

Bestandesstruktur, Energiehaushalt und Bodenatmung einer Mähwiese, einer Almweide und einer Almbrache

Ulrike Tappeiner und Alexander Cernusca

Synopsis

Within the frame of the EC-STEP-project INTEGRALP the ecological consequences of changes of agricultural management were investigated by comparing a pasture, a hay meadow and an alm which has been abandoned for thirty years. The compared sites are situated in the montane zone of the Southern slopes of the Alps (Monte Bondone, Trento, I). On the abandoned alm, as compared to the hay meadow and the pasture, characteristic changes concerning the canopy structure were observed which were due to a higher portion of dwarf shrubs and a thick layer of mulch at the soil surface. This layer of mulch has the effect that less than 1% of the photosynthetically active radiation reaches the soil surface. This favours shade-tolerant species which use assimilates stored in below-ground organs to penetrate the layer of mulch. A further effect of the thick layer of mulch is the shifting of the active surface of the microclimate. On the hay meadow and the pasture this active surface is situated at the soil surface, whereas on the abandoned alm it is located in the canopy layer of 4 - 7 cm. This leads to temperatures in the upper centimetres of the soil which are 2 to 3 K lower than on the meadow and the pasture. In addition, the soil heat flux on the abandoned alm amounts to only half of the soil heat flux on the pasture. The lower soil temperature and the high portion of lignified plant parts in the litter cause significantly lower rates of litter decomposition and of soil respiration, as compared to the meadow and the pasture. Furthermore, the lower rates of litter decomposition on the abandoned alm lead to a lower nutrient availability, which has a lasting influence on the competitive interactions of species. In accordance with this, plant-sociological investigations revealed the highest number of species and diversity for the abandoned alm, but also the lowest nutrient indicator value (according to LANDOLT 1977).

Sekundärsukzession, Brache im alpinen Grünland, Mikroklima, Energiebilanz, Bodenatmung, Streuabbau. Succession, abandonment of alpine grassland ecosystems, canopy structure, microclimate, energy budget, soil respiration, litter breakdown.

1. Einleitung

Mit den Alpen begegnet uns eine der eindrucksvollsten Natur- und Kulturlandschaften Europas, deren Bild von der Berglandwirtschaft wesentlich geprägt wurde. Bergmäher und alpine Weiden werden durch die traditionelle Bewirtschaftung des Bergbauern in einem künstlichen ökologischen Gleichgewicht gehalten, das äußerst sensibel auf Veränderungen reagiert. Der Strukturwandel in der alpinen Landwirtschaft bewirkt eine zunehmende Extensivierung bzw. das Auflassen unproduktiver Flächen im gesamten Alpenraum. Auf derartigen Flächen setzen rasch Sekundärsukzessionen ein, die zu großen Veränderungen in zahlreichen ökologischen Parametern, wie z. B. ökologischer Vielfalt, Stabilität des Ökosystems udgl. führen (CERNUSCA 1978, SPATZ & al. 1978, SPATZ & al. 1993). Im Rahmen eines europäischen Forschungsnetzwerkes (EG-STEP Projekt INTEGRALP, koordiniert von ICALPE, F) wurden in den Jahren 1991/92 von mehreren europäischen Forschergruppen die Funktionsweise von Gebirgswäldern und die Wechselwirkungen zwischen alpinen Graslandökosystemen und Waldökosystemen untersucht. Der Schwerpunkt des österreichischen Beitrages zum INTEGRALP war die vergleichende Analyse der ökologischen Auswirkungen des Auflassens ehemals bewirtschafteter Flächen in den italienischen und österreichischen Alpen (vgl. CERNUSCA & al. 1992, TAPPEINER & CERNUSCA 1993). Im österreichischen Beitrag zum INTEGRALP wurden zunächst in einem landschaftsökologischen Ansatz vegetationskundliche, bodenkundliche und agrarökologische Kartierungen durchgeführt, um so die für die Projektgebiete charakteristischen Sukzessionsverläufe aufzunehmen. Diese Untersuchungen zeigten ganz allgemein, daß die nach dem Auflassen von Almen auftretenden Sukzessionen mit zunehmender Höhenlage immer weniger Zwischenstufen bis zur Klimaxvegetation durchlaufen (vgl. SPATZ & al. 1993, TAPPEINER & CERNUSCA 1993). Aufbauend auf dieser flächenhaften Bestandsaufnahme wurden dann für ausgewählte Sukzessionsabschnitte detaillierte vergleichende Ökosystemanalysen durchgeführt. Diese sollten aufzeigen, welche Parameter für den Sukzessionsverlauf im Ökosystem bestimmend sind und gleichzeitig als Basis für eine ökologische Bewertung der Veränderungen in der alpinen Landwirtschaft dienen.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit kann nur ein kleiner Ausschnitt aus der Fülle der Ergebnisse behandelt werden. Im folgenden werden vergleichende Untersuchungen von Bestandesstruktur, Mikroklima, Energiehaushalt und Bodenatmung auf zwei unterschiedlich bewirtschafteten und einer seit dreißig Jahren aufgelassenen Fläche an der Süabdachung der Alpen dargestellt. Weitere Detaillerggebnisse des INTEGRALP finden sich bei CERNUSCA & al. (1992), TAPPEINER & CERNUSCA (1993) sowie BAHN & al. (1994a,b).

