jahr 1999 ein umfassendes Maßnahmenpaket „Vorbeugender Hochwasserschutz in der Land- und

Forstwirtschaft“ (BayStMLF 2000). Die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft wurde beauftragt, das Maßnahmenpaket für den Bereich des Waldes im Rahmen eines Stufenprogramms auszuarbeiten. Als erste Stufen richtete die LWF im Jahr 2001 einen international besetzten Experten-Workshop (MÖBMER, R. 2003a) sowie ein Fachsymposium „Vorbeugender Hochwasserschutz - was können Wald und Forstwirtschaft beitragen?“ aus (LWF 2003). Im Januar 2003 beauftragte das Staatsministerium die LWF, auf diesen Ergebnissen aufbauend, das Pilotprojekt zum „Vorbeugenden Hochwasserschutz durch Wald und Forstwirtschaft in Bayern“ im Zeitraum 1.2.-31.7.2003 durchzuführen. Ziel war, die vorbeugende Hochwasserschutzfunktion von Waldflächen in verschiedenen Raumeinheiten (Einzugsgebiet - Talauen) herauszustellen, wobei konkrete Maßnahmenplanungen für je ein Beispielsgebiet im Alpenraum und an der Mittleren Isar in Abstimmung mit den Fachstellen der Wasserwirtschaft erarbeitet werden sollten.

Tab. 2: Ziele und Fragestellungen des Demonstrationsvorhabens

Demonstrationsvorhaben: Vorbeugender Hochwasserschutz durch Wald und Forstwirtschaft in Bayern
Ziele: Herausstellen der vorbeugenden Hochwasserschutzfunktion von Waldflächen in verschiedenen Teilräumen (Einzugsgebiet - Talauen) Erstellen einer Präsentation der Ergebnisse für einen Öffentlichkeitstermin von Staatsminister Miller
Fragestellungen: Welche Leistungen erbringt der Wald für den vorbeugenden Hochwasserschutz? Lassen sich die Leistungen quantifizieren bzw. monetär bewerten? Durch welche forstlichen Maßnahmen lässt sich die Wirkung des Waldes für den vorbeugenden Hochwasserschutz in den verschiedenen Teilräumen sichern bzw. verbessern?
Produkte: Redetext und Power-Point-Präsentation für Öffentlichkeitstermin von Staatsminister Miller Drei Informationsblätter über Beispielsgebiete des Demonstrationsvorhabens für Pressemappe Vier Posterdarstellungen „Hochwasserschutz durch Wald und Forstwirtschaft in Bayern“ Abschlussbericht

Um das Projekt zu bearbeiten, wurde an der LWF eine Steuerungsgruppe eingerichtet, die Präsident Schmidt leitete. Neben den Sachgebietsleitern und Mitarbeitern der LWF gehörten ihr auch je ein Vertreter der Forstdirektion Oberbayern-Schwaben, der Funktionsstelle Schutzwaldsanierung am Forstamt Sonthofen, der Waldarbeitsschule Laubau sowie der Leiter des Forstamtes Freising an.

2 Methodik

Literaturrecherche Wald und Hochwasser

Grundlage für die Bearbeitung des Demonstrationsvorhabens bildete zunächst eine Literaturrecherche zum Kenntnisstand über die Hydrologie des Hochwassers, zu den Wirkungen des Waldes und der Waldbewirtschaftung auf das Hochwassergeschehen, zu den Leistungen des Waldes für den vorbeugenden Hochwasserschutz sowie zu forstlichen Maßnahmen und Programmen zum vorbeugenden Hochwasserschutz.

Monetäre Bewertung

Zur überschlägigen monetären Bewertung der Leistungen des Waldes für den Hochwasserschutz wurde ein Alternativkostenansatz (GROTTKER 1999) verwendet. Er beruht auf Kostenschätzungen für technische Hochwasserschutzbauwerke, die die Hochwasserschutzwirkung eines Waldes gleichwertig ersetzen. Weiterhin wurde ein Produkt-Funktions-Ansatz, beruhend auf flächenbezogenen Hochwasser-Schadenserwartungswerten für Szenarien unterschiedlicher Waldbedeckung und der dadurch veränderten hochwasserstatistischen Auftretenswahrscheinlichkeiten verwendet.

Beispielsgebiete

Zur Analyse der Leistungen des Waldes für den Hochwasserschutz und zur Bewertung funktionssichernder oder verbessernder forstlicher Maßnahmen bzw. Programme in verschiedenen Teilräumen wurden zunächst in Abstimmung mit dem Staatsministerium und der Projektsteuerungsgruppe drei Beispielsgebiete ausgewählt. Auf Vorschlag der Steuerungsgruppe wurde zu den vorgegebenen Teilräumen Bergwald und Auwald zusätzlich ein Mooregebiet als Beispiel für die zahlreichen Feuchtgebiete im Wald (neben Mooren auch Quellfluren und kleinere Waldbäche) einbezogen.

Tab. 3: Beispielsgebiete, die im Demonstrationsvorhaben untersucht wurden

Wälder im Einzugsgebiet	Bergwald Wassereinzugsgebiet Halblech	Private Waldkörperschaft Buching-Trauchgau und Gemeindewald Halblech im Forstamtsbereich Füssen
Wälder in den Talauen	Auwälder Mittlere Isar	Bayerische Staatsforstverwaltung, Forstamt Freising
Feuchtgebiete	Hochmoor Schönramer Filz	Bayerische Staatsforstverwaltung, Forstamt Traunstein

Bergwald

Um die Hochwasserschutzwirkung im Bergwaldgebiet Halblech zu quantifizieren, wurde im Demonstrationsvorhaben erstmals eine am Institut für Lawinen und Wildbachforschung des Österreichischen Bundesamtes und Forschungszentrums für Wald (BFW) in Innsbruck in Zusammenarbeit mit dem Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft neu entwickelte Methode zur praxistauglichen Abschätzung des Oberflächenabflusses von unterschiedlichen Vegetationsflächen im Bergland angewendet (MARKART et al. 2001). Das Verfahren beruht auf den Ergebnissen einer

Vielzahl von wissenschaftlichen Starkregen-Beregnungsversuchen auf ca. 500 Berglandstandorten. Es erlaubt, bezogen auf ein definiertes Starkregenereignis von 100 mm Niederschlagshöhe innerhalb von einer Stunde, die Quantifizierung des für die Hochwasserbildung relevanten Oberflächenabflussbeiwertes. Außerdem ermöglicht es, abzuschätzen, wie Bestockungsmerkmale (Dichte, Baumartenzusammensetzung), Bewirtschaftungsmaßnahmen (Kahlschlag, Beweidung, Befahrung) oder Störungen (Sturmwurf, Waldschäden, Insektenschäden) den Abflussbeiwert beeinflussen. Die zur Anwendung der Abflussbeiwertmethode erforderlichen Bestockungsmerkmale (Baumartenzusammensetzung, Bestockungsdichte, Altersaufbau) wurden im Demonstrationsvorhaben aus der Analyse von an der LWF vorliegenden Luftbildern aus dem Jahr 1992 ermittelt, die die Sturmschadensflächen des Jahres 1990 und die Borkenkäferschäden der folgenden Jahre erfassen. Als sehr gut geeignete Grundlage zur Ermittlung der erforderlichen Standortmerkmale konnte dank der Zustimmung der Waldbesitzer die für den Wald der Waldkörperschaft Buching-Trauchgau und den Gemeinewald Halblech vorliegende gebirgsspezifische forstliche Standortserkundung des Vereins für Forstliche Standortskartierung im Privat- und Körperschaftswald in Bayern (VfS 2001) verwendet werden. Die Methode des BFW zur Abflussbeiwerteinschätzung ist jedoch nicht an die Verfügbarkeit von Kartierungen gebunden. Sie ist vielmehr als Feldmethode konzipiert, die einem geschulten Fachmann (Forsteinrichter, Schutzwaldsanierer) die Ansprache der erforderlichen Merkmale an Hand der Tabellen einer bebilderten und erläuterten Geländeanleitung am jeweils planungsrelevanten Waldort erlaubt.

Moore

Für das Mooregebiet Schönramer Filz konnte auf eine schon in Umsetzung befindliche Renaturierungs- und Pflegeplanung zurückgegriffen werden (BAYERISCHE OBERFORSTDIREKTION MÜNCHEN 1990), die die LWF wissenschaftlich begleitete (Projekt V32 „Möglichkeiten und Grenzen von waldbaulichen Pflegemaßnahmen bei der Renaturierung bewaldeter Moore“) und somit schon eine vorläufige Beurteilung des Renaturierungserfolges erlaubt. Erkenntnisse über die Hydrologie und das Abflussverhalten von ungestörten, entwässerten sowie aufgeforsteten Hochmoorflächen liegen aus einem langjährigen (1968-1999) moorhydrologischen Versuch der ehemaligen Landesanstalt für Bodenkunde und Pflanzenbau in den südlichen Chiemseemooren vor, den die LWF forsthydrologisch begleitete und auswertete (ZOLLNER und CRONAUER 2003).

Auwald

Für die Auwälder der Mittleren Isar erlauben die vorliegenden Inventurergebnisse der Langfristigen Forstbetriebsplanung 2002 eine Zwischenbewertung des vom Forstamt Freising um 1990 eingeleiteten Programms zum Umbau und zur Pflege des Auwaldes. Es sieht eine Umwandlung aller nicht standortgemäßen Bestockungen bis etwa zum Jahr 2020 vor. Um die Wirkungen des Auwaldes und die Divergenz bzw. Konvergenz forstlicher und wasserwirtschaftlicher Ziele im Gebiet zu beurteilen, diente darüber hinaus der Gewässerentwicklungsplan Mittlere Isar (BayLfW 2001) als Grundlage. Er beinhaltet die vorwiegend technischen Hochwasserschutzmaßnahmen der Wasserwirtschaftsverwaltung, aber auch vorbeugende Maßnahmen wie die Ausweitung der Retentionsräume und die Neuentwicklung von Auwaldflächen.

3 Ergebnisse

3.1 Hydrologische Grundlagen (Ergebnisse der Literaturrecherche)

Der Wasserabfluss und damit auch das Hochwasser ist eine Komponente des natürlichen terrestrischen Wasserkreislaufs (Abbildung 2). Eine überaus umfang- und detailreiche, aktuelle wie historisch umfassende Übersicht zum Stand des Wissens und der Fachliteratur zum Wasserabfluss, insbesondere auch zu Abfluss und Abflussbildung in bewaldeten Einzugsgebieten und zur Hochwasserminderung durch Wald gibt MENDEL (2000). Ein guter Überblick zum Stand des hydrologischen Wissens bis 1990 findet sich auch bei BAUMGARTNER und LIEBSCHER (1990).

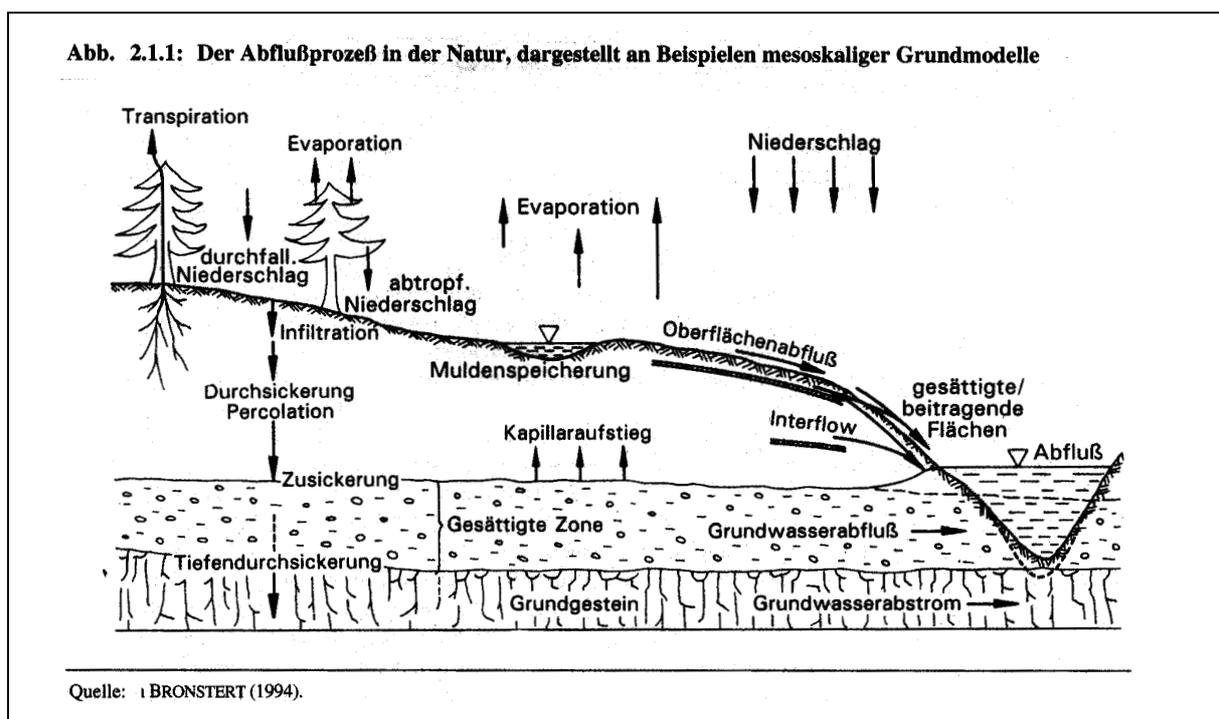


Abb. 3: Abfluss als Komponente des terrestrischen Wasserkreislaufs (verändert aus MENDEL 2000)

3.1.1 Hydrologie des Wasserabflusses

Als Abfluss wird allgemein die Bewegung des Wassers auf (Oberflächenabfluss) oder unter der Landoberfläche (Zwischenabfluss aus der ungesättigten, Grundwasserabfluss aus der wassergesättigten Bodenzone) unter dem Einfluss der Schwerkraft definiert (MENDEL 2002). Unter Hochwasser versteht man nach DIN 4049 den Zustand in einem oberirdischen Gewässer, bei dem der Wasserstand oder der Durchfluss einen bestimmten Schwellenwert überschreitet (BMU 2003). Solche Ereignisse hat es zu allen Zeiten gegeben (BMU 2003). Je nach Höhe des Wasserstandes und dem Grad der Anpassung der Nutzung können diese für Bevölkerung, Wirtschaft und Infra-

struktur erhebliche Folgen haben (Hochwasserschäden). Auslöser von Hochwasser sind im Regelfall Stark- oder Dauerniederschläge, wobei Schneeschmelze verstärkend hinzukommen kann. Demnach unterscheidet man zwei Haupttypen von Hochwasserereignissen (KRON 2002):

- **Sturzfluten**

werden ausgelöst von intensiven, zumeist räumlich und zeitlich begrenzten Starkniederschlagsereignissen („Wolkenbruch“), typischerweise Gewitter. Dabei überschreitet die Niederschlagsintensität die Infiltrationskapazität der Böden („Infiltrationsüberschuss“). Dies führt (auch bei nicht wassergesättigten Böden) zu Oberflächenabfluss und schneller Konzentration des Abflusses im Gewässer. Folge ist eine rasch ansteigende Hochwasserwelle typischerweise in kleineren Einzugsgebieten (z. B. Wildbacheinzugsgebiet) mit sehr kurzen Vorwarnzeiten im Bereich von zum Teil nur Minuten.

- **Flussüberschwemmungen**

sind das Ergebnis ausgiebiger, oft tagelang anhaltender, zumeist großräumiger Niederschläge („Landregen“), typischerweise im Zusammenhang mit Tiefdruckfronten, teilweise auch in Zusammenwirken mit Schneeschmelze. Dabei können die Böden je nach Ausgangswassergehalt nach Erreichen der Wassersättigung kein weiteres Wasser mehr aufnehmen. Weiterer Niederschlag fließt, weitgehend unabhängig von der Bodenbedeckung, als oberflächen(naher) Sättigungsflächenabfluss ins Gewässer ab. Dadurch baut sich typischerweise in großen Tiefland-Flusseinzugsgebieten über teilweise mehrere Tage hin eine das Flusstal durchlaufende Hochwasserwelle auf.

Niederschlagshöhen für diese beiden idealtypischen Ereignisse für bestimmte Gebiete können dem Hydrologischen Atlas von Deutschland (BMU 2003) als 24- bzw. 72-Stundenniederschlagssummen mit verschiedenen hohen Auftretenswahrscheinlichkeiten (Jährlichkeiten) entnommen werden (Abbildung 4). Dabei dienen insbesondere die Niederschlagshöhen mit einer Jährlichkeit von 100 Jahren (d.h. im statistischen Mittel tritt dieses Ereignis an einem Ort etwa einmal in 100 Jahren auf) als Bemessungsniederschlag für die Ermittlung von Bemessungsabflüssen der Jährlichkeit 100 Jahre. Diese werden in der wasserwirtschaftlichen Praxis als Bemessungsabflüsse zur Dimensionierung von technischen Hochwasserschutzmaßnahmen zu Grunde gelegt.

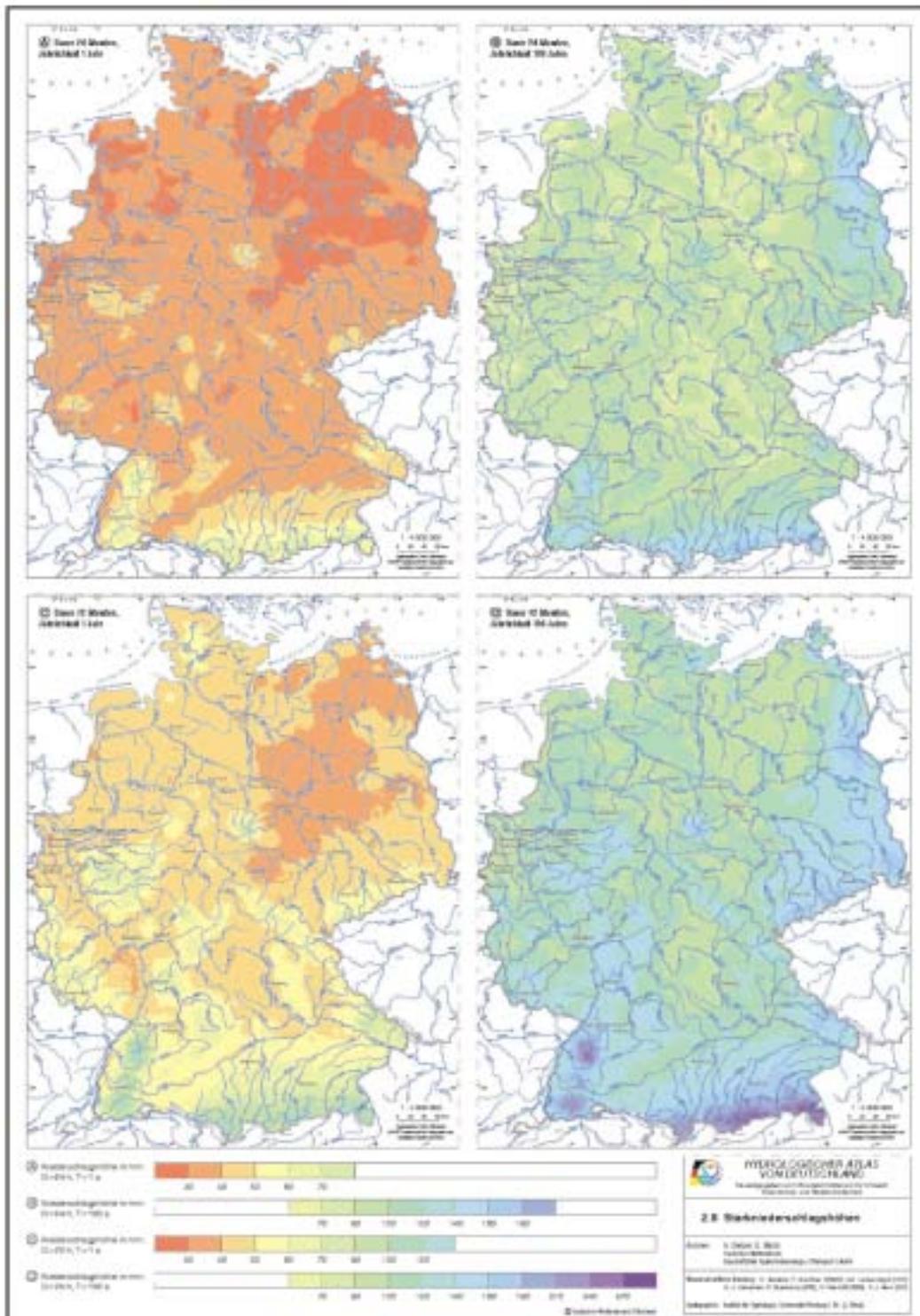


Abb. 4: Starkniederschlagshöhen für 24 Stunden (oben) bzw. Dauerniederschlagshöhen für 72 Stunden (unten) mit Jährlichkeit 1 Jahr (links) und Jährlichkeit 100 Jahre (rechts) (aus BMU 2003)

Für Bayern ist demnach auf Basis der Zahlen des Hydrologischen Atlases für Deutschland (Bezugszeitraum 1961-1990) mit folgenden Stark- oder Dauerniederschlagsereignissen als Auslöser für Hochwasserabfluss zu rechnen:

Tab. 4: Rahmenwerte für Stark- bzw. Dauerregenereignisse in Bayern (in Anhalt an BMU 2003)

Region	Starkniederschlagshöhe in 24 Stunden		Dauerniederschlagshöhe in 72 Stunden	
	Jährlichkeit 1 Jahr	Jährlichkeit 100 Jahre	Jährlichkeit 1 Jahr	Jährlichkeit 100 Jahre
	mm bzw. l/m ²			
Flachland nördl. Donau	unter 30 - 40	70 - 100	unter 30 - 70	70 - 120
Mittelgebirge	40 - 60	80 - 140	50 - 100	80 - 210
Flachland südl. Donau	30 - 60	80 - 140	40 - 100	80 - 180
Bayerische Alpen	50 - über 70	120 - über 180	80 - über 120	160 - über 270

Damit aus einem Niederschlagsereignis ein Hochwasserabfluss entsteht, wirken die Prozesse der Abflussbildung als der Übergang von vertikaler zu lateraler Wasserbewegung an der Bodenoberfläche oder im Boden, die Abflusskonzentration als lateraler, dem Oberflächenrelief folgender Fließprozess und schließlich der Abfluss im Gerinne zusammen (Abbildung 5). Sie bilden schließlich in komplexer Weise die Hochwasserabflusswelle als „Systemantwort“ des Wassereinzugsgebietes.

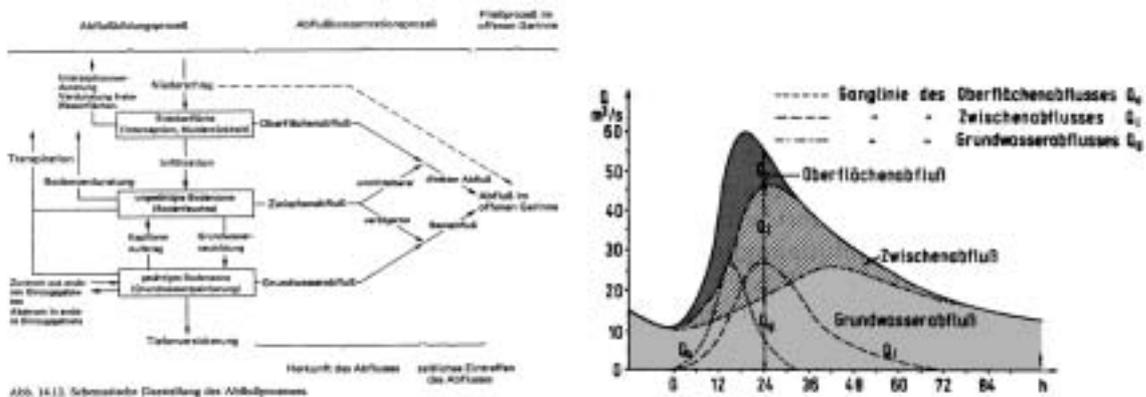
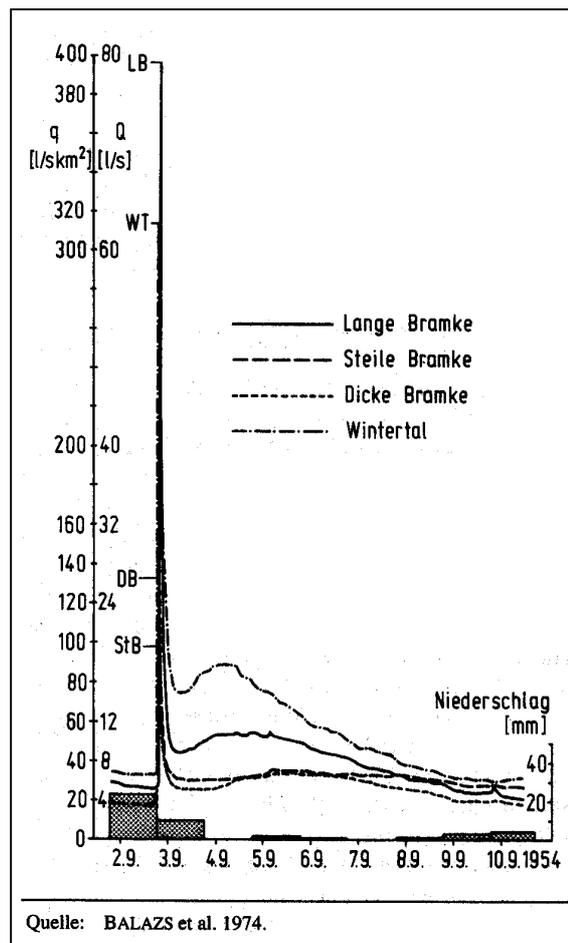


Abb. 5: Prozesse der Abflussbildung, Abflusskonzentration und des Abflusses im Gerinne (links) sowie Zusammensetzung des Abflusses aus Oberflächen-, Zwischen- und Grundwasserabfluss (rechts) (aus BAUMGARTNER und LIEBSCHER 1990, verändert)

Dabei bestimmt überwiegend die am schnellsten reagierende Komponente des Oberflächenabflusses den Hochwasserabfluss bei Starkregen in kleinen Einzugsgebieten und bei hohen Regenintensitäten („Sturzflut“). Bei großräumigen Flussüberschwemmungen auf Grund lang anhaltenden Dauerregens dagegen trägt auch der etwas zeitverzögerte Zwischenabfluss signifikant zur Hochwasserspitze bei. Ein sicherlich extremes Beispiel für eine sehr intensive und von der nachfolgenden verzögerten Zwischenabflussreaktion zeitlich genau zu unterscheidende schnelle Oberflächenabflussreaktion von bewaldeten Mittelgebirgseinzugsgebieten im Harz zeigt Abbildung 6.

Abb. 6: Durch Starkregen hervorgerufene Hochwasserwelle mit Vorwelle aus Oberflächenabfluss und Hauptwelle vorwiegend aus Zwischenabfluss (aus MENDEL 2000)

Auf die Höhe des Abflusses eines Einzugsgebietes wirken verschiedene Faktoren ein. Neben Höhe, Intensität und räumlicher Verteilung des Niederschlagsereignisses, neben Größe und Geomorphologie des Einzugsgebietes, Morphologie des Gewässers sowie Jahreszeit bzw. Witterungsvorgeschichte (Füllungsgrad des Bodenwasserspeichers durch vorhergehende Niederschläge oder Vorhandensein einer schmelzbereiten, durchfeuchteten Schneedecke oder aber auch Bodenfrost) sind dies insbesondere die physikalischen Bodeneigenschaften (Wasserdurchlässigkeit, Wasserspeicherfähigkeit, Lage einer Stauschicht bzw. des Grundwasserspiegels) sowie die Art und Weise der Landnutzung. Die Hangneigung dagegen beeinflusst den Abflussbildungs-vorgang erst bei sehr hohem Neigungsgrad und gleichzeitig geringem Vegetationsdeckungsgrad nennenswert. Ihre Wirkung kommt vor allem bei der Dynamik der lateralen Fließvorgänge selbst, d.h. bei der Abflusskonzentration, zum Tragen.



3.1.2 Wasserabfluss aus Wäldern und anderen Landnutzungsarten

Die Frage ob (naturnaher) Wald Hochwasser mindernd wirken kann, wird angesichts der in der Regel hohen Versickerungs- und Speicherleistung in der Fachliteratur zumindest für kleinere Einzugsgebiete und kleinere Hochwasser fast durchgehend bejaht (MÖBMER, R. 2003b). Es gibt jedoch auch Untersuchungen, in denen für den Bewaldungsanteil neben dem dominierenden Faktor der Bodenbedingungen keine statistische Signifikanz gefunden werden konnte (MENDEL 2000). Dagegen sieht der Autor ein Nachweisproblem für den Einfluss des Waldes bei starken Hochwassern in großen Einzugsgebieten. Er schließt aber aus verschiedenen historischen und prähistorischen Indizien, dass vermehrte Sedimentation seit der Eisenzeit auf häufigere und stärkere Hochwasser in Folge von Waldrodungen zurückzuführen sei. Er vermutet dies auch für die Jahrtausendflut von 1342, die in einer Zeit sehr geringen Waldanteils von allenfalls 17 % stattfand (MENDEL 2000). Direkte wissenschaftliche Erkenntnisse zu Wirkungen unterschiedlicher

Vegetationsdecken oder Landnutzungsarten auf den Abfluss werden in erster Linie mit folgenden Methoden gewonnen:

- Infiltrationsexperimente auf kleinen Bodenflächen (bis wenige m²; für Wald erstmals 1897 von EBERMAYER; nach MENDEL 2000);
- Beregnungsexperimente auf größeren Flächen mit natürlichen Vegetationsdecken (typisch ca. 100 m²; KARL und TOLDRIAN 1973);
- forsthydrologische Vergleichsstudien in unterschiedlich bewaldeten kleinen Wassereinzugsgebieten (typisch ca. 10 bis 2.000 ha; erstmals seit 1903 im Sperbel- und Rappengraben von ENGLER; ENGLER 1919).

Die Ergebnisse werden üblicherweise als Abflussbeiwerte angegeben. Das ist der jeweilige Anteil der aufgetragenen oder gemessenen Niederschlagsmenge, der als Oberflächenabfluss (bei Beregnungsexperimenten) oder als Direktabfluss (bei Einzugsgebietsuntersuchungen) gemessen wird.

Schätzung des Oberflächenabflussbeiwerts auf Grundlage von Beregnungsexperimenten

Beregnungsexperimente simulieren kurze, intensive Starkregen (typischerweise z. B. 100 mm innerhalb einer Stunde) und erfassen dabei den schnellen Oberflächenabfluss und allenfalls die oberflächennächsten Anteile des Zwischenabflusses. Ihre Aussagekraft beschränkt sich damit auf kleine Einzugsgebiete und kurze, intensive Starkregenereignisse, in denen die Abflussspitze vom schnellen Oberflächenabfluss geprägt ist. Die so ermittelten Abflussbeiwerte gelten nur für die zu Grunde gelegte Niederschlagshöhe. Allerdings erlauben Beregnungsexperimente eine differenzierte Abschätzung der Abflussbeiträge auf der räumlichen Skala von einzelnen Beständen. Ergebnisse von umfangreichen Beregnungsversuchen des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft im bayerischen Alpenraum zeigen einerseits die günstigen abfluss dämpfenden Eigenschaften von Wald, die im alpinen Raum sonst nur noch von alpinen Matten und Rasen erreicht werden. Sie zeigen andererseits aber auch die starke Differenzierung bei unterschiedlichen Bodentypen, unterschiedlichen Feuchtestufen des Bodens sowie der Höhe des Vorniederschlags (BUNZA et al. 1996).



