

Der Beitrag des Bergwaldes zum Schutz gegen Oberflächenabfluß und Bodenabtrag

Contribution of mountain forests towards the prevention of surface runoff and soil erosion

Von U. AMMER, J. BREITSAMETER und J. ZANDER*

Zusammenfassung

In den Bayerischen Alpen nahe dem Tegernsee wurden je drei voll bewaldete Kleineinzugsgebiete von 5-16 ha Größe als Versuchsflächen in den geologischen Großeinheiten Flysch und Kalkalpin (Hauptdolomit) ausgewählt. Kernpunkt des Versuchsansatzes ist es, Zusammenhänge zwischen Waldzustand, Bodenzustand und Abfluß- und Abtragsverhalten zu untersuchen und zu quantifizieren. Dazu werden durch forstliche Hiebsmaßnahmen unterschiedliche Waldschadenszustände simuliert. Im Herbst 1992 wurden durch forstliche Maßnahmen im Gebiet Flysch Sonnseite 1 ca. 40%, auf Flysch Schattseite ca. 30% des aufstockenden Bestandes entnommen. Das Gebiet Flysch Sonnseite 2 blieb als Kontrollfläche unverändert.

Nach dem Aufbau der Pegelstationen zur Messung von Abfluß und Geschiebeaustrag und der Instrumentierung (Niederschlag, Saugspannung, Schwebstoffmessung) liegen 4- bis 5jährige Meßreihen vor. Die Untersuchungen vor den Hiebsmaßnahmen zeigen, daß insbesondere die Flysch-Gebiete in ihren naturräumlichen Gegebenheiten wie Geologie, Böden, Niederschlag und Waldbestand sehr gut miteinander vergleichbar sind. Auf Flysch Sonnseite 1 hat sich der Austrag im Vergleich zur Nullfläche nach dem Hieb verdoppelt; die Flysch Schattseite bleibt wegen eines geringeren Anteiles von Steilflächen auch nach dem Hieb unter dem Austrag der unbehandelten Kontrollfläche. Im niederschlagsreichen Jahr 1993 ergeben sich Feststoffausträge, die bei der Hiebsfläche Flysch Sonnseite 1 mit ca. 9 t/ha deutlich über einer tolerierbaren Größenordnung liegen. Für 1994 mit einem trockenen Sommer werden etwa nur ein Fünftel dieser Austräge erreicht.

Die Feststoffe werden ganz überwiegend im Sommer ausgetragen, wobei sich ein Großteil der Gesamtfracht auf wenige Großereignisse konzentriert.

Summary

Six forested watersheds, 5 to 16 hectares in size, were chosen as test sites in the Bavarian Alps, close to lake Tegernsee. Geologically, they belong to the formations Flysch and Kalkalpin (Hauptdolomit). The research was directed at finding and quantifying interrelations between forest conditions, soil conditions, runoff and erosion. Therefore, different stages of forest decline were simulated by forest cuts. In autumn of 1992 about 40% and 30% of the growing stock on the Flysch Sonnseite 1 and Flysch Schattseite test sites respectively were cut, while Flysch Sonnseite 2 was maintained unchanged as control plot.

With the installation of hydrologic and climatic measuring stations 4 to 5 years' data series have become available. Studies prior to cutting show that in particular the catchment areas in the Flysch zone are very similar as regards natural factors such as geology, soil, precipitation and forest stands. After cutting, the output of solid matter on the Flysch Sonnseite 1 test site was twice as large as that on the control plot. On account of a lesser portion of steep areas the sediment yield of Flysch Schattseite is below that of the control, even after cutting. In the very wet year of 1993 the output of solid matter, amounting to about 9 t/hectare on the clear-cut area of Flysch Sonnseite 1, was clearly not tolerable, while in the arid summer of 1994 only about a fifth of this amount was recorded.

Solid matter output occurs predominantly in summertime with the largest portions attributed to merely a small number of events.

* Die Untersuchungen sind Bestandteil eines vom BMFT Bonn geförderten Forschungsvorhabens, das in Zusammenarbeit mit den Universitäten Bayreuth, Mannheim und Köln, der Nationalparkverwaltung Berchtesgaden sowie der Bayerischen Wasserwirtschaftsverwaltung und der Bayerischen Staatsforstverwaltung durchgeführt wurde.

1 Einleitung

Als Mitte der 80er Jahre das Waldsterben die Diskussion um Umweltprobleme weithin bestimmte, wurden auch Überlegungen darüber angestellt, wie sich eine Verschlechterung des Waldzustands im Gebirge auf allgemeine landeskulturelle Belange, vor allem auf eine Verschärfung von Abfluß- und Abtragsprozessen auswirken könnten. Eine Studie des **deutschen Alpenvereins** unternahm z. B. den Versuch einer Prognose. Aus einem unterstellten Rückgang an Schutzwäldern im bayerischen Alpenraum wurde abgeleitet, welche Talräume durch Vermurung, Überschotterung, Lawinenabgänge und Hochwasser bis zur Besiedelungsfeindlichkeit bedroht wären. Demnach würde z. B. das Loisachtal zwischen Garmisch und Eschenlohe nahezu unpassierbar. Auch wenn diese Prognose überzeichnet, so wurde damit die Aufmerksamkeit auf einen Bereich gelenkt, der schon wegen seiner naturräumlichen Ausstattung als wenig stabil bezeichnet werden muß. Und: Eine Verschlechterung der Stabilität der alpinen Ökosysteme bleibt nicht lokal begrenzt, sondern ihre Wirkung kann über die Flußschläuche bis weit ins Vorland transportiert werden. Die Bedeutung des Waldes im Hochgebirge kommt u. a. auch darin zum Ausdruck, daß 60% des Waldes in den Bayerischen Alpen als Schutzwald ausgewiesen sind.

Häufig genug erst dann, wenn die Schutzfunktionen versagen, wird auch der Öffentlichkeit bewußt, welch enorme wirtschaftliche Leistung intakte Bergwälder erbringen. Sanierungsmaßnahmen mit technischem Verbau als Schutz von Objekten verschlingen bis zu 1,5 Mio. DM je ha Sanierungsfläche. Projekte zur Schutzwaldsanierung mit temporären Verbaumaßnahmen, z. B. gegen das Schneekriechen, erfordern immerhin noch Aufwendungen bis zu 250 Tsd DM je ha (s. a. MOSSMER, AMMER u. KNOKE, 1994). Als Endergebnis eines anfangs häufig schleichenden Prozesses der Destabilisierung und einer in der Schlußphase galoppierend verlaufenden Devastierung des Standorts sind solche Sanierungsprojekte also überaus kostspielig, wobei der Erfolg von biologischen Gegenmaßnahmen bei den gegebenen schwierigen standörtlichen Voraussetzungen mit hoher Reliefenergie und widrigen klimatischen Bedingungen nur in Ausnahmen garantiert werden kann. Von daher besteht nicht nur ein wissenschaftliches Interesse daran, die im Bergwald ablaufenden Prozesse und die gegenseitigen Abhängigkeiten von Niederschlag, Abfluß, Abtrag, Vitalitätsminderung der Bestände und ihrer Verjüngungsdynamik detailliert zu erfassen. Die hier vorgestellten Untersuchungen zielen darauf ab, die Informationen zur Risikoabschätzung im Bergwald zu verbessern. Methodisch werden Aussagen zur präventiven Leistung des Bergwaldes aus Messungen von Abfluß und Abtrag abgeleitet, wobei durch Eingriffe in den aufstockenden Bestand unterschiedliche forstliche Zustände simuliert werden.

Entsprechend dieser Zielsetzung wurden je drei ca. 5–15 ha große und voll bewaldete Kleineinzugsgebiete in den geologischen Großeinheiten **Flysch und Kalkalpin (Hauptdolomit)** der Tegernseer Berge in den Bayerischen Alpen ausgewählt (vgl. Abb. 1 und Tab. 1). Dazu werden durch forstwirtschaftliche Maßnahmen unterschiedlicher Intensität Auflichtungen geschaffen, wie sie im Verlauf des Waldsterbens in der Praxis vorkommen können. Jeweils zwei dieser Flächen sind süd-, eine nord-exponiert. Je eine der süd-exponierten Flächen läuft als Kontrollfläche ohne Behandlung während des Versuchs durch. Bei der Simulation waldschadensbedingter Absterbeprozesse sollen unterschiedliche Modellansätze verfolgt werden (Abb. 2). Unter Einbezug von Erfahrungen aus der Schutzwaldsanierung wurde mit einer Reduktion des Bestockungsgrads auf 0,5 begonnen.

Hauptziel des Vorhabens ist es also, den Zusammenhängen zwischen Waldzustand, Bodenzustand und Abtragsverhalten nachzugehen und diese, wenn möglich, zu quantifizieren. Dazu wurde als Arbeitshypothese zunächst folgende Kausalkette formuliert:

- Absinken des Beschirmungsgrades des Bergwalds
- Erhöhung des hydrologisch wirksamen Niederschlages
- Veränderung der Bodeneigenschaften
- Erhöhung von Oberflächenabfluß und Bodenabtrag.

