

Bewirtschaftungsbedingte Veränderungen im Gebietswasserhaushalt alpiner Ökosysteme

Ch. NEWESELY, M. MADER-OBERHAMMER, G. RAFFEINER, M. PORZELT und A. CERNUSCA

Abstract

Ziel der im Rahmen des EU INTERREG II - Programms durchgeführten Untersuchungen war es, die Auswirkungen der Bewirtschaftungsänderung von Almflächen auf den Wasserhaushalt zu untersuchen. Dafür wurden auf je einer Mähwiese, einer Weide sowie im brachgefallenen Gelände Messplots eingerichtet, auf denen die Evapotranspiration mittels wiegender Lysimeter gemessen wurde. Der Oberflächenabfluss wurde mittels Beregnungsexperiment auf 12 repräsentativen Stellen im gesamten Almgelände ermittelt. Die Untersuchungen haben gezeigt, daß die Evapotranspiration auf Weideflächen deutlich niedriger ist als auf Mähwiesen bzw. auf krautreichen Brachflächen. Das bedeutet eine Erhöhung der Wasserabgabe in das Gebiet entwässernden Bachlauf. Der Oberflächenabfluss war nur auf Weideflächen die erst seit wenigen Jahren durch die Umwandlung von Mähwiesen gewonnen wurden deutlich messbar. Auf diesen "jungen Weiden" lag der Abfluss aber bei über 18% der Beregnungsintensität. Das großflächige Umwandeln von Mähwiesen in Weiden kann bei Starkregenereignissen zu einer deutlichen Erhöhung des oberflächlich abfließenden Wassers führen.

The aim of the studies carried out within the framework of the EU INTERREG II programme was to analyse the impact of management changes in alpine grassland areas on the water regime. Therefore measuring plots were installed on a hay meadow, on a pasture and in an abandoned area in order to measure evapotranspiration with weighing lysimeters. Surface runoff was collected at 12 representative sample spots throughout the alpine grassland area via an irrigation experiment. The analyses show that evapotranspiration on pasture areas

is considerably lower than on hay meadows or herb-rich abandoned areas. This means an increase of the amount of water supplied to the brook that drains the area. Significant surface runoff could only be measured on pasture areas that had been converted from hay meadows during the last few years. However, on these "young pastures" the runoff amounted to more than 18% of irrigation intensity. A large-scale conversion of hay meadows into pastures may lead to a considerable increase of the amount of water eliminated as surface runoff in case of heavy rain events.

Keywords: Lysimeter, simulation of heavy rain, surface runoff, evapotranspiration

1. Allgemeines

Im Rahmen des EU INTEGRALP Projektes INTERREG II wurden die Auswirkungen der Veränderung der Bewirtschaftung von Almökosystemen genau untersucht. Ein Teil der Untersuchungen

sollte zeigen, wie sich dieser Wandel in der alpinen Landwirtschaft auf den Wasserhaushalt auswirkt.

2. Projektgebiet

Für die Untersuchung der Veränderung des Wasserhaushaltes im Zusammenhang mit der Bewirtschaftungsänderung wurde ein Versuchsgebiet im Stubaital, südlich von Innsbruck ausgewählt. Das Untersuchungsgebiet Kaserstättalm befindet sich im Gemeindegebiet von Neustift im Stubaital (*Abbildung 1*). Für die Untersuchungen wurde ein nach Süden bis Osten exponierter Hang ausgewählt.

Die detaillierten Untersuchungen wurden oberhalb des Ortes im Bereich des so genannten Madebergs auf der zumeist stark geneigten Talflanke durchgeführt. Das gesamte Untersuchungsgebiet erstreckt sich von den auf etwa 1000 m NN liegenden Talwiesen bis zum Gipfel des Hohen Burgstall auf 2611 m. Die Hauptuntersuchungsflächen im Almgelände liegen auf ca. 1900 m NN. Für die



Abbildung 1: Blick von Osten auf das INTERREG II - Untersuchungsgebiet im Stubaital

Autoren: Mag. Dr. Christian NEWESELY, Mag. Mirjam MADER-OBERHAMMER, Mag. Georg RAFFEINER, Univ.-Prof. Dr. Alexander CERNUSCA, Universität Innsbruck, Institut für Botanik, Sternwartestraße 15, A-6020 INNSBRUCK und DI (FH) Michael PORZELT, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Abteilung Gewässerentwicklung, Wasserbau, Lazarettstraße 67, D-80636 MÜNCHEN