Abb. 7: Beregnungsanlage des Bayerischen Landesamts für Wasserwirtschaft

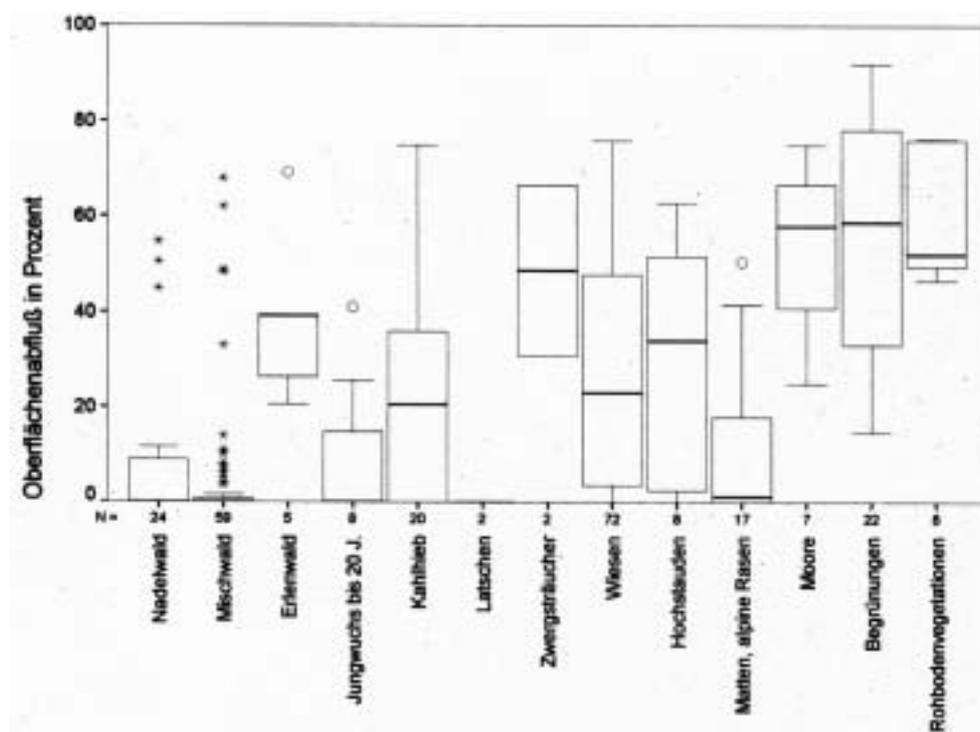


Abb. 8: Oberflächenabfluss in Abhängigkeit von verschiedenen Vegetationstypen (aus BUNZA et al. 1996); statistische Maße: fetter, waagrechter Strich: Medianwert = 50 %-Quantil; Kasten: 25 %-75 %-Quantilsbereich; dünner Strich mit dünner Linie: Bereich zwischen größtem und kleinstem Wert; Kreise bzw. Sterne: „Ausreißer“ bzw. Extremwerte außerhalb des eigentlichen Wertebereiches; N = Zahl der untersuchten Fälle

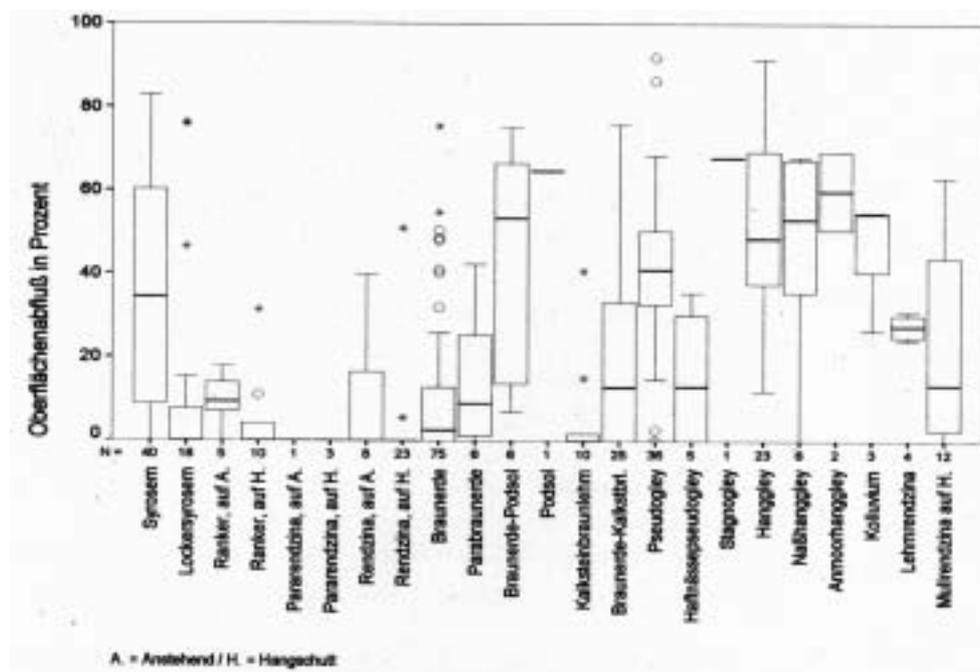


Abb. 9: Oberflächenabfluss in Abhängigkeit von verschiedenen Bodenarten (aus BUNZA et al. 1996) (statistische Maße: siehe Abbildung 8)

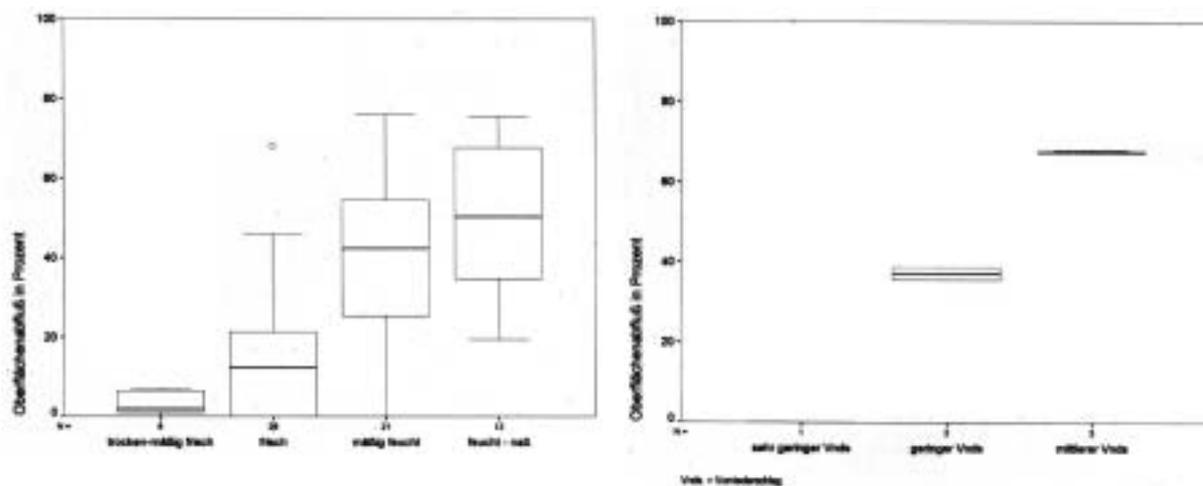


Abb. 10: Oberflächenabfluss in Abhängigkeit von verschiedenen Feuchtstufen auf Wiesen und Weiden (links) bzw. vom Vorniederschlag auf Naßhanggleyen (rechts) (aus BUNZA et al. 1996) (statistische Maße: siehe Abbildung 8)

Schätzung des Direktabflussbeiwertes mit dem SCS-Kurvennummern-Verfahren

Das „klassische“ Verfahren zur Abschätzung des Abflusses von verschiedenen Landoberflächen auf der räumlichen Skalenebene von größeren Einzugsgebieten zur Ermittlung hydrologischer Bemessungswerte für wasserbauliche Anlagen im Rahmen von Niederschlags-Abflussmodellen ist das in DVWK (1984) beschriebene „SCS-Kurvennummern-Verfahren“. Der U.S. Soil Conservation Service entwickelte es auf der Grundlage von Niederschlags- und Abflussmessungen in einer großen Zahl kleiner Einzugsgebiete in den USA. Es erfasst den gesamten Direktabfluss, d.h. neben dem Oberflächenabfluss auch den Zwischenabfluss, und deckt ein weites Spektrum von Niederschlagsmengen bis hin zu Extremereignissen von 240 mm ab.

Bezüglich unterschiedlicher Bodennutzungen erlaubt dieses Verfahren nur eine sehr grobe Einschätzung der Abflusseigenschaften für Wälder unterschiedlicher Dichte auf unterschiedlichen Böden im Vergleich zu anderen Landnutzungsarten auf Einzugsgebietsbasis. Abflussbeiwerte können für einen weiten Skalenbereich von Niederschlagsmengen abgeleitet werden. Abbildung 11 zeigt aber auch die große Bandbreite der möglichen Abflussreaktionen unterschiedlicher Waldstandorte und Bestockungen bei unterschiedlichen Niederschlagshöhen.

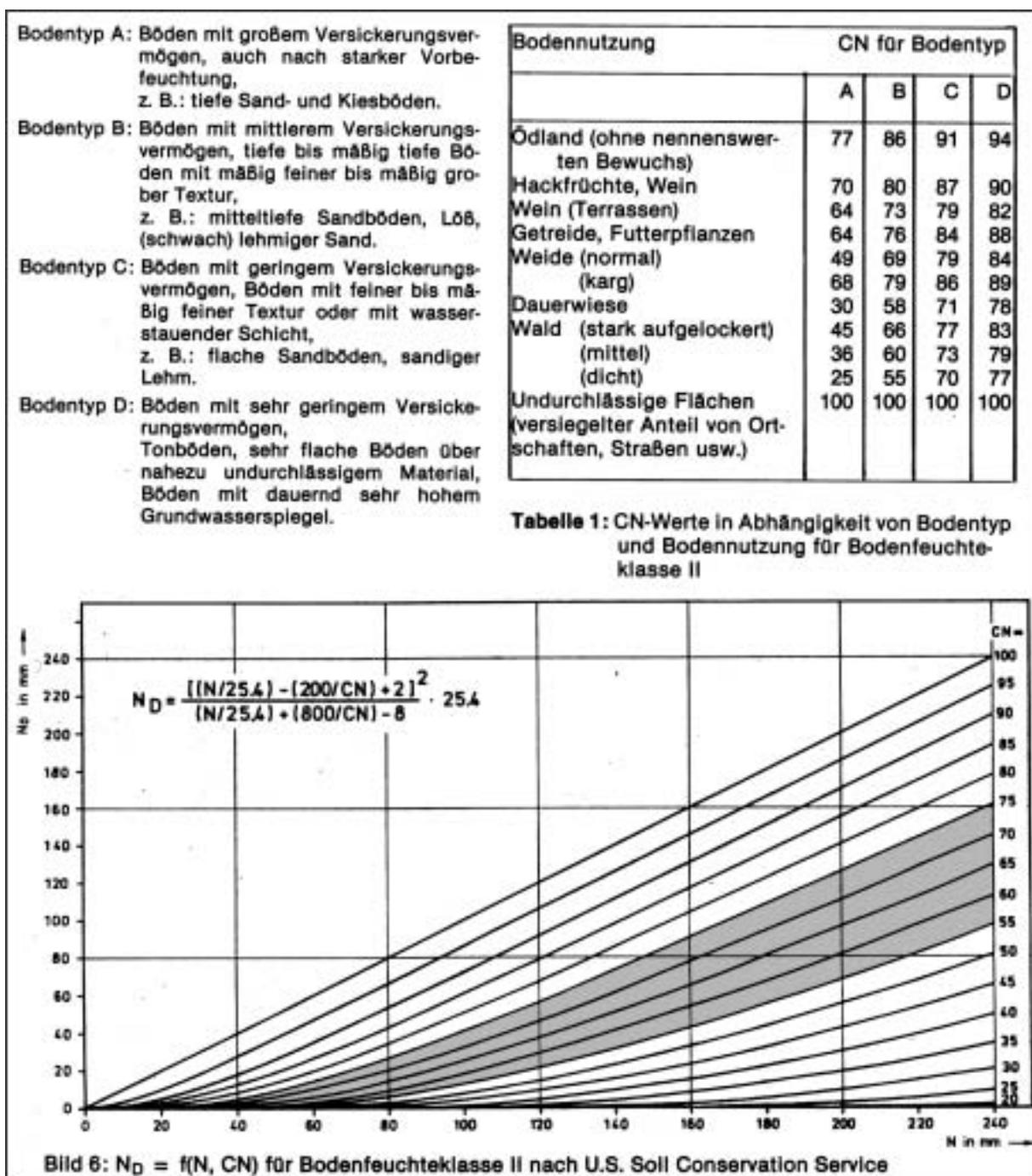


Abb. 11: SCS-Kurvennummern-Verfahren nach DVWK (1984); oben links: Ermittlung des Bodentyps; oben rechts: Ermittlung der Kurvennummer (CN) für Bodentyp und Bodennutzung; unten: Diagramm zur Ermittlung des Direktabflusses (ND) in Abhängigkeit von Niederschlagshöhe (N) und Kurvennummer (CN) für mittlere Bodenfeuchte durch Vorregenereignisse (Bodenfeuchteklasse II); Wertebereich für Wald auf mittleren Standorten (Bodentyp B und C) dunkel schattiert

Beide Methoden zeigen, dass die Abflussbildung von unterschiedlichen Flächen sehr differenziert zu betrachten ist. Sie hängt sehr stark von Art und Ausmaß des Niederschlagsereignisses, von den jeweiligen standörtlichen Gegebenheiten und von den Bestockungs- bzw. Landnutzungsverhältnissen ab. Der Anteil des abfließenden Wassers nimmt tendenziell mit der absoluten Höhe des Niederschlagsereignisses überproportional zu. Dagegen verliert die vor allem als Anfangsverlust wirksame Rückhaltewirkung der Flächen im Einzugsgebiet mit zunehmendem Ausmaß des Ereignisses an Bedeutung (Abbildung 12).

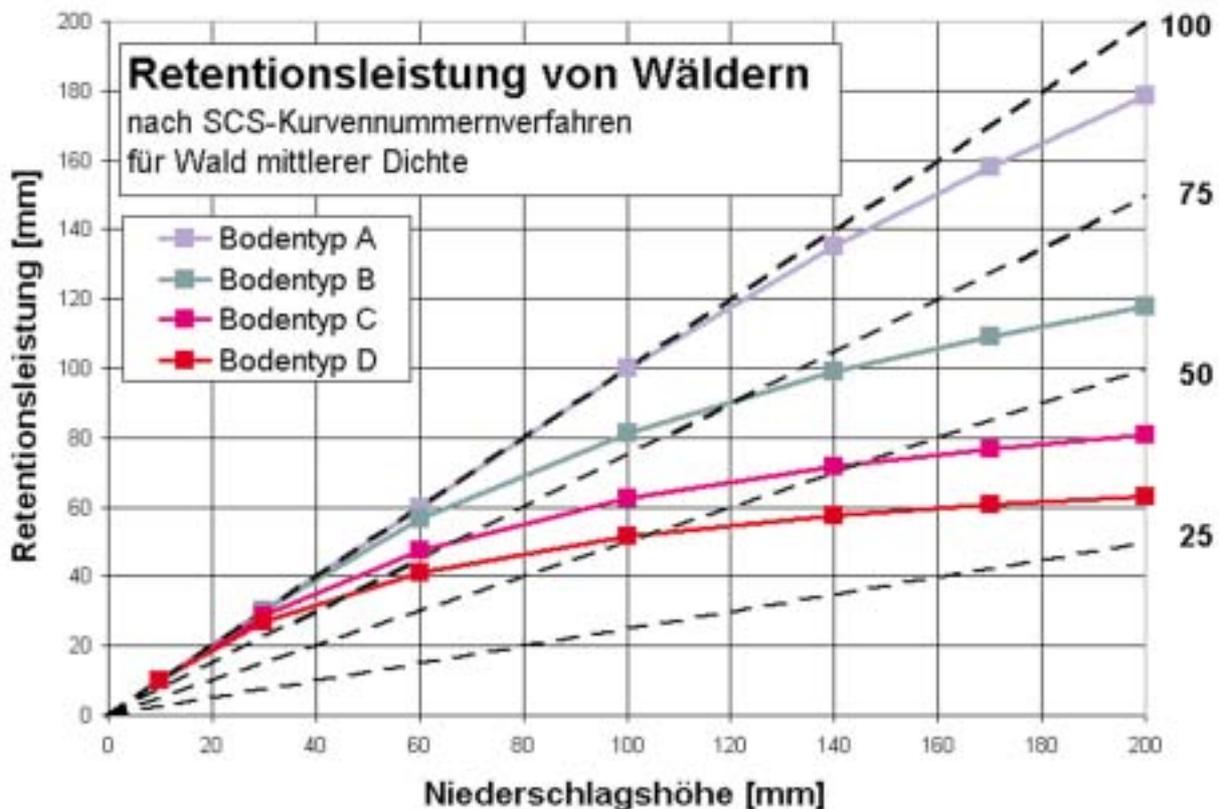


Abb. 12: Anteil des zurückgehaltenen Anteils am Niederschlag für den Vegetationstyp „Wald mittlerer Dichte“ und die Bodentypen „A“ bis „D“ nach dem SCS-Kurvennummernverfahren (DVWK 1984)

3.1.3 Einflussfaktoren des Hochwasserabflusses aus Waldgebieten

Forstliche Bewirtschaftungsmaßnahmen, aber auch Störungen des Waldzustandes können den Hochwasserabfluss aus Wäldern beeinflussen. Dabei sind folgende Prozesse und Einflussfaktoren zu berücksichtigen (MENDEL 2000):

- Interzeptionsverdunstung und Transpiration

Sie hängen von der Jahreszeit, von der Baumartenzusammensetzung und von der Bestandesdichte ab, sind bei geschlossenem Wald in der Regel höher als bei anderen Landnutzungsarten, haben aber begrenzte Kapazität (in der Summe etwa maximal 10 mm je Tag) und tragen bei Starkregenereignissen nur begrenzt zum Wasserrückhalt bei.

- Infiltration und Oberflächenabfluss

Oberflächenabfluss tritt unter ungestörtem Wald bei Infiltrationskapazitäten von typischerweise bis zu 80 mm/h nur auf extrem dichten oder verdichteten Substraten als „Infiltrationsüberschuss“ auf. Auf sehr flachgründigen oder von Natur aus bzw. nach Niederschlagsereignissen temporär wassergesättigten Standorten tritt er dagegen als „Sättigungsüberschuss“ auf. Er ist bis auf Extremfälle weitgehend unabhängig von der Hangneigung. Bodenverdichtung durch Waldweide oder unsachgemäße Befahrung wirkt Abfluss verschärfend.

- Oberflächenrauigkeit

Die Dynamik des lateralen Oberflächenabflusses (Abflusskonzentration) wird nach der Fließformel von MANNING-STRICKLER neben der Hangneigung vom Fließwiderstand bzw. von der Oberflächenrauigkeit bestimmt. Die hohe Oberflächenrauigkeit von Waldböden verzögert den Oberflächenabfluss und dämpft damit die Hochwasserspitze.

- Oberflächenrauigkeit und Hochwasserabfluss im Auwald

Ähnliches gilt auf ganz anderer räumlicher Skalenebene bei einer Wasserschichtdicke von Metern statt Milli- bzw. Zentimetern für den Hochwasserabfluss in Überflutungsbereichen der Talauen. Dort weist Auwaldbestockung ebenfalls eine wesentlich höhere Rauigkeit (STRICKLER-Beiwerte $k_{\text{Wald}} = 10$ gegenüber $k_{\text{Wiese}} = 25$ für Wiese oder Acker nach LANG und TÖNSMANN 2002) auf als unbestockte Flächen. Dies führt zu einer zusätzlichen Verzögerung des Abflusses und zu einem höheren Einstau im Bereich von bis zu mehreren Dezimetern. Nach der Formel von MANNING-STRICKLER gilt für das Verhältnis der Überflutungshöhen (h) in etwa

$$h_{\text{Wald}} \approx \left(\frac{k_{\text{Wald}}}{k_{\text{Wiese}}} \right)^{3/5} \cdot h_{\text{Wiese}}$$

Bei einer angenommenen Überflutungshöhe von 0,8 m für Wiese erhält man für Wald bei gleicher Durchflussmenge eine Überflutungshöhe von etwa 1,40 m.

- Schneedecke

Sie kann bei Winterhochwasser durch Schmelze erheblich zum Hochwasserabfluss beitragen, die Schmelzrate unter Wald ist in der Regel geringer als auf der Freifläche.

- Humusauflage

Diese ist in der Lage, einerseits je nach Mächtigkeit bei 5 bis 10 cm Rohhumusauflage bis zu etwa 6 mm Niederschlag zu speichern (MENDEL 2000). Andererseits kann sie wegen ihrer hydrophoben Eigenschaften, insbesondere im trockenen Zustand, die Infiltration von Niederschlag erheblich hemmen und vor allem bei Fichtenreinbeständen zu Oberflächenabfluss führen.

- Bodenwasserspeicherung

Die Aufnahme, Verzögerung und Speicherung im Boden ist die Schlüsselgröße für die Abflussbildung im Einzugsgebiet. Sie differiert je nach Bodeneigenschaften und Vorsättigungsgrad des Bodens in weitem Rahmen zwischen 0 und maximal etwa 300 mm. In kleinen Einzugsgebieten und bei hohen Starkregenintensitäten trägt schon die Verzögerung des im Boden abfließenden Zwischenabflusses gegenüber dem rascheren Oberflächenabfluss zur Hochwasserdämpfung bei. Bei lang anhaltenden Niederschlagsereignissen trägt auch der Zwischenabfluss wesentlich zum Hochwasserabfluss bei. Die aktuelle Speicherkapazität im Boden hängt stark von der Anfangsbodenfeuchte ab und ist zudem als Anfangsverlust vorwiegend am Beginn des Ereignisses und nicht mehr beim die Hochwasserspitze bestimmenden Ereignishöhepunkt wirksam.

- Bodenverdichtung

Bodenverdichtung durch Viehtritt bei Waldweide oder durch unsachgemäße Befahrung mit hohem Bodendruck verringert die Infiltrationsfähigkeit des Oberbodens drastisch und oft lang andauernd. Dies kann den Oberflächenabfluss erheblich verschärfen, insbesondere wenn die Rückegasse in der Falllinie verläuft und das Wasser nicht mehr auf der ungestörten Waldfläche versickert.

- Forstwege

Der Abflussbeitrag von Forstwegen beruht nur zum (u. U. geringeren) Teil aus der Versiegelung der Wegefläche selbst, sondern insbesondere in Hanglagen darin, dass der flächenhafte Oberflächen- und vor allem der oberflächennähere Teil des Zwischenabflusses durch den hangseitigen Wegeeinschnitt zu linienhaftem Gerinneabfluss konzentriert werden. Die Abflusswirksamkeit hängt dann erheblich davon ab, ob das Wasser durch häufige Querentwässerung wieder auf der ungestörten Waldfläche versickern kann oder ob es weiter linear zum Vorfluter abfließt. Für landwirtschaftliche Feldwege nennt MANIAK (1993) die SCS-Kurvennummern 74 / 84 / 90 / 92 für Bodentypen A / B / C / D, nimmt also keineswegs völlige Versiegelung an (Kurve Nummer 100).

- Entwässerung

Entwässerung kann zwar einerseits den zur Niederschlagsaufnahme verfügbaren Luft gefüllten Porenraum erhöhen, in der Mehrzahl der Fälle verschärfen Dränrohre jedoch den Direktabfluss, da sie eine direkte hydraulische Anbindung an die Vorfluter schaffen (MENDEL 2000 für landwirtschaftliche Flächen).

- Bestockungsdichte

Sowohl das SCS-Kurvennummernverfahren als auch die auf Berechnungsversuchen beruhenden Verfahren beinhalten tendenziell erhöhte Abflussbeiwerte bei abnehmender Bestockungsdichte bis hin zur Kahlfläche, wobei erst bei deutlicher Absenkung der Bestockungsdichte mit zunehmend deutlicherer Reaktion zu rechnen ist. Verschiedentlich wurden Szenarien zur

Abschätzung der Auswirkungen eines möglichen Waldsterbens auf den Hochwasserabfluss berechnet. Dabei ist ausdrücklich auf die erheblichen Unsicherheiten solcher Abschätzungen hinzuweisen (ROSEMANN 1988).

Tab. 5: Ergebnisse von Szenario-Abschätzungen zu den Auswirkungen eines Waldsterbens auf den Hochwasserabfluss

Bezugsgebiet	Szenario	Bezugereignis	Auswirkung auf	
			Hochwasserscheitel	Abflussfülle
Dreisam Pegel Ebnet 257 km ² (MÜLLER 1987 nach MENDEL 2000)	Totaler Waldverlust, keine Sekundärvegetation	Hochwasser Mai 1983	+ 100 %	
	Zusätzlich negative Veränderung der Bodenstruktur		+ 400 bis + 1000 %	
Röthenbach (Halblech) 7,5 km ² (ROSEMANN 1988)	Totaler Waldverlust	Starkregen 50-jährlich	+ 75 %	+ 45 %
Tegernseer Berge Flysch 4,2 ha (MOESCHKE 1998)	40 % Kahlfächen	30-Min. Starkregen 17 mm (1-jährlich) 30 mm (10-jährlich) 43 mm (100-jährlich)	+ 30 %	+ 30 % + 9 % + 5 %
	100 % Kahlfächen	30-Min. Starkregen 17 mm (1-jährlich) 30 mm (10-jährlich) 43 mm (100-jährlich)		+ 77 % + 24 % + 11 %
Oberrhein (KOEHLER 1993 nach MENDEL 2000)	Totaler Verlust des Waldanteils von 37 %; Ersatzvegetation Wiese	80 mm an 1 Tag 160 mm an 1 Tag 100 mm in 4 Tagen 200 mm in 4 Tagen	+ 22 % + 43 % + 12 % + 24 %	

Die verschiedenen Abschätzungen weisen eine sehr hohe Spannweite der vorhergesagten Auswirkungen eines großflächigen Waldverlustes auf und beinhalten zum Teil extrem ungünstige Annahmen über die Folgevegetation. Bei Modellrechnungen, die nicht mit aussagekräftigen experimentellen Messwerten für das jeweilige Gebiet ausreichend abgesichert sind, besteht die Gefahr, dass die Ergebnisse weniger die (potentielle) Wirklichkeit als vielmehr die (unzulänglichen) Eigenschaften bzw. Eigenheiten des verwendeten Modellansatzes, beispielsweise der zugrunde gelegten SCS-Kurvennummern, beschreiben (MENDEL 2000). Dies ist stets zu berücksichtigen.

3.2 Versuch einer monetären Bewertung der Wirkungen des Waldes auf den Hochwasserabfluss

Natürliche Flusslandschaften kennen keinen Hochwasserschaden, wohl aber Hochwasser. Erst der Mensch mit seinen Nutzungen entlang der Gewässer schuf die Grundlage für Hochwasserschäden. In den letzten Jahrzehnten erhöhte sich das Schadenspotential auf Grund der baulichen und infrastrukturellen Erschließung von gewässernahen Bereichen deutlich (MÜNCHENER RÜCKVERSICHERUNGSGESELLSCHAFT 2003). Eine gesamtwirtschaftliche Kosten-Nutzen-Betrachtung darf als „Leistung“ oder „Wert des Waldes“ für den Hochwasserschutz je nach Fragestellung (z. B. Nutzen von Neuaufforstung, Nutzen von Waldpflege) nur die Mehrleistung im Vergleich zu regional plausiblen, alternativen Landnutzungsarten (z. B. Almweide im Bergland, Dauergrünland im Auenbereich) oder im Vergleich zu „nicht zielgemäßen“ Waldzuständen (z. B. wieder aufzuforstende Kahlfläche, Fehlbestockung) berücksichtigen. Bei der Fragestellung „Neuaufforstung“ (in gewissem Maß auch bei der Fragestellung „Mischwald statt Fichtenreinbestand“) muss von diesem gesamtwirtschaftlichen Mehrwert der Ertragsverzicht durch die Nutzungsänderung als Opportunitätskosten abgerechnet werden. Für eine volkswirtschaftliche Betrachtung sind dabei staatliche Transferleistungen wie Schutzwaldbeihilfen oder Ausgleichszulagen für die Almwirtschaft (ca. 200 €/ha/Jahr) außer Acht zu lassen. Für die einzelökonomische Entscheidung des Grundeigentümers dagegen können sie sehr wohl bestimmend sein. Die Hochwasser dämpfende Wirkung funktionsgerechter Wälder gegenüber alternativen Landnutzungsarten oder nicht funktionstauglichen bzw. gestörten Waldzuständen (z. B. stark verlichtete oder kahle Flächen infolge Sturmwurf, Borkenkäfer, Wildverbiss) kann wegen der schwierigen Quantifizierbarkeit der Reaktion natürlicher Flächen auf unterschiedliche Niederschlagsituationen grundsätzlich nur grob näherungsweise ermittelt werden (Kapitel 3.1). Der Charakter von Hochwasserereignissen und ihrer Schadensfolgen als statistisch nur bedingt berechenbare „seltene Ereignisse“ erschwert die monetäre Bewertung der Hochwasserschutzwirkung zusätzlich. Zur groben Abschätzung von monetären Werten der Hochwasserschutzwirkung von Wäldern wurden zwei Verfahren, ein Ersatzkostenansatz (GROTTKER 1999) sowie ein Produkt-Funktions-Ansatz verwendet.

3.2.1 Ersatzkostenansatz

Der Ersatzkostenansatz bewertet die höhere Rückhalteleistung von Wäldern anhand der (fiktiven) Ersparnis bzw. des (fiktiven) Mehrbedarfs von technischen Hochwasserrückhaltemaßnahmen, die bei einem Verlust des Waldes oder einer Nutzungsänderung (Rodung) einträten. Dies erfordert zunächst die Ermittlung eines Kostenrahmens für technische Hochwasserrückhaltemaßnahmen. Da weder aus der Fachliteratur noch mittels Recherche beim LfW gesicherte Werte ermittelt werden konnten, diente eine Internetrecherche als Ersatz. Daraus können grob geschätzte Rahmenwerte für die Hochwasserschutzwirkung von Wäldern abgeleitet werden. Für Fragestellungen der Aufforstung sind dem Mehrwert der Hochwasserschutzwirkung **Opportunitätskosten** gegenüber zu stellen, d.h. Minderwerte aus dem Ertragswertverzicht bei Nutzung als Wald.

Tab. 6: Abschätzung eines Kostenrahmens für technische Hochwasserrückhaltemaßnahmen

<p>Kostenrahmen für technischen Hochwasserrückhalt diverse Quellen: Internetrecherche: Gersprenztal (Hessen) 24.2000 m³ zu 3,4 Mio. DM = 7 €/m³ Wolterdingen (Baden-Württemberg) 4,5 Mio. m³ zu 30 Mio. € = 7€/m³ Ottweiler (Saarland) 813.000 m³ zu 7 Mio. € = 9 €/m³ 10 kleine Becken im Auwald (Baden-Württemberg) 186.000 m³ zu 5.3 Mio. € = 29 €/m³ Schwarzbach (Hess. Ried) 200.000 m³ zu 17,3 Mio. DM = 44 €/m³ (wurde vom Hessischen Rechnungshof gerügt!) Im Wald: Bad Orb (Hessen) 350 kleine Flutmulden entlang Forstwegen gesamt 3.000 m³ zu 55.000 DM = 9 €/m³ nach StMLU (2003): Mittlere Isar: 10 Mio. m³ für 66,5 Mio. € = 6,65 € je m³ natürliches Rückhaltevolumen im Auenbereich</p>	ca. 6 bis 30 € je m ³ Wasser
<p>Daraus abgeleiteter Wertansatz für Wasserrückhalt im Wald (geringer angesetzt, da die Rückhaltewirkung von technischen Anlagen, insbesondere von gesteuerten Poldern, die Hochwasserspitzen effizienter kappt als die Retention durch den Wald, die vornehmlich als Anfangsrückhalt zu Beginn des Ereignisses wirksam ist.)</p>	ca. 5 € je m³ Rückhalteleistung

Tab. 7: Abschätzung des monetären Wertes der Leistungen von Wäldern für den Hochwasserrückhalt mit einem Ersatzkostenansatz

<p>Grobkalkulation Ersatzkostenansatz Bergwald Vergleichsnutzung: Weide bzw. Kahlfläche, d.h. vollständiger und dauerhafter Verlust der „Waldwirkung“ unterer Rahmenwert für dauerhaft nasse, Wasser undurchlässige oder unter jeglicher Landnutzung ideal durchlässige Standorte; (obere Rahmenwerte: nach ROSEMANN (1988) für Gebiet Halblech sowie Angaben in Kapitel 3.1 und Tabelle 15 in Kapitel 4.1) Opportunitätskosten (Nutzungsverzicht Grünland bei „marginalen Produktionsverhältnissen“ Mittelgebirge (Nordeifel) zugunsten Wald (Fi bzw. Bu-Fi) ohne Berücksichtigung von staatlichen Zuschüssen; Quelle: GROTTKER, Schriften zur Forstökonomie Bd. 19)</p>	<p>Mehrspeicherung Waldboden: ca. 0 - 40 mm = 0 - 400 m³/ha Mehrwert des Bergwalds für den Hochwasserschutz: Kapitalwert: ca. 0 bis +2.000 €/ha jährliche Rente bei 3 %: ca. 0 bis 60 €/ha/Jahr Opportunitätskosten der Nutzung als Bergwald: Jährlicher Nutzungsentgang: - 50 bis - 200 €/ha/Jahr Kapitalwert (kapitalisiert zu 3 %): - 1.650 bis - 6.600 €/ha</p>
<p>Grobkalkulation Ersatzkostenansatz Auwald Rückhaltevermögen durch Überstauung Differenzhöhe der Überstauung gegenüber Grünland als Abfluss bremsende, Wasserstand erhöhende Wirkung als „Waldwirkung“ (siehe Formel Kapitel 3.1.3) konservativ mit 40 cm angesetzt (unterer Rahmenwert „negativ“ dort, wo Abfluss hemmende Hindernisse kontraproduktiv auf die Schutzwirkung knapp dimensionierter technischer Schutzbauten wie Hochwasserschutzdeiche wirken) Opportunitätskosten (Nutzungsverzicht Grünland bei „mittleren Produktionsverhältnissen“ Mittelgebirge (Nordeifel) zugunsten Wald (Fi bzw. Bu-Fi) ohne Berücksichtigung von staatlichen Zuschüssen; Quelle: GROTTKER, Schriften zur Forstökonomie Bd. 19)</p>	<p>Differenz Wasserstandshöhe bei Überstauung Wald gegenüber Grünland: grob geschätzt ca. + 40 cm = + 4.000 m³/ha Mehrwert des Auwaldes für den Hochwasserschutz: Kapitalwert: ca. < 0 bis +20.000 €/ha jährliche Rente bei 3 %: ca. 0 bis 600 €/ha/Jahr Opportunitätskosten der Nutzung als Auwald: Jährlicher Nutzungsentgang: - 400 bis - 600 €/ha/Jahr Kapitalwert (kapitalisiert zu 3 %): - 13.300 bis - 20.000 €/ha</p>

3.2.2 Produkt-Funktions-Ansatz

Der Produkt-Funktions-Ansatz zielt direkt auf die Funktion (Hochwasserschutzfunktion) eines Produktes (Wald bzw. Schutzwald). Vermiedene Hochwasserschäden werden direkt auf der Basis von flächenbezogenen Schadenserwartungswerten und den durch das Vorhandensein von Wald verringerten Auftretenswahrscheinlichkeiten von Ereignissen bestimmter Abflusshöhe abgeschätzt. Er ist nur mit hohem Aufwand und großen Unsicherheiten sowie gebietsspezifisch anwendbar. Zudem sind in der frei zugänglichen Literatur kaum Angaben flächenbezogener Schadenserwartungswerte zu finden. Auch beim LfW waren keine zu erfahren. Folgende Grobabschätzung ist deshalb mit äußerster Vorsicht zu betrachten.