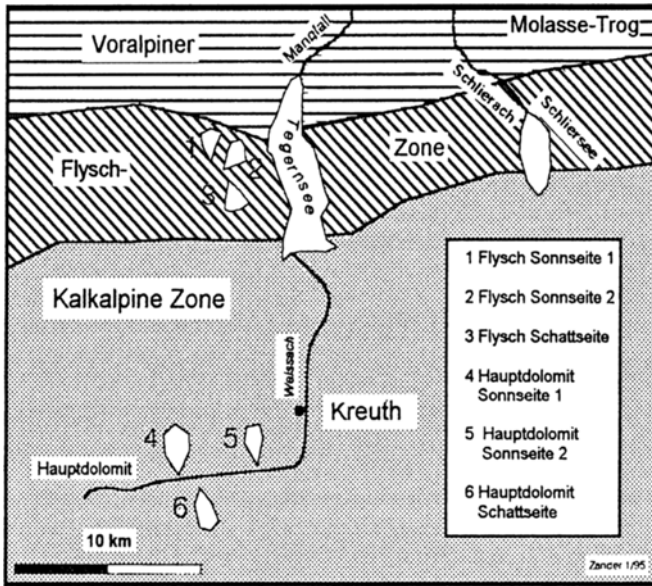


Abb. 1. Lage der Untersuchungsgebiete (stark schematisiert nach LAATSCH u. GROTTENTHALER 1973)

Fig. 1. Location of test sites (outlined after LAATSCH u. GROTTENTHALER 1973)

Tabelle 1. Kurzbeschreibung der Untersuchungsgebiete

Table 1. Test site characteristics

Gebiet	Flysch			Hauptdolomit		
	1 Sonnseite1 FLSON1	2 Sonnseite2 Nullfläche FLSON2	3 Schattseite FLSCH	4 Sonnseite1 HDSON1	5 Sonnseite2 Nullfläche HDSON2	6 Schattseite HDSCH
Fläche [ha]	4,2	6,3	16,3	13,2	7,2	5,4
Höhe [m ü.NN]	1030-1210	1060-1220	1110-1320	870-1240	820-1250	860-1180
Mittl. Neigung [°]	21	19	21	27	31	23
Geologie	fs, fp	fs, fp	fg, Schutt	Hd	Hd	Hd

Reiselsberger Sandstein (fs); Piesenkopf-Schichten (fp); Flysch-Gault (fg); Hauptdolomit (Hd)

2 Untersuchungsgebiete

2.1 Geologie

Die Bayerischen Alpen im Landkreis Miesbach gliedern sich nach LAATSCH und GROTTENTHALER (1973) von Norden nach Süden in fünf Gesteinszonen:

- | | |
|----------------------|---------------------|
| Flysch | mittelgebirgsartige |
| Helvetikum | nördliche Vorberge |
| kalkalpine Randzone | |
| Muldenzone | nördliche Kalkalpen |
| Karbonatgesteinszone | |

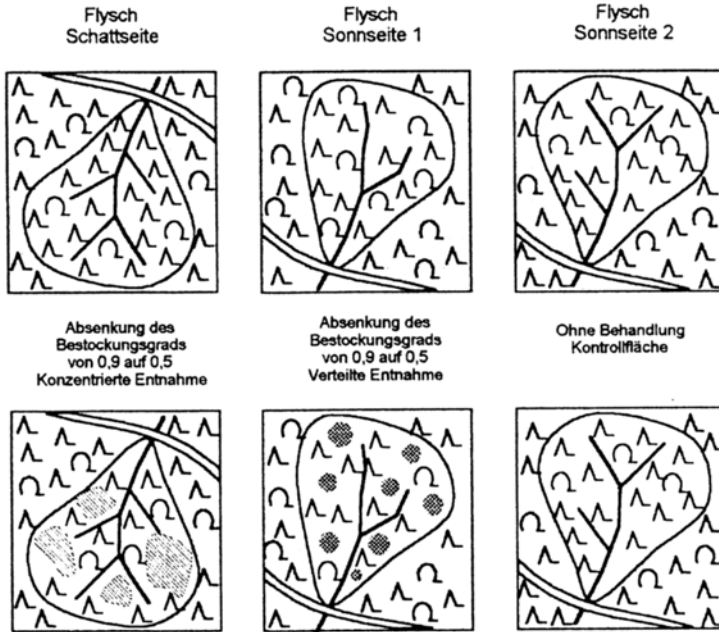


Abb. 2 Forstlicher Eingriff in den Flysch-Gebieten (schematisiert)

Fig. 2. Forest cut in the Flysch zone test sites (schematic)

Die drei Kleineinzugsgebiete im Weißachtal liegen im Bereich der Karbonatgesteinszone, die aus Plattenkalk und Hauptdolomit aufgebaut ist. Der dem Hauptdolomit auflagernde Plattenkalk ist der wichtigste Gipfelbildner des Gebietes. Weit brüchiger als der Plattenkalk verhält sich der in den Untersuchungsgebieten anstehende Hauptdolomit. Er baut schroffe Felswände auf und zerfällt sehr leicht in polygonale Bruchstücke, aus denen mächtige Schutthalden hervorgehen, die bei starkem Wasserabfluß der Tiefenerosion ausgesetzt sind. Die Hänge sind überwiegend steil, im allgemeinen aber stabil.

Ganz anders ist die Situation in den drei Kleineinzugsgebieten in der Flyschzone. Die Flyschserie der Alpen wurde zwischen Oberkreide und Alttertiär abgelagert. STEPHAN und HESSE (1966) bezeichnen das Gebiet zwischen Tegernsee und Isar als „Lenggries – Wiesseer Flysch“. Die Breite dieser Zone geben sie mit ca. 5 km an. Am Aufbau der Flyschserie sind kalkige, sandige, mergelige und tonige Gesteine beteiligt, die meist zyklisch abgelagert wurden. Die Sedimentgesteine sind in der Regel wenig verfestigt, verwittern tiefgründig und neigen in ihren Verwitterungsdecken zu Rutschungen (Flysch – fließen). Die sandig ausgeprägten Schichten sind teilweise relativ durchlässig, wohingegen die tonigen Lagen als Wasserstauer wirken.

2.2 Klima

Die Untersuchungsgebiete liegen im nördlichen Staubereich der Alpen. Charakteristisch für das Klima sind hohe Niederschläge und niedrige Jahresmitteltemperaturen. Wie die bisherigen Messungen bestätigen, weisen die Kleineinzugsgebiete aufgrund geringer Entfernung (wenige hundert Meter) und bei vorherrschender Kessellage in etwa dieselben kleinklimatischen Bedingungen auf. Nach WITTMANN (1984) und dem KLIMAAATLAS VON BAYERN (1952) lassen sich die klimatischen Bedingungen wie folgt beschreiben:

Flysch

Jahresdurchschnittstemperatur:	5–7 °C, kühl bis sehr kühl
Niederschlag:	1600–1800 mm (800 mm in der Vegetationszeit), sehr feucht bis extrem feucht
Vegetationszeit:	180–210 Tage
Mittl. Zahl der Tage mit einer Schneedecke (>1cm):	120–150

Hauptdolomit

Jahresdurchschnittstemperatur:	4,5–6,5 °C, kalt bis äußerst kalt
Niederschlag:	1800–2000 mm (>800 mm in der Vegetationszeit), extrem feucht
Vegetationszeit:	180–210 Tage
Mittl. Zahl der Tage mit einer Schneedecke (>1cm):	120–150

2.3 Böden

Als Folge des kühl-feuchten Klimas und des tonreichen Ausgangsgesteins entwickelten sich im Flysch in erster Linie hydromorphe, also von Stau- oder Grundwasser beeinflusste Böden. Dazu zählen vor allem Gleye und Pseudogleye mit ihren Übergangsformen zu trockeneren (Pseudogleye – Braunerde – Übergänge) und feuchteren (Anmoor – Gley) Bodentypen. Diese Böden haben zu etwa 85% Anteil an den drei Testflächen. Die restlichen 15% sind Braunerden, Podsole und Braunerde – Posol – Übergänge. Besonders Hänge aus leicht verlässendem, schluffig-tonigem Material sind durch Rutschungen gefährdet.

Die kalkalpinen Untersuchungsgebiete sind gekennzeichnet durch sehr flach- bis mittelgründige Böden aus Residuallehm der Hauptdolomitverwitterung. Am weitesten verbreitet sind Rendzinen und Übergänge zu Braunerden. Besonders die flachgründigen Humuskarbonatböden sind bei Hangneigungen über 30° durch Lawinen- und Gleitschneescurf gefährdet. Aufgrund der mit dem Bodenverlust verbundenen Abnahme der Wasserspeicherung sind vor allem nachteilige wasserwirtschaftliche Folgen zu erwarten.

2.4 Waldvegetation

Aufgrund der Höhenlage der Untersuchungsgebiete ist als potentielle natürliche Waldgesellschaft submontaner bis hochmontaner Bergmischwald, teilweise bereits subalpiner Fichtenwald zu erwarten. Die tatsächliche Baumartenzusammensetzung ist Tabelle 2 zu entnehmen.