2. Untersuchungsgebiet und Methodik

2.1. Untersuchungsgebiet

Die Untersuchungen wurden auf dem Monte Bondone bei Trento, Italien (46°01'N, 1°24'W, 1550-1650 m üNN, 1137 mm Jahresniederschlag, 8,2°C mittlere Temperatur während der Vegetationsperiode, nach CETTO 1963) durchgeführt. Im Untersuchungsgebiet sind neben traditionell bewirtschafteten Bergmähdern und Weiden extensiv bewirtschaftete Flächen und seit Jahrzehnten aufgelassene Flächen vorhanden. Dies ermöglichte es, die ökologischen Veränderungen, die im Zuge des Bruchfallens von alpinen Flächen auftreten, vergleichend für unterschiedlich bewirtschaftete und aufgelassene Flächen zu untersuchen. Insgesamt wurden an vier Versuchsfeldern umfassende Ökosystemanalysen durchgeführt. Es sind dies zwei traditionell bewirtschaftete Flächen (eine einschürige Mähwiese und eine extensive Weide), eine seit ca. 30 Jahren aufgelassene Fläche, die zunehmend mit Zwergsträuchern und Baumjungwuchs verbuscht, und das Endstadium der Sukzession, ein natürlicher Buchen-Mischwald (Details bei CERNUSCA & al. 1992). In vorliegender Arbeit werden nur die untersuchten Graslandökosysteme Weide, Mähwiese und Almbrache berücksichtigt.

2.2. Methodik

Bestandesstruktur, Mikroklima und Energiehaushalt: Die Analyse der Bestandesstruktur erfolgte mittels stratifizierter Ernte zum Zeitpunkt des Biomassehöhepunktes im Juli 1992. Auf jeder Versuchsfeldfläche wurden 0,25 m² große Kleinquadrate schichtweise geerntet, in die Komponenten Gräser, Kräuter, Zwergsträucher, Infloreszenzen, Nekromasse und Streu aufgetrennt und bei 80°C getrocknet. Am sortierten Frischmaterial wurde die Fläche mit einem LI-3100-Blattflächenmeßgerät (LiCor, USA) bestimmt. Zum Zeitpunkt des Biomassehöhepunktes wurden auch detaillierte Messungen zur Absorption der photosynthetisch aktiven Strahlung (PhAR) in den verschiedenen Bestandesschichten mittels Decagon-Sunfleck-Cepotmetern (Delta-T Devices Ltd., England) im Tagesgang durchgeführt. Die übrigen Parameter des Mikroklimas wurden mittels einer batteriebetriebenen portablen Datenerfassungsanlage (MIKROMET, CERNUSCA 1987) während der gesamten Vegetationsperiode erfaßt. Die Profile der Boden-, Bestandes- und Blattemperatur, der Luftfeuchte und der Windgeschwindigkeit über und innerhalb der untersuchten Pflanzenbestände, sowie Globalstrahlung, Strahlungsbilanz und Bodenwärmestrom wurden kontinuierlich gemessen. Folgende Sensoren wurden dabei verwendet: Sternpyranometer und Strahlungsbilanzmesser (Fa. Schenk, Wien), Kupfer-Konstantan-Thermoelemente (0,08 mm, Eigenbau), elektrisch ventilierter Thermoelement-Psychrometer (CERNUSCA, 1991b), und Bodenwärmestrommeßplättchen (RdF, England). Aus den Temperaturprofilen und den Wasserdampfprofilen unmittelbar über der Bestandesoberfläche und in 60 cm über dem Bestand wurde mittels der Energiebilanzmethode (vgl. CERNUSCA 1982) die Konvektion fühlbarer und latenter Wärme errechnet. Die konvektiven Austauschwiderstände zwischen dem Bestand und der freien Atmosphäre wurden nach CERNUSCA & SEEBER (1980) berechnet.

Bodenatmung und Streuabbau: Die CO₂-Abgabe des Bodens wurde mit Hilfe eines Infrarot-Gas-Analysators (LCA-2, ADC, England) im Freiland bestimmt, wobei die Anreicherungsverfahren angewandt wurde. Dazu wurden lichtundurchlässige Atmungsküvetten (Durchmesser 19 cm, Tiefe 16 cm) an der Bodenoberfläche eingebaut, die durch Ventilatoren laufend belüftet wurden. Während der halbstündlich durchgeführten Messungen (Meßdauer ca. zwei Minuten) wurde die Belüftung eingestellt, der Anstieg der CO₂-Konzentration in der Küvette bestimmt und daraus die Bodenatmung errechnet. Synchron dazu wurden in der Küvette die Bodentemperatur und die Bodensaugspannung (Microtensiometer, CERNUSCA & VALTINGOJER, 1991) erfaßt. Der Streuabbau wurde mittels Streuexplantate bestimmt.