Tab. 8: Abschätzung flächenbezogener Hochwasserschadenserwartungswerte

Flächenbezogene Hochwasserschadenserwartungswerte (Internetrecherche):	Moselgebiet: 17€ je ha Einzugsgebiet und Jahr Muotatal (Schweiz): 120€ je ha und Jahr
Gutachtlich angesetzte Schadenserwartungswerte	Flachland: 10€ je ha Einzugsgebiet und Jahr Bergland: 40€ je ha Einzugsgebiet und Jahr
Zusammenhang Höhe und Jährlichkeit von Hochwassern	Nach SCHUMANN (2002) hat ein Hochwasser mit doppelter Jährlichkeit im Bereich hoher Jährlichkeiten einen höchstens um 30 % höheren Spitzenabfluss; d.h. wenn eine Veränderung der Landnutzung den Hochwasserabfluss um 30 % erhöht, tritt ein gleich hohes Hochwasser mindestens doppelt so häufig auf.
Gutachtlich abgeleitete Änderung der Hochwasserwahrscheinlichkeit	Verdoppelung der Auftretenswahrscheinlichkeit bei Abflusserhöhung im Einzugsgebiet um 30 %

Tab. 9: Abschätzung des monetären Wertes der Leistungen von Wäldern für den Hochwasserrückhalt mit einem Produkt-Funktions-Ansatz

Grobkalkulation Produkt-Funktions-Ansatz für „Wald“	Reduktion des Schadenserwartungswertes durch „Wald“
Reduktion der Abflussspitzen durch „Wald“ gegenüber „Kahlfläche“ oder alternativer Nutzungsform „Weide/Grünland“ um ca. (0-)10-30 %	Mehrwert des Waldes für den Hochwasserschutz (Reduktion des Schadenserwartungswertes): jährl. Rente: ca. 0 bis 10€/ha/a „Hügelland“ jährl. Rente: ca. 0 bis 40€/ha/a „Bergwald“ Kapitalwert: ca. 0 bis + 330€/ha „Hügelland“ Kapitalwert: ca. 0 bis +1.300 /ha „Bergwald“
Erhöhung des Schadenserwartungswertes durch erhöhte Auftretenswahrscheinlichkeit eines bestimmten Hochwasserabflusses bei totalem Waldverlust: ca. (0-)25 bis 100 % (unterer Rahmenwert für dauerhaft nasse, Wasser undurchlässige oder unter jeglicher Landnutzung ideal durchlässige Standorte)	Opportunitätskosten der Nutzung als Bergwald: Jährlicher Nutzungsentgang: - 50 bis - 200€/ha/Jahr Kapitalwert (kapitalisiert zu 3 %): - 1.650 bis -6.600€/ha
Opportunitätskosten (Nutzungsverzicht Grünland bei „marginalen Produktionsverhältnissen“ Mittelgebirge (Nordeifel) zugunsten Wald (Fi bzw. Bu-Fi) ohne Berücksichtigung von staatlichen Zuschüssen; Quelle: GROTTKER, Schriften zur Forstökonomie Bd. 19)	

3.2.3 Bewertung der Ergebnisse der monetären Abschätzungen

- Der flächenspezifische Mehrwert von Auwäldern für den Hochwasserschutz scheint mit grob geschätzt 0 bis 20.000 €/ha deutlich höher zu sein als der von Wäldern im Einzugsgebiet, auch von Bergwäldern (mit grob geschätzt 0 bis 2.000 €/ha).
- Investitionen in den Erhalt oder den Umbau hochwasserschutzfunktionsgerechter Bergwälder erscheinen je nach dem Grad des abzuwendenden Funktionsverlustes bzw. des zu erzielenden Funktionsgewinnes in gewissem Maß gesamtwirtschaftlich gerechtfertigt (bis zu ca. 60 €/ha/Jahr). Dabei wurden eventuelle Opportunitätskosten eines Waldumbaus (Ertragsminderung) nicht in Ansatz gebracht.
- Investitionen in den Erhalt bzw. in den funktionsgerechten Umbau von Auwäldern erscheinen ebenfalls gesamtwirtschaftlich gerechtfertigt (bis ca. 600 €/ha/Jahr) [wenngleich rein strömungsdynamisch auch ein standortsfremder Bestand Abfluss bremsende Wirkung aufweist].
- Bezüglich der Fragestellung „Neuaufforstung“ stehen dem gesamtwirtschaftlichen Mehrwert der Hochwasserschutzwirkung in beiden Beispielfällen erhebliche Opportunitätskosten für den Nutzungsentgang bei Nutzung als Wald statt Grünland gegenüber. [Zudem wäre hier der Investitionswert der Neuaufforstung auf ca. 50 % abzuzinsen (20 Jahre zu 3 %), da die volle Wirkung des Waldes erst etwa mit Bestandesschluss eintritt].
- In den Kalkulationsbeispielen wäre demnach aus gesamtwirtschaftlicher Sicht eine Investition in „Neuaufforstung im Einzugsgebiet aus Hochwasserschutzgründen“ gegenüber einer Investition in „Hochwasserrückhaltebecken“ bzw. gegenüber der erzielbaren Minderung des Schadenserwartungswertes ohne die Heranziehung weiterer nicht-monetärer Kriterien (im Bergland insbesondere Erosions- und Lawinenschutz, ansonsten Landschaftsbild, Erholungsnutzung, Lebensraum-Funktion oder ähnliches) bei Berücksichtigung des Nutzungswertes der landwirtschaftlichen Fläche nicht eindeutig zu rechtfertigen.
- Eine Investition in „Neuaufforstung im Überflutungsbereich von Flüssen“ erreicht dagegen die Größenordnung der Opportunitätskosten, wenn man für Grünland im Überflutungsbereich von Flüssen zusätzlich einen je nach Auftretenswahrscheinlichkeit von ernstschädlichem Hochwasser reduzierten Ertragswert (bzw. staatliche Transferleistungen als Entschädigungszahlungen in entsprechender Höhe an den Grundbesitzer) unterstellt.

Alle Komponenten dieser nur grob überschlägigen gesamtwirtschaftlichen Kosten-Nutzen-Rechnungen weisen sehr erhebliche Unsicherheiten auf. Insbesondere fehlen auch räumlich besser passende Opportunitätskostenangaben bzw. Schadenserwartungswerte. Eine direkte Abschätzung eines Ersatzkostenansatzes lag nur für das Beispielsgebiet Bergwald vor (ROSEMANN 1988), der für das Halblecheinzugsgebiet für den Fall eines völligen Waldverlustes Ersatzkosten in Höhe von ca. 3.000 DM je Hektar Einzugsgebietsfläche abschätzte. Eine wirklich fundierte monetäre Bewertung der Hochwasserschutzwirkung liegt weit jenseits des in diesem Demonstrationsvorhaben methodisch Möglichen.

3.3 Rechtliche Rahmenbedingungen für den Hochwasserschutz im Wald

Die Abfluss regulierende und dämpfende Wirkung des Waldes ist Teil seiner Wasserschutzfunktion. Der Sicherung und Stärkung der Schutzfunktionen als hochrangigem waldgesetzlichem Ziel (Art. 1 BayWaldG) dienen zahlreiche Vorschriften des Waldgesetzes für Bayern, so zur Wald-funktionsplanung (Art. 6), zur forstlichen Fachplanung (Art. 5), zur Bewirtschaftung des Waldes im Allgemeinen (Art. 14) und des Staatswaldes (Art. 18) im Besonderen, zur Berücksichtigung der Funktionen bei Planungen und Vorhaben (Art. 7) sowie insbesondere auch das Rechtsinstitut des Schutzwaldes (Art. 10).

Waldgesetzliche Ziele hinsichtlich der Hochwasserschutzfunktion sind

- Sicherung und Stärkung der Funktionsfähigkeit;
- Erhalt bzw. Mehrung der Waldflächen (mit Schutzfunktion);
- Sachgemäße bzw. vorbildliche Bewirtschaftung.

Waldgesetzliche Instrumente zur Umsetzung der Ziele des Hochwasserschutzes sind

- Waldfunktionspläne (Art. 6);
- Forstbetriebspläne im Staatswald, Körperschaftswald (Art. 19) und Privatwald;
- Förderung der privaten und körperschaftlichen Waldwirtschaft (Art. 20).

Wasserrechtliche Grundlagen des Hochwasserschutzes sind die Vorschriften des Wasserhaus-haltsgesetzes von 2002 (WHG) und des Bayerischen Wassergesetzes von 1994 (BayWG) zur Bewirtschaftung und zum Ausbau oberirdischer Gewässer sowie zum Schutz vor Hochwasserge-fahren in Überschwemmungsgebieten.

Wasserrechtliche Bewirtschaftungsziele des WHG mit Relevanz für den Hochwasserschutz sind

- Vermeidung einer Vergrößerung und Beschleunigung des Wasserabflusses (§ 1a);
- Erhaltung oder Erreichung eines guten ökologischen Zustands oberirdischer Gewässer (§ 25a);
- Erhaltung oder Zurückführung ausgebauter Gewässer in einen naturnahen Zustand (§ 31);
- Erhaltung oder Verbesserung der ökologischen Strukturen der Gewässer und ihrer Über-flutungsflächen (§ 32);
- Erhaltung oder Rückgewinnung natürlicher Rückhalteflächen (§32).

Demgegenüber stellt das (ältere) BayWG Regelungen in Überschwemmungsgebieten in den Vordergrund, um

- den schadlosen Hochwasserabfluss sicherzustellen (Art. 62) bzw.

- den Wasserabfluss, die Höhe des Wasserstandes und die Wasserrückhaltung nicht nachteilig zu beeinflussen (Art. 61).

Wasserrechtliche Instrumente zur Umsetzung der Ziele des Hochwasserschutzes sind

- Maßnahmenprogramme für Flussgebietseinheiten (§ 36 WHG) bzw. wasserwirtschaftliche Rahmenpläne (Art. 71a BayWG);
- Bewirtschaftungspläne für Flussgebietseinheiten (§ 36b WHG bzw. Art. 71b BayWG).

3.4 Sicherung der Hochwasserschutzfunktion von Wäldern

Im Demonstrationsvorhaben wurden drei unterschiedliche Beispielsgebiete zur Analyse der Leistungen des Waldes für den Hochwasserschutz und zur Bewertung funktionssichernder oder verbessernder forstlicher Maßnahmen bzw. Programme genauer durchleuchtet.

3.4.1 Wald im Wassereinzugsgebiet (speziell Bergwald)

Grundlagen

In den Mittelgebirgen und insbesondere im Alpenraum spielt die Hochwasserschutzfunktion des Waldes im Einzugsgebiet wegen der hohen zu erwartenden Starkniederschläge eine besonders wichtige Rolle. Mit 250.000 ha liegen etwa 10 % der bayerischen Wälder im Alpenraum. Davon dienen 147.000 ha als Schutzwald dem Schutz vor alpinen Naturgefahren wie Erosion, Lawinen und Hochwasser besonders. Von den Schutzwäldern sind wiederum etwa 12.600 ha (9 %) überaltert und verlichtet oder durch Sturmwurf bzw. Borkenkäfer geschädigt (BIERMAYER 2002). Als Beispiel für die Wälder im Einzugsgebiet wurde deshalb ein Bergwaldgebiet, das Einzugsgebiet des Halblechs im Naturschutzgebiet Ammergebirge, näher erforscht. Der Halblech ist einer der gefährlichsten Wildbäche Bayerns. Seit den 1960er Jahren erfolgen im Gebiet intensive technische (Wildbachverbauung) wie forstliche (Trennung von Wald und Weide, Verzicht auf Kahlschlagwirtschaft, Schutzwaldsanierung) Hochwasserschutzmaßnahmen. Die Gemeinde Halblech und die Waldkörperschaft Buching-Trauchgau als Waldbesitzer arbeiten dabei intensiv mit den Wasserwirtschafts- und Forstbehörden zusammen. Als Grundlagen für die Beurteilung der Hochwasserschutzwirkung wurden folgende Materialien mit einem geographischen Informationssystem aufbereitet:

- Forstliche Standortkartierung für den Wald der Gemeinde und der Waldkörperschaft, erstellt vom Verein für forstliche Standortserkundung im Privat- und Körperschaftswald (VfS 2001) nach einem gebirgsspezifischen Verfahren (Abbildung 13 sowie Anhang A-1a bis A-1c);
- topographische Karte, digitales Geländemodell;

- geologische Karte (Anhang A-2a und A-2b);
- Luftaufnahmen und Farb-Infrarot-Luftbilder des Gebiets aus dem Jahr 1992;
- Planungskarte der Funktionsstelle für Schutzwaldsanierung.

Die Luftbildaufnahmen wurden zur Ermittlung von Baumartenzusammensetzung, Bestandesdichte und Altersphase der Waldbestände ausgewertet (Anhang A-3a bis A-3c) und erfassen die Schadflächen der Orkane von 1990 sowie der nachfolgenden Borkenkäfergradation.

Für die genauere Analyse der Hochwasserabflusseigenschaften wurden im Gesamtgebiet zwei kleinere Teileinzugsgebiete mit deutlich unterschiedlicher Geologie ausgewählt:

- Einzugsgebiet Röthenbach: 820 ha, Flyschzone, lehmig-tonige Böden;
- Einzugsgebiet Lobentalbach: 790 ha, Kalkalpine Zone, durchlässigere Kalkböden.

Zur Abschätzung der Oberflächenabflusseigenschaften wurde eine von MARKART et al. (2001) auf Grundlage der in Kapitel 3.1.2 dargestellten Beregnungsversuche im bayerischen und österreichischen Alpenraum entwickelte differenzierte Feldmethode zur Abschätzung der Abflusseigenschaften auf der Skalenebene einzelner Bestände speziell für alpine Boden- bzw. Vegetationseinheiten verwendet (Tabelle 10). Das Verfahren erfasst den Oberflächenabfluss sowie die sehr oberflächennahe Komponente des raschen Zwischenabflusses und bezieht sich auf einen Starkregen von 100 mm innerhalb einer Stunde als Bezugsniederschlag.

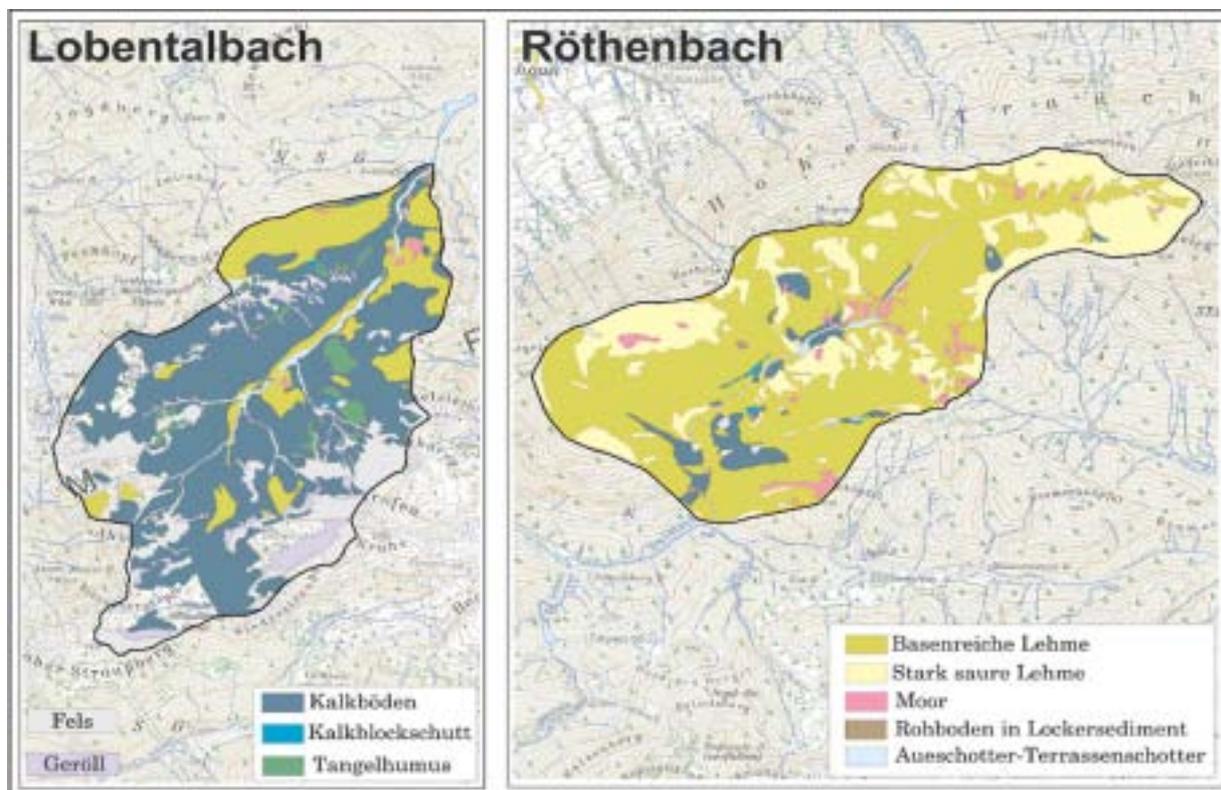


Abb. 13: Substratklassen nach der Standortkarte des VfS (2001) für die Teileinzugsgebiete Lobentalbach (links) und Röthenbach (rechts)

Die Autoren des Verfahrens am Institut für Lawinen- und Wildbachkunde des BFW in Innsbruck stufte die Standortseinheiten in die Abflussbeiwertklassen des Verfahrens ein (Anhang Tabelle A-4a bis A-4c). Dabei erwies sich die gebirgsspezifische Standortskarte als hervorragend geeignete Grundlage zur Anwendung des Verfahrens. Die Ergebnisse für die Abflussbeiwerte bezogen auf den Ist-Zustand der Bestände der beiden Einzugsgebiete gemäß den Luftbildern von 1992 zeigt Abbildung 14.

Tab. 10: Abflussbeiwertklassen für Starkregenereignisse nach der Methode des Instituts für Lawinen- und Wildbachforschung des Österreichischen Bundesamtes und Forschungszentrums für Wald, Innsbruck (MARKART et al. 2001)

Oberflächenabfluss	Oberflächenabfluss in % des Niederschlags bezogen auf ein Starkregenereignis von 100 mm innerhalb von 1 Stunde
0	0 %
1	1 - 10 %
2	11 - 30 %
3	31 - 50 %
4	51 - 75 %
5	76 - 99 %
6	100 %

Ergebnisse

Dabei zeigte sich, dass im Flyschgebiet Röthenbach (Abflussbeiwert 37 %) mit höheren Abflussbeiträgen zu rechnen ist als im kalkalpinen Gebiet Lobentalbach (Abflussbeiwert 30 %). Dies ist weitgehend auf die bekanntermaßen hydrologisch wesentlich problematischeren, weniger wasserundurchlässigen Flyschböden zurückzuführen. Der Unterschied der Gebiete fiel bezogen auf Waldstandorte noch deutlicher aus, wenn die im Gebiet Lobentalbach vorhandenen Felsflächen mit hohem Abflussbeiwert außer Betracht blieben.

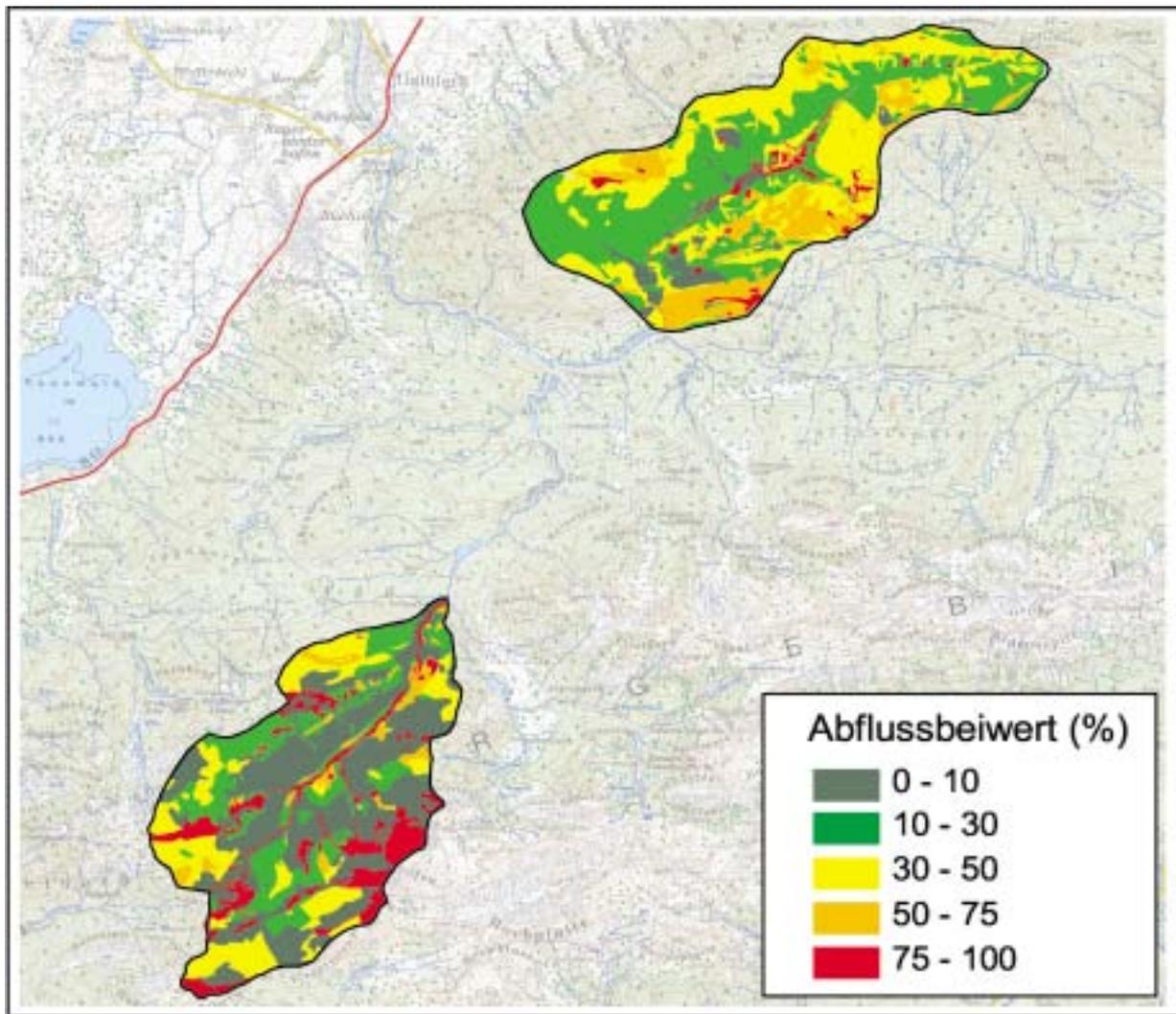


Abb. 14: Abflussbeiwerte für definierten Starkregen von 100 mm in 1 Stunde nach MARKART et al. (2001) für die Einzugsgebiete Röthenbach (rechts oben) und Lobentalbach (links unten) bezogen auf den Zustand der Wälder gemäß den Luftbildern 1992

In einem zweiten Analyseschritt wurde die Empfindlichkeit der Abflussbeiwerte gegenüber verschiedenen Störungen der Waldbestände untersucht (Tabelle 11 und Anhänge A-5a bis A-5d). Auch gegenüber negativen Beeinträchtigungen der Bestände bzw. Böden ist das Flyschgebiet deutlich empfindlicher. Die dort für das Szenario „Kahlfläche“ ermittelte Erhöhung des Oberflächenabflusses bei Starkregen liegt mit 39 % in der gleichen Größenordnung wie die moderateren der in Tabelle 5 (Kapitel 3.1.3) angegebenen Werte für vergleichbare Szenarien.

Tab. 11: Mittlere Oberflächenabflussbeiwerte für Starkregenereignis 100 mm in 1 Stunde für die Einzugsgebiete Lobentalbach und Röthenbach bezogen auf die tatsächlichen Bestandesverhältnisse 1992 sowie relative Änderung der mittleren Abflussbeiwerte für verschiedene Szenarien des Waldzustandes (siehe auch Anhänge A-5a bis A-5d)

		Lobentalbach	Röthenbach
Oberflächenabflussbeiwerte für aktuellen Waldzustand 1992		30 %	37 %
Mittlerer Überschirmungsgrad der Waldflächen 1992		61 %	87 %
Relative Veränderungen des Abflussbeiwertes unter verschiedenen Szenarien bezogen auf den Istzustand als 100 %			
Idealzustand	Geschlossene Bestände der natürlichen Waldgesellschaft	- 12 %	- 13 %
Istzustand	Aktueller Waldzustand 1992	100 %	100 %
Verlust der Mischbaumarten	Alle Bergmischwaldbestände durch Fichtenreinbestände ersetzt	+ 2 %	+ 13 %
Waldweide	Bodenverdichtung durch Waldweide auf allen Waldflächen	+ 12 %	+ 28 %
Kahlfläche	Alle Bestände durch Kahlflächen ersetzt	+ 14 %	+ 39 %

Schlussfolgerungen

Nach den Ergebnissen der Literaturstudie und der Untersuchungen zur Sensitivität des Hochwasserabflusses mindern folgende forstliche Ziele und Maßnahmen den Hochwasserabfluss und sichern oder verbessern damit die vorbeugende Hochwasserschutzfunktion des Bergwaldes (Tabelle 12).

Die im Demonstrationsvorhaben angewandte Methode zur Abschätzung des Oberflächenabflusses und dessen Beeinflussbarkeit durch Maßnahmen oder Störungen ist als Feldmethode konzipiert. So kann sie ein geschulter Forstplaner - anders als im Projekt - mittels Erhebung der erforderlichen Boden-, Vegetations- und Bestandesmerkmale im Einzelbestand vor Ort verwenden. Damit stellt sie eine wissenschaftlich fundierte und zudem praxistaugliche Methode dar, um Handlungsbedarf sowie Prioritäten für forstliche Maßnahmenplanungen im Bergwald z. B. im Rahmen der Forstbetriebsplanung oder der Schutzwaldsanierungsplanung festzustellen. Ziel ist dabei, die verfügbaren Ressourcen, gerade im Schutzwald, gezielt auf die Flächen zu konzentrieren, auf denen die höchste Wirksamkeit für den vorbeugenden Hochwasserschutz zu erwarten ist.

Tab. 12: Ziele und Maßnahmen zur Sicherung und Verbesserung der vorbeugenden Hochwasserschutzfunktion der Wälder, insbesondere der Bergwälder (bestehende Maßnahmen; kursiv: Maßnahmen, deren Potential derzeit nicht ausgeschöpft wird)

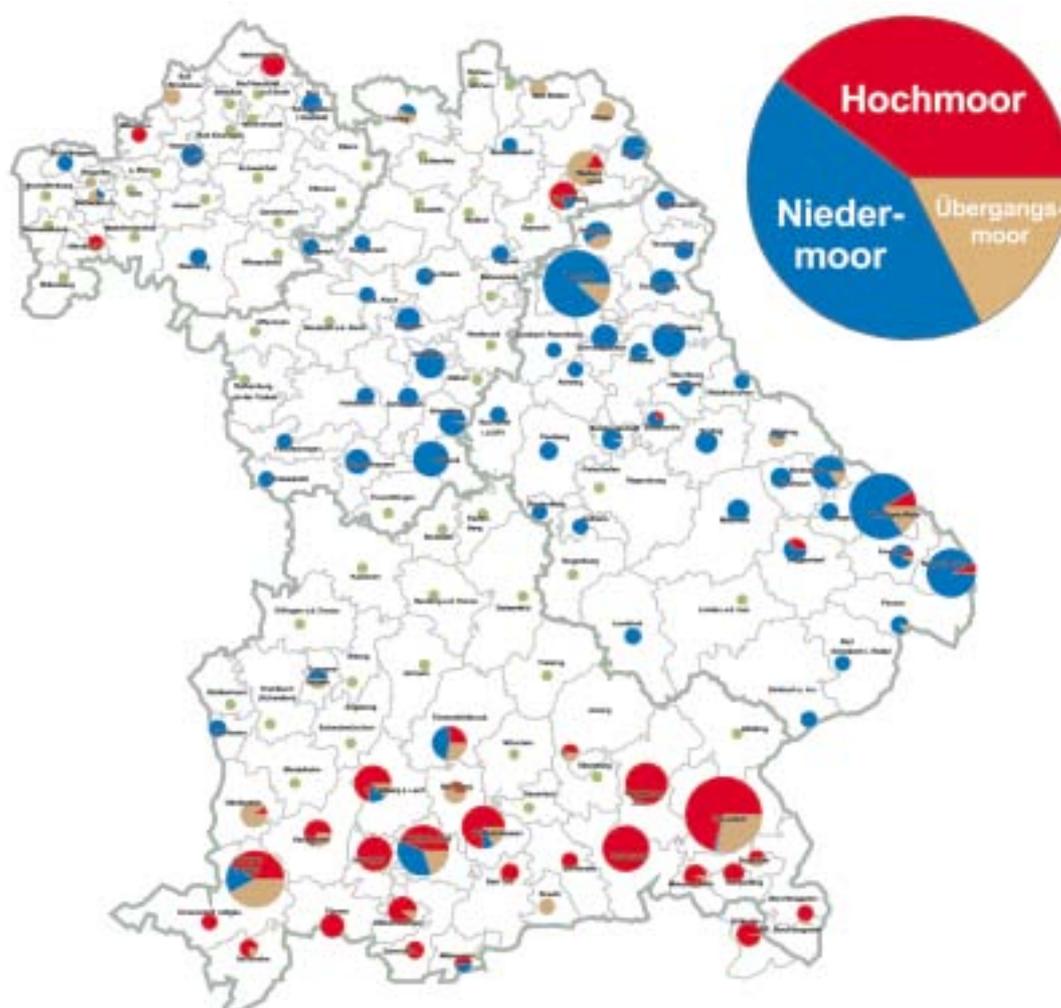
<p>1. Erhaltung und gegebenenfalls Mehrung des Waldanteils im Einzugsgebiet durch</p> <ul style="list-style-type: none"> • Schutzwaldausweisung • <i>Aufforstung von Wiesen- und insbesondere Weidestandorten mit höherem Oberflächenabflussbeiwert als Bergwald</i> • <i>Finanzielle Förderung der Aufforstung von schutzwirksamen Flächen</i>
<p>2. Sicherung einer schutzwirksamen, stabilen Waldbedeckung durch</p> <ul style="list-style-type: none"> • waldbauliche Pflege und Verjüngung des Bergwaldes (Stabilisierung gegen Sturm) • Vermeidung von Borkenkäferschäden (keine Kahlflächen) • Regulierung der Schalenwildbestände • Schutzwaldpflege, Schutzwaldbeihilfe
<p>3. Bodenschutz, Vermeidung von Abfluss verschärfenden Maßnahmen oder Störungen durch</p> <ul style="list-style-type: none"> • Trennung von Wald und Weide (keine Bodenverdichtung) • Sachgerechte Holzernte am Hang (keine Bodenverdichtung; siehe LWF 2002) • Sachgerechte Wegeerschließung (Querentwässerung; keine Unterbrechung des Zwischenabflusses am Hang)
<p>4. Wiederherstellung einer schutzwirksamen, stabilen Waldbedeckung durch</p> <ul style="list-style-type: none"> • Schutzwaldsanierung • Waldumbau (von nicht standortgemäßen Fichtenreinbeständen in Bergmischwaldbestände mit Buche und Tanne)
<p>5. Minderung der Wildholzproblematik</p> <ul style="list-style-type: none"> • In Abstimmung mit den Wasserwirtschaftsbehörden ist gegebenenfalls Starkholz in steilen Wildbacheinhängen oder Erosionsanbrüchen zu entfernen *)

*) Anmerkung: Neuerdings finden sich zur Erosionsproblematik in Wildbacheinhängen auch Strategien, die dort die Erosion nicht bremsen, sondern im Interesse des Hochwasserschutzes „zur Förderung des Geschiebeeintrages ... die Erosion an Wildbacheinhängen gezielt zulassen“ wollen (BAYLFW und BAYLFU).