Danach herrschen im Flysch Bergmischwälder mit über 70% Fichte, 15% Tanne und 10% Buche vor. Ganz ähnlich ist die Baumartenzusammensetzung im Hauptdolomit Schattseite. Dagegen ist auf den sonnseitigen Versuchsfächen im Hauptdolomit der Fichten- und Tannenanteil wesentlich niedriger, während der Buchenanteil zunimmt.

Bezüglich der Grundflächenhaltungen unterscheiden sich die Flyschgebiete deutlich von denen im Hauptdolomit. Die gute Nährstoff- und Wasserversorgung im Flysch führt mit Grundflächen von über 50 m²/ha zu optimalen Bestockungsverhältnissen. Dies schlägt sich natürlich in der Masse des aufstockenden Bestandes nieder. Die Holzmasse der aufstockenden Bestände ist im Flysch etwa doppelt so hoch wie im Hauptdolomit und dies bei annähernd halbem Bestandesalter. Die auf wesentlich ärmeren Böden stockenden Bestände im Hauptdolomit sind insbesondere auf den Sonnseiten stark aufgelichtet und vergrast. Verjüngungsansätze sind, soweit vorhanden, oft stark verbissen.

Wie die Waldinventur ausweist, sind die Bestände in den Kleineinzugsgebieten innerhalb der beiden geologischen Haupteinheiten sehr gut vergleichbar. Im Flysch ist die Übereinstimmung der forstlichen Parameter für biologische Kollektive ganz außergewöhnlich gut.

Tabelle 2. Ergebnisse der Forstinventur

Table 2. Forest inventory results

Baumarten- anteil (% G)	Flysch			Hauptdolomit		
	FLSON1	FLSON2	FLSCH	HDSON1	HDSON2	HDSCH
Fichte	75	71	72	55	59	72
Tanne	15	14	16	7	0	21
Buche	10	14	11	21	36	5
sLbh*	0	1	1	17	5	2
G* (m ² / ha)	51,0	56,4	53,1	24,6	26,0	35,2
Vorrat (fm / ha)	597	637	536	234	279	324

* G = Grundfläche, sLbh = sonstiges Laubholz

3 Meßmethoden und Instrumentierung

3.1 Niederschlag

3.1.1 Freilandniederschlag

Seit Juni 1989 sind 2 Niederschlagswippen im Flysch und im Hauptdolomit in Betrieb. Sie zeichnen den Niederschlag im Freiland im 6-Minuten-Takt in 2 m Höhe auf. Die Regenwippen werden ergänzt durch acht Totalisatoren (wöchentliche Leerung), die zur Ermittlung des Gebietsniederschlages in verschiedenen Höhenlagen aufgestellt wurden. Zu Beginn des hydrologischen Sommerhalbjahres wurden Ende April 1990 vier weitere Niederschlagswippen im Freiland installiert. Damit sind alle 6 Untersuchungsgebiete im Bereich der Meßwehre mit kontinuierlich registrierenden Niederschlagsmeßgeräten ausgestattet. Aufgrund der Unsicherheiten, die eine Messung mit Datenloggern auch bei sorgfältiger Wartung beinhaltet (Stromausfall, Übertragungsfehler), wurden zur Kontrolle neben den Wippen jeweils zwei Totalisatoren (2 m bzw. 1 m Auffanghöhe) aufgestellt. Weil Stromanschluß fehlt und heizbare Niederschlagsmesser nicht eingesetzt werden können, wird der Freilandniederschlag im Winter mit Schnee-Eimern als Wochensumme erfaßt.

3.1.2 Bestandesniederschlag

Seit Juni 1989 wird im Bereich der Testparzelle Flysch Schattseite der Kronendurchlaß mit 40 HELLMANN-Totalisatoren ermittelt, die nach DVWK-Richtlinien im regelmäßigen Raster aufgestellt sind. Sie werden wöchentlich geleert; soweit möglich werden auch Einzelniederschläge ausgewertet. Die Auswertung der Ergebnisse aus der ersten Meßphase hat ergeben, daß der Kronendurchfall auch bei einer Reduktion auf 20 Totalisatoren hinreichend genau erfaßt werden kann. Deshalb wurde im Mai 1991 unter einem für die Sonnseite typischen Bestand ein zweites Meßfeld mit 20 Totalisatoren eingerichtet.

Die einfache, aber robusteste Methode, den Kronendurchlaß mit Totalisatoren zu messen, hat sich unter Gebirgsverhältnissen, besonders auch zu Zeiten von Früh- und Spätfrösten bzw. Mischniederschlägen aus Schnee und Regen bewährt. Daher wurde ihr der Vorzug vor Rinnenmessungen gegeben, auch wenn damit nicht der Intensitätsverlauf im Bestand erfaßt werden kann.

3.2 Abfluß und Abtrag

Wegen der doch erheblichen Baumaßnahmen, wie sie mit der Anlage von Meßwehren im Gebirge verbunden sind, konnten die Pegelstationen erst zwischen Herbst 1989 und Herbst 1991 fertiggestellt werden und dann in den Routinemeßbetrieb gehen. Die Anlagen wurden als Schwimmerschreibpegel mit 90°-Dreiecksmeßwehr und vorgeschalteten Geschiebeauf-fangbecken errichtet. Die Becken wurden in den Gebieten Flysch Sonnseite 1 und Flysch Schattseite erstmals im Herbst 1990 geleert. Seit Herbst 1991 werden die Becken in allen Gebieten regelmäßig im Frühjahr und Herbst und – soweit nötig – auch ereignisbezogen geleert. Das anfallende Geschiebe wird auf einen LKW geladen und naß in kg-Genauigkeit gewogen. Von dem jeweiligen Geschiebematerial wird eine Teilprobe entnommen, aus der im Labor nach Trocknung und Wassergehaltsbestimmung die Kornverteilung bestimmt wird.

Die Proben weisen gegenüber dem Ausgangsgestein ein deutliches Defizit im Schlamm-kornbereich auf, denn die Schluff- und insbesondere die Tonfraktion setzen sich in den Becken nicht vollständig ab. Gerade bei höheren Abflüssen ist die Turbulenz in den Becken so groß, daß ein erheblicher Teil des Feinmaterials durchtransportiert wird, wodurch ein wesentlicher Anteil des Gebietsaustrages in den Becken nicht erfaßt wird. Dies gilt aufgrund des sehr feinkörnigen Ausgangsmaterials vor allem für die Flysch-Gebiete. Das Meßprogramm wurde daher im Flysch um Schwebstoffmessungen erweitert¹.

Aufgrund der besonderen Bedingungen in den Untersuchungsgebieten mußte für die Schwebstoffmessung ein automatischer Probenehmer entwickelt werden. Bei diesem wird die Probenahme programmgesteuert von der Wasserstandsmessung ausgelöst. Im Unter-schied zu zeitgetakteten Geräten ermöglicht die wasserstandsabhängige Probenahme eine dichte Beprobung genau in den Zeiträumen, in denen die Schwebstoffgehalte am stärksten variieren. Gerade in sehr kleinen Gebieten schwanken sowohl Abfluß als auch Schwebstoff-transport extrem stark. Die Ermittlung der Schwebstofffracht auf der Basis von wenigen Stichproben, eventuell auch nur zufallsabhängig von der Anwesenheit des Sachbearbeiters, würde sehr große Fehlerquellen in sich bergen. Andererseits sind Probenahmen zu Zeiten von Niedrigabflüssen, wie sie zeitgetaktet anfallen, wenig sinnvoll. Zur routinemäßigen Kontrolle der Anlage wird eine Probe pro Tag um 12.00 Uhr unabhängig vom Wasserstand genommen. Die gesamte Anlage zur Schwebstoffprobenahme wird mit Solarenergie ver-sorgt.

Sobald der Wasserstand eine im Steuerprogramm frei wählbare Schwelle überschreitet, wird die Probenahme in wiederum frei wählbaren Intervallen am ansteigenden und abfal-lenden Ast der Abflußkurve ausgelöst. Die beiden Intervalle können unterschiedlich groß sein, z. B. um den Anstieg des Wasserstandes dichter zu beproben. Auf diese Weise können maximal 35 1-Literproben gewonnen werden. Nach der Filtration des Probenwassers und der Wägung der getrockneten Schwebstoffprobe lassen sich bei bekanntem Abfluß die Schwebstofffrachten für definierte Zeiträume als Ereignisfracht, als Tages-, Monats- oder Jahresfrachten berechnen.

Zusätzlich zu den oben beschriebenen Einrichtungen zur Bestimmung der Feststoffaus-träge und aus Gründen der methodischen Vergleichbarkeit mit den anderen Arbeitsgruppen wurden in zwei unterschiedlich exponierten Gebieten im Flysch Testparzellen (ca. 5 m × 40 m) zur Messung von Oberflächenabfluß und flächenhaftem Bodenabtrag eingerichtet. Flächenhafter Bodenabtrag kann außerdem durch 6 Sedimentfallen (4 im Flysch, 2 im Hauptdolomit) bestimmt werden. Dabei wird über Filter nur das abgetragene Bodenmate-rial zurückgehalten, d. h. es erfolgt keine Bestimmung des Oberflächenabflusses.

¹ Einzelheiten der Methode sind bei BREITSAMETER 1995 beschrieben.

