MÖSELER, B. M. & MOLENDA, R., Hrsg., 1999, Lebensraum Blockhalde, 49-65

Zusammenhänge zwischen Mikroklima und Moosvegetation der Arkose-Blockhalden im Warchetal (Hohe Ardennen / Belgien)

Correlations between microclimate and moss vegetation on arcose block fields in the Warche Valley (Belgium)

MONIKA HACHTEL, KLAUS WEDDELING und BODO MARIA MÖSELER

Kurzfassung: 1996 und 1997 wurden auf den Arkose-Blockhalden des Warchetales bei Robertville / Belgien vegetationsökologische Untersuchungen durchgeführt. Anhand der Ergebnisse mikroklimatischer Langzeitmessungen werden typische Verteilungsmuster der Moosvegetation im Haldenbereich verständlich. Kleinräumig sehr unterschiedliche Tagesgänge von Lufttemperatur und relativer Luftfeuchte verursachen sowohl eine charakteristische horizontale Verteilung der Bryophyta auf der Haldenoberfläche als auch eine vertikale Staffelung dieser Artengruppe in die Blockzwischenräume hinein. Am Fuß der nordexponierten Halde können Kaltluftquellen lokalisiert werden. Die hier ermittelten Temperaturgänge lassen nicht auf dauerhaft vorhandenes Eis im Inneren des Haldenkörpers schließen.

Schlagworte: Blockhalden, Mikroklima, Moose, Kaltluft, Sandstein-Blöcke, Vegetationsökologie

Abstract: In 1996 and 1997 longterm studies of vegetation and microclimate on stony debris formations (metamorphic sandstone, arcose) in the valley of the Warche creek near Robertville / Belgium have been realized. According to the results of the microclimatic measurements a typical distribution of bryophytes on the debris can be derived: specific diurnal rythms of temperature and humidity cause a horizontal distribution of the mosses on the surface as well as a vertical distribution within the intersticial system of the boulders. At the bottom of the north exposed slope cold air streams out of the ground. In contrast to other extraalpin debris formations their temperature does not indicate permanent ice in the underground.

Keywords: block fields, stony debris, microclimate, bryophytes, cold airstreams, sandstone boulders, vegetation ecology

1. Einleitung

Blockhalden und ihre charakteristische Flora und Vegetation gehören nach gängiger Ansicht zu den seltenen, in mehr oder weniger großen Teilbereichen primär waldfreien Standorten Mitteleuropas und beherbergen meist auch heute noch ihre ursprüngliche, natürliche Vegetation ("Ur-Landschaft" nach MOLENDA 1996 b, KNAPP 1979, 1980). Auf Blockhalden montaner Mittelgebirgslagen bilden insbesondere viele Kryptogamen mit nordisch-borealer Verbreitung kleine Exklaven aus, was mit der besonderen mikroklimatischen Situation dieser Standorte zusammenhängt. Es überrascht daher nicht, daß Flora und Vegetation dieser Ökosysteme gut untersucht sind. Als Beispiele seien hier die Arbeiten von PREIS (1937), EGGER & MATTERN (1959), BOHN (1981), MARSTALLER (1986), PHILIPPI (1986), HALFMANN (1988) und MATZKE (1990) genannt.

Vegetationsökologische Untersuchungen an Blockhalden, die über die Beschreibung von Arteninventar und Bestandesstruktur hinausgehen und pflanzenrelevante abiotische Standortparameter am Wuchsort erfassen, sind dagegen seltener und erst in neuerer Zeit durchgeführt worden. Neben bodenkundlichen Untersuchungen können vor allem Messungen des Mikroklimas die Beziehungen zwischen den standortprägenden abiotischen Faktoren und der Vegetationsstruktur erklären. Entsprechende Meßergebnisse aus verschiedenen Haldensystemen sind z. B. in den Arbeiten von STÖCKER (1967), KOPERSKI (1978), JAHNS & FRITZLER (1982) und WUNDER & MÖSELER (1996), ansatzweise auch bei DÜLL-HERRMANNS (1972), LÜTH (1990) und HALFMANN (1991) zu finden.