3.4.2 Feuchtstandorte im Wald (speziell Moore)

Grundlagen

Feuchtgebiete sind naturraumspezifische Lebensräume. Das Wasser und dessen ständiger oder zeitweiliger Überschuss prägen deren Landschaftsbild, Pflanzen- und Tierwelt wesentlich. Dazu zählen neben den Flussauen (Kapitel 4.3.3) Quellen, kleine Stillgewässer, Bachauen, Stauwasserstandorte und Moore (DVWK 1998). Die Bayerische Staatsforstverwaltung betreut 14.300 ha Moorland, das entspricht 9 % aller bayerischen Moorflächen. Vor dem Inkrafttreten des Bayerischen Naturschutzgesetzes war es seit über 200 Jahren erklärtes Ziel, Moore durch Entwässerung für den Torfabbau sowie für die nachfolgende land- oder forstwirtschaftliche Nutzung urbar zu machen. Deshalb befinden sich viele Moore in einem stark veränderten, naturfernen Zustand.



Niedermoore	6.631 ha	46 %
Übergangsmoore	2.357 ha	17 %
Hochmoore	5.273 ha	37 %
Gesamt	14.261 ha	100 %

Abb. 15: Moorflächen im Staatswald der Bayerischen Forstämter (ZOLLNER und CRONAUER 2003)

Das Schönramer Filz, das die LWF (ZOLLNER und CRONAUER 2003) näher erforschte, war ehemals ein offenes Latschenfilz mit bis zu 5 m mächtigem Torf. Im Zeitraum von 1900 bis 1993 wurde es großflächig abgetorft und entwässert. Nachfolgend wurde es vor allem mit Fichte und Kiefer aufgeforstet, zusätzlich flogen Pionierbaumarten, vor allem Birke, an. Abbildung 16 zeigt den stark veränderten Zustand des Moores im Jahr 1961, als kaum noch ungestörte offene Moorflächen vorhanden waren.

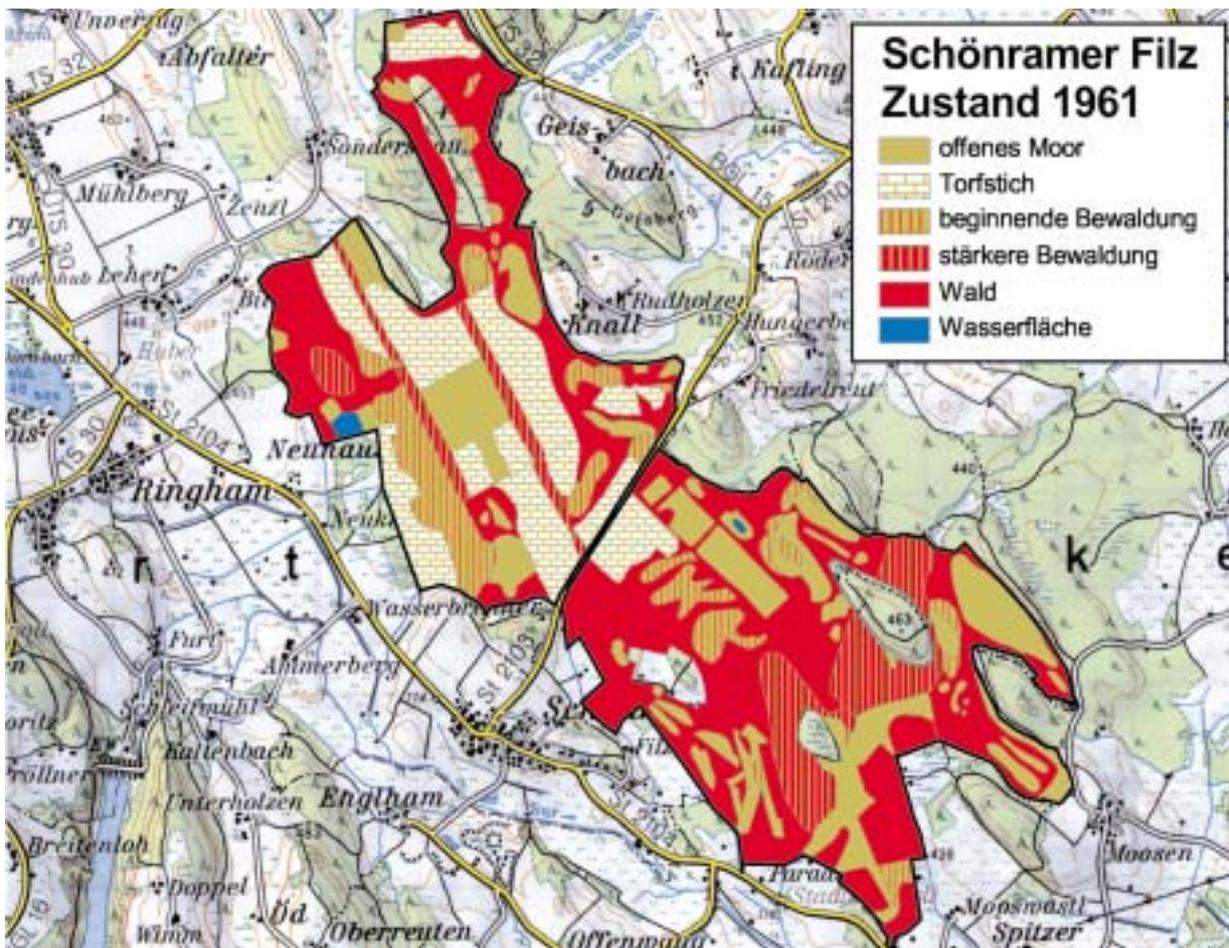


Abb. 16: Zustand des Schönramer Filzes im Jahr 1961

Ergebnisse

Nach ZOLLNER und CRONAUER (2003) herrscht in der Literatur vielfach die Auffassung, entwässerte Hochmoore seien in Bezug auf das Abflussgeschehen günstiger zu beurteilen als naturnahe, ungestörte. Die Untersuchungen zum Abflussverhalten von ungestörten, entwässerten sowie aufgeforsteten Hochmoorflächen aus dem langjährigen moorhydrologischen Versuch der ehemaligen Landesanstalt für Bodenkunde und Pflanzenbau (LBP 1999) in den südlichen Chiemseemooren (1968-1999) belegen jedoch deutlich, dass eine Entwässerung den Hochwasserabfluss gegenüber der ungestörten Hochmoorfläche stark erhöhen kann (LBP 1999; ZOLLNER und CRONAUER 2003). Abbildung 17 zeigt, dass die entwässerte Moorwiese bei allen Ereignisgrößen deutlich höhere Spitzenabflüsse aufweist als die unberührte Hochmoorfläche. Die entwässerte und

aufgeforstete Versuchsfläche bildet bei kleinen bis mittleren Ereignissen ähnlich geringe Abflussspitzen wie die unberührte Moorfläche. Bei größeren Ereignissen übersteigen ihre Abflussspitzen die des unberührten Moores jedoch ebenfalls deutlich. Bei einem großen Starkregenereignis wie beispielsweise am 5.7.1997 (Abbildung 18) mit 100 mm innerhalb eines Tages zeigt das unberührte Hochmoor eindeutig die geringsten Abflussspitzen und eine insgesamt stark gedämpfte Abflussreaktion.

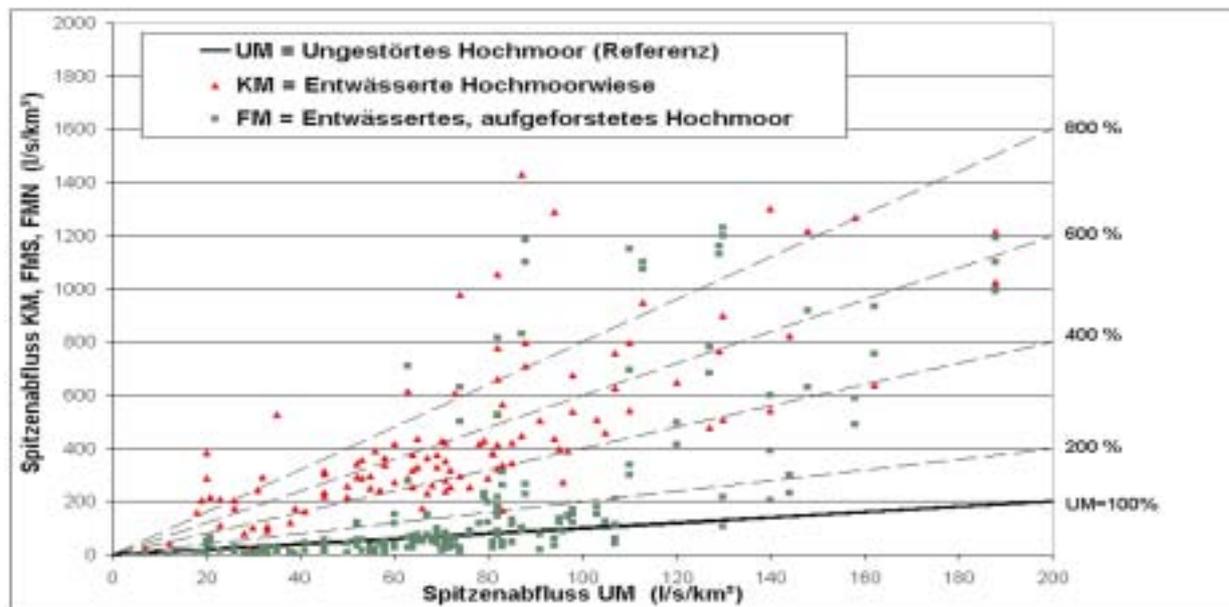


Abb. 17: Spitzenwerte der täglichen Wasserabflüsse der Varianten des Moorversuchs in den Chiemseemooren aus dem Zeitraum 1989-1999

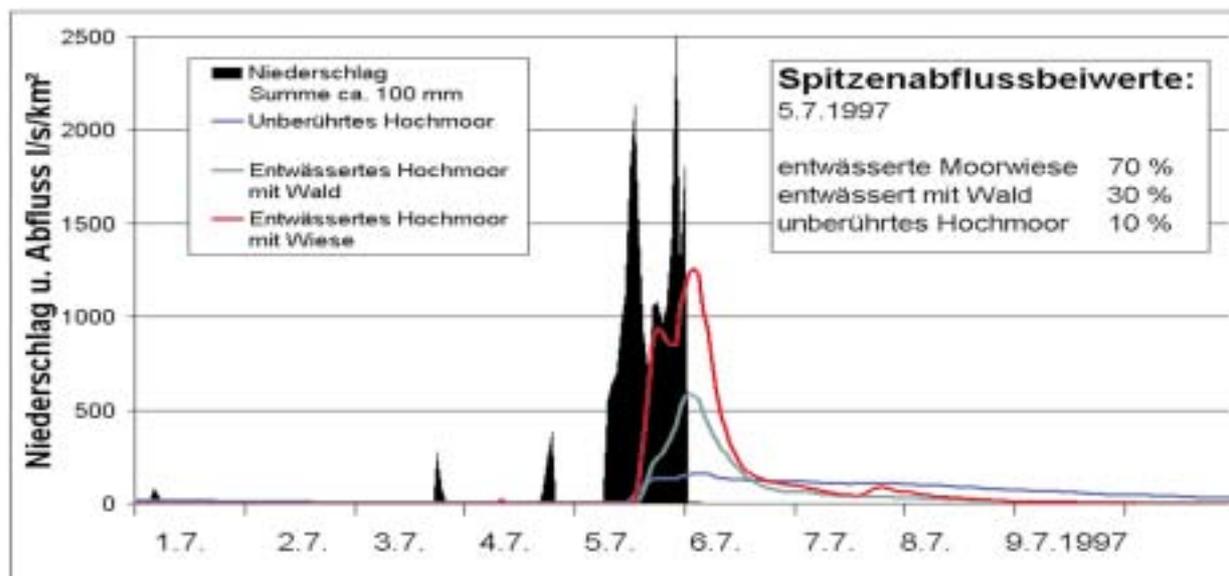


Abb. 18: Beispiel für die Abflussreaktion der Varianten des Moorversuchs in den Chiemseemooren bei einem Starkregenereignis (insgesamt etwa 100 mm am 5.7.1997)

Im Rahmen eines Forschungsprojektes (V32) der LWF wurde die Renaturierung des Schönramer Filzes wissenschaftlich begleitet und eine erste Erfolgskontrolle durchgeführt. Dabei erwies sich die Wiedervernässung, d.h. die Herstellung eines dauerhaft möglichst oberflächennahen Wasserspiegels mit Hilfe des Einstaus von Entwässerungsgräben als entscheidende Maßnahme, um das Wachstum der Torfmoose und damit eine neuerliche Hochmoortorfbildung in Gang zu setzen. Zusätzlich erwies sich die Auflichtung zu dichter Waldbestände als notwendig, um dem hohen Lichtbedarf der Torfmoose zu entsprechen. Bei maschinell abgebauten Mooren ist gegebenenfalls übergangsweise ein weiterer Abbau zweckmäßig, um eine für die flächige Wiedervernässung günstige möglichst ebene Oberfläche zu erzielen.

Diese Erkenntnisse aus den bisherigen Moorrenaturierungsprojekten der Staatsforstverwaltung fließen auch in die Leitfäden für die Hochmoor- bzw. Niedermoorrenaturierung in Bayern ein, die im Rahmen des Moorentwicklungskonzeptes Bayern des Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen erarbeitet werden.

Schlussfolgerungen

Seit Erlass der Richtlinien für die mittel- und langfristige Forstbetriebsplanung 1982 steht für die Moore im Staatswald nicht mehr die Rohstoffgewinnung durch Torfabbau oder die forstliche Nutzung im Vordergrund, sondern die Erhaltung oder Wiederherstellung eines möglichst natürlichen Zustandes der Moore. Gesetzliche Grundlage hierfür ist das Bayerische Naturschutzgesetz. Die Renaturierung von Mooren hat die Wiederherstellung der Moore als Lebensräume spezieller Tier- und Pflanzenlebensgemeinschaften zum Ziel. Sie dient aber gleichzeitig der Sicherung und Verbesserung des Naturhaushaltes von Mooren und dabei insbesondere ihrer ausgleichenden Wirkung auf den Wasserhaushalt der Landschaft. Ähnliches gilt auch für die weiteren Feuchtflächen im Wald, etwa Quellfluren, Quellsümpfe und kleinere Waldbäche.

Tab. 13: Ziele und Maßnahmen zur Sicherung und Verbesserung des Naturhaushaltes von Mooren und anderen Feuchtflächen im Wald (bestehende Maßnahmen)

<p>1. Sicherung des naturnahen Zustandes von Mooren und Feuchtflächen im Wald</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vorrang der Schutzfunktionen (Biotop- und Wasserschutz) vor Nutzfunktion im Rahmen der Forstbetriebsplanung; gegebenenfalls Nutzungsverzicht • Besondere Berücksichtigung der Schutzbedürftigkeit von Mooren und Feuchtflächen bei der Waldbewirtschaftung (Befahrung u. ä.)
<p>2. Wiederherstellung des naturnahen Zustandes von Mooren und Feuchtflächen im Wald</p> <ul style="list-style-type: none"> • Erstellung und Umsetzung von Renaturierungsplanungen für alle gestörten Moore im Staatswald als Bestandteil der Forstbetriebsplanung • Umbau nicht standortgerechter Bestockungen an Waldbächen

3.4.3 Auwälder

Grundlagen

Die Fläche der Flussauen Bayerns beträgt etwa 300.000 ha. Von Natur aus wären sie zu großen Teilen mit Auwäldern bedeckt. Mit zunehmender Besiedelung und landwirtschaftlicher Nutzung der Talräume wurden im 19. und 20. Jahrhundert viele Flüsse reguliert und eingedeicht mit dem Ziel der Hochwasserfreilegung. Im Zuge dieser Entwicklung wurde ein großer Teil der Auwälder zugunsten anderer Nutzungen gerodet, so dass es um 1980 nur noch etwas über 40.000 ha Auwald in Bayern - überwiegend in Südbayern - gab, davon etwa 9.000 ha im Staatswald (GULDER 1996). Die Flussauen sind also mit einem rechnerischen Bewaldungsanteil von etwa 13 % insgesamt sehr waldarme Bereiche. Die Ausweisung von Bannwald nach Inkrafttreten des Waldgesetzes 1975 konnte den weiteren Verlust an Auwäldern zumindest stoppen. Seither ist eine wenn auch geringfügige Flächenzunahme festzustellen (BIERMAYER 1999).

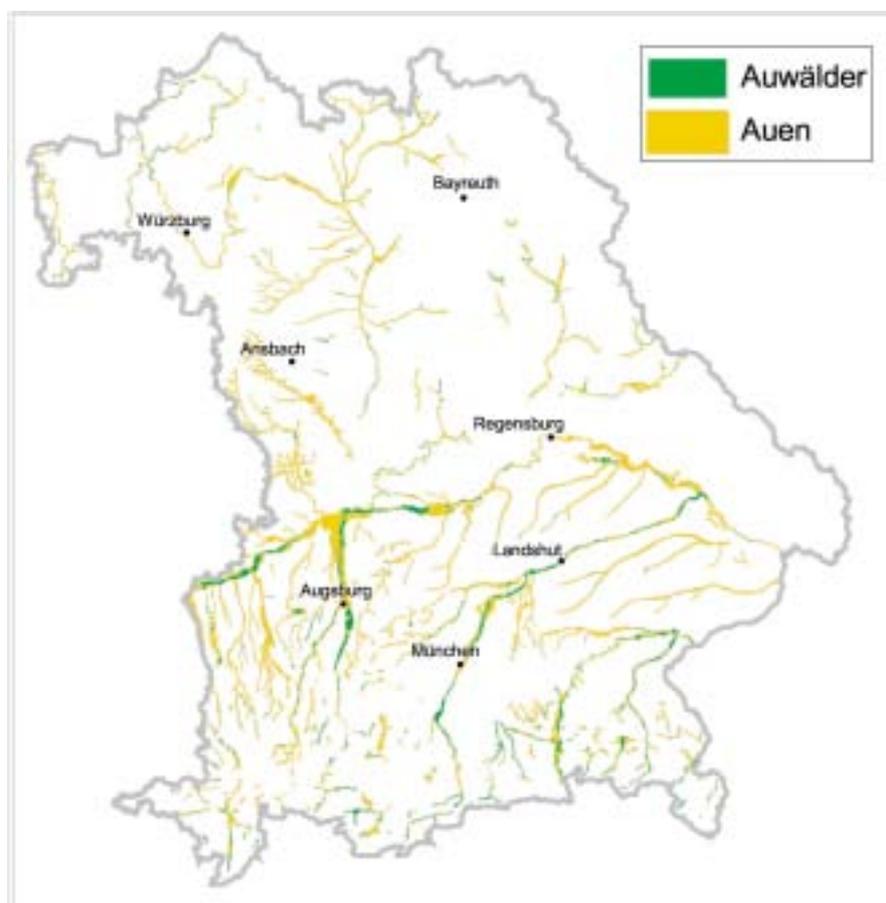


Abb. 19: Flussauen in Bayern (ockergelb) und darin derzeit vorhandene Auwälder (grün)

In Folge der Eindeichungen verloren zudem viele ehemalige Auenflächen ihren von periodischer Überflutung geprägten Auencharakter. Nur noch etwa 10 bis 15 % der verbliebenen Wälder in den Flusstälern werden noch episodisch überflutet und sind somit als Auenwälder im echten Sinne anzusehen (BIERMAYER 1999). Die Flussbegradigungen beschleunigten die Fließgeschwindig-

keit sowie die Eintiefung der Sohle um oft mehrere Meter, so z. B. die Isar bei Freising um bis zu 8 m (LfW und LfU 2002). Damit senkte sich auch der Grundwasserspiegel unter den Auwäldern vielfach so weit ab, dass er für den Standort bedeutungslos wurde. Auf den verbliebenen Waldflächen, auf denen die auwaldtypischen Standortfaktoren Überflutung und Grundwasser nicht mehr wirksam waren, wurden die ehemaligen Auwaldbestockungen vielerorts in Fichten-, Kiefern- oder Pappelbestände umgewandelt.

Im Demonstrationsvorhaben wurden die Auwälder entlang der Mittleren Isar im Bereich des Forstamtes Freising näher betrachtet. Es betreut mit etwa 2.900 ha die größten Auwaldflächen im Staatswald (LWF 2003).

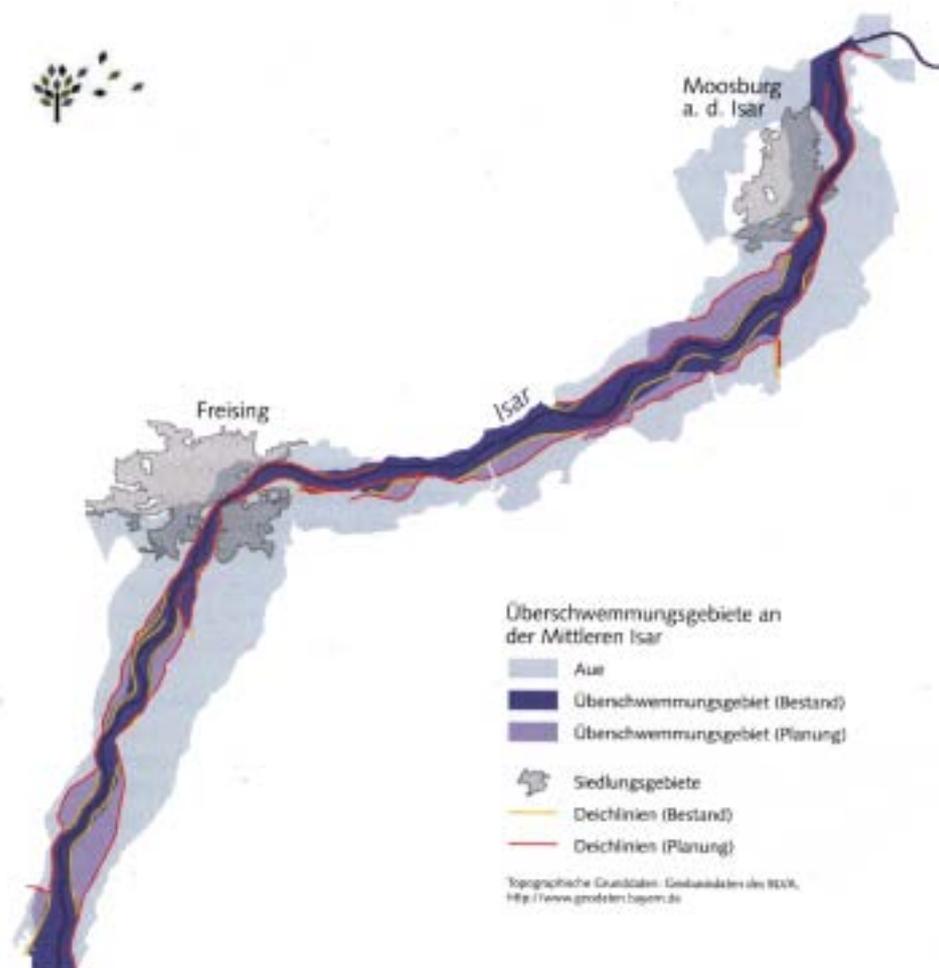


Abb. 20: Bestehende und bis 2020 geplante Ausweitung der Überschwemmungsgebiete im Auenbereich der Mittleren Isar

Ergebnisse

Der Gewässerentwicklungsplan und das Hochwasserschutzprogramm 2020 sehen für die Mittlere Isar eine erhebliche Ausweitung der Überflutungsflächen von derzeit 1.600 ha um ca. 1.000 ha mittels Rückverlegung bestehender flussnaher Hochwasserschutzdeiche vor, ohne allerdings auch nur annähernd die Ausdehnung der ursprünglichen Auen zu erreichen zu können (Abbildung 20). Auf diese Weise soll ein zusätzliches Rückhaltevolumen für Hochwasser von ca. 10 Mio. m³ erzielt werden (StMLU 2003). Die Kosten für Hochwasserschutzmaßnahmen werden dabei für den Zeitraum vom Projektbeginn 1998 bis zum Jahr 2020 mit 66,5 Mio. € für den Hochwasserschutz und mit 22,3 Mio. € für die Gewässerentwicklung (Rückbau von Uferbefestigungen u. ä.) beziffert (StMLU 2003). Von den zusätzlichen Überflutungsflächen sind bereits etwa 700 ha Wald. Mittels Aufforstung der übrigen 300 ha ließe sich gemäß der in Kapitel 3.1.3 und 3.2 dargelegten Abschätzung der größeren Einstauhöhe von Wald gegenüber Flächen mit niedriger Vegetation langfristig (etwa nach Bestandesschluss) ein zusätzliches Retentionsvolumen von grob geschätzt bis zu etwa 1 Mio. m³ aktivieren. Die Planungen der Wasserwirtschaft sehen in der Tat erhebliche Investitionen für den Ankauf landwirtschaftlicher Flächen im Überflutungsbereich und für die Entwicklung von Auwald auf diesen Flächen vor. Nachteilig wirkt sich die größere Einstauhöhe des Waldes dagegen in Bereichen aus, in denen der Fließquerschnitt zwischen flussnahen Deichen wegen dahinter liegender Bebauung nicht rückverlegt werden kann und damit bei knapp bemessener Deichkronenhöhe ein freier, ungestörter Durchflussquerschnitt erforderlich ist. Dies ist beispielsweise im Bereich Moosburg der Fall.

Das vom Forstamt Freising bereits mit der Forstbetriebsplanung 1991 eingeleitete Programm zum Umbau von nicht standortgerechten Fichten-, Kiefern- und Kulturpappelbeständen (Stand 1991 ca. 1.200 ha) in naturnahen Auwald nimmt damit bereits die wesentlichen forstlichen Maßnahmen für die Schaffung hochwassertoleranter, naturnaher Auwaldbestände in den zukünftigen Überflutungsbereichen vorweg (Abbildung 21). Bis zum Stand der Forstbetriebsinventur 2001 waren bereits 200 ha umgewandelt (Abbildung 22). Bis zum Jahr 2020 sollen sämtliche Bestände umgewandelt sein. Die Gewähr dafür, dass der Umbau zunehmend beschleunigt werden kann, bietet die Regulierung der Schalenwildbestände (insbesondere des Rotwildes) mit Hilfe eines konsequenten Jagdbetriebes. Hierdurch konnte sich inzwischen auf nahezu der gesamten noch umzubauenden Fläche bereits jetzt eine zielgemäße Vorausverjüngung aus standortgerechten Auwaldbaumarten entwickeln (Abbildung 22).

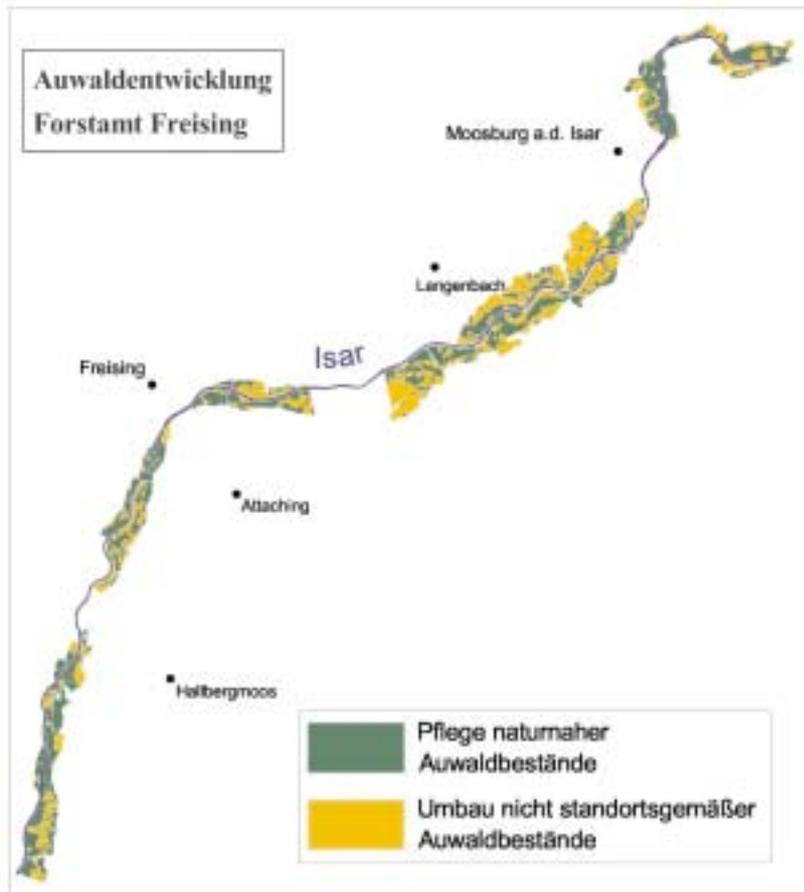


Abb. 21: Zu pflegende naturnahe bzw. umzubauende nicht standortsgemäße Auwaldbestände im Staatswald des Forstamtes Freising (Stand Forstinventur 1991)

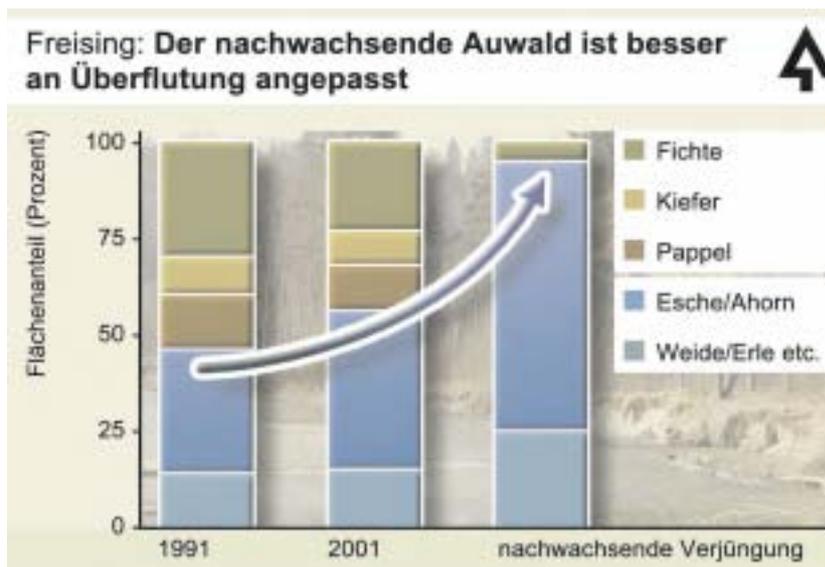


Abb. 22: Anteil der Baumarten im Auwaldbereich des Forstamtes Freising am Gesamtbestand 1991 bzw. 2001 sowie an der nachwachsenden Verjüngung (LWF 2003)

Schlussfolgerungen

Der naturnahe Auwald ist als natürliche Vegetation der Flussauen an die dort natürlicherweise herrschenden Standortverhältnisse mit episodischer Überflutung besser angepasst als alle anderen Landnutzungsarten. Er übersteht temporäre Überflutung ohne wesentliche Schäden. Zusätzlich verstärkt seine erhöhte Oberflächenrauigkeit zusätzlich das Hochwasserrückhaltevolumen und dient somit dem vorbeugenden Hochwasserschutz optimal.