3. Ergebnisse

3.1 Bestandesstruktur und Lichtklima

In Tabelle 1 und Abbildung 1 sind ausgewählte Ergebnisse der Bestandesstrukturanalyse dargestellt. Anfang August, zum Zeitpunkt des Biomassehöhepunktes wies die Weide im Vergleich zu den übrigen untersuchten Beständen mit 390 g TS m⁻² die geringste oberirdische Phytomasse auf. Diese setzte sich zu 17% aus Grä-

ern, 32% aus Kräutern, 10% aus Kryptogamen und 41% aus anhaftendem Totmaterial zusammen. Auf der Mähwiese betrug der oberirdische Phytomassevorrat zum selben Zeitpunkt 541 g TS m⁻². Davon entfielen 43% auf Gräser, 25% auf Kräuter und 32% auf anhaftendes Totmaterial. Im Vergleich zu den übrigen beiden Flächen wies die Almbrache mit 832 g TS m⁻² den höchsten oberirdischen Phytomassevorrat auf. Auffallend gering war mit 6% der Kräuteranteil; auf die Gräser entfielen 20% und auf Zwergsträucher 9%. Charakteristisch für die Almbrache war vor allem auch der sehr hohe Anteil an Nekromasse. 65% der oberirdischen Phytomasse waren anhaftendes Totmaterial, das als dichte Mulchschicht unmittelbar an der Bodenoberfläche auflag. Diese Unterschiede in der Bestandesstruktur bewirkten auch entsprechende Unterschiede im Lichtklima. Sowohl auf der Brache, als auch auf der Weide wurde die Strahlung in einer relativ schmalen Bestandesschicht absorbiert.

Tab. 1: Vergleich der Versuchsflächen Weide, Mähwiese und Almbrache am M. Bondone (I). Die Meßwerte zu Bestandesstruktur, Mikroklima und Bodenatmung sind für den Zeitpunkt des Biomassehöhepunktes dargestellt.

Tab. 1: Comparison of the experimental sites pasture, hay meadow and abandoned alm on Mt. Bondone (I). The values for canopy structure, microclimate and soil respiration are given for the time of the biomass maximum.

	Weide	Mähwiese	Almbrache
Allgemeine Charakteristika			
Meereshöhe in m ü. NN	1560	1550	1550
Exposition	E	E	SE
Hangneigung in °	5	3	6
Vegetation	Nardetum alpigenum	Polygono- Trisetion	Nardetum alpigenum verbuscht
Bodentyp	flachgründige Mullbraunerde	mittelgründige Mullbraunerde	mittelgründige Mullbraunerde
Bestandesstruktur			
Maximale Bestandeshöhe in cm	16	80	30
Oberirdische Phytomasse in g TS m ⁻²	390	541	832
Streu in g TS m ⁻²	136	62	85
Blattflächenindex LAI in m ² m ⁻²	1,7	2,7	1,7
Grünflächenindex GAL in m ² m ⁻²	1,9	3,4	2,0
Gesamtflächenindex PAI in m ² m ⁻²	3,5	4,9	6,0
Mikroklima, Energiehaushalt			
Absorption der einfallenden PhAR durch assimilierende Bestandesteile in %	65	75	55
Extinktionskoeffizient (Mittag/Abend)	1,0/1,4	0,5/0,8	0,8/1,3
Aktive Oberfläche des Mikroklimas in cm	0	0	3-7
Temperaturdifferenz aktive Oberfläche und 2 m Höhe um 12 ⁰⁰ Uhr in K	17,3	11,3	13,1
Tagesmittel der Bodentemperatur in °C			
in 0 cm	23,1	21,7	19,8
in -5 cm	20,1	20,6	18,2
Aerodynamischer Austauschwiderstand des Bestandes in s m ⁻¹	65	33	43
Bodenatmung, Streuabbau			
Mittlere Tagessumme der Bodenatmung in g CO ₂ m ⁻² d ⁻¹	10,9	8,9	3,6 ⁽¹⁾ - 7,4 ⁽²⁾
Streuabbau in % pro Tag		0,43	0,25

(1)	Vegetation dominiert durch Zwergsträucher		
(2)	Vegetation dominiert durch <i>Nardus stricta</i>		
TS.	Trockensubstanz		
PhAR....	photosynthetisch aktive Strahlung		

Auf der Brache erfolgte die Strahlungsabsorption vor allem im mittleren Bestandesbereich und auf der Weide in den untersten zwei Zentimetern des Bestandes. Auf der Mähwiese nahm dagegen die Strahlungsintensität von der Bestandesoberfläche gleichmäßig bis in eine Höhe von ca. 8 cm im Bestand ab. Im Zusammenhang mit

der Photosynthese ist vor allem die Absorption der PhAR durch photosynthetisch aktive Bestandteile von Bedeutung. Mit 75% wies die Mähwiese die größte Strahlungsausnützung durch assimilierende Bestandteile auf, gefolgt von der Weide mit 65% und der Almbrache mit nur 55%.