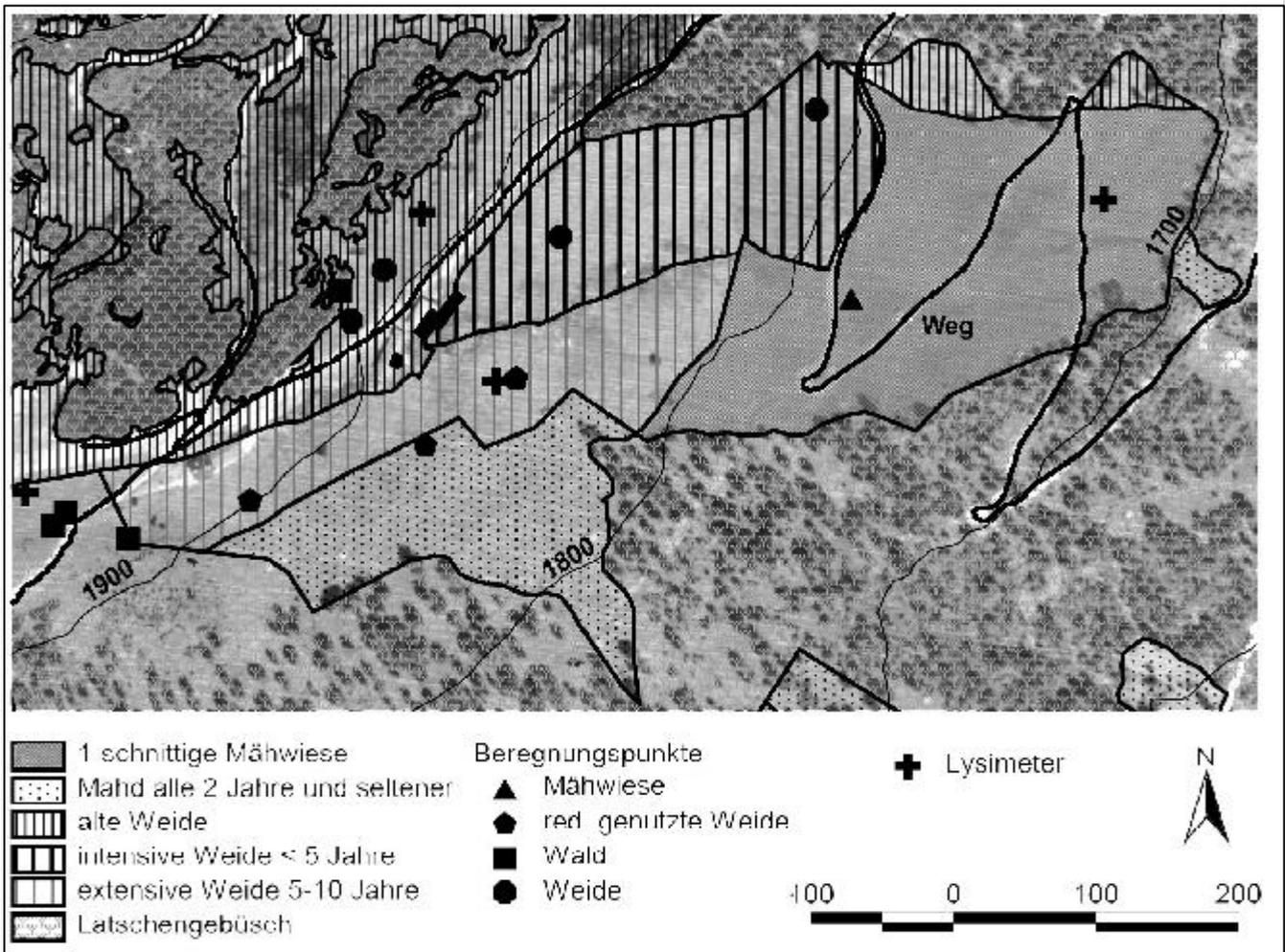


Abbildung 2: Karte des Untersuchungsgebietes mit eingezeichneten Bewirtschaftungsformen. Die Standorte der Lysimeter und der Punkte an denen Beregnungsexperimente durchgeführt wurden sind mit entsprechenden Symbolen gekennzeichnet. Methodik

Auswahl dieses Untersuchungsgebietes war ausschlaggebend, daß die Nutzungsgeschichte der vergangenen Jahrzehnte sehr gut dokumentiert ist und daher die Entwicklungsgeschichte der einzelnen Untersuchungsflächen sehr genau bekannt ist.