Tab. 14: Ziele und Maßnahmen zur Sicherung und Verbesserung der vorbeugenden Hochwasserschutzfunktion der Auwälder (bestehende Maßnahmen; kursiv: Maßnahmen deren Potential derzeit nicht ausgeschöpft wird)

1. Erhaltung und Mehrung des Waldanteils in den Flussauen
<ul style="list-style-type: none"> • Bannwaldausweisung • <i>Aufforstung von Flächen vor allem in (neu gewonnenen) Überflutungsbereichen</i> • <i>Finanzielle Förderung der Aufforstung</i>
2. Anpassung der Auwälder an reaktivierten Überflutungseinfluss
<ul style="list-style-type: none"> • Umbau nicht standortgemäßer Bestockungen in naturnahen Auwald
3. Erhaltung naturnaher, funktionsgerechter Auwälder
<ul style="list-style-type: none"> • Waldbauliche Pflege und Verjüngung naturnaher Auwälder

4 Diskussion der Ergebnisse

4.1 Wirksamkeit des Waldes im Einzugsgebiet für den vorbeugenden Hochwasserschutz

Dem Wald als Landnutzungsform wird in der hydrologischen Literatur eine tendenziell Hochwasser mindernde Wirkung beigemessen (MENDEL 2000). Sie gründet sich vor allem auf die hohe Infiltrationsfähigkeit von gut strukturierten Waldböden und wird demgemäß vor allem bei lokalen Starkregenereignissen wirksam. Dagegen verliert die Rückhaltewirkung des Waldbodens bei steigender Niederschlagsmenge und damit steigendem Anteil des Abflusses von wassergesättigten Flächen im Verhältnis zunehmend an Bedeutung. Für kleine und mittlere Flussüberschwemmungen sowie für Sturzfluten in kleinen Einzugsgebieten (vor allem im Bergland) wird demnach eine Wirksamkeit des Waldes weitgehend bejaht (MENDEL 2000).

Konsens besteht weiterhin darüber, dass Landnutzung oder andere menschliche Einflüsse extreme Hochwasserereignisse nur sehr eingeschränkt begrenzen können (Tabelle 15). Auch die oftmals als Ursache angeführte Flächenversiegelung spielt bei großen Hochwassern eine untergeordnete Rolle, da hier auch auf infiltrierbaren Flächen Sättigung und damit zunehmender Oberflächenabfluss eintritt. Umstritten ist jedoch, ob extreme Hochwasser vor Beginn der menschlichen Rodungstätigkeit in geringerem Umfang auftraten als in späterer Zeit, wie es zumindest MENDEL (2000) auf Grund von Indizien vermutet (Kapitel 3.1.2). Der Wald kann jedoch statistisch gesehen zumindest die Wahrscheinlichkeit auch von großen Hochwassern beeinflussen, wenn man berücksichtigt, dass für extreme Hochwasser eine Minderung des Spitzenabflusses um 10 % einer Verringerung der Auftretenswahrscheinlichkeit des Hochwassers der ursprünglichen Höhe um mindestens 25 % entspricht (Abschätzung in Anhalt an SCHUMANN 2002).

Umgekehrt wird jedoch einem großflächigen Verlust von Waldbestockung („Waldsterben“) bzw. Waldflächenanteilen auch bei größeren und großräumigeren Hochwasserereignissen eine verschärfende Wirkung beigemessen (Abbildung 23). Dies spricht ebenfalls für die Annahme der positiven Wirksamkeit einer Waldflächenmehrung.

Tab. 15: Beispiele für den Hochwasserabfluss aus bewaldeten Bergwaldeinzugsgebieten bei extremen Starkregenereignissen (Daten für Erzgebirge aus SEEGERT et al. 2003)

Ereignis Bezugstag	Einzugsgebiet	Niederschlag	Abfluss	Abflussanteil	Rückhaltewirkung des Waldes
Pfingsthochwasser 22.5.1999	Halblech (Ammergebirge)	ca. 234 mm (DWD-Station Hindelang)	ca. 200 mm Messstelle Röthenbach LfW	85 %	34 mm = 15 %
Elbehochwasser 12.8.2002	Rotherdbach (Erzgebirge)	ca. 312 mm (DWD-Station Zinnwald)	ca. 271 mm (Modellrechnung BROOK90)	87 %	41 mm = 13 %

Wirkungsabschätzung von Rückhaltung im Einzugsgebiet auf Hochwasser nach IKS 1999 und LAWA 2000

Wirkungsabschätzung von Rückhaltung im Einzugsgebiet auf Hochwasser		Wirkung im															
		Nahbereich auf								Fernbereich auf							
Wirkung von:		keine Hochwasser				große Hochwasser				keine Hochwasser				große Hochwasser			
		Laufzeit	Fülle	Höhe	Dauer												
Bewuchs	Wald / Brachland / Weide		-	-	-												
	intensive Beweidung / Acker	(+)	+	-			(+)	(-)									
Boden	Versiegelte und verdichtete Flächen	+	+	-		+	(+)	(-)		(+)	(+)						
	Frost	+	+	-		+	+	(-)		+	+			(+)	+		
	ökologische Bewirtschaftung	-	-	-		(-)	-	+		(-)	(-)						
Gelände	Besiedelung		+	+	-						+	+	-				
	Waldsterben (Flächenhaft)		+	+	+		+	+	+		+	+	+		(+)	(+)	(+)
	Entseelung / Regenwasserversickerung		-	-	-												
Gewässernetz	keine Rückhaltungen	+		(-)	+			!				!					
	Renaturierung	+		-	+	+	(-)	(+)	(+)	(-)	(+)						
	örtlicher Hochwasserschutz	-		(+)	(-)		(+)	!	(-)			!					!
	Verbreiterung von Gewässerschnitten			(-)			(-)										
	Technische Rückhaltungen in Nebengewässern	(+)	(-)	(-)		(+)	(-)	-	(+)	(+)	(-)	(+)	(+)	(-)	(+)	(+)	(-)
	Deichrückverlegung																
	- Winterdeich	(+)		(-)		+		-		(+)		(-)		+		(-)	
	- Sommerdeich	+		(-)		(+)		-		(+)		(-)		+		(-)	
	Sommerpolder					+	-	-						(+)	-	(-)	
	Technische Rückhaltung (Wehre und Rückhalteräume)	+	(-)	-	(+)	(+)	(-)	-	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	(+)	(-)	-	(+)
Tieferlegung von Bühnen			-				-		(-)		(-)		(-)		(-)		
Entfernen örtlicher Engpässe, Anlage von Flutmulden			-				-		(-)		(-)		(-)		(-)		
Vergrößerung der Vorländer			-				-		(+)		(-)		(+)		(-)		
Tieferlegung der Vorländer			(-)				-				(-)				(-)		

Abb. 23: Wirkungsabschätzung von Rückhaltungsmaßnahmen im Einzugsgebiet auf Hochwasser (aus TÖNSMANN und RÖTTCHER 2002)

4.2 Wirksamkeit des Waldes in den Flussauen für den vorbeugenden Hochwasserschutz

Die Wiedergewinnung ehemals vorhandener Überschwemmungsgebiete in den Talauen durch die Rückverlegung gewässernaher Hochwasserschutzdeiche stellt nach Untersuchungen insbesondere aus dem Rheingebiet eine sehr wirksame Maßnahme zur Absenkung des Wasserspiegels bei Hochwasser dar. Das erfordert allerdings im Vergleich zu gesteuerten Retentionsräumen (Poldern) eine um ein Mehrfaches größere Fläche, um die gleiche Wirkung auf den Scheitelabfluss zu erzielen (LAWA 2000).

Dieser Ansatz der Wiedergewinnung von natürlichen Rückhalteflächen ist auch im Wasserhaushaltsgesetz des Bundes verankert, wobei unter natürlichen Rückhalteflächen zweifellos (auch) Auwald zu verstehen ist. Die im Bayerischen Wassergesetz verankerte Vorschrift, dass in Überschwemmungsgebieten der schadlose Hochwasserabfluss sicherzustellen sei, um die Höhe des Wasserstandes nicht nachteilig zu beeinflussen (Art. 61 BayWG), widerspricht dem bei genauerer Betrachtung nicht. Letztere Vorschrift bezieht sich (nur) auf die Bereiche, in denen eine Beeinträchtigung des Abflussquerschnittes z. B. durch Abfluss bremsende Baumbestockung unmittelbar zu Gefährdungen führt. Dies ist der Fall vor allem in siedlungsnahen Bereichen, nicht jedoch in den Bereichen, in denen z. B. Deiche zurückverlegt werden, um natürliche Rückhalteflächen wieder zu gewinnen.

4.3 Monetäre Bewertung der Hochwasserschutzfunktion von Wäldern

Mit der im Projekt versuchten monetären Bewertung der Gemeinwohlleistung des Waldes für den Hochwasserschutz ließen sich wegen hoher Unsicherheiten allenfalls grob orientierende Größenordnungen gewinnen. Ihre Plausibilität konnte nur in Einzelfällen anhand von Schätzungen aus anderer Quelle (ROSEMANN 1989 für das Halblechgebiet) halbwegs aufgezeigt werden. Zumindest für den Auwald, annähernd auch für den Bergwald, liegen die Werte in ähnlicher Größenordnung wie die Reinerlöse aus dem Holzeinschlag mit 440 DM/ha für den Privatwald Bayerns im Jahr 2000 (STMLF 2002). Um die Zahlen als Grundlage für die forstpolitische Diskussion verwenden zu können, müssten sie mit Hilfe detaillierterer Erhebungen noch wesentlich besser abgesichert werden. Die Größenordnung von Schäden, die auf landwirtschaftlichen Flächen in Überflutungsbereichen bei Überflutung oder auch schon wegen Bewirtschaftungsauflagen entstehen, schätzen SCHÄTZL und HOFFMANN (2003) ab.

4.4 Wirksamkeit von Öffentlichkeitsarbeit zum Nutzen des Waldes für den Hochwasserschutz

Die Gemeinwohlleistungen der Wälder, insbesondere auch die Schutzfunktionen einschließlich der Hochwasserschutzfunktion, traten in den letzten Jahren und Jahrzehnten zunehmend in das Bewusstsein der Bevölkerung (STMLF 2002). Sie werden dementsprechend von der unbestritten wichtigen forstlichen Öffentlichkeitsarbeit gezielt transportiert. In der populärwissenschaftlichen Literatur, aber auch in der politischen Diskussion wird jedoch die Hochwasser dämpfende Wirkung des Waldes bisweilen unbewusst und in **besten Absicht** überschätzt dargestellt. Dies schafft unnötige Ansatzpunkte für Kritik und ist der Glaubwürdigkeit abträglich. Dabei werden bisweilen eigentlich korrekte forsthydrologische Fakten losgelöst von ihrem Gültigkeitskontext verwendet. Zur Verdeutlichung werden zwei Beispiele näher diskutiert.

Beispiel 1:

Die in Abbildung 24 links oben wiedergegebene Darstellung aus einer Broschüre der STIFTUNG WALD IN NOT (2000) stellt „den Wasserhaushalt des Waldes“ dar. Die angegebenen Anteile der Wasserhaushaltskomponenten dürften in etwa dem mittleren jährlichen Wasserhaushalt eines durchschnittlichen deutschen Waldbestandes im Flachland bei etwa 800 mm Jahresniederschlag entsprechen, sind in einem solchen Kontext also durchaus korrekt. Es wird jedoch außer Acht gelassen, dass gerade relative Angaben (%) sehr stark von der verwendeten Basis abhängen können. Dies zeigen beispielsweise die Zahlen einer ähnlichen Graphik (Abbildung 24 links unten) aus dem Waldzustandsbericht 2002 des BMVEL (BMVEL 2003). Demzufolge verdunsten Kiefernbestände im nordostdeutschen Tiefland 88 % des Jahresniederschlags. Weiterhin zeigt Abbildung 24 (rechts oben) die Zahlen für den mittleren jährlichen Wasserhaushalt eines bewaldeten Mittelgebirgseinzugsgebietes im Nationalpark Bayerischer Wald bei etwa doppelt so hohem mittleren Jahresniederschlag. Dort hat der seitliche Abfluss im Boden relativ gesehen mit 25 statt mit 10 % einen zweieinhalbfach höheren Anteil, in absoluten Zahlen liegt er mit 400 mm statt 80 mm sogar fünffach höher.

Unzutreffend ist in dem Beispiel aus der Broschüre jedoch die Bildüberschrift, die die Darstellung in den Kontext von Hochwasserereignissen stellt und impliziert, dass auch an Tagen mit Hochwasser verursachenden Starkniederschlagsereignissen „das meiste Wasser“, also der in der Graphik dargestellte Anteil von 70 % des Niederschlags „schnell“ verdunstet werden könne. Dies ist jedoch physikalisch nicht möglich. Vielmehr ist zu berücksichtigen, dass begrenzte Speichervolumina bzw. begrenzte Verdunstungsenergie die physikalischen Prozesse der Interzeption, Verdunstung, Infiltration und Bodenwasserspeicherung, die zum Hochwasserrückhalt im Wald beitragen, limitieren (Abbildung 25). Dies führt generell bei steigendem Ausmaß des Niederschlagsereignisses zu zunehmender Sättigung der Rückhaltefähigkeit und damit zu sinkender Wirksamkeit des Hochwasserrückhalts.

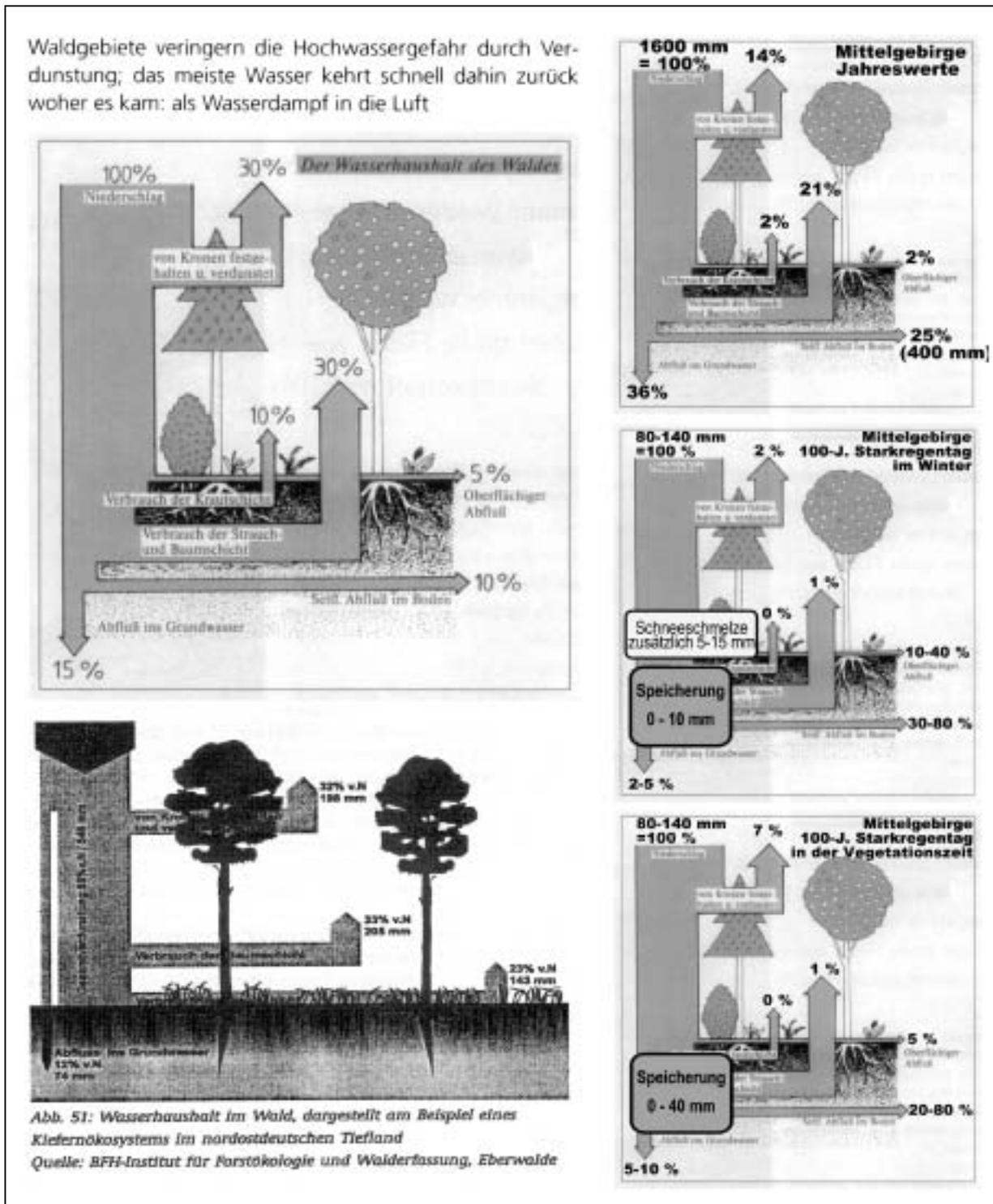


Abb. 24: links oben: Darstellung „Der Wasserhaushalt des Waldes“ aus STIFTUNG WALD IN NOT (2000); links unten: Darstellung „Wasserhaushalt im Wald, dargestellt am Beispiel eines Kiefernwaldökosystems im nordostdeutschen Tiefland“ (BMVEL 2003); rechts oben: vergleichbare Darstellung des langjährigen mittleren Wasserhaushalts für ein bewaldetes Mittelgebirgseinzugsgebiet (Große Ohe im Nationalpark Bayerischer Wald, nach KENNEL 1998); rechts Mitte: desgleichen für Starkregentag in der Vegetationsperiode; rechts unten: desgleichen für Starkregentag im Winter jeweils für ein Mittelgebirgseinzugsgebiet (grobe Rahmenwerte in Anhalt an KENNEL 1998)

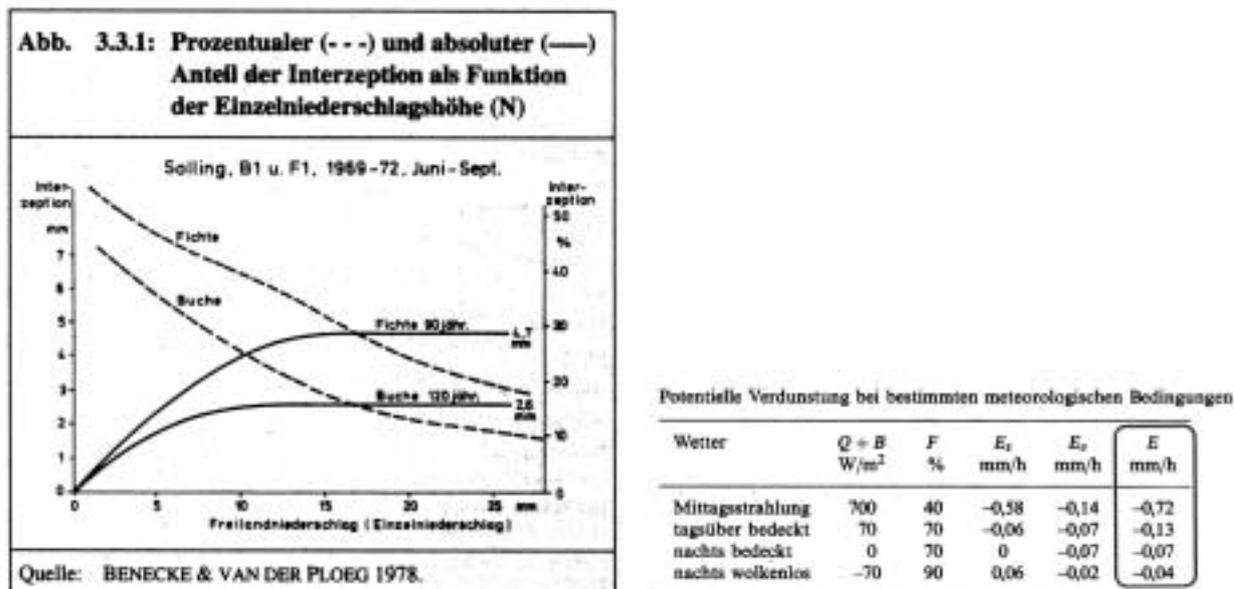


Abb. 25: links: Anteil des Interzeptionsverlusts eines Fichten- bzw. Buchenbestandes für Niederschlagsereignisse unterschiedlicher Höhe; rechts: potentiell mögliche Verdunstung einer freien Wasseroberfläche unter verschiedenen meteorologischen Bedingungen (aus BAUMGARTNER und LIEBSCHER 1990)

Aber auch unter Berücksichtigung zutreffender wissenschaftlicher Erkenntnisse über Hochwasserabfluss sind Fehlinterpretationen möglich. Zu welchen Fehlinterpretationen dies führen kann, verdeutlicht Beispiel 2.

Beispiel 2:

In einem Beitrag einer deutschen Tageszeitung aus dem Jahre 2003, der sich auf die in Abbildung 26 dargestellte Graphik bezieht, war zu lesen:

„Neue Untersuchungen belegen, dass der Bergwald im gesunden Zustand dreimal mehr Wasser zurückhalten könnte als ein alter Fichtenbestand, sieben Mal mehr als ein junger Fichtenbestand und zwölf Mal mehr als ein Kahlschlag“.

Die Zahlen erinnern deutlich an eine in der schon oben genannten Broschüre der STIFTUNG WALD IN NOT (2000) auf Seite 6 wiedergegebene Graphik (Abbildung 26). Die Graphik stellt wissenschaftlich korrekt die in Berechnungsversuchen des LfW festgestellten Oberflächenabflussbeiwerte für Vegetationsdecken im bayerischen Alpenraum dar. Sie ist eine Vorläuferin der in Kapitel 3.1.2 als Abbildung 8 gezeigten neueren Graphik, wobei die neuere Darstellung dank umfangreicheren Datenmaterials und damit möglicher Darstellung statistischer Maße wie Median und Streuungsbereiche sogar für den Wald (insbesondere auch für den Fichtenaltbestand und den Jungwuchs) noch günstiger ausfällt.

Bei Betrachtung von Abbildung 26 erkennt man, dass die in dem Zeitungsbeitrag genannten Relationen 1:3:7:12 in etwa zutreffen, wenn man sie auf die Relationen der Abflussbeiwerte bezieht. Ein fataler gedanklicher Fehlschluss ist es jedoch, die Relationen der Abflussbeiwerte auf die Relationen der Rückhaltefähigkeit zu übertragen. Dies würde voraussetzen, dass die Rückhaltefähigkeit der Kehrwert des Abflussbeiwertes wäre. In Wirklichkeit ist sie jedoch die Differenz zwischen Abflussbeiwert und der Bezugsgröße Niederschlagsmenge (100 %). Der durchaus hochwasserrelevante Umstand, dass von dem nicht als Oberflächenabfluss registrierten Wasser ein weiterer (oftmals erheblicher) Teil als Zwischenabfluss ebenfalls zum Hochwasserabfluss (bei länger andauernden Ereignissen) beiträgt und somit nicht voll wirksam zurückgehalten wird, ist hierbei noch gar nicht berücksichtigt.

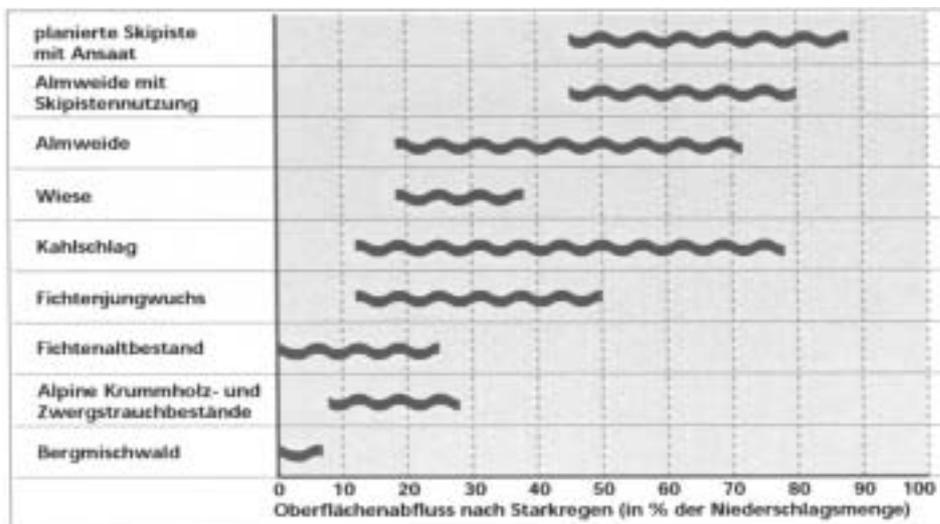


Abb. 26: Darstellung „Oberflächenabfluss nach Starkregen“ aus STIFTUNG WALD IN NOT (2000)

Somit müsste die Aussage korrekterweise in etwa lauten:

<p>Nach älterer Graphik (Abbildung 26)</p> <p>„Neue Untersuchungen belegen, dass beim Bergmischwald im gesunden Zustand etwa 93 bis 100 % (oder auch mm) eines Starkregens von 100 mm innerhalb von einer Stunde nicht als Oberflächenabfluss unmittelbar hochwasserwirksam werden. Dies ist tendenziell mehr als bei einem Fichtenaltbestand (76 bis 100 %) und immerhin deutlich mehr als bei einem Fichtenjungbestand (50 bis 88 %) oder einem Kahlschlag (22 bis 88 %).“</p>
<p>Nach neuerer Graphik (Abbildung 8)</p> <p>„Neue Untersuchungen belegen, dass beim Bergmischwald im gesunden Zustand (von Extremfällen und Ausreißern abgesehen) etwa 97 bis 100 % eines Starkregens von 100 mm innerhalb von einer Stunde nicht als Oberflächenabfluss unmittelbar hochwasserwirksam werden. Dies ist tendenziell mehr als bei einem Fichtenaltbestand (88 bis 100 %) oder einem Fichtenjungbestand (72 bis 100 %) und zumindest in einem Teil der Fälle erheblich mehr als bei einem Kahlschlag (25 bis 100 %, in 50 % der Fälle unter 75 %, in 25 % der Fälle unter etwa 64 %).“</p>

In dieser korrekten Form wäre die Aussage allerdings wesentlich unspektakulärer und damit weniger publikumswirksam. Auch Formulierungen wie

„so könne ein einziger Hektar Wald bis zu ... 200 Liter pro Quadratmeter zurückhalten“
(BAYSTMLF 2003)

sind zwar formal nicht falsch, aber für den Laien missverständlich. Um 200 mm Wasser wirklich zurückhalten zu können, sind außerordentlich „günstige“ Witterungsumstände anzunehmen. So müßte der Waldboden bei lang anhaltender Trockenheit (bei grob überschlägig etwa 4 mm Verdunstung je Tag wären hierzu sieben Wochen nahezu niederschlagsfreie Witterung erforderlich !) ein starkes Wassersättigungsdefizit aufweisen. Dies ist beispielsweise in humiden Mittelgebirgs- oder Gebirgswäldern äußerst unwahrscheinlich und dürfte für Winterhochwässer bei geringerer Verdunstung und nahezu wassergesättigten Böden kaum realistisch sein (Abbildung 24 Mitte rechts). Solche überzogenen Darstellungen leisten entgegen der eigentlichen Intention möglicherweise Tendenzen Vorschub, die, ins andere Extrem fallend, Vegetationsflächen generell eine nennenswerte Hochwasser dämpfende Funktion absprechen wollen. Dabei wird argumentiert, bei wirklich bedeutsamen Hochwässern könnten die Böden überhaupt kein Wasser aufnehmen, da sie durch vorhergehende Ereignisse schon Wasser gesättigt, somit als „natürlich versiegelt“ anzusehen und etwa mit der Wirkung eines asphaltierten Parkplatzes vergleichbar seien. Diese Sicht kommt allerdings bei extremen Hochwasserereignissen der Realität tatsächlich wesentlich näher als die Annahme, der Wald könne bei solchen Ereignissen „das meiste Wasser“ zurückhalten, wie die Werte in Tabelle 15 (Kapitel 4.1) zeigen. Auch im Waldzustandsbericht der Bundesregierung 2002 wird angesichts des „bisher kaum gekannten Ausmaßes“ des Hochwassers vom August 2002 realistisch dargestellt, dass die Wasserspeicherkapazität der Wälder Grenzen hat und auch „ein gesunder Wald extreme Hochwasser nicht verhindern“ kann (BMVEL 2003). Diese illusionslosere Sichtweise kommt - nicht in Bezug auf den Wald, sondern auf die in der Öffentlichkeit als Ursachen diskutierten Faktoren - auch in den folgenden Aussagen führender Hydrologen zum Tragen, die angesichts des extremen Hochwassers vom August 2002 vor überzogenen Erwartungen, aber auch Versprechungen warnen.

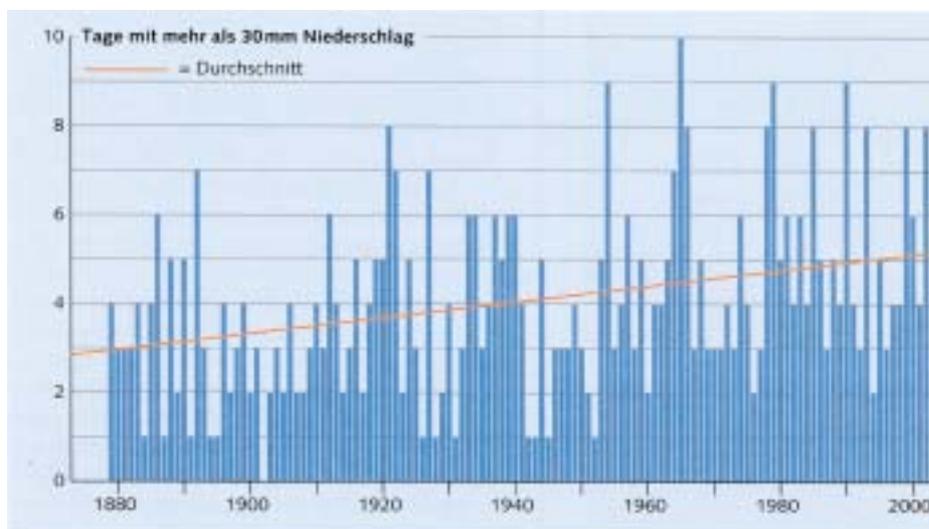
„Wir dürfen uns nicht der Illusion hingeben, Hochwasser verhindern zu können“ (KLEEBERG et al. 2002).

„Die Diskussion über Ursachen der extremen Hochwasser der vergangenen Jahre ... ist - besonders auf politischer, aber zum Teil auch auf wissenschaftlicher Ebene - von unbedachter Überheblichkeit geprägt. Es wird der Eindruck vermittelt, dass, würde der Mensch seinen Einfluss auf die Natur wieder zurücknehmen, es auch keine Hochwasser solch katastrophalen Ausmaßes mehr gäbe. ...Extreme Hochwässer gehen immer auf extreme Niederschläge verknüpft mit extremen hydrologischen Vorbedingungen in den Gewässereinzugsgebieten zurück. Solche wird es, ob mit oder ohne Mensch, immer geben ...“ (KLEEBERG et al. 2002).

„ ... wird wahlweise und meist monokausal auf die anthropogen verursachte Klimaänderung oder auf die Flächenversiegelung oder den Flussausbau verwiesen. Es ist unstrittig, dass diese menschlichen Aktivitäten Hochwasser verschärfen. Ihre Rücknahme ... dürfte in großen Gebieten ein extremes Hochwasser nur um wenige Prozent verringern. Das hätte aber an den katastrophalen Folgen der extremen Hochwässer nicht viel geändert“ (KLEEBERG et al. 2002).

4.5 Auswirkungen der Klimaänderung auf die Hochwassergefährdung

Die globalen Klimamodelle sagen übereinstimmend voraus, dass im 21. Jahrhundert global mit zunehmenden Starkregenereignissen zu rechnen ist (SCHELLNHUBER 2002). SCHELLNHUBER spricht sogar von einem „Jahrhundert der Überschwemmungen“. Für Bayern dagegen prognostiziert der Bayerische Klimaforschungsverbund eher eine zeitliche Verschiebung der Hochwasser aus dem bisherigen Häufigkeitsmaximum im Juni-Juli in das Winterhalbjahr bei insgesamt nicht erhöhter Wahrscheinlichkeit. Dabei könnten sich jedoch Abflüsse aus den Mittelgebirgen (Bayerischer Wald) und den Alpen an der Donau zeitlich ungünstiger überlagern (BAYERISCHER KLIMAFORSCHUNGSVERBAND 1999). Für das Management alpiner Wildbacheinzugsgebiete sieht HAGEN (2002) derzeit kein klares Bild der zukünftigen Entwicklung. Aktuelle Untersuchungen für Flussgebiete in Bayern und Baden-Württemberg (ARBEITSKREIS KLIWA 2002) stellen derzeit keine signifikante Tendenz zu verstärkten Hochwasserhäufigkeiten bzw. -intensitäten fest. Einzelne Messstandorte wie beispielsweise die Klimastation Hohenpeißenberg weisen jedoch eine Tendenz zunehmender Starkniederschlagshäufigkeit auf.