3.2 Mikroklima und Energiehaushalt

In Tabelle 1 und Abbildung 1 sind ausgewählte Ergebnisse der Analyse von Mikroklima und Energiehaushalt für einen Schönwettertag zum Zeitpunkt des Biomassehöhepunktes zusammengefaßt. Die Temperaturprofile zeigten, daß der größte Energieumsatz auf der Weide und der Mähwiese an Schönwettertagen an der Bodenoberfläche stattfand, wogegen auf der Brache diese aktive Oberfläche des Mikroklimas in einer Höhe zwischen 3 und 7 cm über der Bodenoberfläche lag. Der Vergleich mit der Lufttemperatur in 2 m Höhe ergab, daß die Temperaturdifferenz zwischen der aktiven Oberfläche im Bestand und der Lufttemperatur in 2 m Höhe über dem Bestand auf der Weide mit 17,3 K besonders hoch lag, wogegen auf Mähwiese und Brache eine Temperaturdifferenz von 11,3 K bzw. 13,1 K auftrat.

Die Untersuchungen zum Energiehaushalt zeigten, daß in allen drei untersuchten Beständen der Großteil der absorbierten Strahlungsenergie für die Evapotranspiration verwendet wurde. Allerdings ergaben sich auch deutliche Unterschiede zwischen den Versuchsfeldern. Auf der Mähwiese wurden 75% und auf der Almbrache 71% der Strahlungsbilanz für die Verdunstung verwendet, auf der Weide hingegen nur 53%. Auch im Zusammenhang mit dem Bodenwärmestrom zeigten sich charakteristische Unterschiede. Mit 30 W m^{-2} wies die Weide den höchsten Wert auf, gefolgt von der Mähwiese mit 19 W m^{-2} und der Almbrache mit 14 W m^{-2} .

3.3 Bodenatmung und Streuabbau

Der Einfluß der Bewirtschaftung auf die Abbauprozesse zeigt sich deutlich anhand der gemessenen Bodenatmung und des Streuabbaus (vgl. Tab. 1). An einem heiteren Augusttag wurde die höchste Bodenatmung auf der Weide festgestellt, die niedrigste auf der Almbrache, wo sich zudem große Unterschiede je nach der Vegetationsbedeckung ergaben. So war die Bodenatmung unter einem fast reinen Zwergstrauchbestand nur halb so groß wie unter einem *Nardus stricta* - Rasen. Diese Tendenz wird auch durch die Ergebnisse der Streuabbau-Untersuchungen bestätigt. So wurden z. B. innerhalb von 112 Tagen auf der Mähwiese 48 %, auf der Almbrache dagegen nur 28 % der Streu abgebaut (vgl. auch CERNUSCA & al. 1992).

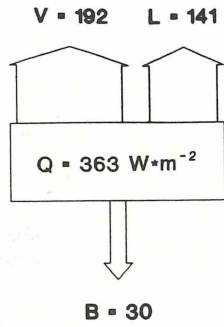
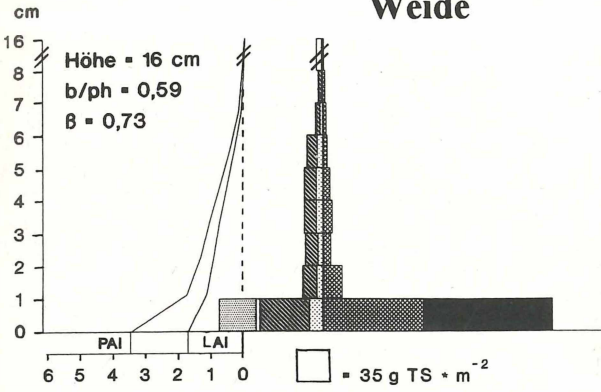
Abb. 1: Bestandesstruktur und Energiehaushalt für die untersuchten Graslandökosysteme. Bestandesstruktur: Schichtung der Phytomasse der photosynthetisch aktiven Komponenten links, photosynthetisch inaktive Komponenten und Streu rechts. Energiehaushalt: die Energieflüsse sind Mittelwerte für das Zeitintervall zwischen Sonnenaufgang und Sonnenuntergang der Klartage zum Biomassehöhepunkt (Juli / August 1992).

Abkürzungen: Biomasse/Phytomasse (b/ph), Trockensubstanz (TS), Strahlungsbilanz (Q), Verdunstung (V), Konvektion fühlbarer Wärme (L), Bodenwärmestrom (B), Bowen-Verhältnis ($L/V = \beta$).

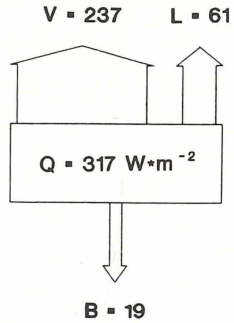
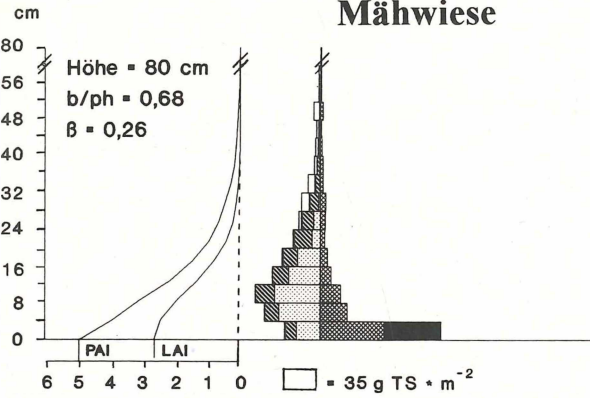
Fig. 1: Canopy structure and energy budget of the investigated grassland ecosystems. Canopy structure: Stratification of the phytomass of photosynthetically active components are shown to the left, photosynthetically inactive components and litter are shown to the right. Energy budget: The energy fluxes are means for the time span between sunrise and sunset of the clear days at the biomass maximum (July/ August 1992).