Die Blockhalden im Warchetal / Hohe Ardennen in Belgien sind floristisch und z.T. auch vegetationskundlich bereits gut bearbeitet (SCHWICKERATH 1944, PESCHEUR & LAMBINON 1968, JAQUES DE DIXMUDE 1988, MATZKE 1990). Vegetationsökologische Untersuchungen können jedoch zur Klärung der folgenden Fragen beitragen:

- Wie gliedert sich die Vegetation vom Haldenfuß zum Haldenkopf?
- Gibt es Korrelationen zwischen Mikroklima und Vegetation?
- Lassen sich mikroklimatische Kleinstandorte unterscheiden?
- Ändert sich die Vegetation innerhalb des oberflächennahen Hohlraumsystems der Blockhalde mit zunehmender Tiefe?
- Spielen Kaltluftströme in den Blockhalden des Warchetales eine prägende Rolle?

Zur Beantwortung dieser Fragen wurden von Juni 1996 bis August 1997 vegetationskundliche und mikroklimatische Untersuchungen an den Blockhalden im Warchetal durchgeführt. Neben der Erfassung der Phanerogamen und Bryophyten innerhalb zweier Transekte stand insbesondere die Verteilung der Bryophyten auf Kleinstandorte innerhalb der Halden-Oberfläche im Mittelpunkt. Parallel dazu wurden über mehr als ein Jahr als wichtige klimatische Faktoren Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit an verschiedenen charakteristischen Punkten gemessen. Anhand autökologischer Angaben aus der bryologischen Literatur wird die kleinstandörtliche Bindung einzelner Arten diskutiert.

2. Geographische Lage, Geologie und Klima des Untersuchungsgebietes

Die untersuchten Blockhalden befinden sich ca. 30 km südlich von Aachen im Osten Belgiens (Wallonien) im Tal der Warche, einem Zufluß der Amel, die über die Ourthe in die Maas entwässert. Die an der Südabdachung des Hohen Venns in einer Höhenlage von 500 m ü.NN nach Westen fließende Warche hat ein stellenweise bis zu 100 m tief eingeschnittenes Kerbtal geschaffen. Die Blockhalden befinden sich ca. 1,5 km unterhalb des Stausees von Robertville sowohl auf der süd- als auch auf der nordexponierten Seite des Tales.

Das Warchetal liegt im Übergangsbereich zwischen dem Rheinischen Schiefergebirge und den Hohen Ardennen am Südost-Rand des Massivs von Stavelot, einer Struktur der kaledonischen Gebirgsbildung. Hier überwiegen kambro-ordovizische Gesteine. Die Grenze zwischen Unterdevon und Ordovizium verläuft quer durch das Untersuchungsgebiet. Die Blockhalden selbst werden von sauren, nährstoffarmen Arkosen, das sind metamorph veränderte Sandsteine des Unterdevon, gebildet, die in einem Winkel von etwa 40 ° nach Nordwesten ausstreichen. Nordwestlich treten Phyllite des Ordovizium an die Oberfläche (Abb. 8, RICHTER 1985, JAQUES DE DIXMUDE 1988). Die einzelnen Felsblöcke der nordexponierten Halde, die Durchmesser von bis zu ca. 2 m aufweisen, sind relativ locker gelagert und lassen große Zwischenräume und Höhlungen frei. Auf der wesentlich kleinflächigeren, südexponierten Halde haben die Blöcke mit bis zu ca. 50 cm deutlich geringere Durchmesser und sind dementsprechend auch dichter gelagert. Mit Neigungswinkeln zwischen 25 und 40 ° erweisen sich die Hänge als sehr steil. Die Bodenentwicklung auf den Halden ist durch kleinflächige, aber z.T. bis zu 20 cm mächtige Rohhumusakkumulationen geprägt. Der Mineralanteil im Feinboden ist gering, in weiten Bereichen der offenen Halden fehlt eine Bodenauflage völlig. In den nicht von Blöcken beeinflußten Partien sind überwiegend saure Ranker entwickelt.

Mit einer Jahresmitteltemperatur von etwa 7 °C, jährlichen Niederschlägen von etwa 1.150 mm und einer Entfernung von ca. 200 km zur Nordsee ist das Klima der Region als ozeanisch getöntes Berglandklima zu bezeichnen (PONCELET 1972, Institut Royal Météorologique de Belgique 1996, 1997).

3. Material und Methoden

3.1. Mikroklimatische Untersuchungen

Die Temperatur- und Luftfeuchte-Messungen wurden mit zweierlei elektronischen Meßgeräten vorgenommen: Squirrel Meter/Logger Typ SQ8-3U/1L und SQ32-16U der Firma Grant Instruments und Tinytalk II Data Logger Typ IP68 der Firma Gemini Data Loggers (Meßgenauigkeit der Thermistor-Temperaturfühler 0,4 °C, die der Luftfeuchtigkeitsmesser 4 % bei 20 °C, Temperaturkoeffizient -0,2 % / °C). Die Erfassung der Klimadaten erfolgte im 15-Minuten-Rhythmus. Beide Gerätetypen verfügen über elektronische Langzeitspeicher, die mit Hilfe eines Laptops im Gelände ausgelesen wurden.