Grafik: Die Niederschlagsdaten der Wetterstation Hohenpeißenberg zeigen eine deutliche Tendenz, dass die Starkregen in den vergangenen 120 Jahren zugenommen haben.

Abb. 27: Zunahme der Tage mit Starkniederschlägen an der Klimastation Hohenpeißenberg

5 Verwertbarkeit der Ergebnisse

5.1 für die forstliche Praxis

Forstpolitisch erscheinen folgende Kernthesen als Ergebnisse essentiell:

- Wald im Einzugsgebiet und in den Flussauen kann in unterschiedlicher Weise zum vorbeugenden Hochwasserschutz beitragen.
- Die höchste Wirksamkeit hat eine Mehrung der Waldfläche, insbesondere in neu zurück gewonnenen Überflutungsbereichen der Talauen, aber auch im Einzugsgebiet, insbesondere im Bergland.
- Die Sicherung oder Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit der bestehenden Wälder ist ebenfalls ein wichtiges forstpolitisches Ziel.
- Im Sinne eines Integralen Hochwasserschutzes ist eine enge Abstimmung mit wasserwirtschaftlichen (naturschutzfachlichen und anderen raumrelevanten) Planungen und Zielen anzustreben. Dies gilt insbesondere für Programme zur Definition von hochwasserschutzrelevanten Flächen zur Aufforstung im Überschwemmungsbereich von Flussauen.

Für die Öffentlichkeitsarbeit sollten folgende Thesen berücksichtigt werden:

- Der unumstritten positive Beitrag des Waldes im Einzugsgebiet und in den Talauen zur Hochwasserminderung soll als wichtige Gemeinwohlfunktion aktiv, aber nicht überzogen dargestellt werden.
- Die Grenzen der Schutzfähigkeit (nicht nur des Waldes, sondern auch technischer Hochwasserschutzmaßnahmen) bei extremen Niederschlagsereignissen wie 1999 und 2002 sind auch für die breite Öffentlichkeit nicht zu übersehen. Hier sollten keine unerfüllbaren Erwartungen geweckt oder gefördert werden.

Für die waldbauliche Praxis lassen sich folgende Empfehlungen ableiten:

- Vorrangige Bedeutung hat die Erhaltung einer standortgerechten, stabilen, funktionstauglichen Waldbedeckung.
- Anstrengungen, um gravierende, großflächige Störungen (z. B. Sturm oder Borkenkäfer) zu vermeiden, sind wirksamer als eine weitere waldbauliche „Feinoptimierung“ von bereits „zufriedenstellend“ funktionstauglichen Beständen.
- Die Sanierung gestörter bzw. überalterter, verlichteter oder der Umbau nicht standortgerechter Bestände in stabile, naturnahe Bestockungen dient auch dem vorbeugenden Hochwasserschutz.
- Bodenschutz ist ein Kernbestandteil des vorbeugenden Hochwasserschutzes. Bodenverdichtungen bei der Holzernte sind mit technischen und organisatorischen Mitteln zu minimieren.

- Erschließungsmaßnahmen sind fachgerecht zu planen und Wege fachgerecht in Stand zu halten
- Feuchtstandorte sind in naturnahem Zustand zu erhalten oder dorthin zurückzuführen. Entwässerungen sind nicht mehr anzulegen bzw. zurückzubauen.
- In Bezug auf die Prioritätensetzung und Steuerung von Maßnahmen bei begrenzten Ressourcen (insbesondere im Schutzwald) kann eine Einschätzung der hydrologischen Wirksamkeit von Maßnahmen auf unterschiedlichen Standorten hilfreich sein.

Für forstliche Maßnahmen und Programme zum vorbeugenden Hochwasserschutz in den Auwäldern sowie in Feuchtgebieten wie z. B. Mooren liegen wissenschaftlich begründete Handlungskonzepte vor. Dazu zählen z. B. das Konzept der Bayerischen Staatsforstverwaltung für eine naturnahe Bewirtschaftung Fluss begleitender Wälder (BIERMAYER 1999) oder der Leitfaden Hochmoorrenaturierung (BAYSTMLU 2002). Sie reichen für die Ausarbeitung konkreter, lokaler Maßnahmenplanungen bei Berücksichtigung der lokalen standörtlichen Gegebenheiten und planerischen Rahmenbedingungen aus.

Ebenso liegen für die Wälder in den Einzugsgebieten von Flüssen bzw. Wildbächen forstliche Grundlagen und Handlungskonzepte vor. Diese berücksichtigen insbesondere auch die Aspekte der Schutzfunktionen der Wälder, z. B. Waldbaugrundsätze für die Bayerische Staatsforstverwaltung 2002 (LWF 2003), das Handbuch zur Schutzwaldsanierung (BAYSTMELF 1997), die Bodenschutzrichtlinie oder Verfahrenskonzepte wie z. B. zu aktuellen Holzernteverfahren am Hang (RAAB et al. 2002).

5.2. für die forstliche Wissenschaft

Die Ergebnisse des Demonstrationsvorhabens sind ein Baustein des Stufenprogramms zum Vorbeugenden Hochwasserschutz und dienen als Grundlage für nachfolgend geplante Umsetzungsprojekte. Neue methodische Erkenntnisse wurden durch die testweise Anwendung eines neu entwickelten Verfahrens des Instituts für Lawinen- und Wildbachforschung des Österreichischen Bundesamtes und Forschungszentrums für Wald in Innsbruck zur Abschätzung des Oberflächenabflusses auf alpinen Vegetationseinheiten bei Starkregen (MARKART 2001) gewonnen.

Das Verfahren erwies sich als eine wissenschaftlich durch Beregnungsversuche gut fundierte Methode zur Einschätzung des Oberflächenabflusses der im Untersuchungsgebiet Halblech vorkommenden Boden- und Vegetationseinheiten auf Grundlage der gebirgsspezifischen Standortkartierung (VfS 2001). In endgültiger Form werden die Autoren das Verfahren im Jahr 2004 veröffentlichen. Da es als Feldmethode konzipiert ist, erscheint es viel versprechend als praxistaugliches Hilfsmittel zur relativen Einschätzung des Abflussbeitrags unterschiedlicher Standorte bzw. Bestände sowie deren Empfindlichkeit gegenüber Störungen oder forstlichen Maßnahmen vor Ort im Wald. Es kann als Entscheidungshilfe beispielsweise im Rahmen der Forstbetriebsplanung oder der Schutzwaldsanierungsplanung dienen.

5.3 Anregungen für weitere Untersuchungen

Das Stufenprogramm der Bayerischen Staatsforstverwaltung zum „Vorbeugenden Hochwasserschutz durch Wald und Forstwirtschaft in Bayern“ sieht vor, auf Grundlage der Ergebnisse des Demonstrationsvorhabens landesweite Programme für den vorbeugenden Hochwasserschutz in den Wäldern Bayerns umzusetzen.

Waldbewirtschaftung

Für die Behandlung bestehender Wälder liegen forstliche Handlungskonzepte und Programme, die alle wesentlichen Bereiche abdecken, vor (Kapitel 4.1). Ergänzungsfähig erscheinen diese Handlungskonzepte allenfalls noch mit einem Instrument, das es ermöglicht, Prioritäten hinsichtlich der Wirksamkeit von Maßnahmen für den Hochwasserschutz bei Wäldern im Einzugsgebiet zu setzen. Ein Kernbestandteil eines solchen Instrumentes könnte für Bergwälder die Feldansprachemethode für Starkregenabflussbeiwerte des BFW (MARKART 2001) sein (Kapitel 3 und 3.4.1), ergänzt von einem maßnahmenorientierten Konzept wie dem der „minimalen Pflegemaßnahmen“ im Schutzwald der Schweiz (BUWAL 1996, LÜSCHER und ZÜRCHER 2003). Für Wälder im Tief- oder Hügelland könnten Verfahren im Anhalt an das an der FVA Trippstadt erarbeitete Konzept zur „Schonenden Bewirtschaftung sensibler Niederschlagsflächen und Bachauen in der Waldwirtschaft“ dienen (SCHÜLER 2001).

Aufforstung

Für gezielte Aufforstungen liegen derzeit keine ausgearbeiteten Programme vor. Für solche Programme könnten die Verfahren zur Abflussbeiwertabschätzung oder zur Definition sensibler Niederschlagsflächen ebenfalls als methodische Grundlage dienen. Die Methoden und Kriterien wären aber zumindest mit den Wasserwirtschaftsbehörden abzustimmen.

6 Zusammenfassung

Nach dem Pfingsthochwasser im Mai 1999 initiierte die bayerische Staatsregierung das Programm „Nachhaltiger Hochwasserschutz in Bayern - Aktionsprogramm 2020 für Donau- und Maingebiet“ und stattete es mit einem Investitionsvolumen von etwa 2,3 Milliarden € bis zum Jahr 2020 aus. Das Programm umfasst neben Maßnahmen zum technischen Hochwasserschutz und zur weiter gehenden Hochwasservorsorge vor allem auch den vorbeugenden Hochwasserschutz auf der Fläche, d. h. Maßnahmen zur Abflusssdämpfung im Einzugsgebiet und die Reaktivierung von natürlichen Rückhalteräumen in den Flussauen. Für den Wald und die Landwirtschaft erstellte das Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten ebenfalls beginnend im Jahr 1999 ein Maßnahmenpaket „Vorbeugender Hochwasserschutz in der Land- und Forstwirtschaft“ (BAYStMLF 2000). Die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft wurde beauftragt, dieses für den Bereich des Waldes im Rahmen eines Stufenprogramms auszuarbeiten. Als erste Stufen richtete die LWF im Jahr 2001 einen international besetzten Experten-Workshop sowie ein Fachsymposium „Vorbeugender Hochwasserschutz - was können Wald und Forstwirtschaft beitragen?“ aus (LWF 2003). Auf diesen Ergebnissen aufbauend beauftragte das Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten die LWF im Januar 2003, das vorliegende Pilotprojekt zum „Vorbeugenden Hochwasserschutz durch Wald und Forstwirtschaft in Bayern“ im Zeitraum 1.2.-31.7.2003 durchzuführen. Ziel des Projektes war es, die vorbeugenden Hochwasserschutzfunktionen von Waldflächen in verschiedenen Raumeinheiten (Einzugsgebiet und Flussauen) herauszustellen und dabei die Auswirkungen konkreter forstlicher Maßnahmen für je ein Beispielsgebiet im Alpenraum und an der mittleren Isar zu analysieren. Zusätzlich wurde auf Anregung der Projektsteuerungsgruppe das Hochmoorgebiet Schönramer Filz als ein Beispiel für abflussrelevante Feuchtgebiete in die Arbeit einbezogen. Zunächst wurden in einer Literaturrecherche der Kenntnisstand über die Hydrologie des Hochwassers, über die Leistungen des Waldes für den vorbeugenden Hochwasserschutz sowie über die Wirkungen des Waldes und der Waldbewirtschaftung auf das Hochwassergeschehen erhoben. Für kleine und mittlere Flussüberschwemmungen sowie für Sturzfluten in kleinen Einzugsgebieten (vor allem im Bergland) wird demnach eine Hochwasser dämpfende Wirkung des Waldes weitgehend bejaht (MENDEL 2002), bei zunehmendem Umfang des Niederschlagsereignisses erschöpft sich jedoch die Retentionskapazität des Waldes immer mehr. Auf den Literaturergebnissen aufbauend wurde der Versuch einer zumindest überschlägigen monetären Bewertung der Leistungen des Waldes für den Hochwasserschutz mit Hilfe eines Alternativkostenansatzes sowie eines Produkt-Funktions-Ansatzes unternommen. Investitionen in die Neubegründung sowie in den Erhalt oder den Umbau hochwasserschutzfunktionsgerechter Bergwälder und Auwälder erscheinen je nach dem Grad des abzuwendenden Funktionsverlustes bzw. des zu erzielenden Funktionsgewinnes vor allem im Auwald, aber auch im Bergwald in gewissem Maß volkswirtschaftlich gerechtfertigt. Dabei stehen jedoch dem Nutzen der Aufforstung Opportunitätskosten der ökonomisch zumeist höherwertigen landwirtschaftlichen Nutzung gegenüber. Um die Zahlen als Grundlage für die forstpolitische Diskussion verwenden zu können, müssten sie mit Hilfe detaillierter Erhebungen noch wesentlich besser abgesichert werden. Zur Analyse der Leistungen des Waldes für den Hochwasserschutz wurden die

drei genannten Beispielsgebiete und die in den Gebieten laufenden forstlichen Programme genauer analysiert und hinsichtlich der Funktionswirksamkeit der Maßnahmen bewertet. Im Auwald- und im Mooregebiet konnten die vorliegenden Zwischenergebnisse laufender Moorrenaturierungs- bzw. Auwaldumbauprogramme bewertet werden. Für das Bergwaldgebiet wurde zur Analyse der Abflussbildung eine differenzierte Feldmethode zur Abschätzung des Oberflächenabflussbeiwertes von alpinen Boden- bzw. Vegetationseinheiten bei Starkregen auf der Skalenebene einzelner Bestände angewendet. Diese Methode hatten MARKART et al. (2001) auf der Grundlage von Beregnungsversuchen im bayerischen und österreichischen Alpenraum neu entwickelt. Die Analyse der Empfindlichkeit der Abflussbeiwerte gegenüber Szenarien unterschiedlicher forstlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen oder Störungen ergab insbesondere für die Flyschzone des Untersuchungsgebietes hohe Empfindlichkeit gegen Bodenverdichtung (z. B. durch unsachgemäße Befahrung oder Viehtritt), Bestandesverlichtung bzw. Kahllegung (z. B. nach Sturmwurf oder Borkenkäferbefall) oder auch standortswidrige Baumartenwahl (z. B. Fichtenreinbestand). Für alle drei Beispielsgebiete erwies sich das Leitbild eines naturnahen Bergwaldes, Auwaldes bzw. einer naturnahen Hochmoorvegetation als wegweisend auch für die Sicherung der vorbeugenden Hochwasserschutzfunktion. Unter den forstlichen Maßnahmen ist eine Mehrung der Waldfläche, insbesondere in neu zurück gewonnenen Überflutungsbereichen der Talauen, aber auch im Einzugsgebiet, insbesondere im Bergland, am wirksamsten. Die Sicherung oder Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit der bestehenden Wälder ist ebenfalls ein wichtiges forstpolitisches Ziel. Vorrangige Bedeutung kommt der Erhaltung einer standortgerechten, stabilen, funktionstauglichen Waldbedeckung zu. Bodenschutz ist ein weiterer Kernbestandteil des vorbeugenden Hochwasserschutzes. Bodenverdichtungen bei der Holzernte sind mittels technischer und organisatorischer Mittel zu minimieren. Gravierende, großflächige Störungen intakter Bestände (z. B. durch Sturm oder Borkenkäfer) zu vermeiden ist wirksamer als eine waldbauliche „Feinoptimierung“ von „zufriedenstellend“ funktionstauglichen Beständen. Die Sanierung gestörter bzw. überalterter, verlichteter oder der Umbau nicht standortgerechter Bestände in stabile, naturnahe Bestockungen dient auch dem vorbeugenden Hochwasserschutz. Erschließungsmaßnahmen sind fachgerecht zu planen und Wege sachgemäß in Stand zu halten. Im Sinne eines Integralen Hochwasserschutzes ist eine enge Abstimmung mit wasserwirtschaftlichen (naturschutzfachlichen und anderen raumrelevanten) Planungen und Zielen anzustreben. Dies gilt insbesondere für Programme zur Definition von hochwasserschutzrelevanten Flächen zur Aufforstung im Überschwemmungsbereich von Flussauen. Schließlich wurde die Darstellung der Hochwasserschutzwirkungen des Waldes in der öffentlichen Diskussion kritisch betrachtet. Dabei sollte der unumstritten positive Beitrag des Waldes im Einzugsgebiet und in den Talauen zur Hochwasserminderung als wichtige Gemeinwohlfunktion aktiv, aber nicht überzogen dargestellt werden. Die Grenzen der Schutzfähigkeit (nicht nur des Waldes, sondern auch technischer Hochwasserschutzmaßnahmen) bei extremen Niederschlagsereignissen wie 1999 und 2002 sind auch für die breite Öffentlichkeit nicht zu übersehen, hier sollten keine unerfüllbaren Erwartungen geweckt oder gefördert werden.

7 Literatur

(einschließlich der im Projekt verwendeten, aber nicht im Bericht zitierten Literatur)

- ANDRECS, P.; BAUER, W.; HAGEN, K.; KOHL, B.; LANG, E.; MARKART, G.; PORZELT, M.; SCHAUER, T. (2002): Beiträge zur Wildbachforschung. BFW-Berichte des Bundesamtes und Forschungszentrums für Wald 127/2002. Wien
- ARBEITSKREIS KLIWA (2002): Langzeitverhalten der Hochwasserabflüsse in Baden-Württemberg und Bayern. KLIWA-Berichte Heft 2
- BAUMARTNER, A.; LIEBSCHER, H.-J. (1990): Allgemeine Hydrologie - Quantitative Hydrologie. Lehrbuch der Hydrologie Band 1, Stuttgart
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT (Hrsg.) (2002): Aktuelle Holzernteverfahren am Hang. Berichte aus der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft Nr. 36, Freising
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT (Hrsg.) (2003): Der Wald für morgen - Eine Naturalbilanz über 25 Jahre naturnahe Forstwirtschaft im Bayerischen Staatswald. LWF-Berichte Nr 39, Freising
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT (Hrsg.) (2003): Hochwasser-schutz im Wald. Berichte aus der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft Nr. 40, Freising
- BAYERISCHER LANDTAG (1995): Programm für die Auensanierung in Bayern. Beschluss des Bayerischen Landtags vom 27.4.1995, Drucksache 13/1385
- BAYERISCHER LANDTAG (2003): Schriftliche Anfrage „Hochwasserschutz“ und Antwort des StMLU. Landtags-Drucksache 14/11227
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (Hrsg.) (2002): Das Moorentwicklungskonzept Bayern
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (Hrsg.) (1998): Hochwasser. Spektrum Wasser Band 1
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (Hrsg.) (1998): Wildbäche - Faszination und Gefahr. Spektrum Wasser Band 3
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (Hrsg.) (2001): Gewässerentwicklungsplan Mittlere Isar
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (Hrsg.) (2002): Flusslandschaft Isar - Leitbilder, Entwicklungsziele, Maßnahmenhinweise. München
- BAYERISCHER KLIMAFORSCHUNGSVERBUND (1999): Klimaänderungen in Bayern und ihre Auswirkungen. Abschlussbericht des Bayerischen Klimaforschungsverbundes, München
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN: Richtlinien für die Erschließung des Staatswaldes
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (1997): Handbuch zur Schutzwaldsanierung im bayerischen Alpenraum
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (2000): Vorbeugender Hochwasserschutz in der Land- und Forstwirtschaft. Agrarpolitik in Bayern, Info Nr. 4
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN (Hrsg.) (2002): Hochwasserschutz in Bayern - Aktionsprogramm 2020. Publikationsreihe Daten+Fakten+Ziele
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN (Hrsg.) (2002): Leitfaden für die Hochmoorrenaturierung in Bayern. Unveröffentlichter Entwurf
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN (Hrsg.) (2003): Schutz vor Hochwasser in Bayern - Strategie und Beispiele. München

- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (2002): Waldprogramm Bayern - Zwischenbericht September 2002, Erster Runder Tisch 2001/2002, München
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (2003): Wald - Unverzichtbar für den Hochwasserschutz. Pressemitteilung Nr. 912 vom 21. März 2003
- BAYERISCHE OBERFORSTDIREKTION MÜNCHEN (Hrsg.) (1990): Renaturierungs- und Pflegeplanung für die Moorflächen im Staatswald des Forstamtes Traunstein - Zusatzplanung zur Langfristigen Forstbetriebsplanung 1990. Unveröffentlicht
- BIERMAYER, G. (1999): Auwald und Forstwirtschaft - Ziele für den Staatswald in Bayern. LWFaktuell Nr. 16, Freising
- BIERMAYER, G. (2002): Waldbau im Gebirge - den Kultur- und Naturraum pflegen und die Schutzfunktionen verbessern - braucht es das überhaupt? In: STIFTUNG WALD IN NOT (Hrsg.) (2002): „Ohne Schutzwald geht's bergab!“ Welchen Beitrag leistet eine nachhaltige Nutzung zur Erhaltung der Schutzfunktion unserer Bergwälder? Dokumentation zur Informationstagung zum „Internationalen Jahr der Berge 2002“ am 18.9.2002 in Pfronten, Bonn
- BRONSTERT, A. (Hrsg.) (1996): Hochwasser in Deutschland unter Aspekten globaler Klimaveränderungen - Bericht über das DFG-Rundgespräch am 9. Oktober 1995 in Potsdam. PIK Report Nr. 17
- BRONSTERT, A.; FRITSCH, U.; KATZENMAIER, D. (2001): Quantifizierung des Einflusses der Landnutzung und -bedeckung auf den Hochwasserabfluss in Flussgebieten. UBA-Projektbericht 297 24 508, Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam
- BUWAL [Eidgenössisches Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft] (1996): Minimale Pflegemaßnahmen für Wälder mit Schutzfunktion - Wegleitung. Bern
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (2003): Hydrologischer Atlas von Deutschland (3. Lieferung)
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (2003): Bericht über den Zustand des Waldes 2002 - Ergebnisse des forstlichen Umweltmonitorings. Bonn
- BUNZA, G.; JÜRGING, P.; LÖHMANNSRÖBEN, R.; SCHAUER, T.; ZIEGLER, R. (1996): Abfluß- und Abtragsprozesse in Wildbacheinzugsgebieten - Grundlagen zum integralen Wildbachschutz. Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft Heft 27
- DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU (DVWK) (Hrsg.) (1984): Arbeitsanleitung zur Anwendung von Niederschlags-Abflussmodellen in kleinen Einzugsgebieten - Teil II: Synthese. DVWK Regel 113/1984
- DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU (DVWK) (Hrsg.) (1998): Feuchtgebiete - Wasserhaushalt und wasserwirtschaftliche Entwicklungskonzepte. DVWK Merkblätter 248/1998
- ENGLER, A. (1919): Untersuchungen über den Einfluß des Waldes auf den Stand der Gewässer. Mitteilungen der Schweizerischen Zentralanstalt für das Forstliche Versuchswesen Band XII. Zürich
- ERLER, J. (2003): Muss der Waldbesitzer auf Hochwasserschutz Rücksicht nehmen? AFZ/DerWald 5, S. 8-9
- FEGER, K.-H. (2003): Welchen Einfluss hat die Landnutzung auf die Entstehung von Hochwasser? AFZ/Der Wald 5, S. 4-5
- GROTTKER, T. (1999): Erfassung und Bewertung regionaler Hochwasserschutzleistungen von Wäldern. Schriften zur Forstökonomie Band 19, Göttingen
- GULDER, H.-J. (1996): Forstwirtschaft und Naturschutz im Auwald. LWFaktuell Nr. 16, Freising
- HAGEN, K. (2002): Auswirkungen der Klimaänderung für das watershed management in österreichischen Wildbacheinzugsgebieten. In: ANDRECS, P.; BAUER, W.; HAGEN, K.; KOHL, B.; LANG, E.; MARKART, G.; PORZELT, M.; SCHAUER, T (2002): Beiträge zur Wildbachforschung. BFW-Berichte des Bundesamtes und Forschungszentrums für Wald 127
- KARL, J.; TOLDRIAN, H. (1973): Eine transportable Berechnungsanlage für die Messung von Oberflächenabfluss und Bodenabtrag. Wasser & Boden 3

- KENNEL, M. (1998): Modellierung des Wasser- und Stoffhaushaltes von Waldökosystemen. Forstliche Forschungsberichte München Nr. 168
- KLEEBERG, H.-B.; GRÜNEWALD, U.; DISSE, M. (2002): Vorwort zu: ATV-DVWK (Hrsg.) (2002): Hochwassermanagement - Gefährdungspotentiale und Risiko der Flächennutzung. Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung Heft 2, S. 1-2
- KLEMES, V. (2000): Risikoanalyse: Die unerträgliche Cleverness der Hochstapelei. In: KLEMES, V. (2000): Common Sense and other heresies - Selected papers on Hydrology and water resources engineering. Canadian Water Resources Association, Cambridge, Ontario, Canada, S. 197-209
- KOEHLER, G. (1993): Auswirkungen verschiedener anthropogener Veränderungen auf die Hochwasserabflüsse im Oberrheingebiet - Erläuterungsbericht. Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz
- KRON, W. (2003): Hochwasserschäden und Versicherung. In: HYDROLOGISCHE WISSENSCHAFTEN - FACHGEMEINSCHAFT IN DER ATV-DVWK (Hrsg.): Hochwassermanagement - Gefährdungspotentiale und Risiko der Flächennutzung. Forum der Hydrologie und Wasserbewirtschaftung Heft 2, S. 29-49
- LANG, T.; TÖNSMANN, F. (2002): Vorbeugender Hochwasserschutz im Einzugsgebiet der hessischen Lahn - Handbuch. Kasseler Wasserbau-Forschungsberichte und -Materialien Band 17, Kassel
- LAWA [LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER] (1995): Leitlinien für einen zukunftsweisenden Hochwasserschutz - Hochwasser Ursachen und Konsequenzen
- LAWA [LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER] (2000): Wirksamkeit von Hochwasservorsorge- und Hochwasserschutzmaßnahmen. Schwerin
- LBP (1999): Hydrologische Dauerbeobachtung - Vergleichende Wasserhaushaltsbeobachtungen auf einer unberührten, einer kultivierten und zwei aufgeförfsteten Hochmoorflächen in Südbayern 1958-1998. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau 2
- LÜSCHER, P.; ZÜRCHER, K (2003): Waldwirkung und Hochwasserschutz: Eine differenzierte Betrachtungsweise ist angebracht. In: LWF (Hrsg.) (2003): Hochwasserschutz im Wald. Berichte aus der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft Nr. 40, Freising
- MANIAK, U. (1993): Hydrologie und Wasserwirtschaft. 3. Auflage, Springer Verlag, Heidelberg
- MARKART, G.; SOTIER, B.; SCHAUER, T.; KOHL, B. (2001): Provisorische Geländeanleitung zur Anschließung des Oberflächenabflusses auf alpinen Boden-/Vegetationseinheiten bei konvektivem Starkregen (Version 1.0). Unveröffentlicht
- MENDEL, H. G. (2000): Elemente des Wasserkreislaufs - eine kommentierte Bibliographie zur Abflussbildung. Bundesanstalt für Gewässerkunde (Hrsg), Berlin, 244 S.
- MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, NATURSCHUTZ UND UMWELT THÜRINGEN (2001): Vorbeugender Hochwasserschutz in Thüringen
- MINISTERKONFERENZ FÜR RAUMORDNUNG (2000): Vorbeugender Hochwasserschutz durch die Raumordnung - Handlungsempfehlungen der Ministerkonferenz für Raumordnung zum vorbeugenden Hochwasserschutz vom 14. Juni 2000
- MOESCHKE, H. (1998): Abflussgeschehen im Bergwald - Untersuchungen in drei bewaldeten Kleineinzugsgebieten im Flynch der Tegernseer Berge. Forstliche Forschungsberichte München Nr. 169
- MÖBMER, R. (2003a): Vorbeugender Hochwasserschutz im Wald - Umsetzung im praktischen Forstbetrieb. Berichte aus der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft Nr. 40, Freising, S. 55 - 66
- MÖBMER, R. (2003b): Vorbeugender Hochwasserschutz im Wald - Herausforderung für die Forstwirtschaft. AFZ/Der Wald 17, S. 875 - 877
- MÜNCHENER RÜCKVERSICHERUNGSGESELLSCHAFT (Hrsg.) (2003): TOPICS - Jahresrückblick Naturkatastrophen 2002. München
- RAAB, S.; FELLER, S.; UHL, E.; SCHÄFER, A.; OHRNER G. (2002): Aktuelle Holzernteverfahren am Hang. Berichte aus der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft Nr. 36, Freising

- REMMY, K. (2000): IRMA II B 7 - Dokumentation von Beispielen der schonenden Bewirtschaftung von sensiblen Niederschlagsflächen und Bachauen in der Waldwirtschaft. Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz
- ROSEMANN, H.-J. (1988): Die Auswirkungen des Waldsterbens auf den Hochwasserabfluss kleiner Einzugsgebiete am nördlichen Alpenrand - Versuch einer Abschätzung. INTERPRAEVENT Bd. 1, S. 87-97
- SCHÄTZL, R.; HOFMANN, H. (2003): Wirtschaftliche Folgen für landwirtschaftlich genutzte Hochwasser-Retentionsflächen. In: BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (Hrsg.) (2003): Schule und Beratung Heft 7, S. VI-1 bis VI-7
- SCHAUER, T. (1992): Der Beitrag der Vegetationskartierung für die Abschätzung und Prognose des Abflusses, des Abtrags und der Belastung bei spezifischen Nutzungen in alpinen Wildbacheinzugsgebieten. INTERPRAEVENT Bd. 6, S. 251-272
- SHELLNHUBER, H.J. (2002): Nicht das Klima spielt verrückt, sondern der Mensch. In: KENNTMICH, W. (Hrsg.): Die Jahrhundertflut. Bertelsmann, S. 227-244, München
- SCHMIDTKE, R.F. (1981): Monetäre Bewertung wasserwirtschaftlicher Maßnahmen - Systematik der volkswirtschaftlichen Nutzenermittlung. Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft 2
- SCHÜLER, G. (2001): Schonende Bewirtschaftung sensibler Niederschlagsflächen und Bachauen in der Forstwirtschaft
- SCHUMANN, A. (2002): Wege zur Ermittlung der hydrologischen Bemessungsgrößen. Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung Heft 2, S. 111-124
- SCHWEIZERISCHE GEBIRGSWALDPFLEGEGRUPPE GWG (Hrsg.) (2000): Waldwirkungen und Hochwasser - Einfluss des Waldes und minimaler Pflegemaßnahmen auf das Abflussverhalten der Gewässer im Flyschgebiet. Dokumentation der 15. Arbeitstagung der GWG
- SEEGERT, J.; ARMBRUSTER, M.; FEGER, K.-H.; BERNHOFER, C. (2003): Einfluss unterschiedlicher Bestockung auf die Dynamik des Gebietsabflusses. AFZ/Der Wald 8, S. 419-423
- STIFTUNG WALD IN NOT (Hrsg.) (2000): Wald Wasser Leben
- TÖNSMANN, F.; RÖTTCHER, K. (2002): Konzepte zum Hochwasserschutz. In: ATV-DVWK (Hrsg.) (2002): Hochwassermanagement - Gefährdungspotentiale und Risiko der Flächennutzung. Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung Heft 2, S. 5-28
- VEREIN FÜR FORSTLICHE STANDORTSKARTIERUNG IM PRIVAT- UND KÖRPERSCHAFTSWALD IN BAYERN E.V. (Hrsg.) (2001): Erläuterungsband zur Standortserkundung Waldkörperschaft Buching-Trauchgau, Kartiergebiet Halblech. Unveröffentlicht
- VEREINIGUNG DEUTSCHER GEWÄSSERSCHUTZ VDG (Hrsg.) (2002): Hochwasser - Naturereignis oder Menschenwerk. Bonn
- WAGNER, S. (2003): Wird die Waldgestaltung durch die Bedürfnisse des Hochwasserschutzes eingeschränkt? AFZ/Der Wald 5, S. 6-7
- ZOLLNER, A.; CRONAUER, H. (2003): Das Abflussgeschehen von unterschiedlich genutzten Hochmooreinzugsgebieten. Berichte aus der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft Nr. 40, S. 39-47, Freising