2.1 Untersuchungsflächen

Bei der Auswahl der Messflächen für punktuelle Messungen wurde darauf geachtet, alle vorkommenden Nutzungsformen zu erfassen (Mähwiesen, Weiden, Brachflächen). Besonders berücksichtigt wurde dabei auch die Möglichkeit des unmittelbaren Vergleichs der Flächen untereinander. Daher wurde auch auf die Exposition und Meereshöhe der einzelnen Flächen geachtet, damit Vergleiche zwischen den einzelnen Nutzungsformen nicht durch unterschiedliche Standortparameter verfälscht werden. Außerdem sollten die Flächen von den vorhan-

denen Wegen aus leicht erreichbar sein, damit auch schwere Messgeräte eingesetzt werden konnten. Alle Versuchsflächen liegen in unmittelbarer Nähe der Alm bzw. des Weges. Eine Karte des Untersuchungsgebietes mit den eingezeichneten Messpunkten zeigt *Abbildung 2*. Wie deutlich zu erkennen ist, werden die Flächen speziell im unteren Bereich des Zufahrtswegs als Mähwiesen genutzt. Nur im Spätherbst werden diese Flächen auch von Rindern und anschließend auch mit Schafen beweidet. Vormals als Mähwiesen genutzte Bereiche im steileren Gelände wurden seit 1997 in Weiden umgewandelt. Dafür wurde die Nutzung von Weideflächen mit geringer Ertragsqualität stark reduziert, so dass diese nur noch bei erhöhtem Futterbedarf (schlechte Witterungsverhältnisse) als Zusatzweiden genutzt werden. Dasselbe gilt auch für Mähwiesen, die nur alle zwei oder mehr Jahre gemäht werden.

Der westliche Teil des ehemaligen Almgeländes wurde im Zuge eines Schutzwaldprogramms teilweise aufgeforstet und durch einen Zaun vor Beweidung geschützt. In diesem Gebiet ist eine Untersuchungsfläche ausgewiesen, auf der die Bedingungen nach der Brachlegung untersucht werden können. Somit ergibt sich die Möglichkeit des direkten Vergleichs aller vorkommenden Nutzungsformen.

3. Methodik

Die Erfassung der einzelnen Wasserhaushaltsgrößen erfolgte einerseits durch punktuelle aber kontinuierliche Messungen, andererseits episodisch über das gesamte Gebiet verteilt. Kontinuierlich wurde die Bestandesverdunstung mittels Lysimeter erfasst. Die Mikroklimatischen Bedingungen auf den einzelnen Untersuchungsflächen erfolgte mit der Bowen-Ration Methode. Mittels Beregn-

nungsexperimenten wurde der bei Starkregenereignissen zu erwartende Oberflächenabfluss episodisch ermittelt.

3.1 Messung der Bestandesverdunstung mittels wiegender Lysimeter

Um die Bestandesverdunstung der unterschiedlich bewirtschafteten landwirtschaftlich genutzten Flächen erfassen zu können, wurde die Lysimetermethode angewandt. Dafür wurden innerhalb der jeweiligen Bewirtschaftungstypen repräsentative Flächen ausgewählt, auf denen jeweils ein wiegendes Lysimeter sowie weitere Messsensoren (Temperatur, Strahlung, Luftfeuchtigkeit) installiert wurden. Die hier eingesetzten Lysimeter (*Abbildung 3*) stellen eine Eigenentwicklung am Institut für Botanik der Universität Innsbruck dar (NEWESELY et al., 2001). Die Messwerte wurden über einen Datalogger in 15 min Intervall abgespeichert. Für die Auswertung wurden zuerst Stundensummen gebildet und nach einer Plausibilitätsprüfung zu Tagessummen zusammengefasst. Für den Vergleich der Unterschiede zwischen den

Bewirtschaftungstypen wurden hier nur die Schönwettertage herangezogen, da sich die Unterschiede zwischen den einzelnen Bewirtschaftungstypen so am deutlichsten darstellen lassen.

3.2 Beregnungsexperimente im Gebiet der Kaserstattalm

Im Oktober 2001 wurden Beregnungsexperimente in Zusammenarbeit mit dem Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft durchgeführt. Diese Messungen fanden im Rahmen des EU INTERREG II Programms im Projekt INTEGRALP statt. Um den Einfluss der Bewirtschaftung auf das Abflussverhalten möglichst gut abschätzen zu können, wurde auf 12 verschiedenen Flächen beregnet. Die Beregnung erfolgte jeweils über eine Stunde mit einer Intensität von 100 mm h^{-1} . Die Beregnungsfläche betrug jeweils 100 m^2 . Um einen Wasserverlust durch seitliches Abfließen zu verhindern, wurde der Beregnungsbereich durch in den Boden eingeschlagene Blechtafeln nach außen abgegrenzt. In *Abbildung 2* sind die Stellen, an denen die Experimente durchgeführt wurden, eingezeichnet.