Um einen Überblick über das Mikroklima der offenen und bewaldeten Blockhaldenbereiche sowohl des süd- als auch des nordexponierten Hanges (im folgenden auch kurz Süd- und Nordhang genannt) zu gewinnen, wurden von Juni 1996 bis Juni 1997 vier feste Meßstationen eingerichtet:

- im offenen Bereich des Südhanges,
- im offenen Bereich des Nordhanges,
- im bewaldeten Bereich des Südhanges und
- im bewaldeten Bereich des Nordhanges.

Alle Stationen lagen ca. 20-40 m über dem Talgrund im oberen Unterhang der Halden. An diesen Stationen wurde in drei unterschiedlichen Positionen die Temperatur gemessen:

- in 20 cm Höhe,
- in einem ebenerdigen Moospolster,
- in den Zwischenräumen der oberflächlich liegenden Blöcke in 50-60 cm Tiefe.

In den beiden offenen Haldenbereichen wurde zusätzlich je ein Luftfeuchtemesser in 20 cm Höhe installiert. Auf diese Weise konnten die Temperaturverhältnisse im Moospolster und im Haldenkörper mit der Lufttemperatur in geringer Höhe über der Halde verglichen werden. Ab Juni 1997 wurden zusätzlich die Temperatur- und Luftfeuchteverhältnisse der Kaltluftquellen am Fuß der nordexponierten Halden gemessen. Alle Meßfühler wurden sorgfältig gegen direkte Einstrahlung abgeschirmt.

3.2. Vegetationskundliche Untersuchungen

3.2.1. Inventarisierung und Nomenklatur

Die Erfassung der Phanerogamen erfolgte im Juni und Juli 1996, die Frühjahrsblüher wurden zusätzlich im April 1997 aufgenommen. Die Inventarisierung der Moose fand im Oktober 1996 sowie zwischen April und Juni 1997 statt. Pflanzengeographische und standörtliche Angaben zu den Phanerogamen wurden OBERDORFER (1994), zu den Bryophyten DÜLL (1980), teilweise auch HERZOG (1926) entnommen. Die Nomenklatur der Phanerogamen und Farne richtet sich nach OBERDORFER (1994), die der Moose nach FRAHM & FREY (1992).

3.2.2. Direkte Gradientenanalyse (Transektmethode)

Ziel der von WHITTAKER (1967) entwickelten direkten Gradientenanalyse ist es, die Veränderung der Vegetation entlang von Gradienten – hier Lage im Hang und Mikroklima – zu dokumentieren. Zur Darstellung der Phanerogamen wurde sowohl auf dem Süd- als auch auf dem Nordhang vom Talgrund bis zur Hochfläche je ein Transekt mit aneinandergrenzenden 10 x 10 m-Quadraten angelegt. Für die Erfassung der Bryophyten wurde in jedem großen Transektfeld eine kleinere Teilfläche (2 x 2 m) bearbeitet. Um die offenen Haldenbereiche detaillierter betrachten zu können, wurden hier je Feld zwei dieser kleineren Plots aufgenommen. In der vorliegenden Darstellung werden nur die Ergebnisse hinsichtlich der Bryophyten wiedergegeben. Zur Abschätzung der Deckungsgrade der Moose wurde eine eigene Skala von I-IV verwendet. Es bedeuten:

I			≤ 0,25 %	der Aufnahmefläche
II	> 0,25	bis	≤ 1,00 %	der Aufnahmefläche
III	> 1,00	bis	≤ 2,50 %	der Aufnahmefläche
IV	> 2,50	bis	≤ 10,00 %	der Aufnahmefläche

Höhere Deckungsgrade als IV traten für einzelne Arten nicht auf.