8 Verzeichnis der Abbildungen

- Abb. 1: Schadensschwerpunkte der Hochwasser 1999-2003 in Bayern (BayStMLU 2003)
- Abb. 2: Maßnahmen zur Umsetzung des Programms „Nachhaltiger Hochwasserschutz in Bayern - Aktionsprogramm 2020 für Donau und Maingebiet“ (Bayerischer Landtag Drs. 14/11227)
- Abb. 3: Abfluss als Komponente des terrestrischen Wasserkreislaufs (verändert aus MENDEL 2000)
- Abb. 4: Starkniederschlagshöhen für 24 Stunden (oben) bzw. Dauerniederschlagshöhen für 72 Stunden (unten) mit Jährlichkeit 1 Jahr (links) und Jährlichkeit 100 Jahre (rechts) (aus BMU 2003)
- Abb. 5: Prozesse der Abflussbildung, Abflusskonzentration und des Abflusses im Gerinne (links) sowie Zusammensetzung des Abflusses aus Oberflächen-, Zwischen- und Grundwasserabfluss (rechts) (aus BAUMGARTNER und LIEBSCHER 1990, verändert)
- Abb. 6: Durch Starkregen hervorgerufene Hochwasserwelle mit Vorwelle aus Oberflächenabfluss und Hauptwelle vorwiegend aus Zwischenabfluss (aus MENDEL 2000)
- Abb. 7: Beregnungsanlage des Bayerischen Landesamts für Wasserwirtschaft
- Abb. 8: Oberflächenabfluss in Abhängigkeit von verschiedenen Vegetationstypen (aus BUNZA et al. 1996)
- Abb. 9: Oberflächenabfluss in Abhängigkeit von verschiedenen Bodenarten (aus BUNZA et al. 1996)
- Abb. 10: Oberflächenabfluss in Abhängigkeit von verschiedenen Feuchttestufen auf Wiesen und Weiden (links) bzw. vom Vorniederschlag auf Naßhanggleyen (rechts) (aus BUNZA et al. 1996)
- Abb. 11: SCS-Kurvennummern-Verfahren nach DVWK (1984)
- Abb. 12: Anteil des zurückgehaltenen Anteils am Niederschlag für den Vegetationstyp „Wald mittlerer Dichte“ und die Bodentypen „A“ bis „D“ nach dem SCS-Kurvennummernverfahren (DVWK 1984)
- Abb. 13: Substratklassen nach der Standortkarte des VfS (2001) für die Teileinzugsgebiete Lobentalbach (links) und Röthenbach (rechts)
- Abb. 14: Abflussbeiwerte für definierten Starkregen von 100 mm in 1 Stunde nach MARKART et al. (2001) für die Einzugsgebiete Röthenbach (rechts oben) und Lobentalbach (links unten) bezogen auf den Zustand der Wälder gemäß den Luftbildern 1992
- Abb. 15: Moorflächen im Staatswald der Bayerischen Forstämter (ZOLLNER, CRONAUER 2003)
- Abb. 16: Zustand des Schönramer Filzes im Jahr 1961
- Abb. 17: Spitzenwerte der täglichen Wasserabflüsse der Versuchsvarianten des Moorversuchs in den Chiemseemooren aus dem Zeitraum 1989-1999
- Abb. 18: Beispiel für die Abflussreaktion der Versuchsvarianten des Moorversuchs in den Chiemseemooren bei einem Starkregenereignis (insgesamt etwa 100 mm am 5.7.1997)
- Abb. 19: Flussauen in Bayern (ockergelb) und darin derzeit vorhandene Auwälder (grün)
- Abb. 20: Bestehende und bis 2020 geplante Ausweitung der Überschwemmungsgebiete im Auenbereich der Mittleren Isar (StMLU 2003)
- Abb. 21: Zu pflegende naturnahe bzw. umzubauende nicht standortgemäße Auwaldbestände im Staatswald des Forstamtes Freising (Stand Forstinventur 1991)
- Abb. 22: Anteil der Baumarten im Auwaldbereich des Forstamtes Freising am Gesamtbestand 1991 bzw. 2001 sowie an der nachwachsenden Verjüngung (aus LWF 2003)

- Abb. 23: Wirkungsabschätzung von Rückhaltungsmaßnahmen im Einzugsgebiet auf Hochwasser (aus TÖNSMANN und RÖTTCHER 2002)
- Abb. 24: links oben: Darstellung „Der Wasserhaushalt des Waldes“ aus STIFTUNG WALD IN NOT (2000); links unten: Darstellung „Wasserhaushalt im Wald, dargestellt am Beispiel eines Kiefernwaldökosystems im nordostdeutschen Tiefland“ (BMVEL 2003); rechts oben: vergleichbare Darstellung des langjährigen mittleren Wasserhaushalts für ein bewaldetes Mittelgebirgseinzugsgebiet (Große Ohe im Nationalpark Bayerischer Wald nach KENNEL 1998); rechts Mitte: desgleichen für Starkregentag in der Vegetationsperiode; rechts unten: desgleichen für Starkregentag im Winter jeweils für ein Mittelgebirgseinzugsgebiet (grobe Rahmenwerte in Anhalt an KENNEL 1998)
- Abb. 25: links: Anteil des Interzeptionsverlusts eines Fichten- bzw. Buchenbestandes für Niederschlagsereignisse unterschiedlicher Höhe; rechts: potentiell mögliche Verdunstung einer freien Wasseroberfläche unter verschiedenen meteorologischen Bedingungen (aus BAUMGARTNER und LIEBSCHER 1990)
- Abb. 26: Darstellung „Oberflächenabfluss nach Starkregen“ (aus STIFTUNG WALD IN NOT (2000))
- Abb. 27: Zunahme der Tage mit Starkniederschlägen an der Klimastation Hohenpeißenberg

Abbildungen im Anhang

- A-1a: Standortskarte Legende
- A-1b: Standortskarte Lobentalbach
- A-1c: Standortskarte Röthenbach
- A-2a: Geologische Karte Röthenbach
- A-2b: Geologische Karte Lobentalbach
- A-3a: Luftbild-Klassifikation der Waldbestände Legende und Lobentalbach
- A-3b: Luftbild-Klassifikation der Waldbestände Röthenbach
- A-3c: Luftbildauswertungen Röthenbach und Lobentalbach: Ergebnisse
- A-4a: Zuordnung von Abflussbeiwertklassen zu den Standortseinheiten und deren Empfindlichkeit gegenüber Bestandesverlichtung, Bodenverdichtung und Baumartenwahl
- A-5a: Sensitivitätsanalyse Abflussbeiwerte Szenario „Idealzustand“ (rechts) im Vergleich zum Istzustand (links)
- A-5b: Sensitivitätsanalyse Abflussbeiwerte Szenario „Kahlfläche“ (rechts) im Vergleich zum Istzustand (links)
- A-5c: Sensitivitätsanalyse Abflussbeiwerte Szenario „Fichte ohne Mischbaumarten“ (rechts) im Vergleich zum Istzustand (links)
- A-5d: Sensitivitätsanalyse Abflussbeiwerte Szenario „Bodenverdichtung durch Waldweide“ (rechts) im Vergleich zum Istzustand (links)

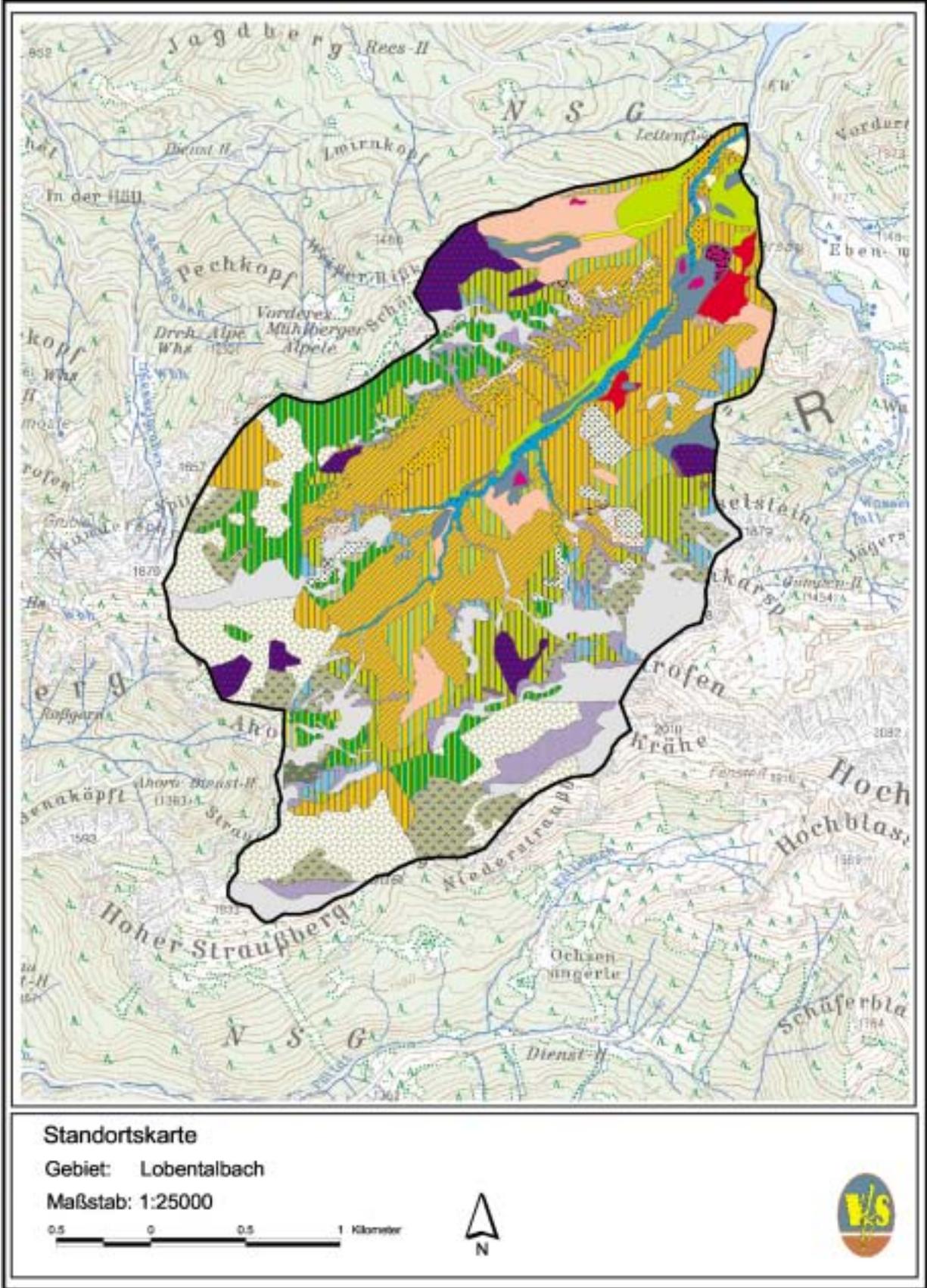
9 Verzeichnis der Tabellen

- Tab. 1: Die teuersten Hochwasser seit 1990 in Deutschland und weltweit (KRON 2002; MÜNCHENER RÜCKVERSICHERUNGSGESELLSCHAFT 2003)
- Tab. 2: Ziele und Fragestellungen des Demonstrationsvorhabens
- Tab. 3: Beispielsgebiete, die im Demonstrationsvorhaben untersucht wurden
- Tab. 4: Rahmenwerte für Stark- bzw. Dauerregenereignisse in Bayern (in Anhalt an BMU 2003)
- Tab. 5: Ergebnisse von Szenario-Abschätzungen zu den Auswirkungen eines Waldsterbens auf den Hochwasserabfluss
- Tab. 6: Abschätzung eines Kostenrahmens für technische Hochwasserrückhaltemaßnahmen
- Tab. 7: Abschätzung des monetären Wertes der Leistungen von Wäldern für den Hochwasserrückhalt mit einem Ersatzkostenansatz
- Tab. 8: Abschätzung flächenbezogener Hochwasserschadenserwartungswerte
- Tab. 9: Abschätzung des monetären Wertes der Leistungen von Wäldern für den Hochwasserrückhalt mit einem Produkt-Funktions-Ansatz
- Tab. 10: Abflussbeiwertsklassen für Starkregenereignisse nach der Methode des Instituts für Lawinen- und Wildbachforschung des Österreichischen Bundesamtes und Forschungszentrum für Wald, Innsbruck (MARKART et al. 2001)
- Tab. 11: Mittlere Oberflächenabflussbeiwerte für Starkregenereignis 100 mm in 1 Stunde für die Einzugsgebiete Lobentalbach und Röthenbach bezogen auf die tatsächlichen Bestandesverhältnisse 1992 sowie relative Änderung der mittleren Abflussbeiwerte für verschiedene Szenarien des Waldzustandes
- Tab. 12: Ziele und Maßnahmen zur Sicherung und Verbesserung der vorbeugenden Hochwasserschutzfunktion der Wälder, insbesondere der Bergwälder
- Tab. 13: Ziele und Maßnahmen zur Sicherung und Verbesserung des Naturhaushaltes von Mooren und anderen Feuchtflächen im Wald
- Tab. 14: Ziele und Maßnahmen zur Sicherung und Verbesserung der vorbeugenden Hochwasserschutzfunktion der Auwälder
- Tab. 15: Beispiele für den Hochwasserabfluss aus bewaldeten Bergwaldeinzugsgebieten bei extremen Starkregenereignissen (Daten für Erzgebirge aus SEEGERT et al. 2003)

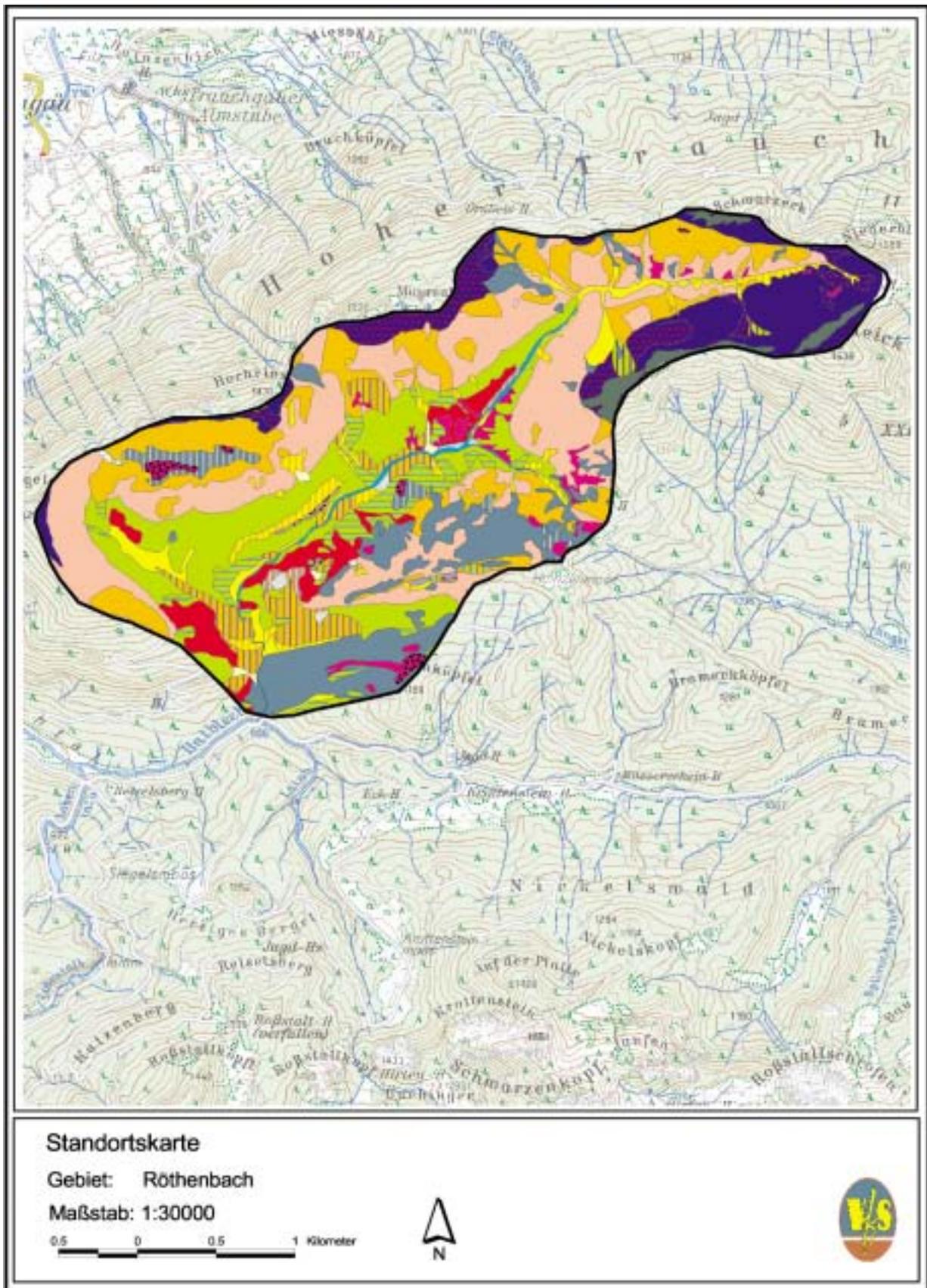
10 Anhang

Legende der Standortskarte			
	KA3 Blockschutt-Edellaubwald		sA4 Mischwald steller Einhänge und Schluchten
	kA5 Hangfuß-Edellaubwald		sB3 Mergelsteilhang-Bergmischwald
	kB1 Felshang-Bergmischwald		SB4 Frischer Silikat-Moder-Bergmischwald
	kB2 Mäßig trockener Karbonat-Bergmischwald		sB4 Frischer Silikat-Mull-Bergmischwald
	kb3 Mäßig frischer hochmontaner Karbonat-Bergmischwald		sb5 Frischer hochmontaner Silikat-Mull-Bergmischwald
	kB3 Mäßig frischer Karbonat-Bergmischwald		sB5 Sehr frischer Silikat-Mull-Bergmischwald
	kb4 Frischer hoch-montaner Karbonat-Bergmischwald		Sb5 Frischer hochmontaner Silikat-Moder-Bergmischwald
	kF2 Mäßig trockener subalpiner Karbonat-Fichtenwald		sF5 Hangfeuchter subalpiner Silikat-Fichtenwald
	kF3 Mäßig frischer subalpiner Karbonat-Fichtenwald		SF5 Frischer subalpiner Silikat-Fichtenwald
	kk2 Trockenes Latschengebüsch		SF8 Nährstoffarmer subalpiner Silikat-Fichtenwald
	kk3 Frisches Latschengebüsch		sp4 Frischer Silikat-Lahner
	kp1 Trockener Karbonat-Lahner		ST8 Feuchter nährstoffarmer Fichten-Tannenwald
	kp3 Frischer Karbonat-Lahner		sT8 Feuchter nährstoffreicher Fichten-Tannenwald
	Lp6 Sukzession auf Lockersediment		AA4 Frischer Edellaubmischwald auf Terrassenschotter
	Me9 Nasser Erlen-Fichtenwald		A2 Mäßig trockener Nadelmischwald auf Terrassenschotter
	MF9 Moorrind-Fichtenwald		Ap1 Wildbachschotter
	Mk9 Hochmoor-Latschengebüsch		Fp1 Fels
	Tf2 Felsgrat-Nadelmischwald		Gp1 Geröll
	TF3 Block-Fichtenwald		Grünland, alpine Matten
	Tf4 Schuttkegel-Nadelmischwald		

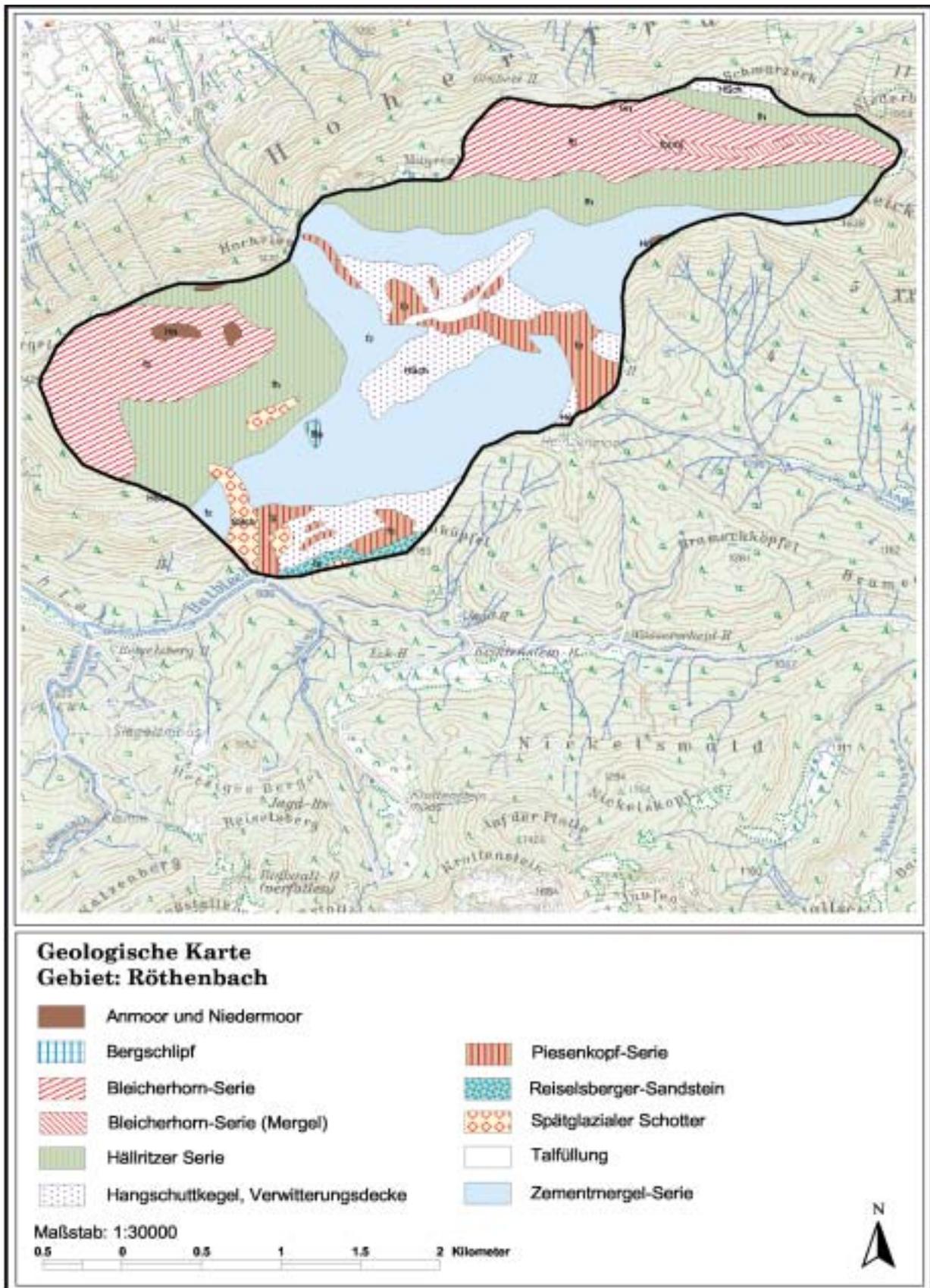
A-Ia: Standortskarte Legende



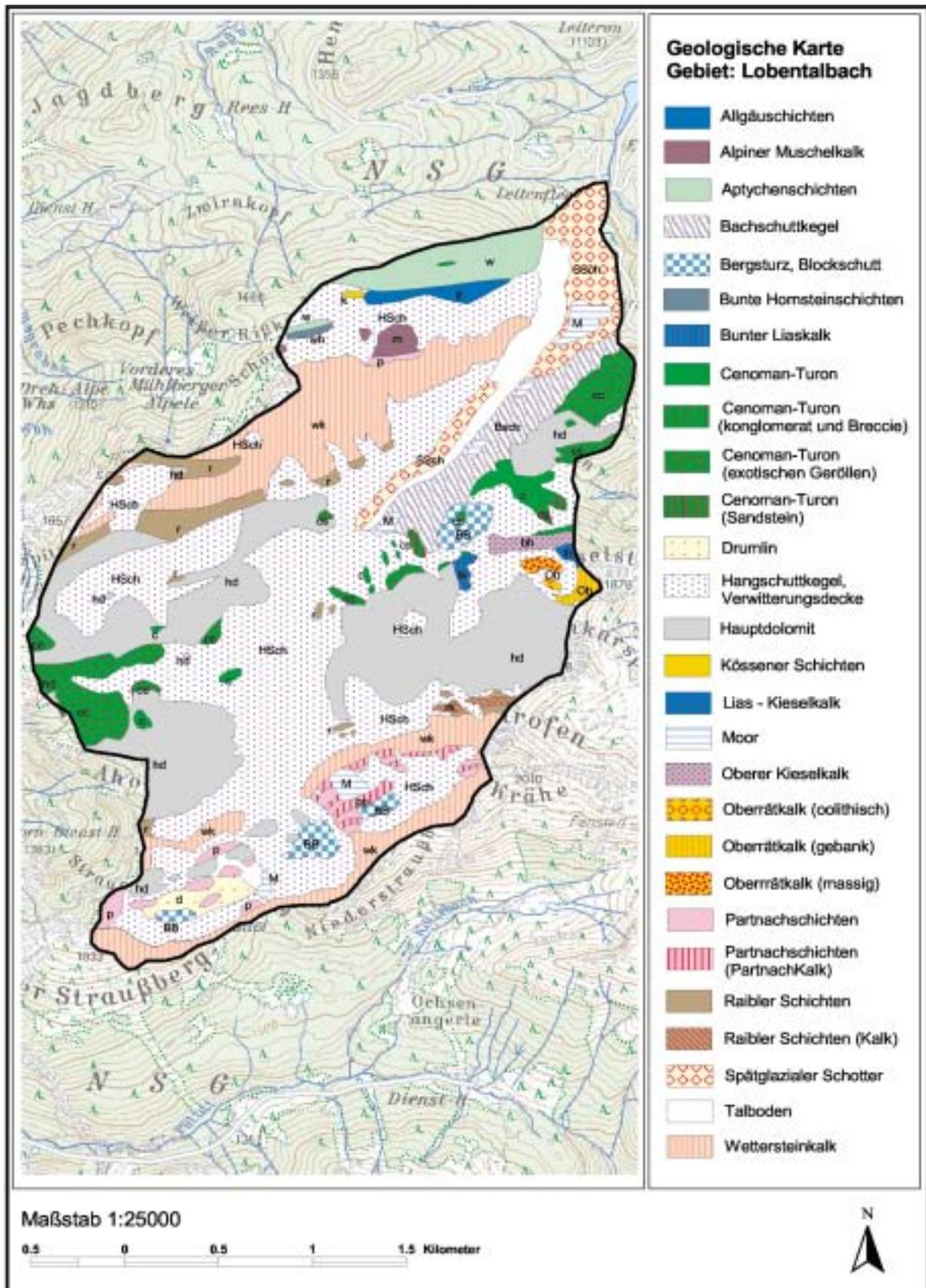
A-1b: Standortskarte Lobentalbach



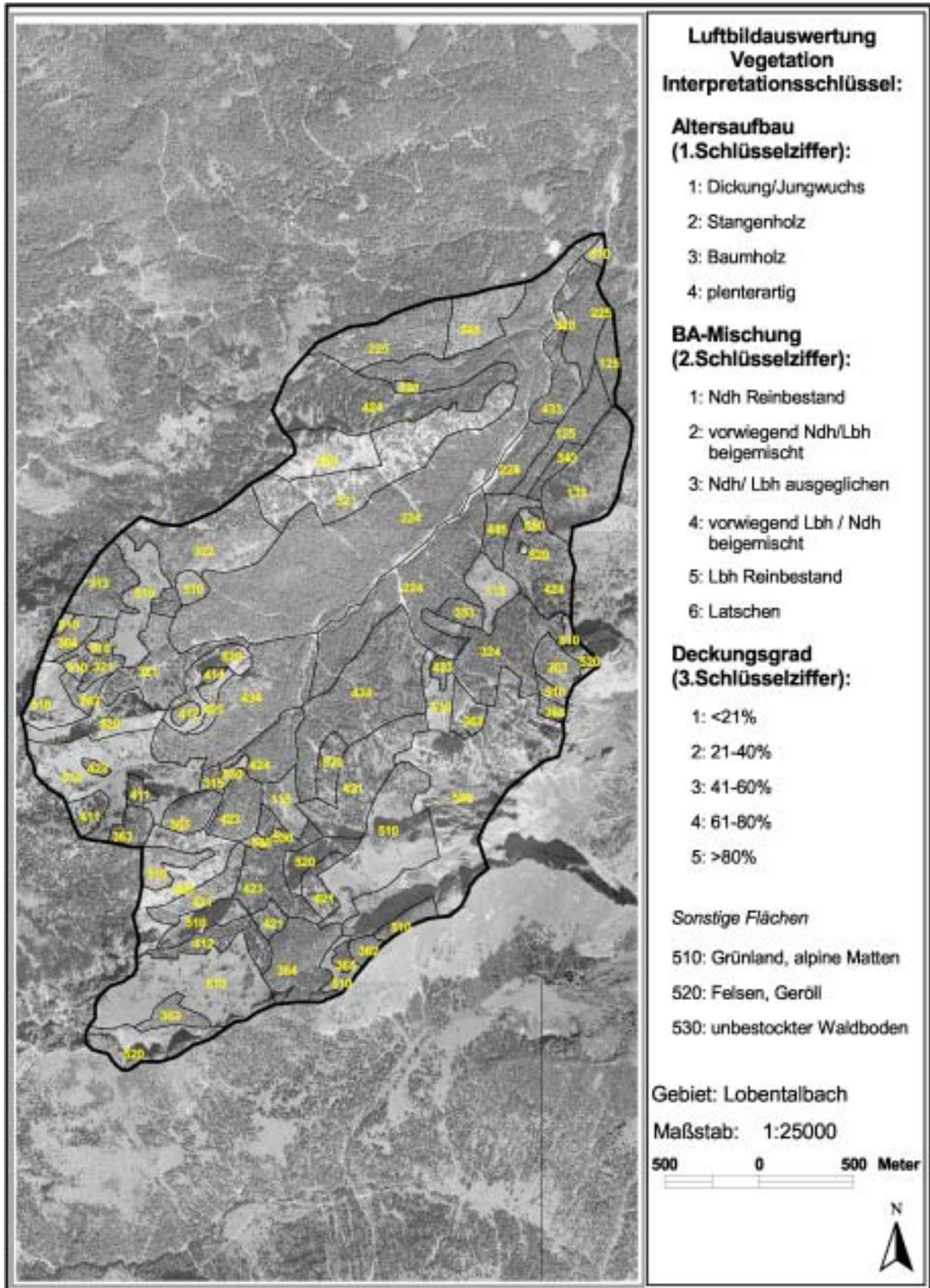
A-1c: Standortskarte Röthenbach



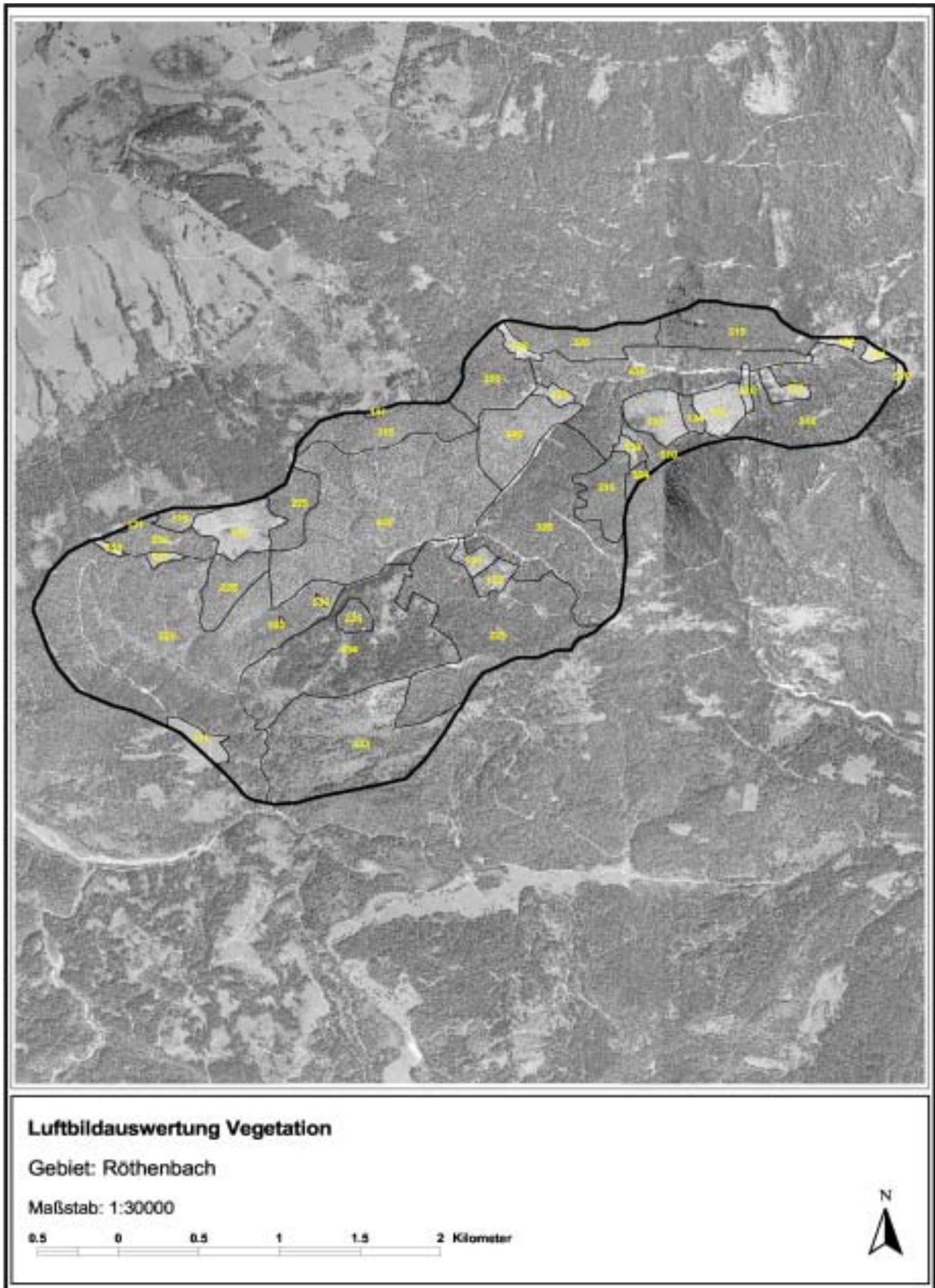
A-2a: Geologische Karte Röthenbach



A-2b: Geologische Karte Lobentalbach



A-3a: Luftbild-Klassifikation der Waldbestände: Legende und Lobentalbach



A-3b: Luftbild-Klassifikation der Waldbestände: Röthenbach (Legende siehe A-3a)