3.3 Vermessungsarbeiten

Schon während der Flächenauswahl nach Kartenunterlagen aus der Forstbetriebskarte 1:10.000 und der Höhenflurkarte 1:5.000 und den ersten Erkundungsgängen wurde deutlich, daß zwischen Gelände und Kartenbild z. T. größere maßstabsabhängige Abweichungen auftreten, was die Übertragbarkeit von Ergebnissen und damit die Dokumentation für langfristige Untersuchungen erheblich einschränkt. Mit der grundsätzlichen Entscheidung, alle Kleinzugsgebiete geodätisch aufzunehmen und ein Gitternetz von vermarkten und koordinierten Festpunkten abzustecken (vgl. Abb. 3), wurde deshalb die Voraussetzung für eine sichere lagemäßige Zuordnung aller erhobenen Merkmale geschaffen. Dies geschieht durch Anbindung an das Landeskoordinatennetz nach GAUSS-KRUGER. Damit ist auch für künftige Erhebungen oder für Wiederholungsaufnahmen die eindeutige lagemäßige Zuordnung sichergestellt.

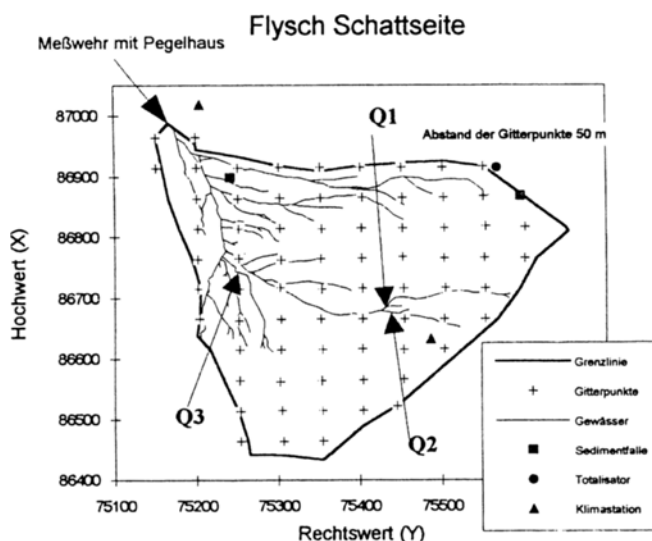


Abb. 3. Lageskizze Flysch Schattseite; nicht maßstäbig (Q1–Q3 vgl. Kap. 4.5)

Fig. 3. Scheme of the Flysch Schattseite test site (unscaled)

3.4 Infiltrationsmessungen

Die Infiltrationsmessungen wurden mit einem einfachen Röhreninfiltrometer durchgeführt. Das Infiltrometer besteht aus einem dünnwandigen Stahlrohr, das um ein Meßteil aus Acrylglasrohr mit Schwimmer und Ableseskala ergänzt wird. Die Infiltrationsrate wurde im Flysch in den Tiefenstufen 0–15 cm und 15–30 cm bestimmt; im Hauptdolomit konnte bei geringer Bodenmächtigkeit nur die Tiefenstufe 0–15 cm beprobt werden.

Nach dem Auffüllen des Rohres bis zur Nullmarke wurde die Höhe der Wassersäule im Rohr in konstanten Zeitabschnitten über einen Zeitraum von ca. 30 Minuten abgelesen und daraus die Absenkrate bestimmt. Bei starker Durchlässigkeit mußte das Rohr mehrmals wiederaufgefüllt werden. In der Regel stellte sich schon nach 10–15minütiger Versuchsdauer eine weitgehende Wassersättigung des Bodens und damit eine gleichbleibende Absenkrate ein. Dieser konstante Endwert der Infiltration wird als Meßergebnis angesehen. In Anlehnung an BORK und ROHDENBURG (1984) wurde die Absickerung des Wassers gemäß dem Gesetz von DARCY in Infiltrationsraten umgerechnet.

3.5 Einstech-Tensiometer

Um die Ausgangsfeuchte der Bodendecke als Steuerglied auf Oberflächenabfluß und Bodenabtrag zu erfassen, wurden im Flysch im Bereich der Testparzellen (Sonnseite 2, Schattseite) je 4 Tensiometermeßplätze eingerichtet. Wegen der geringmächtigen Bodendecke können ähnliche Meßeinrichtungen im Hauptdolomit nicht installiert werden. Je Testparzelle wurden 70 Einstech-Tensiometer in den Tiefenstufen 20, 30, 50, 90 cm installiert. Die Saugspannungen werden wöchentlich mit einem Einstechmanometer abgelesen.

4 Ergebnisse vor der Hiebsmaßnahme

4.1 Infiltrationsmessungen

4.1.1 Infiltrabilität im Flysch

Abbildung 4 zeigt die Ergebnisse der Infiltrationsmessungen in den Flysch-Gebieten. Sie lassen zusammenfassend folgende Schlußfolgerungen zu:

Die Wasseraufnahmefähigkeit an der Bodenoberfläche ist den Infiltrationsklassen (vgl. KOHNKE 1968) „mittel bis hoch“ zuzuordnen. Mit Ausnahme von Schneeschmelze in Verbindung mit Regen oder extremen Starkregeneignissen sind Oberflächenabfluß und damit flächenhafter Bodenabtrag auf Hängen unter 25° Neigung von der Wasseraufnahmekapazität her nicht zu erwarten. Dies gilt umso mehr, als unter den jetzigen Bestockungsverhältnissen mit einem geschlossenen Bergmischwald ein beträchtlicher Teil des Niederschlags durch Kronen- und Streuinterzeption zurückgehalten wird und damit hydrologisch nicht wirksam wird.

In 15–20 cm Bodentiefe zeigen fast alle Standorte einen sprunghaften Rückgang der Infiltrationsrate im Vergleich zur Tiefenstufe 0–15 cm. Die weit verbreiteten Pseudogleye und ihre Übergangstypen zu Braunerden bilden einen mehr oder weniger ausgeprägt wasserstauenden Horizont. Damit ist das Rückhaltevermögen dieser Böden auf das Porenvolumen des Oberbodens begrenzt, und zumindest in Teilen der Gebiete sind die Voraussetzungen für Zwischenabfluß (oberflächennaher Abfluß) gegeben.

4.1.2 Infiltrabilität im Hauptdolomit

Flachgründigkeit und hoher Steingehalt der Böden erlaubten Versuche zur Bestimmung der Infiltrationskapazität nur an der Bodenoberfläche. An jedem Standort wurden 20 Einzelmessungen durchgeführt. Die Wasseraufnahmefähigkeit an fünf Standorten der Sonnseite 1 liegt im Bereich der Infiltrationsklassen „mittel bis hoch“. Die Spannweite der Werte von

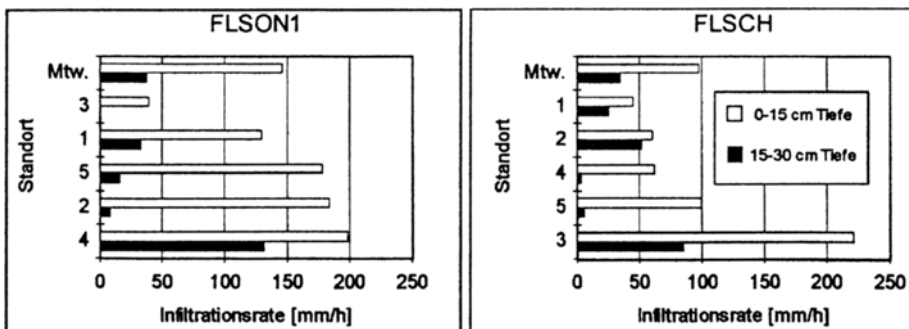


Abb. 4. Infiltrationskapazität in den Flysch-Gebieten

Fig. 4. Infiltration capacity of the Flysch test sites

etwa 25–160 mm/h weist auf die Variabilität und Inhomogenität der Böden im Gebirge hin. Die niedrigsten Infiltrationskapazitäten wurden im Bereich von stark vergrasten, verlichteten Beständen auf geringmächtigen (ca. 15 cm) Rendzinen gemessen. Bei fortgeschrittener Bodenentwicklung mit Übergangstypen zu Braunerden ist die Durchlässigkeit im allgemeinen höher. Ebenso wie auf Flysch ist auch auf Hauptdolomit das schattseitige Gebiet mit einer überwiegend mittleren Durchlässigkeit weniger wasseraufnahmebereit.

4.2 Niederschlag

Tabelle 3 zeigt eine Übersicht über die halbjahresweise zusammengefaßten Ergebnisse der Niederschlagsmessung.