Abbreviations: Biomass/ phytomass (b/ph), dry matter (TS), net radiation (Q), evapotranspiration (V), sensible heat flux (L), soil heat flux (B), Bowen ratio ($L/V = \beta$).

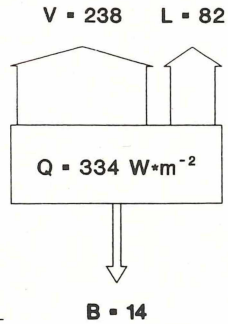
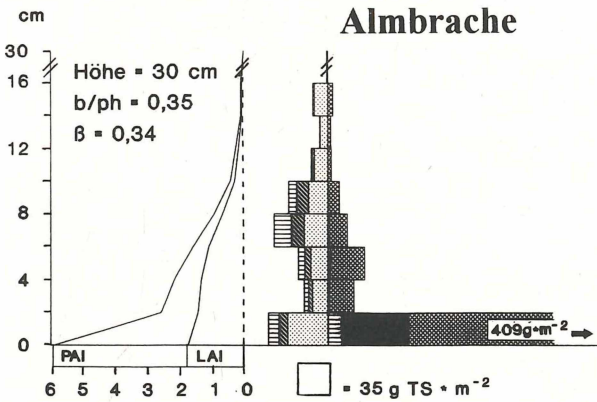
Weide



Mähwiese



Almbrache



- | | | | |
|--------------|-----------|------------------|---------------|
| ▨ Gräser | ■ Kräuter | ▨ Infloreszenzen | □ Früchte |
| ▨ Nekromasse | ■ Streu | ▨ Zwergsträucher | ▨ Kryptogamen |

4. Diskussion

Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen erneut frühere Untersuchungen (CERNUSCA 1978, TAPPEINER & CERNUSCA 1991), die gezeigt haben, daß das Brachlegen von Wiesen und Weiden sehr rasch zu Veränderungen in der Bestandesstruktur führt, wodurch in der Folge eine Reihe von funktionellen Veränderungen im Licht- und Mikroklima, im Energie-, Kohlenstoff- und Nährstoffhaushalt, sowie im Konkurrenzgefüge der Arten entsteht. Obwohl die Almbrache mit 30 cm eine deutlich geringere Bestandeshöhe als die Mähwiese (80 cm) aufweist, hat die Brache von allen untersuchten Beständen die höchste Phytomasse. Der hohe Phytomassevorrat der Brache ist einerseits auf das Aufkommen mehrjähriger Zwergsträucher, andererseits aber auch darauf zurückzuführen, daß nach Einstellen der Bewirtschaftung keine Phytomasse mehr aus dem Bestand entnommen wird. Kombiniert mit einem deutlich geringeren Streuabbau (vgl. Tab. 1) führt dies zur Ausbildung einer dichten Multschicht an der Bodenoberfläche (Abb. 1, vgl. auch DIERSCHKE & ENGELS 1991, TAPPEINER & CERNUSCA 1989). Diese Veränderungen in der Bestandesstruktur haben auch große Auswirkungen auf das Mikroklima, vor allem auf die Strahlungs- und Temperaturverteilung im Bestand. Auf der Brache wird der Großteil der photosynthetisch aktiven Strahlung in einer mittleren Bestandesschicht absorbiert, wie dies auch für Zwergstrauchbestände oder Hochstauden bekannt ist (CERNUSCA 1976, TAPPEINER & CERNUSCA 1989, 1990, 1991). Als Folge des hohen Anteiles an photosynthetisch inaktiven Bestandesteilen beträgt die Strahlungsausnützung für die Photosynthese auf der Brache nur 55% und ist damit deutlich niedriger als auf der Mähwiese mit 75%. Auch die Weide weist mit 65% eine relativ geringe Strahlungsausnützung durch photosynthetisch aktive Bestandesteile auf. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die Strahlungsabsorption bei diesem Bestand vor allem nahe an der Bodenoberfläche erfolgt, in einer Schicht mit einem hohen Nekromasseanteil. Die für die Brache festgestellte geringe Absorption der PhAR durch assimilierende Bestandesteile erhält eine zusätzliche Bedeutung durch den Umstand, daß auf dieser Fläche die Pflanzen eine um 25% geringere Photosynthesekapazität als auf der Mähwiese aufweisen (CERNUSCA & al. 1992). Dies führt in weiterer Folge auch zu einer um 69% geringeren Produktivität der Almbrache im Vergleich zur Mähwiese (CERNUSCA & al. 1992). Die dichte Multschicht an der Bodenoberfläche bewirkt außerdem, daß sogar bei Sonnenhöchststand weniger als 1% der einfallenden Strahlung die Bodenoberfläche erreicht. Dies fördert das Wachstum von schattentoleranten Arten, welche ihre Assimilate unterirdisch speichern. Durch die Ausnützung dieser Reservestoffe können sie in der Folge die dichte Multschicht durchstoßen (SCHIEFER 1981, GISI & STÖCKLIN 1989). Detaillierte pflanzensoziologische Untersuchungen haben auch gezeigt, daß auf der Almbrache der Anteil der Schattenzeiger und Halbschattenzeiger deutlich höher als bei den beiden noch bewirtschafteten Flächen ist (CERNUSCA & al. 1992).