Luftbildauswertung Buching-Trauchgau Röthenbach			Luftbildauswertung Buching-Trauchgau Lobentalbach		
Altersaufbau	ha	% Fläche	Altersaufbau	ha	% Fläche
Dickung/Jungwuchs	66,860	8,14	Dickung/Jungwuchs	41,071	5,20
Stangenholz	118,459	14,42	Stangenholz	167,541	21,19
Baumholz	345,244	42,02	Baumholz	156,450	19,79
Plenterartig	286,937	34,92	Plenterartig	186158	23,55
Sonstige Flächen			Sonstige Flächen		
Grünland, alpine Matten	3,759	0,46	Grünland, alpine Matten	120,979	15,30
Unbestockter Waldboden	0,431	0,05	Felsen, Geröll	115,357	14,59
			Unbestockter Waldboden	2,996	0,38
Summe	821,690	100,00	Summe	790,552	100,00
Baumartenmischung			Baumartenmischung		
Ndh-Reinbestand	ha	% Fläche	Ndh-Reinbestand	ha	% Fläche
Ndh-Reinbestand	113,335	13,79	Ndh-Reinbestand	34,547	4,37
Vorwiegend Ndh, Lbh beigemischt	215,083	26,18	Vorwiegend Ndh, Lbh beigemischt	364,510	46,11
Ndh/Lbh ausgeglichen	468,579	57,03	Ndh/Lbh ausgeglichen	88,139	11,15
Vorwiegend Lbh, Ndh beigemischt	20,503	2,50	Vorwiegend Lbh, Ndh beigemischt	17,723	2,24
			Lbh-Reinbestand	2,627	0,33
			Latschen	43,675	5,52
Sonstige Flächen			Sonstige Flächen		
Grünland, alpine Matten	3,759	0,46	Grünland, alpine Matten	120,979	15,30
Unbestockter Waldboden	0,431	0,05	Felsen, Geröll	115,357	14,59
			Unbestockter Waldboden	2,996	0,38
Summe	821,690	100,00	Summe	790,553	100,00
Deckungsgrad			Deckungsgrad		
Deckungsgrad	ha	% Fläche	Deckungsgrad	ha	% Fläche
< 21 %	44,499	5,42	< 21 %	83,444	10,56
21 – 40 %	5,302	0,65	21 – 40 %	37,909	4,80
41 – 60 %	72,825	8,86	41 – 60 %	89,722	11,35
61 – 80 %	119,890	14,59	61 – 80 %	283,499	35,86
> 80 %	574,985	69,98	> 80 %	56,645	7,17
Sonstige Flächen			Sonstige Flächen		
Grünland, alpine Matten	3,759	0,46	Grünland, alpine Matten	120,979	15,30
Unbestockter Waldboden	0,431	0,05	Felsen, Geröll	115,357	14,59
			Unbestockter Waldboden	2,996	0,38
Summe	821,691	100,00	Summe	790,551	100,00

A-3c: Luftbildauswertungen Röthenbach und Lobentalbach: Ergebnisse

Standortseinheit	Standortseinheit Langname gemäß Standortserkundung Kartiergebiet Halblech des Vereins für forstliche Standortserkundung im Privat- und Körperschaftswald in Bayern 2001	Nährstoffwert [%]	Bereich (Nährstoffklasse)	Abflussbeiwerte [%] nach der Methode des Inst. für Lawinen- und Vflübachforschung des Österr. Bundesamtes und Forschungszentrum für Wald, Innsbruck (HARKART et al. 2001)							Empfindlichkeit gegen nicht standardisierende Baumartenswahl (z.B. Fichte, Kiefer, Buche)	Empfindlichkeit gegen Bestandesverlichtung bzw. Källdays	Empfindlichkeit gegen Bodenverdichtung (Bodenruhr, Vielstift)	Empfindlichkeit gegen Baumartenwahl
				0	1-10	11-30	31-50	51-75	76-99	100				
				keine/gering/mittel/hoch										
AA4	fr Edelbucheiche auf Terrassenschotter	90	(0-1), 5-6							gering	gering	gering		
Ae4	fr Graubirke auf leinerdeigenen Aue	40	2-4							gering	gering	mittel		
Af2	ntro Nadelmischwald auf Terrassenschotter	90	(0), 5-6							keine	gering	gering		
Ap1	Waldschotter	100	6							keine	keine	keine		
AM2	ntro Weidengebüsch der Schotterau	100	6							keine	keine	keine		
Fp1	Fels	90	(0), 5							keine	keine	keine		
Op1	Geröll	0	0							keine	keine	keine		
KA3	Blockschutt-Edellaubwald	0	0							keine	keine	gering		
kA5	Hangfuß-Edellaubwald	15	1-2							hoch	mittel	hoch		
kB1	Felshang-Bergmischwald	20	0-3							mittel	gering	mittel		
kB2	ntro Karbonat-Bergmischwald	3	0-1							gering	keine	hoch		
kB3	ntro Karbonat-Bergmischwald	3	0-1							gering	keine	hoch		
kB3	ntro hochmontaner Karbonat-Bergmischwald	5	1							gering	gering	hoch		
kB4	fr hochmontaner Karbonat-Bergmischwald	15	1-2							gering	mittel	hoch		
kF2	ntro subalpiner Karbonat-Fichtenwald	10	0-2							keine	gering	mittel		
kF3	ntro subalpiner Karbonat-Fichtenwald	3	0-1							keine	gering	mittel		
kK2	fr Laubengebüsch	50	(0), 3-4							keine	keine	keine		
kK3	Felsches Laubengebüsch	3	0-1							keine	keine	keine		
kp1	fr Karbonat-Lahn	20	(0), 2							keine	keine	gering		
kp3	fr Karbonat-Lahn	10	0-2							keine	keine	gering		
kTB	fr Karbonat-Fichten-Tannenwald	75	4-5							mittel	hoch	hoch		
Lp6	Sukzession auf Lockersediment	60	2-5							mittel	gering	mittel		
Me9	Nasser Erlen-Fichtenwald	90	5-6							gering	mittel	hoch		
MF9	Moornied-Fichtenwald	90	5-6							gering	mittel	hoch		
Mk9	Hochmoor-Laubengebüsch	90	5-6							keine	keine	hoch		
sA4	Mischwald steiler Einträge und Schluchten	25	1-3							hoch	hoch	hoch		
sB3	Mergelsteilhang-Bergmischwald	25	1-3							mittel	hoch	hoch		
sB4	fr Silikat-Mull-Bergmischwald	15	1-2							mittel	mittel	hoch		
sB4	fr Silikat-Moder-Bergmischwald	25	0-3, (4)							gering	gering	mittel		
sB5	fr hochmontaner Silikat-Mull-Bergmischwald	25	0-3, (4)							mittel	mittel	hoch		
sB5	Betr fr Silikat-Mull-Bergmischwald	40	3							mittel	mittel	hoch		
sB5	fr hochmontaner Silikat-Moder-Bergmischwald	40	3, (4)							mittel	mittel	mittel		
sE8	fr Erlen-Eschenwald	3	0-1							hoch	gering	hoch		
s14	Katzenbäume über nährstoffreicher Silikat-Nadelmischwald	50	3-4							gering	gering	hoch		
S14	Nadelmischwald	20	0-3							gering	mittel	hoch		
SF5	fr subalpiner Silikat-Fichtenwald	25	1-3							gering	mittel	mittel		
sF5	Hangfuß subalpiner Silikat-Fichtenwald	40	2-4							gering	hoch	hoch		
SF8	Nährstoffreicher subalpiner Silikat-Fichtenwald	50	3-4							gering	mittel	mittel		
sp4	fr Silikat-Lahn	25	1-3							keine	keine	hoch		
sp5	Grünerengebüsch	15	1-2							keine	hoch	mittel		
sT8	fr nährstoffreicher Fichten-Tannenwald	50	3-4							gering	hoch	hoch		
ST8	fr nährstoffreicher Fichten-Tannenwald	50	3-4							mittel	mittel	mittel		
Tf2	Felsgrat-Nadelmischwald	50	(0), 3-4							gering	gering	mittel		
Tf3	Block-Fichtenwald	0	0							keine	keine	gering		
Tf3	Subalpiner Block-Fichtenwald	0	0							keine	keine	gering		
Tf4	Schafel-Nadelmischwald	0	0							keine	keine	gering		

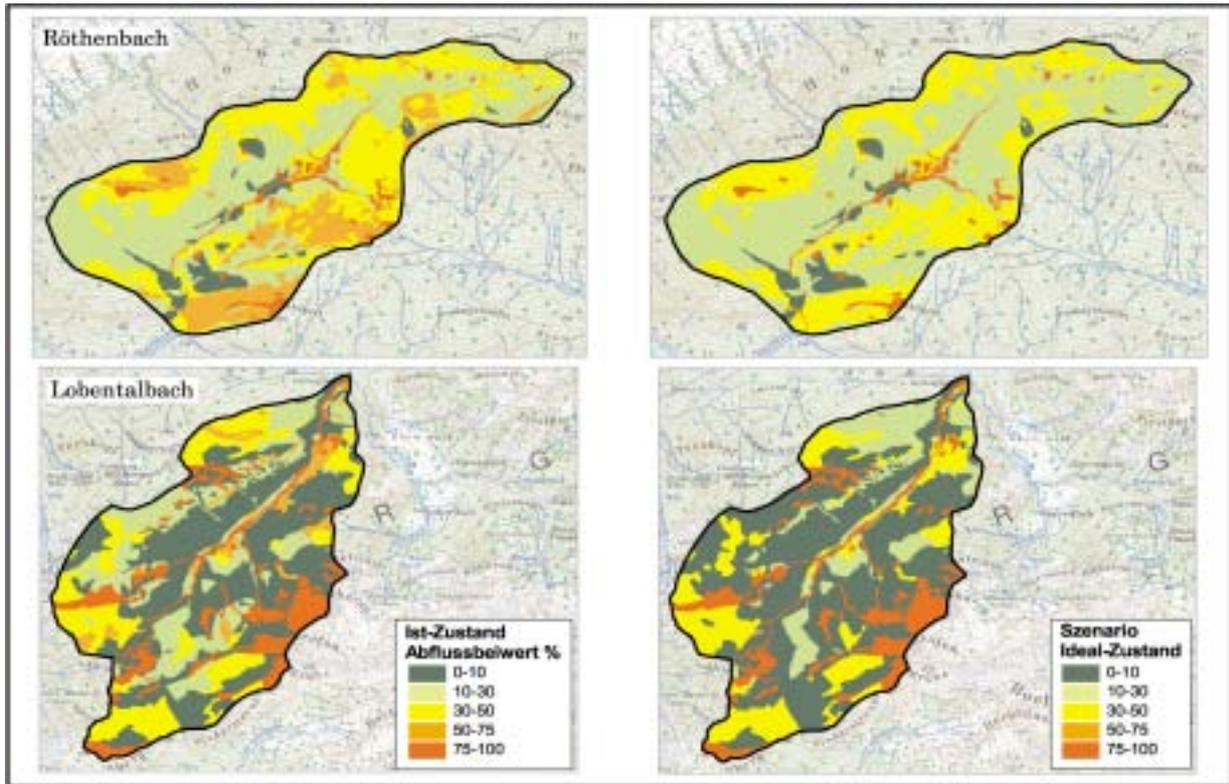
A-4a: Zuordnung von Abflussbeiwertklassen zu den Standortseinheiten und deren Empfindlichkeit gegenüber Bestandesverlichtung, Bodenverdichtung und Baumartenwahl

Standort	ha	%Fläche	Beiwert	Einfluss Baumart	Einfluss Verlichtung	Einfluss Bodenverdichtung
Fp1	95,815	12,12	90	kein	kein	kein
Matten	90,841	11,49	40	kein	kein	n.b.
kB3	90,558	11,45	3	gering	kein	hoch
kb3	89,403	11,31	5	gering	gering	hoch
kF2	60,504	7,65	10	kein	gering	mittel
kF3	52,651	6,66	3	kein	gering	mittel
kk3	43,511	5,50	3	kein	kein	kein
sb5	37,310	4,72	25	mittel	mittel	hoch
Gp1	33,273	4,21	0	kein	kein	kein
kb4	30,541	3,86	15	gering	mittel	hoch
sF5	27,661	3,50	40	gering	hoch	hoch
sT8	20,148	2,55	50	gering	hoch	hoch
sB4	19,914	2,52	15	mittel	mittel	hoch
kB1	19,279	2,44	20	mittel	gering	mittel
kp3	17,024	2,15	10	kein	kein	gering
TF3	13,308	1,68	0	kein	kein	gering
Ap1	9,327	1,18	100	kein	kein	kein
kB2	8,354	1,06	3	gering	kein	hoch
sB5	7,977	1,01	40	mittel	mittel	hoch
Tf2	5,917	0,75	50	gering	gering	mittel
Af2	3,251	0,41	90	kein	gering	gering
kp1	2,561	0,32	20	kein	kein	gering
kk2	1,976	0,25	50	kein	kein	kein
sA4	1,840	0,23	25	hoch	hoch	hoch
kA5	1,282	0,16	15	hoch	mittel	hoch
Lp6	1,258	0,16	60	mittel	gering	mittel
Me9	1,207	0,15	90	gering	mittel	hoch
KA3	1,097	0,14	0	kein	kein	gering
MF9	1,082	0,14	90	gering	mittel	hoch
sp4	0,809	0,10	25	kein	kein	hoch
Tf4	0,469	0,06	0	kein	kein	gering
Mk9	0,411	0,05	90	kein	kein	hoch
	790,559	100,00				

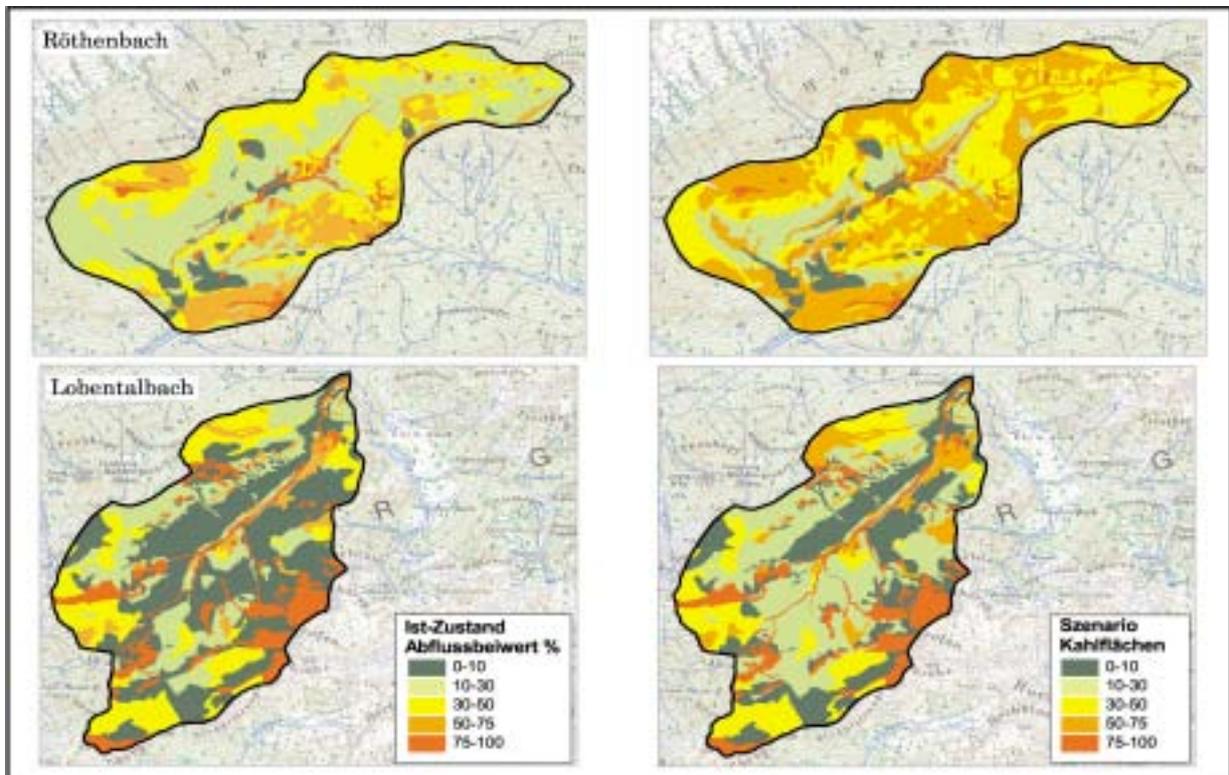
A-4b: Flächenanteile und Abflussbeiwertklassen der Standortseinheiten und deren Empfindlichkeit gegenüber Bestandesverlichtung, Bodenverdichtung und Baumartenwahl für das Einzugsgebiet Lobentalbach

Standort	ha	%Fläche	Beiwert	Einfluss Baumart	Einfluss Verlichtung	Einfluss Bodenverdichtung
sb5	197,1830	24,06	25	mittel	mittel	hoch
Sb5	118,1690	14,42	40	mittel	mittel	mittel
sB4	108,4330	13,23	15	mittel	mittel	hoch
sT8	87,9170	10,73	50	gering	hoch	hoch
SF5	60,8970	7,43	25	gering	mittel	mittel
kB3	34,4220	4,20	3	gering	kein	hoch
sF5	34,0780	4,16	40	gering	hoch	hoch
sB5	31,1300	3,80	40	mittel	mittel	hoch
SB4	30,6190	3,74	25	gering	gering	mittel
sA4	23,0000	2,81	25	hoch	hoch	hoch
sB3	21,9830	2,68	25	mittel	hoch	hoch
Me9	16,3510	1,99	90	gering	mittel	hoch
SF8	14,1680	1,73	50	gering	mittel	mittel
ST8	13,6980	1,67	50	mittel	mittel	mittel
Ap1	6,4640	0,79	100	kein	kein	kein
MF9	5,4610	0,67	90	gering	mittel	hoch
kA5	3,0960	0,38	15	hoch	mittel	hoch
kF3	2,9140	0,36	3	kein	gering	mittel
Lp6	2,3480	0,29	60	mittel	gering	mittel
Fp1	2,2180	0,27	90	kein	kein	kein
KA3	2,0910	0,26	0	kein	kein	gering
kb4	1,5060	0,18	15	gering	mittel	hoch
Gp1	0,7980	0,10	0	kein	kein	kein
AA4	0,5850	0,07	90	gering	gering	gering
Mk9	0,1170	0,01	90	kein	kein	hoch
	819,6460	100,00				

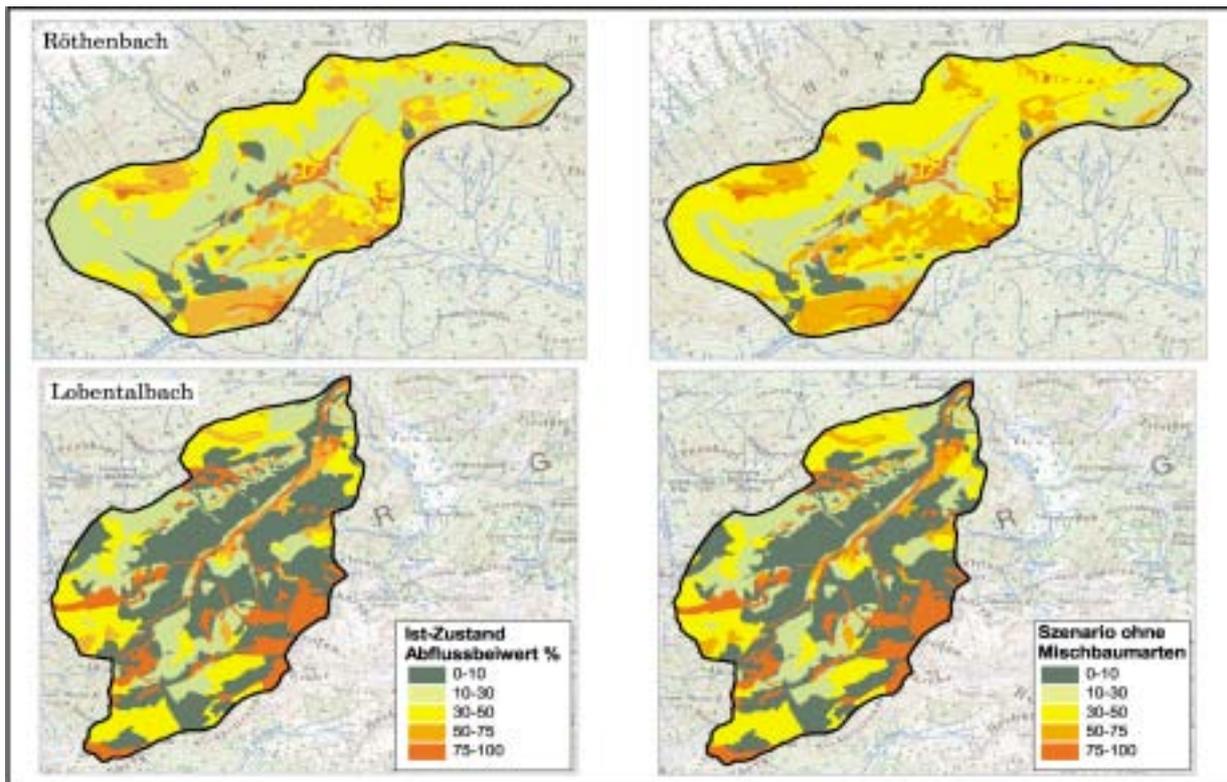
A-4c: Flächenanteile und Abflussbeiwertklassen der Standortseinheiten und deren Empfindlichkeit gegenüber Bestandesverlichtung, Bodenverdichtung und Baumartenwahl für das Einzugsgebiet Röthenbach



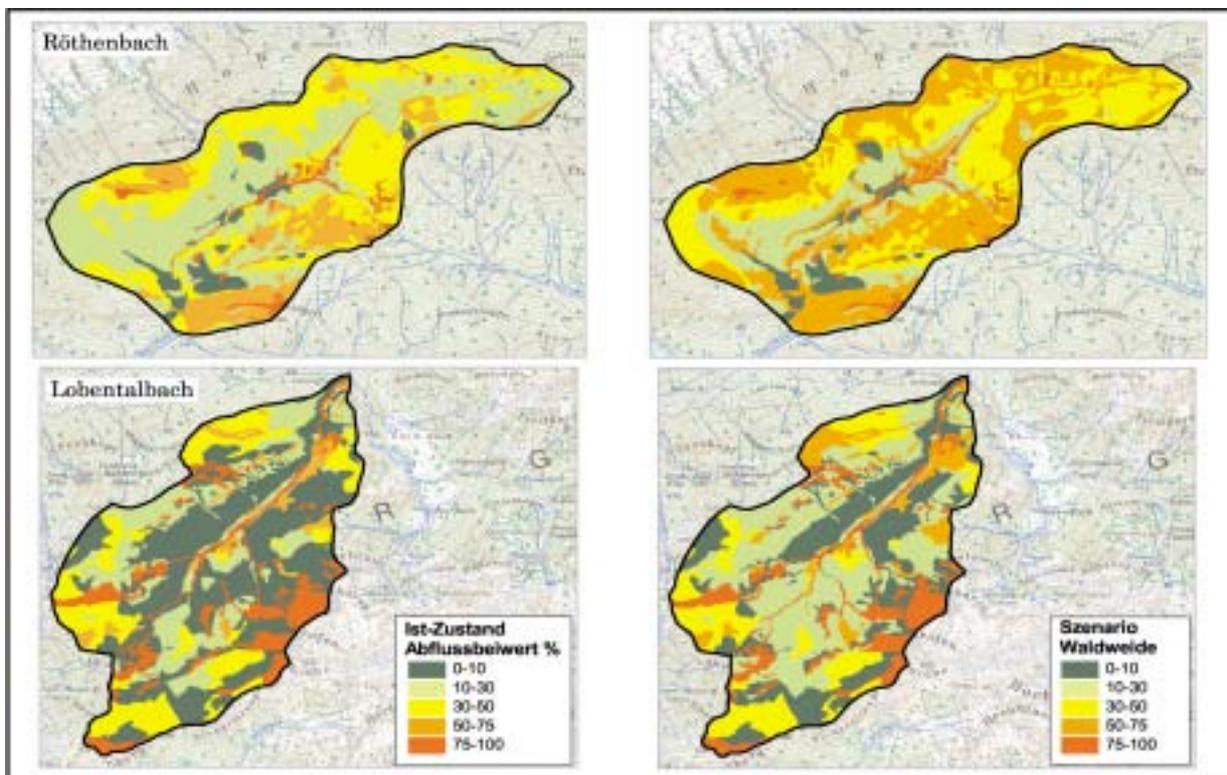
A-5a: Sensitivitätsanalyse Abflussbeiwerte Szenario „Idealzustand“ (rechts) im Vergleich zum Istzustand (links)



A-5b: Sensitivitätsanalyse Abflussbeiwerte Szenario „Kahlfäche“ (rechts) im Vergleich zum Istzustand (links)



A-5c: Sensitivitätsanalyse Abflussbeiwerte Szenario „Fichte ohne Mischbaumarten“ (rechts) im Vergleich zum Istzustand (links)



A-5d: Sensitivitätsanalyse Abflussbeiwerte Szenario „Bodenverdichtung durch Waldweide“ (rechts) im Vergleich zum Istzustand (links)

Bisher sind in der Reihe „Berichte aus der LWF“ folgende Hefte erschienen:

Nr. 1	1994	S. KRÜGER, R. MÖSSMER, A. BÄUMLER	Der Wald in Bayern: Ergebnisse der Bundeswaldinventur 1986-1990
Nr. 2	1995	A. KÖNIG, R. MÖSSMER, A. BÄUMLER	Waldbauliche Dokumentation der flächigen Sturmschäden des Frühjahrs 1990 in Bayern und meteorologische Situation zur Schadenszeit
Nr. 3	1995	H. REITER, R. HÜSER, S. WAGNER	Auswirkungen von Klärschlammapplikation auf vier ver- schiedene Waldstandorte
Nr. 4	1995	A. SCHUBERT, R. BUTZ-BRAUN, K. SCHÖPKE, K.H. MELLERT	Waldbodendauerbeobachtungsflächen in Bayern
Nr. 5	1995	V. ZAHNER	Der Pflanzen- und Tierartenbestand von Waldweiherlebens- räumen und Maßnahmen zu deren Sicherung (<i>– vergriffen –</i>)
Nr. 6	1996	A. ZOLLNER	Düngeversuche in ostbayerischen Wäldern
Nr. 7	1996	S. NÜSSLEIN	Einschätzung des potentiellen Rohholzaufkommens in Bayern auf der Grundlage der Ergebnisse der Bundeswaldinventur von 1987
Nr. 8	1996	F. BURGER, N. REMLER, R. SCHIRMER, H.-U. SINNER	Schnellwachsende Baumarten, ihr Anbau und ihre Verwertung (<i>– vergriffen –</i>)
Nr. 9	1996	H.-J. GULDER	Auwälder in Südbayern: Standörtliche Grundlagen und Bestockungsverhältnisse im Staatswald (<i>– vergriffen –</i>)
Nr. 10	1996	O. SCHMIDT, M. KÖLBEL (RED.)	Beiträge zur Eibe (<i>– vergriffen –</i>)
Nr. 11	1996	N. REMLER, M. FISCHER	Kosten und Leistung bei der Bereitstellung von Waldhack- schnitteln (<i>– vergriffen –</i>)
Nr. 12	1996	O. SCHMIDT et al.	Beiträge zur Hainbuche (<i>– vergriffen –</i>)
Nr. 13	1997	V. ZAHNER	Der Biber in Bayern - Eine Studie aus forstlicher Sicht (<i>– vergriffen –</i>)
Nr. 14	1997	N. REMLER, A. ZOLLNER, H.-P. DIETRICH	Eigenschaften von Holzaschen und Möglichkeiten der Wieder- verwertung im Wald (<i>– vergriffen –</i>)

Nr. 15	1997	J. DAHMER, S. RAAB	Pflanzverfahren und Wurzelentwicklung (<i>– vergriffen –</i>)
Nr. 16	1998	N. REMLER, H. WEIXLER, S. FELLER	Vollmechanisierte Waldhackschnitzel-Bereitstellung – Ergebnisse einer Studie am Hackschnitzel-Harvester (<i>– vergriffen –</i>)
Nr. 17	1998	O. SCHMIDT et al.	Beiträge zur Vogelbeere
Nr. 18	1998	H. J. GULDER et al.	Humuszustand und Bodenlebewelt ausgewählter bayerischer Waldböden
Nr. 19	1998	G. LOBINGER	Zusammenhänge zwischen Insektenfraß, Witterungsfaktoren und Eichenschäden (<i>– vergriffen –</i>)
Nr. 20	1999	S. RAAB	Arbeitsverfahren für die Pflege in der Fichte (<i>– vergriffen –</i>)
Nr. 21	1999	H. WEIXLER et al.	Teilmechanisierte Bereitstellung, Lagerung und Logistik von Waldhackschnitzeln
Nr. 22	1999	CH. KÖLLINGER	Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen in den Wäldern Bayerns – Ergebnisse der Stoffhaushaltsuntersuchungen an den Bayerischen Waldklimastationen 1991 bis 1998 (<i>– vergriffen –</i>)
Nr. 23	1999	L. ALBRECHT et al.	Beiträge zur Wildbirne
Nr. 24	1999	O. SCHMIDT et al.	Beiträge zur Silberweide (<i>– vergriffen –</i>)
Nr. 25	2000	S. NÜSSLEIN et al.	Zur Waldentwicklung im Nationalpark Bayerischer Wald – Buchdrucker-Massenvermehrung und Totholzflächen im Rachel-Lusen-Gebiet (<i>– vergriffen –</i>)
Nr. 26	2000	S. WITTKOPF, K. WAGNER	Der Energieholzmarkt Bayern (<i>– vergriffen –</i>)
Nr. 27	2000	BAYER. LWF	Großtiere als Landschaftsgestalter – Wunsch oder Wirklichkeit? (<i>– vergriffen –</i>)
Nr. 28	2000	BAYER. LWF	Beiträge zur Sandbirke
Nr. 29	2000	A. WAUER	Verfahren zur Rundholzlagerung
Nr. 30	2001	BAYER. LWF	Symposium Energieholz
Nr. 31	2001	BAYER. LWF	Waldzustandsbericht 2001
Nr. 32	2001	H. WALENTWOSKI, H.-J. GULDER, CH. KÖLLING, J. EWALD, W. TÜRK	Die Regionale Natürliche Waldzusammensetzung

Nr. 35	2002	BAYER. LWF	Auerhuhnschutz und Forstwirtschaft - Lösungsansätze zum Erhalt von Reliktpopulationen unter besonderer Berücksichtigung des Fichtelgebirges
Nr. 36	2002	S. RAAB, S. FELLER, E. UHL, A. SCHÄFER, G. OHRNER	Aktuelle Holzernteverfahren am Hang
Nr. 37	2003	R. NÖRR, M. BAUMER	Pflanzung – ein Risiko für die Bestandesstabilität? Die Bedeutung wurzelschonender Pflanzung und ihre Umsetzung im Forstbetrieb
Nr. 38	2003	S. WITTKOPF, U. HÖMER, S. FELLER	Bereitstellungsverfahren für Waldhackschnitzel - Leistungen, Kosten, Rahmenbedingungen
Nr. 39	2003	A. ROTHE, H. BORCHERT	Der Wald für morgen – eine Naturalbilanz über 25 Jahre naturnahe Forstwirtschaft im Bayerischen Staatswald
Nr. 40	2003	BAYER. LWF	Hochwasserschutz im Wald
Nr. 41	2003	BAYER. LWF	Beiträge zum Wacholder
Nr. 42		BAYER. LWF	Beiträge zur Erle
Nr. 43		BAYER. LWF	Naturwaldreservate in Bayern