3.3 Ermittlung der Flächenanteile der unterschiedlichen Bewirtschaftungstypen

Neben der generellen Fragestellung der direkten Auswirkungen des veränderten Bewirtschaftungstyps soll auch versucht werden, die Veränderung im Wasserhaushalt quantitativ auf die untersuchte Fläche umzulegen. Dafür waren genaue Flächenangaben des Untersuchungsgebietes notwendig. Diese Flächenbestimmung wurde mit Hilfe des Geografischen Informationssystems (GIS) anhand von Orthofotos und genauer Aufnahme der einzelnen Flächen im Gelände durchgeführt. Anhand unterschiedlich alter Orthofotos sowie der Befragung der Grundbesitzer konnte eine sehr genaue Nutzungsgeschichte der Flächen erstellt werden (CERNUSCA et al., 1999; MUNK, 2003).

4. Ergebnisse

4.1 Bestandesverdunstung

Anhand der Lysimeterdaten des Sommers 2002 wurde die Evapotranspiration der Pflanzenbestände auf den unter-

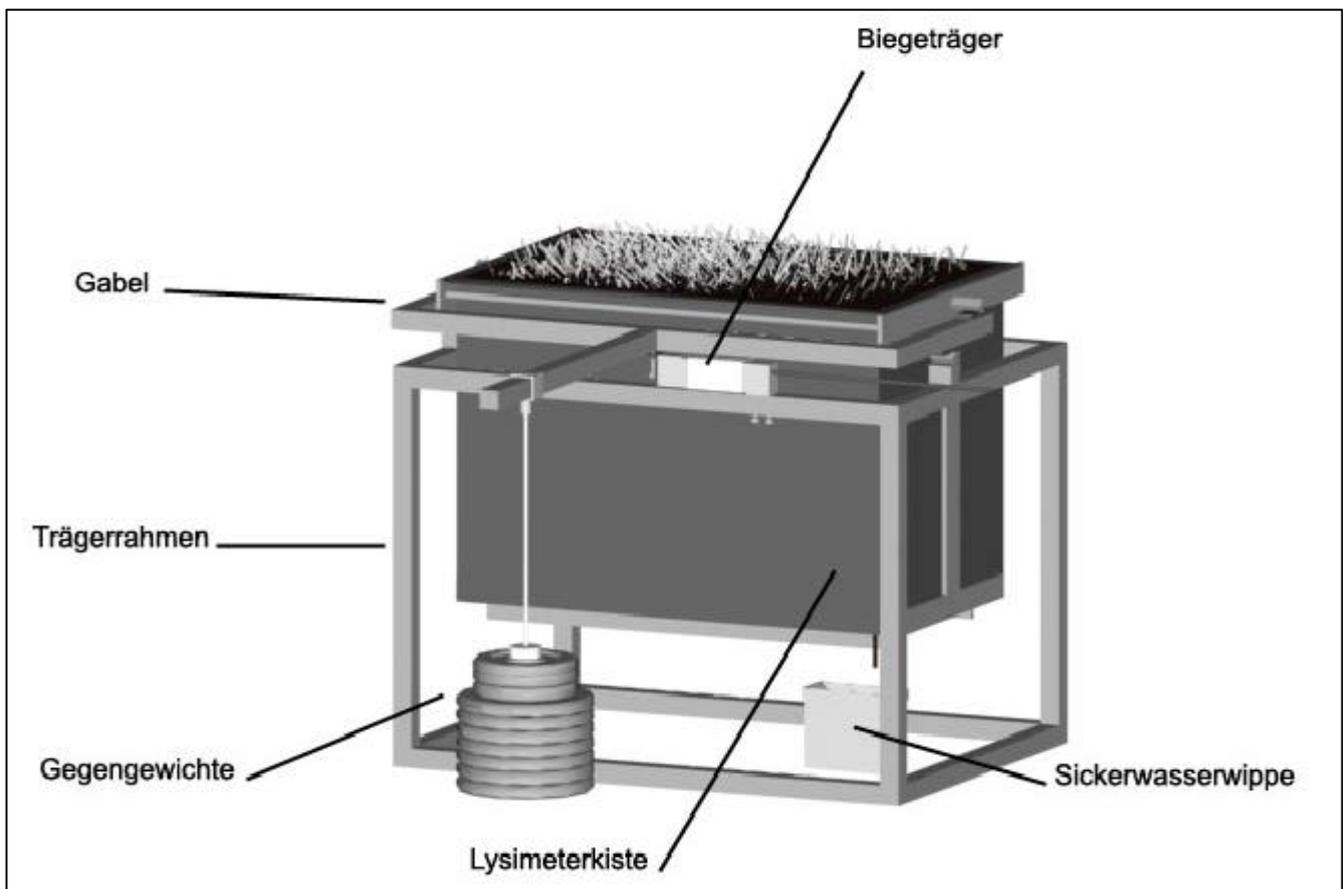


Abbildung 3: Schemazeichnung des verwendeten Lysimeters

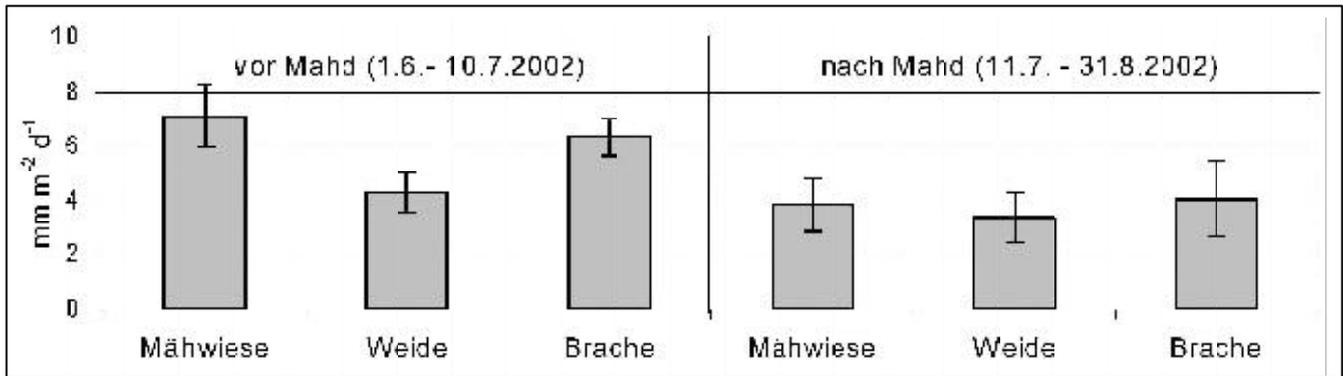


Abbildung 4: Tagessummen der Evapotranspiration der Pflanzenbestände der unterschiedlich bewirtschafteten Versuchsflächen. Die Indikatorbalken zeigen die Standardabweichung an.