Auf allen drei untersuchten Flächen wird der größte Teil der Strahlungsbilanz für die Verdunstung von Wasser verwendet. Die Weide weist allerdings mit nur 192 W m^{-2} (entspricht $3,3 \text{ mm d}^{-1}$) eine deutlich geringere Evapotranspiration als die Mähwiese (237 W m^{-2} entspricht $4,5 \text{ mm d}^{-1}$) und die Brache (238 W m^{-2}) auf. Die Ursache dafür liegt einerseits in einer etwas schlechteren Wasserversorgung der Weide (Ende Juli Bodensaugspannungen bis zu 330 mbar auf der Weide, bis zu 110 mbar auf Wiese und Brache), andererseits in einem deutlich erhöhten aerodynamischen Austauschwiderstand des Bestandes auf der Weide im Vergleich zu Brache und Mähwiese (Tab. 1). Dieser erhöhte Austauschwiderstand wird durch eine starke Konzentration der Bestandestrukturlemente nahe der Bodenoberfläche hervorgerufen (vgl. CERNUSCA 1976, CERNUSCA & SEEBER 1980).

Wie schon in früheren Untersuchungen an vergleichbaren Beständen gezeigt werden konnte (CERNUSCA 1976, 1978, 1991a, TAPPEINER & CERNUSCA 1991), bestätigen auch die vorliegenden Ergebnisse den starken Einfluß der Bestandesstruktur auf das Temperaturregime im Pflanzenbestand. Die steileren Grasblätter auf der Mähwiese lassen während der Mittagsstunden noch ca. 6% der einfallenden Strahlung auf die Bodenoberfläche dringen. Auch auf der Weide können noch ca. 4% der Strahlung auf die Bodenoberfläche gelangen. Dadurch ergeben sich auf diesen beiden bewirtschafteten Flächen an der Bodenoberfläche die höchsten Temperaturen. Auf der Brache bildet dagegen die Schicht zwischen 3 und 7 cm die aktive Oberfläche für das Mikroklimageschehen. Die Anhäufung von Totmaterial und verholzten Achsen vor allem in den untersten Bestandesschichten führt in diesem Bereich zu einer sehr dichten Struktur, die wie eine Isolationsschicht für den Boden wirkt. Dadurch tritt auf der Brache auch eine deutlich geringere Erwärmung des Bodens ein. Dies zeigt sich sowohl im Bodenwärmestrom, der auf der Brache nur die Hälfte des Wertes auf der Weide beträgt, als auch in den deutlich niedrigeren Bodentemperaturen, die im Tagesmittel auf der Brache um 2 - 3 K niedriger als auf Weide und Mähwiese liegen. Diese niedrigeren Bodentemperaturen haben auch deutliche Auswirkungen auf die Bodenatmung. Die Bodenatmung ist ein sehr guter Indikator für die Aktivität der abbauenden Mikroorganismen und hängt vor allem auch von der Bodentemperatur und der Bodenfeuchte ab (CERNUSCA & DECKER

1989). Die höchsten Bodenatmungswerte wurden auf der Weide gemessen. Dies dürfte sowohl durch eine natürliche Düngung durch die Weidetiere, als auch durch die hohen Bodentemperaturen bedingt sein. Auf der Brache hingegen wurden deutlich geringere Bodenatmungswerte gemessen, besonders unterhalb der Zwergstrauchvegetation. Die niedrigeren Bodentemperaturen bewirken zusammen mit dem schwerer abbaubaren Material (hoher Anteil an verholzten und faserreichen Strukturen) auf der Brache eine deutlich geringere Bodenatmung und einen geringeren Streuabbau als auf den bewirtschafteten Flächen. Dadurch bleiben die Nährstoffe in organischer, nicht pflanzenverfügbarer Form gebunden. Diese Schlußfolgerung wird auch durch pflanzensoziologische Untersuchungen bestätigt, die ergeben haben, daß die Brache von allen Versuchsflächen die höchste Artenzahl und Diversität, aber auch die geringste Nährstoffzahl (nach LANDOLT 1977) mit 57% Magerkeitszeigern aufweist (CERNUSCA & al. 1992). Nährstoffmangel in gewissen Grenzen fördert einerseits die Artenzahl und Diversität (OSBORNOVA & al. 1990), bietet andererseits aber vor allem auch Pflanzen des sogenannten "streßtoleranten" Types Konkurrenzvorteile. Die Dynamik der Sukzession wird zunehmend bestimmt durch Arten mit geringerer Wachstumsrate, kontinuierlichem Biomassezuwachs, höherem und stabilerem Wurzel/Sproßverhältnis und immergrünen Blättern, wie z. B. Zwergsträucher, die eine gewisse Toleranz gegenüber Nährstoffmangel und eine hohe Ausnützung der Nährstoffe besitzen.