Tabelle 3. Ergebnisse der Niederschlagsmessung

Table 3. Rainfall statistics of test sites

		FLSON1		FLSON2			FLSCH		
Hydrol. Jahr Beginn 01 11.		FNS [mm]	FNS [mm]	BNS [mm]	INT [%]	FNS [mm]	BNS [mm]	INT [%]	
1990	6-11					1219,3	907,2	25,6	
1991	So	1038,3	1066,8	855,8	19,8	1158,9	912,5	21,3	
1992	Wi	853,2	840,4	672,0	20,0	924,6	722,9	21,8	
	So	713,4	739,7	552,9	25,3	783,1	579,9	25,9	
Interzeptionsverlust					21,4			22,7	
		Hieb		Nullfläche			Hieb		
1993	Wi	858,0	879,2	652,3	25,8	984,0	852,6	13,4	
	So	1400,8	1417,7	1170,3	17,4	1531,9	1383,9	9,7	
1994	Wi	799,8	821,2	584,1	28,9	964,2	765,8	20,6	
	So	868,6	882,0	640,1	27,4	941,3	808,1	14,1	
Interzeptionsverlust					23,8			13,8	

FNS = Freilandniederschlag; BNS = Bestandesniederschlag, nur auf FLSON2 und FLSCH gemessen; INT = Interzeptionsverlust

Sowohl die Freilandniederschläge als auch die Bestandesniederschläge stimmen bei den Flächen im Flysch sehr weitgehend überein. Damit sind Abfluß- und Abtragsereignisse gut untereinander vergleichbar. Während die sonnseitigen Standorte praktisch identische Freilandniederschläge verzeichnen, erhält die Schattseite aufgrund der größeren Höhenlage und der Lage am Talschluß in Nordwest-Exposition ca. 10% mehr Niederschlag. Der Interzeptionsverlust ist bei Vollbestockung mit ca. 20–25% auf beiden Testparzellen im hydrologischen Sommer- und Winterhalbjahr praktisch gleich hoch. Die Waldbestände wirken sich also nahezu identisch auf den Niederschlagsverlust aus. Die geringen Unterschiede im Interzeptionsverlust zwischen Sommer und Winter erklären sich aus dem hohen Nadelholzanteil. Nach dem forstlichen Eingriff auf der schattseitigen Testparzelle mit einer Entnahme von weit über 50% des Holzvorrates geht der Interzeptionsverlust im Vergleich zur unveränderten Sonnseite 2 auf nahezu die Hälfte zurück. Dies gilt sowohl für den ausgesprochen nassen Sommer 1993 als auch für das trockene Sommerhalbjahr 1994.

Neben den Bestandeseigenschaften schlägt sich der Einfluß der meteorologischen Verhältnisse in der Höhe der Interzeptionsverluste nieder. Vor allem Unterschiede in der

Niederschlagsmenge und -häufigkeit können die Interzeptionsverluste stark beeinflussen. In den sehr unterschiedlichen Sommern 1993 und 1994 schwankten sie daher auf der vollbestockten Testparzelle Sonnseite 2 zwischen 17 und 27%. In der Summe aller Messungen betrug der Interzeptionsverlust auf der schattseitigen Testparzelle vor dem Hieb 22,7 und nachher 13,8%. Die Werte der unveränderten Kontrollfläche Sonnseite 2 für die entsprechenden Zeiträume lauten 21,4% bzw. 23,8%.

Interessant sind die Interzeptionsverluste im Vergleich mit Angaben aus der Literatur. So ermittelte GRUNOW (1965) für Fichtenbestände am Hohenpeißenberg der Jahre 1961 bis 1964 einen Niederschlagsrückhalt von im Durchschnitt 39% des Freilandniederschlags. BENECKE (1984) gibt eine Literaturübersicht, wonach der Interzeptionsverlust im Sommerhalbjahr bei Fichtenbeständen zwischen 32% und 39% liegt. BAUMGARTNER et al. (1990) geben einen Wert von 30–40% für immergrüne Baumarten an, der bei Schneeinterzeption 30–50% betragen kann. Damit liegen die hier ermittelten Interzeptionsverluste deutlich unter den in der Literatur genannten Werten.

Die Ursachen für diese geringeren Verluste werden einerseits im fehlenden Unterstand, also im Bestandaufbau gesehen, andererseits auf die Niederschlagsstruktur im Gebirge zurückgeführt. Hier ist der Anteil ergiebiger Regen an der Niederschlagssumme relativ hoch, was zu geringeren prozentualen Interzeptionsverlusten führt.

4.3 Saugspannung

In Abbildung 4 ist der Saugspannungsverlauf 1991 und 1993 der sonnseitigen Testparzelle dargestellt. 1991 zeigt sich der typische Verlauf eines pseudovergleyten Bodens, mit dem Wechsel zwischen Austrocknungsphasen und Phasen voller Wassersättigung, vorwiegend außerhalb der Vegetationszeit. Dieser Verlauf kann nach den 5-jährigen Messungen, mit zeitlichen Verschiebungen, als „Normalfall“ bezeichnet werden. Meist liegt in den niederschlagsreichen Sommermonaten Mai bis Juli noch weitgehende Wassersättigung vor. Erst danach führt der Wasserverbrauch des Bestandes zu einer deutlichen Abnahme der Bodenfeuchte. In allen Jahren herrschte ab November praktisch wieder Wassersättigung. Ab einer Saugspannung von ca. 300 cm Wassersäule hält der Boden das Wasser gegen die Schwerkraft fest, d. h. es findet keine Versickerung mehr statt. Dieser Zustand herrscht nur kurze Zeit des Jahres, meist befindet sich der Wassergehalt im Bereich der Feldkapazität oder sogar darüber. Diese Verhältnisse sind auf den beiden Testparzellen in allen Jahren sehr ähnlich, wobei die Schattseite geringfügig feuchter ist.

Die weit überdurchschnittlich hohen Sommerniederschläge 1993 gerade in der Hauptvegetationszeit Juni bis August führten dazu, daß sich keine Austrocknungsphase einstellen konnte. Nahezu den ganzen Sommer blieben die Saugspannungswerte nahe der Nulllinie. Der sonnseitige Standort zeigt im Frühjahr und im Herbst zwei leichte Austrocknungsphasen, die sich stärker ausprägten als auf der Schattseite. Die Schattseite deutet damit bereits den Einfluß der durch die Hiebsmaßnahmen vom Herbst 1992 veränderten Bestockungsverhältnisse an. Hier führt der lichtere Waldbestand wegen geringerer Interzeptionsverluste und niedrigerer Transpiration zu höherer Bodenfeuchte. Wegen der ganzjährig sehr feuchten Verhältnisse als Folge überdurchschnittlicher Niederschläge ist der Unterschied im Jahr 1993 nicht sehr ausgeprägt. Dagegen belegen die Messungen im relativ trockenen Sommer 1994 eine deutliche Erhöhung der Bodenfeuchte nach der Auflichtung des Waldbestandes gegenüber der Kontrollfläche.

4.4 Abfluß- und Schwebstoffkonzentration

In Abbildung 6 ist ein Niederschlagsereignis aufgelöst im 6-Minuten-Takt dargestellt. In Verbindung mit dem Abfluß und den gemessenen Schwebstoffkonzentrationen läßt dies

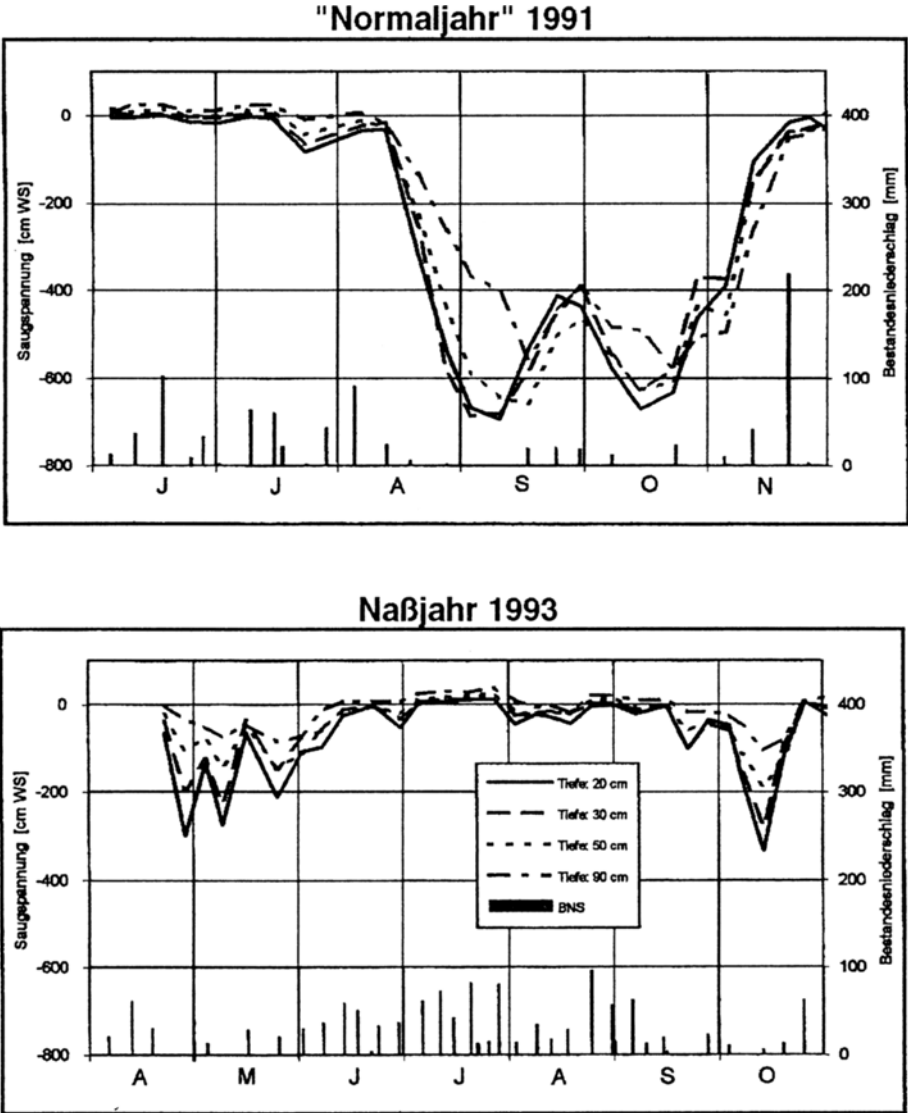


Abb. 5. Saugspannungsverlauf 1991 und 1993 auf Flysch Sonnseite 2
 Fig. 5. Tension variations of the Flysch Sonnseite 2 test site during 1991 and 1993