schiedlich bewirtschafteten Flächen im Almgelände berechnet. Dabei wurden jeweils nur die Schönwettertage berücksichtigt. Da die Evapotranspiration auf den gemähten Flächen zwischen der Periode vor und nach der Mahd deutlich voneinander abweicht, wurden jeweils getrennte Berechnungen für die beiden Zeiträume erstellt. Die Daten für die Periode vor der Mahd wurden als Mittelwert der Werte vom 1. Juni bis zum 10. Juli 2002 ermittelt. Für die Periode nach der Mahd wurde der Zeitraum 12. Juli bis 31. August berücksichtigt. Der Mahdzeitpunkt war der 11. Juli 2002. Die jeweiligen Mittelwerte mit Standardabweichungen sind in *Abbildung 4* dargestellt.

- Vor dem Mahdtermin auf der Mähwiese

Deutlich ist zu erkennen, daß die Evapotranspiration auf der Mähwiese ($7,1 \text{ mm m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) als Folge der viel größeren Biomasse deutlich höher ist als auf der Weidefläche ($4,3 \text{ mm m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). Auf der aufgelassenen Fläche (Brache, $6,3 \text{ mm m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) lagen die Werte jedoch nur geringfügig unter jenen der Mähwiesen. Dies war hier zu erwarten, da der Anteil an Gräsern und Kräutern auf der Brachfläche sehr hoch ist.