5. Zusammenfassung

Im Rahmen des EG-STEP-Projektes INTEGRALP wurden auf einer Weide, einer Mähwiese und einer seit dreißig Jahren aufgelassenen Almbrache an der Südabdachung der Alpen (Monte Bondone, Trento, I) in der montanen Stufe die ökologischen Auswirkungen von Bewirtschaftungsänderungen untersucht. Auf der Brache wurde im Vergleich zu Weide und Mähwiese eine charakteristische Veränderung in der Bestandesstruktur mit einem erhöhten Anteil von Zwergsträuchern und einer dichten Mulchschicht an der Bodenoberfläche festgestellt. Diese Mulchschicht bewirkt, daß weniger als 1% der photosynthetisch aktiven Strahlung bis zur Bodenoberfläche gelangt. Dadurch werden schattentolerante Arten gefördert, die ihre Assimilate in unterirdischen Organen speichern und mit Hilfe dieser Reservestoffe die Mulchschicht durchwachsen können. Die dichte Mulchschicht bewirkt außerdem eine Verschiebung der aktiven Oberfläche des Mikroklimas. Diese liegt auf Wiese und Weide an der Bodenoberfläche, auf der Brache in der Bestandesschicht von 4 - 7 cm. Dadurch treten auf der Brache im Mittel in den obersten Bodenzentimetern um 2 K bzw. 3 K geringere Bodentemperaturen als auf Wiese bzw. Weide auf. Auch der Bodenwärmestrom ist auf der Brache nur halb so groß wie auf der Weide. Die niedrigeren Bodentemperaturen und der hohe Anteil an verholztem Material in der Streu bedingen in der Folge einen wesentlich geringeren Streuabbau und eine deutlich geringere Bodenatmung als auf den beiden bewirtschafteten Flächen. Der langsamere Streuabbau bewirkt in weiterer Folge auf der Brache eine schlechtere Nährstoffversorgung, wodurch das Konkurrenzgefüge der Arten nachhaltig beeinflusst wird. In Übereinstimmung damit ergaben pflanzensoziologische Untersuchungen für die Brache die höchste Artenzahl und Diversität, aber auch die geringste Nährstoffzahl (nach LANDOLT 1977) .

Danksagung

Die Untersuchungen wurden durch das EG-STEP-Projekt INTEGRALP und das Centro di Ecologia Alpina, Viote (Italien) ermöglicht. Wir danken S. Thomaser für die Hilfestellungen bei der Datenauswertung und der Erstellung der Abbildung.

Literatur

- BAHN, M., CERNUSCA, A., INDRIST, M., KIRCHER, F. & U. TAPPEINER, 1994a: Bestandesstruktur und Ökophysiologie von Grünerlen unterschiedlichen Alters. - Ver. Ges. Ökol. 23: 19-22.
- BAHN, M., CERNUSCA, A., TAPPEINER U. & E. TASSER, 1994b: Wachstum krautiger Arten auf einer Mähwiese und einer Almbrache. - Ver. Ges. Ökol. 23: 23-30.
- CERNUSCA, A., 1976: Bestandesstruktur, Bioklima und Energiehaushalt von alpinen Zwergstrauchbeständen. - Ecol. Plan. 11: 71-102.
- CERNUSCA, A., 1978: Ökologische Veränderungen im Bereich aufgelassener Almen. - In: CERNUSCA, A. (Hrsg.): Ökologische Analysen von Almflächen im Gasteiner Tal. - Veröff. Österr. MaB-Hochgebirgsprogr. Hohe Tauern. - Wagner, Innsbruck, Bd. 2: 7-27.
- CERNUSCA, A., 1982: Standardmeteorologie und Mikrometeorologie. - In: JANETSCHKE, H. (Hrsg.): Ökologische Feldmethoden. - Eugen Ulmer, Stuttgart: 9-27.