erkennen, wie sensibel das System auf Regen reagiert. Selbst kleine Niederschlagspausen oder Niederschlagsverstärkungen werden in der Abflußmessung nachgezeichnet; auch die Kurve der Schwebstoffkonzentration folgt dem Abfluß sehr eng. Ganz offensichtlich läßt der Niederschlag den Abfluß nahezu ohne Verzögerung anspringen, und dies trotz des aufstockenden Bestandes. Hier wirkt sich die in Abbildung 4 belegte hohe Ausgangsfeuchte aus.

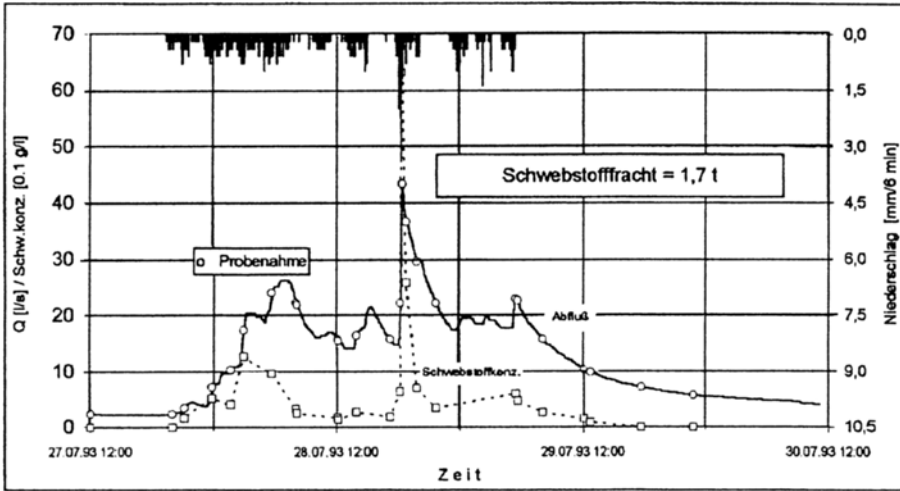


Abb 6 Abfluß und Schwebstoffkonzentration eines Niederschlagsereignisses im Gebiet Flysch Sonnseite 1

Fig 6. Runoff and suspended sediment concentration of one precipitation event of the Flysch Sonnseite 1 test site

5 Forstliche Eingriffe

Die für das Forstwirtschaftsjahr 92/93 vorgesehenen forstlichen Eingriffe zur Simulation waldschadensbedingter Ausfälle sollten – beginnend auf den Flyschflächen Sonnseite 1 und Schattseite – die Bestandesgrundfläche bzw. den Vorrat auf etwa die Hälfte absenken. Dabei war daran gedacht (vgl. Abb. 2), dies auf der Flysch Sonnseite 1 regelmäßig über die ganze Fläche hinweg, auf Flysch Schattseite im Sinne großer Femellöcher eher „geklumpt“ vorzunehmen, um partiell unterschiedliche Formen der Auflockerung der Beschirmung verfolgen zu können. Die forstlichen Hiebsmaßnahmen wurden im Verlauf des Spätsommers 1992 durchgeführt. Die Holzbringung erfolgte möglichst bodenschonend mit mobilen Seilkrananlagen. Bei der Planung des Hiebes wurde davon ausgegangen, daß sich ab einer Reduktion des Bestockungsgrades um ca. 0,3 erste meßbare Einflüsse auf den Abfluß bzw. auf den Abtrag ergeben müßten, und daher die Eingriffstärke darüber liegen müßte.

Dieses Ziel der Bestockungsreduktion ist im Gebiet Flysch Sonnseite 1 mit Entnahme von ca. 39% der aufstockenden Holzmasse erreicht worden. Auf der Schattseite mit 16,3 ha Größe konnte der vorgesehene Eingriff wegen der Nachwirkungen der Sturmkatastrophe von 1990 (Wiebke) auf den Holzabsatz und wegen eines hohen Käferholzaufkommens im Wirtschaftsjahr 92/93 dagegen nicht in gleicher Stärke vorgenommen werden. Mit Entnahme von ca. 29% des Holzvorrates wurde hier in etwa die oben genannte kritische Grenze erreicht. Dies hat – im Nachhinein betrachtet – den Vorzug, abschätzen zu können, ob Abfluß und Abtrag auch schon auf weniger starke Maßnahmen reagieren.

Außerdem wurde das Forschungsvorhaben dahingehend erweitert, daß Flysch Schattseite nunmehr weiter in Kleinstezugsgebiete Q1, Q2, Q3 (MOESCHKE 1994; vgl. Abb. 3) von 0,5–1,5 ha untergliedert werden kann. Damit besteht die Chance, die weitere Holzentnahme so zu gestalten, daß Hiebsflächen mit horst- und kleinbestandsweiser Auflichtung, wie sie beim Waldsterben vorkommen können, nachgestellt werden können.²

² An dieser Stelle danken wir der Bayerischen Staatsforstverwaltung ganz besonders für die versuchsbedingten Opfer in einer Zeit, in der praktisch alle Hiebsmaßnahmen im Staatswald untersagt und zusätzliches Holzaufkommen politisch schwer zu „verkaufen“ war.

Im Zuge der Hiebsmaßnahmen in den Kleineinzugsgebieten wurde außerdem Ende Oktober 1992 die schattseitige Testparzelle stark aufgelichtet. Dabei wurden ca. 58% der Masse des aufstockenden Bestandes entnommen.

6 Ergebnisse nach den Hiebsmaßnahmen

Die nachfolgend beschriebenen Ergebnisse beziehen sich schwerpunktmäßig auf die Kleineinzugsgebiete des Flysch, weil die Hiebsmaßnahmen im Hauptdolomit mit Rücksicht auf die Sturmschäden bzw. das Käferholzaufkommen zurückgestellt werden mußten.

6.1 Oberflächenabfluß und Bodenabtrag auf den Testparzellen

Mit Bodenabtrag ist im Bereich der Testparzellen nur Abtrag in Verbindung mit oberflächlich abfließendem Wasser gemeint. Bodenabtrag in diesem Sinne trat auf der schattseitigen Testparzelle während des gesamten Untersuchungszeitraumes nicht auf. Auf der Sonnseite wurde zweimal Oberflächenabfluß festgestellt, als Anfang Juli 1990 jeweils in einer Nacht 70 bzw. 75 mm Niederschlag auf einen vorgesättigten Boden fielen. Dabei wurden in den Tonnen 290 bzw. 200 Liter Wasser aufgefangen; umgerechnet auf die Fläche der 200 m² großen Testparzelle entspricht dies einer Abflußhöhe von 1,5 bzw. 1 mm. Die aufgefangene Menge Bodenmaterial war mit 8,3 bzw. 4,7 Gramm sehr gering.

Der praktisch fehlende Oberflächenabfluß auf den Testparzellen bei hohen Niederschlägen und wassergesättigtem Boden erscheint zunächst widersprüchlich. Selbst unter Berücksichtigung der Kronen- und Streuinterzeption sollte nach gängiger Vorstellung ein wesentlich höherer Anteil des Niederschlages oberflächlich abfließen. Der Grund für das Ausbleiben eines Oberflächenabflusses liegt wohl in der Struktur bzw. Porenverteilung des Waldbodens. Während nämlich die Feinmatrix des Bodens über die Tensiometer noch Wassersättigung anzeigen kann, können gleichzeitig grobe Poren wie Tier- und Wurzelröhren wasserfrei sein und auftreffende Niederschläge schnell ableiten. Die Ergebnisse weisen also ganz nachdrücklich auf die hohe Schutzfähigkeit eines geschlossenen Waldbestandes gegen Oberflächenabfluß und flächigen Bodenabtrag hin.

Hieran hat auch die Absenkung des Holzvorrats auf der schattseitigen Testparzelle auf weniger als die Hälfte nichts wesentliches geändert. Zwar ist der Interzeptionsverlust auf nahezu die Hälfte zurückgegangen, die Bodenstruktur ist aber offensichtlich wenig verändert. Selbst die überdurchschnittlich hohen Niederschläge des Sommerhalbjahres 1993 von 1400–1500 mm haben keine Oberflächenabflüsse bzw. Bodenabträge auf der geneigten, aber nicht zertalten Fläche der Testparzelle ergeben. Faßt man zusammen, so treten Oberflächenabfluß und flächenhafter Bodenabtrag bei intakten geschlossenen Bergwaldbeständen, wenn überhaupt, lediglich in sehr geringem Maß auf.