- Nach dem Mahdtermin auf der Mähwiese

Bedingt durch die Entnahme der Biomasse ist die Evapotranspiration auf der Mähwiese nach der Mahd auf $3,8 \text{ mm m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ zurückgegangen, wobei als Folge des Zuwachs der Biomasse eine tendenzielle Zunahme bis Ende August zu verzeichnen war. Auf der Brache kam es im Mittel der Periode vom 11. Juli bis zum 31. August im Gegensatz zur Mähwiese

zu einer steten Abnahme der Evapotranspiration von maximal $7,3$ auf $2,5 \text{ mm m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Dies ist einerseits auf das zunehmende Alter der Pflanzen und somit auf die Reduktion der mit der Transpiration im Zusammenhang stehenden Assimilationsleistung zurückzuführen. Eine weitere Ursache liegt in der Verkürzung der Sonnenscheindauer als Folge der Horizontüberhöhung auf den betroffenen Flächen. Im Mittel war die Tagessumme der Evapotranspiration auf der Brache ($4,0 \text{ mm m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) jedoch nahezu gleich wie auf der Mähwiese. Auch die Pflanzenbestände auf der Weide zeigten einen Rückgang der Evapotranspiration, wobei der Unterschied gegenüber der Periode vor der Mahd wesentlich geringer ausfiel als auf den anderen Bewirtschaftungstypen. Tendenziell nahm die Evapotranspiration auf der Weide im Verlauf des Spätsommers ebenfalls ab. So lagen die Tagessummen in der zweiten Julihälfte bei $4,4 \text{ mm m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, Ende August konnten nur noch $2,2 \text{ mm m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ gemessen werden. Auch hier sind das Altern der Bestände sowie die kürzeren Tage verantwortlich.

Insgesamt lässt sich erkennen, daß die Evapotranspiration auf der Mähwiese und der hier sehr krautreichen Brache ähnlich hohe Werte aufweisen. Die Werte für die Weide aber deutlich darunter liegen.

4.2 Beregnungsexperimente

Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse der Beregnungsexperimente. Deutlich ist zu erkennen, daß im Untersuchungsgebiet nur auf Weideflächen Oberflächenabfluss festgestellt werden konnte. Innerhalb der untersuchten Weiden traten dabei erhebliche Unterschiede auf. Auf den erst seit 5 Jahren als Weide genutzten

Flächen betrug der Oberflächenabfluss zum Teil mehr als 18% der gesamten Beregnungsmenge. Auffällig dabei ist, dass ein Einfluss der Hangneigung der beregneten Flächen auf das Auftreten von Oberflächenabfluss nicht zu erkennen war. Auf älteren Weiden, die schon deutliche Anzeichen von "Viehgangln" zeigen (siehe *Abbildung 5*), war der Oberflächenabfluss mit nur 3,2% deutlich geringer.

Die Weideflächen mit den höchsten Abflusswerten wurden erst vor etwa 5 Jahren von reinen Mähwiesen in Weiden ungewandelt. Dies lässt den Schluss zu, dass sich der Oberflächenabfluss besonders auf derartigen jungen Weiden deutlich erhöht. Von besonderer Bedeutung ist dabei auch, dass der Oberflächenabfluss auf diesen Weideflächen bereits nach 5 bis 6 Minuten Beregnungsdauer einsetzte, was darauf hindeutet, dass auch schon bei kurzen Starkregenereignissen mit dem oberflächlichen Abfließen des Niederschlagswassers zu rechnen ist. Die Reduzierung der Mahdflächen bei gleichzeitiger Zunahme der Weideflächen kann daher zu einer deutlichen Erhöhung des Oberflächenabflusses in den betroffenen Almregionen führen.

4.3 Flächenanteile der unterschiedlichen Bewirtschaftungstypen

Anhand der Veränderung der Art der Bewirtschaftung seit 1995 konnte mit Hilfe des Geografischen Informationssystems der Anteil der einzelnen Bewirtschaftungstypen ermittelt werden. Die Flächen- und Prozentanteile des ausgewählten Ausschnittes des Versuchsgebiets Kaserstattalm sind in *Tabelle 2* dar-

Tabelle 1: Oberflächenabfluss auf den Untersuchungsflächen im Gebiete der Kaserstattalm

Fläche	Neigung [%]	künstl. -Niederschlag		Beginn [min]	Ende [min]	Abfluss			Abtrag		Bemerkungen	
		Dauer [min]	N _k [mm]			N _k [mm/h]	Σ [min]	Σ [l]	% [l]	Σ [kg]		Σ [g/l]
1	60	60	98	98	0	0	0	0	0	0	0	Weide, 80% Bedeckung
2	55	60	98	98	0	0	0	0	0	0	0	Latschen
3	58-60	60	98	98	5	68	63	310	3,2	0	0	Weide
4	45-50	60	100	100	0	0	0	0	0	0	0	Zirbe Aufforstung
5	45-50	60	100	100	0	0	0	0	0	0	0	Lärche Aufforstung
6	70-75	60	100	100	0	0	0	0	0	0	0	Fichte Jungwuchs
7	65-70	60	100	100	0	0	0	0	0	0	0	Weide gering bestoßen
8	60-65	60	98	98	40	65	20	270	2,8	0	0	Weide (Abfluss durch Austritt aus Mausgang)
9	45-50	60	96	96	0	0	0	0	0	0	0	Weide gering bestoßen
10	50-55	60	98	98	5	75	70	1,830	18,6	0	0	Weide (ganzen Sommer bestoßen)
11	25	60	97	97	6	78	72	1,270	13,1	0	0	Weide (ganzen Sommer bestoßen)
12	65-70	60	100	100	0	0	0	0	0	0	0	Mähwiese kurz