- CERNUSCA, A., 1987: Application of computer methods in the field to assess ecosystem function and response to stress. - In: TENHUNEN, J. D., CATARINO, F. M., LANGE, O. L. & W. C. OECHEL (eds.): Plant Response to Stress. NATO ASI Series, Vol. G15. - Springer, Berlin/Heidelberg: 157-164.
- CERNUSCA, A., 1991a: Ecosystem research on grassland in the Austrian Alps and in the Central Caucasus. - In: ESSER, G. & V. OVERDIEK (eds.): Facets of Modern Ecology. - Elsevier, Amsterdam: 233-272.
- CERNUSCA, A., 1991b: Batteriebetriebenes Thermoelment-Aspirationspsychrometer für Mikroklima- und Energiehaushaltsuntersuchungen. - In: WIESER, W. & A. CERNUSCA (Hrsg.): Entwicklung und Einsatz neuer wissenschaftlicher Geräte und Methoden. - Veröff. Univ. Innsbruck, 181: 14-18.
- CERNUSCA, A. & P. DECKER, 1989: Vergleichende Atmungsmessungen in Graslandökosystemen. - In: CERNUSCA, A. (Hrsg.): Struktur und Funktion von Graslandökosystemen im Nationalpark Hohe Tauern. - Veröff. Österr. MaB-Hochgebirgsprogr. Hohe Tauern. - Wagner, Innsbruck: Bd. 13, 405-417.
- CERNUSCA, A. & M. C. SEEBER, 1980: Canopy structure, microclimate and the energy budget in different alpine plant communities. - In: GRACE, J., FORD, E. D. & P. G. JARVIS (eds.): Plants and their atmospheric environment. - Blackwell, Oxford/London/Edinburgh/Boston/Melbourne: 75-81.
- CERNUSCA, A., TAPPEINER, U., AGOSTINI, A., BAHN, M., BEZZI, A., EGGER, R., KOFLER, R., NEWESELY, Ch., ORLANDI, D., PROCK, S., SCHATZ, H. & I. SCHATZ, 1992: Ecosystem research on mixed grassland/ woodland ecosystems. First results of the EC-STEP-project INTEGRALP on Mt. Bondone. - Studi Trent. Sci. Natur., Acta Biologica, 67: 99-133.
- CERNUSCA, A. & P. VALTINGOJER, 1991: Mikrotensiometer für punktförmige Messung der Bodensaugspannung. - In: WIESER, W. & A. CERNUSCA (Hrsg.): Entwicklung und Einsatz neuer wissenschaftlicher Geräte und Methoden. - Veröff. Univ. Innsbruck, 181: 22-24.
- CETTO, P., 1963: Le praterie e la torbiera di Monte Bondone presso Trento. - Studi Trent. Sci. Natur. 1963, XL, 2: 192-227.
- DIERSCHKE, H. & M. ENGELS, 1991: Response of a *Bromus erectus* grassland (Mesobromion) to abandonment and different cutting regimes. - In: ESSER, G. & V. OVERDIEK (eds.): Facets of Modern Ecology. - Elsevier, Amsterdam: 233-272.
- GISI, U. & J. STÖCKLIN, 1989: Veränderung der Versorgung der Vegetation mit Stickstoff, Phosphor und Kalium nach der Brachlegung von Magerwiesen. - Acta Oecol. 10 (4): 397-410.
- LANDOLT, E., 1977: Ökologische Zeigerwerte der Schweizer Flora. - Veröffent. Geob. Inst. Rübel, Hf. 64, Zürich.
- OSBORNOVÁ, J., KOVÁROVÁ, M., LEPS, J. & K. PRACH, 1990: Succession in Abandoned Fields. Studies in Central Bohemia, Czechoslovakia. - Geobotany 15. - Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London: 168 S.
- SCHIEFER, J., 1981: Bracheversuche in Baden-Württemberg. - Beiheft 22 zu den Veröff. Naturschutz und Landschaftspflege in Baden-Württemberg, Karlsruhe.
- SPATZ, G., FRICKE, TH. & S. PROCK, 1993: Wirtschaftsbedingte Vegetationsmuster auf Almweiden der Hohen Tauern. - Revue de Géographie Alpine, Bd. 3: 83-93.
- SPATZ, G., WEIS, G. B. & D. M. DOLAR, 1978: Der Einfluß der Bewirtschaftungsänderungen auf die Vegetation von Almen im Gasteiner Tal. - In: CERNUSCA, A. (Hrsg.): Ökologische Analysen von Almflächen im Gasteiner Tal. - Veröff. Österr. MaB-Hochgebirgsprogr. Hohe Tauern. - Wagner, Innsbruck: 163-180.
- TAPPEINER, U. & A. CERNUSCA, 1989: Auswirkungen des Auflassens einer Almweide auf die Bestandesstruktur und das Lichtklima. - In: CERNUSCA, A. (Hrsg.): Belastung und Belastbarkeit alpiner Ökosysteme. - Veröff. Österr. MaB-Hochgebirgsprogr. Hohe Tauern. - Wagner, Innsbruck: 531-548.
- TAPPEINER, U. & A. CERNUSCA, 1990: Charakterisierung subalpiner Pflanzenbestände im Zentralkaukasus anhand von Bestandesstruktur und Strahlungsabsorption. - Verh. Ges. Ökol. XIX/II: 768-778.
- TAPPEINER, U. & A. CERNUSCA, 1991: The combination of measurements and mathematical modelling for assessing canopy structure effects. - In: ESSER, G. & V. OVERDIEK (eds.): Facets of Modern Ecology. - Elsevier, Amsterdam: 161-194.
- TAPPEINER, U. & A. CERNUSCA, 1993: Alpine meadows and pastures after abandonment. Results of the Austrian MaB-programme and the EC-STEP project INTEGRALP. - Pirineos, 141-142: 97-118.

Adresse

Dr. Ulrike Tappeiner, Univ.-Prof. Dr. Alexander Cernusca, Institut für Botanik der Universität Innsbruck, Sternwartestr. 15, A-6020 Innsbruck.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1994

Band/Volume: [23_1994](#)

Autor(en)/Author(s): Tappeiner Ulrike, Cernusca Alexander

Artikel/Article: [Bestandesstruktur, Energiehaushalt und Bodenatmung einer Mähwiese, einer Almweide und einer Almbrache 49-56](#)