6.2 Austrag aus den Flysch-Gebieten

6.2.1 Verhältnis Schwebstoff zu Geschiebe

Bei der Schwebstoffmessung wurde durch ein Sieb der Maschenweite 1 mm im Entnahmeschlauch des Probenehmers sichergestellt, daß nur die Korngrößen unter 1 mm Durchmesser erfaßt werden. Unter der sicherlich realistischen Annahme, daß Material über 1 mm Korndurchmesser vollständig in den Becken zurückgehalten wird, läßt sich der Gesamtfeststoffaustrag exakt bestimmen. Er ergibt sich aus der Addition von Schwebstofffracht und Anteil des Geschiebebeckeninhaltes größer 1 mm. Dieser Anteil ist anhand der Korngrößenverteilung zu bestimmen. In Tabelle 4 sind die Ergebnisse der Meßkampagne von Juni bis Oktober 93 für die 3 Flyscheinzugsgebiete dargestellt.

Tabelle 4. Schwebstoff- und Geschiebeaustrag im Sommer 1993

Table 4. Suspension and bedload output in summer 1993

	Schwebstoff- probenehmer	Geschiebebecken				Gewichtsverhältnis Geschiebe zu Schwebstoff	gesamter Feststoffaustrag [kg/ha]
		Schwebstoff < 1mm [kg/ha]	gesamtes Material [kg/ha]	Material < 1mm [kg/ha]	Geschiebe > 1mm [kg/ha]		
FLSON1	2739	2221	466	1755	79	1 : 1,56	4494
FLSON2	656	928	158	770	83	1 : 0,85	1426
FLSCH	366	277	42	235	85	1 : 1,56	601

Danach liegt das Gewichtsverhältnis von Geschiebe zu Schwebstoff zwischen 1:0,85 und 1:1,56. Dies weist auf die Bedeutung einer getrennten und exakten Erfassung des Schwebstoffs in den Fylsch-Einzugsgebieten hin. Zum Teil fällt mehr als die Hälfte des Gesamtaustrags in dieser Fraktion an und wird im Geschiebebecken nicht erfaßt.

6.2.2 Schwebstoff und Geschiebeaustrag im ersten Jahr nach dem Hieb

Der automatische Probenehmer muß im Winter wegen Frost stillgelegt werden. Für die winterliche Abtragsperiode wurde daher der Schwebstoffanteil anhand der Menge des Beckenmaterials geschätzt unter Annahme des gleichen Gewichtsverhältnisses Geschiebe zu Schwebstoff wie im Sommer 1993. Ebenso mußte für das Hochwasser vom 9. 6. 1993 verfahren werden, da dabei die Probenahmeschläuche im Gerinne weggerissen wurden. Für die sommerliche Abtragsperiode nach der Beckenleerung vom 22./23. 6. 1993 liegen abgesehen von zwei kleineren Ereignissen Ende Juni lückenlose Schwebstoffmessungen vor.

Damit ergibt sich für das erste Jahr nach dem forstlichen Eingriff der in Tabelle 5 zusammengestellte Gesamtfeststoffabtrag. Es zeigen sich eine Reihe sehr interessanter Ergebnisse:

Da ist zunächst die für den bayerischen Alpenraum wichtige und im Prinzip verallgemeinerbare Feststellung, daß die Austräge von Feststoffen durch Wasser ganz überwiegend im Sommerhalbjahr erfolgen. Nur etwa 10% werden im Winter ausgetragen.

Ferner wird deutlich, daß der Gesamtaustrag an Feststoffen aus den Kleineinzugsgebieten im Fylsch sehr unterschiedlich verläuft und nicht monokausal erklärt werden kann. Wenn man Fylsch Sonnseite 2 als Kontrollfläche zum Vergleich heranzieht, hat sich der Feststoffaustrag aus Sonnseite 1 nach Durchführung der Hiebsmaßnahmen nahezu verdoppelt. Der sommerliche Schwebstoffaustrag ist mehr als 4mal so hoch. Dagegen bleiben die Gesamtausträge aus Fylsch Schattseite trotz Hiebsmaßnahme unter den Austrägen aus der Kontrollfläche.

Dieser insgesamt geringere Feststoffaustrag auf der Schattseite wird darauf zurückgeführt, daß das Kleineinzugsgebiet hohe Flächenanteile mit schwach bis mittel geneigten und unzertalten Hangbereichen aufweist, die keinen Abtrag liefern. Als wesentliche Feststoffquelle werden die unmittelbar an die Gerinne angrenzenden sehr steilen Einhänge angesehen. Wie eine geomorphologische Kartierung ergeben hat, ist gerade der Anteil von Flächen mit einer Neigung von mehr als 30° auf der Schattseite nur halb so hoch wie auf der Sonnseite 2.

Der Gesamtaustrag wird ganz wesentlich von wenigen Großereignissen bestimmt. Von den insgesamt ca. 40 Einzelereignissen werden in allen Gebieten über 90% der Gesamtfracht von den 10 größten Ereignissen eingenommen.

Tabelle 5. Schwebstoff- und Geschiebeaustrag im ersten Jahr nach dem Hieb

Table 5. Suspension and bedload output in the first year after forest cutting

	Winter 1992/93		Hochwasser 09.06.93		Sommer 1993		Gesamt
	G (kg/ha)	S * (kg/ha)	G (kg/ha)	S * (kg/ha)	G (kg/ha)	S (kg/ha)	
Sonnseite 1	272	424	1394	2175	1755	2739	8759
Sonnseite 2	134	114	1349	1147	770	656	4170
Schattseite	123	192	589	919	235	366	2424

G: Geschiebe; S: Schwebstoff; *: Schätzwert unter Annahme des Verhältnisses G:S wie im Sommer 1993

Interessant ist auch, daß Einzelereignisse wie das Hochwasser vom 9. 6. 1993, ausgelöst von einem Niederschlag mit ca. 45–50 mm Regen in einer Stunde (nach Angaben des Wetteramtes München liegt die zugehörige Wiederkehrzeit bei 20–50 Jahren), trotz guter bzw. noch ausreichender Bestockung auf Sonnseite 2 und Schattseite erhebliche Materialmengen aus den tiefeingeschnittenen Rinnen liefern können. Für Flysch Schattseite ist dies fast die Größe des summierten Austrages der Jahre 91 und 92. Bei derart extremen Verhältnissen verwischen sich auch die Unterschiede zwischen Sonnseite 1 und Sonnseite 2. Bei diesem Ereignis stand in den Gerinnen viel Sediment zur Verfügung, das im Verlauf der Winterperiode aufbereitet worden war. Unabhängig von den Bewaldungsverhältnissen wird der Gebietsaustrag bei hohen Abflüssen praktisch ausschließlich von der Transportkapazität der Gerinneströmung bestimmt. Steht genügend Material zur Verfügung, ist unter solchen Bedingungen der Einfluß des Waldes auf die Gebietsfracht, nicht auf den Hangabtrag, gering.

Insgesamt sind die Abtragsraten aufgrund des nassen Sommers (Juli/August) und des Hochwassers vom 9. 6. 1993 sehr hoch. Da die Feststoffausträge starken jährlichen Schwankungen unterliegen, ist ein Einzeljahr natürlich nicht repräsentativ. Es zeigt sich jedoch, welche Größenordnung unter ungünstigen Bedingungen erreicht werden kann.

AUERSWALD und SCHMIDT (1986) nennen als tolerierbaren Bodenabtrag von landwirtschaftlichen Nutzflächen auf flachgründigen Böden mit schwer verwitterbarem, kaum durchwurzeltem Untergrund eine Größenordnung von rund 1 t/ha*a. Selbst wenn man das 2- bis 3fache dieses Wertes auch langfristig für schadlos im Sinne einer Beeinträchtigung der Bodenfruchtbarkeit hielte, so liegt der Austrag der Sonnseite 1 im Jahr 1993 noch immer deutlich darüber.

Die vorläufige Auswertung der Schwebstoffausträge des relativ trockenen Sommers 1994 zeigt wesentlich niedrigere Werte. Die sommerliche Schwebstofffracht beträgt in allen Gebieten weniger als ein Fünftel des Wertes von 1993. Dabei ist das Verhältnis der Gebiete untereinander in etwa gleich geblieben mit dem gegenüber der Nullfläche mehr als 3fachen Austrag der Sonnseite 1. Die Schattseite erreicht in etwa die gleiche Größenordnung wie die Kontrollfläche.

6.3 Austrag aus den Hauptdolomit-Gebieten

In den Hauptdolomitflächen setzt sich der Feststoffaustrag nahezu ausschließlich aus der Grobkorn-Fraktion (Sand, Grus, Steine) zusammen. Deshalb wurde hier keine Schwebstoffmessung durchgeführt. Die folgenden Angaben beziehen sich damit ausschließlich auf das Trockengewicht des in den Geschiebebecken zurückgehaltenen sandig-grusig-steinigen Materials.