Abbildung 5: Blick auf eine gerade beregnete Weidefläche. Deutlich ist das in den "Viehgangln" stehende Wasser zu erkennen. Kaserstattalm Oktober 2001
Tabelle 2: Flächenanteil der unterschiedlichen Bewirtschaftungstypen im ausgewählten Gebiet der Kaserstattalm

Bewirtschaftung	1995		2002	
	ha	%	ha	%
Mähwiese	8,684	41	5,553	26
Mähwiese 2 Jahre oder seltener	3,147	14	3,147	14
Weide neu	0	0	3,131	15
Weide alt	6,797	32	6,797	32
reduziert genutzte Weide	2,734	13	2,734	13
Gesamte bewirtschaftete Fläche	21,362	100	21,362	100

gestellt. Dabei fällt auf, daß sich die Veränderung der Nutzung im Zeitraum 1995 bis 2002 nur auf einen Teil der Mähwiese ausgewirkt hat, die in eine Weide umgewandelt wurde. Aufgrund der Kürze der neuen Nutzung ist jedoch das durch die Kleinterrassierung ("Viehgangln") typische Erscheinungsbild einer Weide im geeigneten Gelände noch nicht gegeben. Insgesamt ist zu erkennen, dass der Anteil an Mähwiesen im Jahr 1995 noch bei 55% gelegen ist. Bis

zum Jahr 2002 reduzierte sich der Anteil dann auf 40% der hier berücksichtigten Flächen.

5. Diskussion

Aufgrund der Veränderung in der Bewirtschaftung und der damit einhergehenden Verschiebung der Anteile der Nutzungsarten soll nun versucht werden, die Veränderung im Wasserhaushalt in Relation zu den Flächenanteilen der einzelnen Nutzungsarten zu setzen. Wie die

Lysimetermessungen gezeigt haben, reduziert sich die Wasserdampfabgabe einer Fläche, die von der Mahdnutzung in eine Weidenutzung geändert wurde an einem Schönwettertag um 40%. Bezieht man diesen Wert auf die hier betroffene Flächengröße, dann ergibt sich eine Reduktion der maximalen Evapotranspirationsleistung von 14%. Da im Untersuchungsgebiet zu keinem Zeitpunkt Wassermangel zu verzeichnen war stellt diese Verringerung der Wasserabgabe keinen Vorteil für das Ökosystem dar. Vielmehr stellt diese Wassermenge ein Plus für den das Gebiet entwässernden Jelderbach dar. Genau Quantifizieren lässt sich die hier anfallende Wassermenge jedoch anhand der bislang vorliegenden Daten nicht.

Im Gegensatz dazu ist jedoch in Bezug auf den Oberflächenabfluss eine quantitative Aussage für ein Starkregenereignis möglich. Die für die Beregnung gewählte Niederschlagsintensität von 100 mm h⁻¹ entspricht nach einer Modellrechnung gemäß LORENZ und SKODA (2000) einem 100-jährigen Niederschlagsereignis. Nach KREPS und SCHIMPF (1965) entspricht die Intensität einem Ereignis mit mehr als 100-jähriger Wiederholungswahrscheinlichkeit. Aufgrund der Ergebnisse der Beregnungsexperimente ergibt sich für das betroffene Gebiet eine oberflächlich abfließende Wassermenge von insgesamt 470 m³. Eine Erklärung für die deutlich erhöhten Abflussmengen auf der hier untersuchten "Neuen Weide" ist wohl in der Reliefstruktur des Geländes zu suchen. Auf allen Weideflächen ist eine Verdichtung des Bodens als Folge der Betrampelung durch das Weidevieh bekannt. Dies führt zu einer Reduzierung des Infiltrationsverhaltens. Auch SCHAUER

(1975), HILGERS (1986) und BLECHSCHMIDT (1990) beschreiben den Einfluss von Viehtritt und Beweidung, wobei sowohl positive als auch negative Auswirkungen auf den Oberflächenabfluss und in weiterer Folge auf die Erosionstätigkeit beschrieben werden. So können die "Viehgangln", die bei geregelter, meist beaufsichtigtem Weidebetrieb entstehen, positiv wirken. Negative Auswirkungen auf den Oberflächenabfluss und die Hangstabilität hat hingegen ein unregelmäßiger Weidebetrieb auf großflächigen, unterbestockten Almen (SCHAUER, 1975), die Gewichtszunahme der Weidetiere (BLECHSCHMIDT, 1990) und besonders die Umwandlung von Mähwiesen in Weideflächen. Der Viehtritt führt dabei laut DOMMERMUTH (1995) vor allem zu Zeiten feuchter Witterungsverhältnisse zu Erosionsansatzstellen in Form von Narbenversatzschäden und zum gleichzeitigen Kneten der oberen Mineralbodenhorizonte. Bodenuntersuchungen im Untersuchungsgebiet haben auch hier gezeigt, dass auf den betroffenen Weideflächen Weidestausohlen vorhanden sind. Auf alten Weideflächen die eine deutliche Terrassierung in Form der "Viehgangln" aufweisen bildet das abfließende Wasser auf den Terrassen Pfützen wodurch der Retentionsraum deutlich vergrößert

wird. Dies konnte auch bei den hier durchgeführten Berechnungsexperimenten beobachtet werden (*Abbildung 5*). Auch TASSER et al. (2001, 2003) beschreiben den Einfluss der "Viehgangln" als signifikant für das Auftreten von Oberflächenabfluss. Da die Ausbildung von "Viehgangln" jedoch eine mittelfristige Entwicklung auf allen steiler geneigten Weideflächen darstellt, ist von einer Reduktion des Abflusspotentials im Laufe der Zeit auszugehen. Wie auch SCHAUER (1975) betont, ist jedoch der Zeitraum zwischen Nutzungsänderung und Anpassung des Geländes an die Beweidung als kritisch zu bewerten. Besonders bei der großflächigen Umwandlung von Mähwiesen in Weiden sollte auf diesen Umstand Rücksicht genommen werden.

6. Literatur

BLECHSCHMIDT, G., 1990: Die Blaikenbildung im Karwendel. Verein zum Schutz der Bergwelt, Jahrbuch: 31-45.

CERNUSCA, A., Ch. NEWESELY and D. PRICE, 1999: Water relations of ecosystems and hydrology of catchments. In: Cernusca A., Tappeiner, U. and Bayfield N. (eds.) (1999) Land-use changes in European Mountain Ecosystems. ECOMONT - Concepts and Results. Blackwell Wiss.-Ver., Berlin, Wien

DOMMERMUTH, C., 1995: Beschleunigte Bodenabtragungsvorgänge in der Kulturlandschaft des Nationalparks Berchtesgaden. Ursachen und

Auswirkungen aufgezeigt am Beispiel des Jenergebietes. Forstwissenschaftliches Centralblatt, 114: 285-292.

- KREPS, H. und H. SCHIMPF, 1965: Starkregen und Starkregenstatistik. Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes Österreich Heft 42, Wien 1965.
- LORENZ, P. und G. SKODA, 2000: Bemessungsniederschläge kurzer Dauerstufen ($D \leq 12$ Stunden) mit inadäquaten Daten. Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes Österreich Heft 80, Wien 2000.
- NEWESELY, Ch. und A. CERNUSCA, 2001: Ein neues Lysimeter zur Messung der Bestandesverdunstung in Almkösystemen. Tagungsbericht zur 9. Gumpensteiner Lysimetertagung, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein (BAL), p. 75-78.
- MUNK, K., 2003: Landnutzungsgeschichte und historische Waldentwicklung im Interreg II - Projektgebiet Kaserstättalm (Neustift im Stubaital). Diplomarbeit Universität Innsbruck.
- SCHAUER, T., 1993: Die Blaikenbildung in den Alpen. Schriftreihe Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft 1, München.
- TAPPEINER, U., E. TASSER and G. TAPPEINER, 1998: Modelling human and naturally triggered changes in the landscape: first experiences with a GIS based model applied to an Alpine area. Ecological Modelling, 113, 225-237.
- TASSER, E., U. TAPPEINER und A. CERNUSCA, 2001: Südtirols Almen im Wandel. Athesia, Bozen, S. 267.
- TASSER, E., U. TAPPEINER and A. CERNUSCA, 2003: Ecological effects of land use changes in the European Alps. Global Change and Mountain Regions - A State of Knowledge Overview (eds. Huber, U., Becker, A., Bugmann, H.). Elsevier Science, Amsterdam, in press.