Im „Normalfall“ beträgt der Gebietsaustrag im Hauptdolomit ca. 0,5–1 t/ha² a, doch wird das Abtragsgeschehen von Einzelereignissen mit extremen Starkniederschlägen als „Auslöser“ dominiert. Dazu zwei Beispiele:

Als kurz vor Weihnachten 1991 ergiebige Regenniederschläge in eine abschmelzende Schneedecke fielen, wurden bei einem einzigen Geschiebestoß bis zu 2 t/ha ausgetragen. Noch extremer wirkte sich ein isoliertes Gewitter am 15. 8. 1993 im Gebiet Sonnseite 2, Grüneck im Hauptdolomit aus. Bei diesem Extremereignis fielen insgesamt 123 mm Niederschlag, davon 99 mm innerhalb von 30 Minuten. Der Deutsche Wetterdienst gibt für die nahegelegene Station Kreuth-Glashütte eine Niederschlagshöhe von 43 mm für einen 30-Minuten-Regen mit einem Wiederkehrintervall von 100 Jahren an. In den beiden anderen Gebieten ca. 3,5–4 km weiter westlich betrug der Niederschlag während des Regens nur ca. 30 mm. In den Flysch-Gebieten fiel praktisch kein Niederschlag.

Die von diesem Extremniederschlag ausgelösten Abflüsse hinterließen im Geschiebebecken eine Materialmenge von über 300 Tonnen. Bezogen auf die Gebietsfläche von 7,2 ha errechnet sich daraus ein theoretischer flächiger Abtrag von weit über 40 t/ha. Tatsächlich handelt es sich nicht um flächenhafte, sondern um lineare und punktuelle Abtragsprozesse. Einer der Hauptlieferanten des Materials ist das Bachbett. Im gesamten Untersuchungsgebiet ist das Lockermaterial, das sich über Jahre oder Jahrzehnte an Hindernissen wie querliegenden Bäumen akkumuliert hat, vollständig aus dem Gewässerlauf abtransportiert worden.

Die zweite Feststoffquelle bei diesem Einzelereignis waren zwei unterschiedlich große Rutschungen. In einem Fall handelt es sich dabei um einen Blattanbruch/Blaike an einem Hang mit intakter Grasnarbe. Wie an den Spuren im Gelände unschwer abzulesen war, war das Material in einem „Paket“ abgerutscht und im Graben vollständig abtransportiert worden. Die zweite, tieferreichende Rutschung löste sich nahe der Obergrenze des Einzugsgebietes im Bereich eines dichten Jungbestandes. Anhand der Vermessung der beiden Rutschflächen ergab sich grob eine Feststoffmenge von ca. 150 t. Verglichen mit dem Trockengewicht des Geschiebebeckenmaterials bedeutet dies, daß etwa die Hälfte der Feststoffe von diesen beiden Anbrüchen zur Verfügung gestellt wurde. Die andere Hälfte stammt aus dem Gerinnebett selbst.

Vor allem am Beispiel dieses isolierten Extremereignisses am Grüneck zeigt sich, daß Gebietsvergleiche auch bei nur wenigen Kilometern Entfernung zwischen den Gebieten schwierig sind. Bei dem gleichen Ereignis wurden in den beiden anderen Flächen nur relativ unbedeutende Materialmengen ausgetragen. Deutlich wird auch, daß die Gebietsfracht bei Einzelereignissen sehr stark von der Bereitstellung des Abtragsmaterials abhängen kann und Abtragsbilanzen nur sehr langfristig erstellt werden können.

7 Schlußfolgerungen

Ohne weiteren Ergebnissen und Auswertungen vorgreifen zu wollen, lassen sich aus den 6-jährigen Messungen im Bergwald des bayerischen Alpenraumes bislang folgende Schlußfolgerungen ziehen:

1. Bei intakter Bestockung (Bestockungsgrad über 0,8/0,9) zeigen selbst mäßig geneigte Hangflächen im Flysch praktisch keinen Oberflächenabfluß bzw. Bodenabtrag. Dies entspricht der bekannten Wirkung des Waldes, die ganz wesentlich mit einer intakten Bodenstruktur (Durchwurzelung, Porenvolumen, Aggregatstabilität) zusammenhängt.
2. Dennoch kommt es auch aus voll bewaldeten Gebieten zu einem meßbaren Austrag, der auf Flysch Schattseite und Flysch Sonnseite 2 in Jahren mit überdurchschnittlich hohen Niederschlägen mehrere Tonnen pro Hektar betragen kann. Dabei konzentriert sich aber das Abtragsgeschehen weitgehend auf Rinnen und Gräben und die unmittelbar angrenzenden Uferabhängänge. Diese Prozesse werden deutlich gefördert durch eine Auflichtung

des aufstockenden Bestandes. Hiebe oder vitalitätsbedingte Verluste, die zu einer Absenkung des Bestockungsgrades auf 0,6 und weniger führen, können nach unseren Untersuchungen das Erosionsrisiko verdoppeln.

3. Forstliche Eingriffe mit Entnahmemengen von 10 bis max. 20% der Masse oder gleichmäßig verteilte schadensbedingte Abgänge dieser Größenordnung lassen in den von uns untersuchten Gebieten noch keine deutliche Steigerung des Abtrages erkennen.

4. Für das forstwirtschaftliche Handeln läßt sich daraus ableiten:

Die Ergebnisse liefern eine wichtige und umfassende Begründung für die laufende Pflege der Schutzwälder oder deren Sanierung und rechtfertigen die damit verbundenen Kosten. Im Sinne der Risikominderung ist die Wiederbestockung von Bergwaldbeständen im Alpenraum, die durch Waldschäden oder andere Ereignisse aufgelichtet wurden, eine Aufgabe höchster Priorität. Dies gilt vor allem für labile geologische Einheiten.

Die erhaltenen Befunde begründen bei forstlichen Maßnahmen nachdrücklich den Verzicht auf Kahlflächen aller Art im Gebirge und liefern damit eine Bestätigung für alle differenzierten waldbaulichen Methoden, die sich an der Kleinfläche orientieren (z. B. femelartig). Dabei ist bei Eingriffen im Bereich von Rinnen, Gräben und Runsen und bei Vernässungen bzw. Quellhorizonten besondere Vorsicht geboten.

Die Versuche haben auch ergeben, daß besonders pflegliche Bringungsmethoden (Seilkran- bzw. Hubschrauberbringung) das Restrisiko bei Nutzungen im Bereich labiler Standorte weiter mindern können.

Literatur

- AUERSWALD, K.; SCHMIDT, F., 1986: Atlas der Erosionsgefährdung in Bayern. Karten zum flächenhaften Abtrag durch Regen. Bayer. Geologisches Landesamt Fachberichte 1, München.
- BAUMGARTNER, A.; LIEBSCHER, H.-J., 1990: Allgemeine Hydrologie. Quantitative Hydrologie. Berlin, Stuttgart.
- BENECKE, P. (1984): Der Wasserumsatz eines Buchen- und eines Fichtenwaldökosystems im Hochsolling. Schriften aus der Forstl. Fakultät der Univ. Göttingen und der Niedersächsischen Forstl. Versuchsanstalt Bd. 77, Frankfurt a. M.
- BORK, H.-R.; ROHDENBURG, H., 1984: Eine Methode zur Messung der Infiltrationskapazität im Feld an extrem stark bis nicht geeigneten Standorten mit einem Doppelring-Infiltrometer. Landschaftsökologisches Messen und Auswerten 1.1., Braunschweig.
- BREITSAMETER, J., 1995: Untersuchungen zum Schwebstoff- und Geschiebeaustrag aus bewaldeten Kleinzugsgebieten im Flysch und in den Kalkalpen (in Vorbereitung).
- GRUNOW, J., 1965: Die Niederschlagszurückhaltung in einem Fichtenbestand am Hohen Peißenberg und ihre meßtechnische Erfassung. Forstw. Cbl. 84, 212–229.
- KOHNKE, H., 1968: Soil physics. New York.
- LAATSCH, W.; GROTTENTHALER, W., 1973: Labilität und Sanierung der Hänge in der Alpenregion des Landkreises Miesbach. Bayer. Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, München.
- MOESCHKE, H., 1994: Abflußmessungen in Kleinzugsgebieten. Unveröffentlichter Bericht am Lehrstuhl für Landnutzungsplanung und Naturschutz, Freising
- STEPHAN, W.; HESSE, R., 1966: Erläuterungen zur geologischen Karte von Bayern 1:25000. Blatt Nr. 8236 Tegernsee, München.
- WITTMANN, O., 1984: Standortskundliche Landschaftsgliederung von Bayern, Übersichtskarte 1:1.000.000, Bayer. Geolog. Landesamt, München.

Anschrift der Verfasser: Prof. Dr. ULRICH AMMER, Dipl.-Geogr. JOSEF BREITSAMETER, Dr. JÜRGEN ZANDER, alle Lehrstuhl für Landnutzungsplanung und Naturschutz, Forstwissenschaftliche Fakultät der Universität München, Hohenbachernstraße 22, D-85354 Freising