3.2.3. Kleinstandörtliche Verteilung der Bryophyten

Bei der Inventarisierung der Bryophyten wurden alle von der betreffenden Art besiedelten Kleinstandorte erfaßt. So sollten Unterschiede in der standörtlichen Bindung der einzelnen Sippen dokumentiert werden, um Differenzierungen zwischen dem Arteninventar der Haldenoberfläche einerseits und den oberflächennahen Blockzwischenräumen andererseits zu finden. Hierzu wurden folgende Standortkategorien festgelegt:

- auf Humus, auf der Haldenoberfläche
- auf Humus, in den Blockzwischenräumen
- auf Fels, auf der Haldenoberfläche
- auf Fels, in den Blockzwischenräumen
- an Baumstämmen bis in 2 m Höhe
- auf Totholz

4. Ergebnisse und Diskussion

4.1. Mikroklima

Die ausgeprägte Differenzierung der Blockhalden-Vegetation im Warchetal wird in hohem Maße durch den für solche Halden charakteristischen kleinräumigen Wechsel der mikroklimatischen Standortbedingungen verursacht. Hinzu kommen klimatische Unterschiede, die auf die verschiedenen Expositionen der beiden untersuchten Hänge zurückzuführen sind. Das Bestandesklima ist also durch die Überlagerung des Hangklimas mit blockhaldenspezifischen Phänomenen gekennzeichnet. Für die Ausbildung des Mikroklimas sind daher im Untersuchungsgebiet folgende Standortmerkmale von Bedeutung:

- Nord- und Südexposition
- bewaldete und offene Haldenbereiche
- Blockzwischenräume – Haldenoberfläche – oberflächennaher Luftkörper

Allein anhand dieser drei differenzierenden Merkmale lassen sich für jeden beliebigen Ort auf den Halden zahlreiche unterschiedliche Kleinstandorte beschreiben.

Im folgenden soll an einigen Beispielen von Minimum-, Maximum- und Mitteltemperatur sowie ausgesuchten Tages- und Jahresgängen insbesondere das Bestandesklima der ausgedehnten nordexponierten Halden dargestellt werden. Die Erläuterungen gelten vor allem dem Mikroklima der offenen Halden, da hier Extreme besonders deutlich hervortreten.

4.1.1. Hang- und expositionsabhängige Differenzierungen des Mikroklimas

Die hang- und expositionsabhängigen mikroklimatischen Differenzierungen der Standorte treten am deutlichsten beim Vergleich der Temperaturgänge in Moospolstern an der Oberfläche der süd- und nordexponierten, offenen Halden zutage. In Abb. 1 sind die Wochenmaxima über den gesamten Meßzeitraum dargestellt.

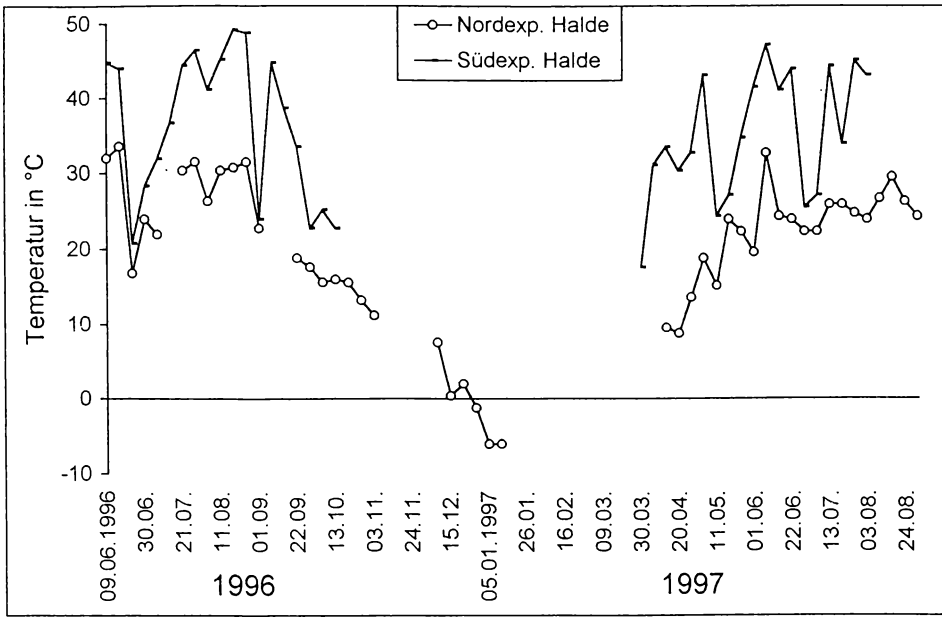

Abbildung 1. Vergleich der Wochenmaxima der Temperatur in Moospolstern auf den Haldenoberflächen (über Fels) der offenen nord- und südexponierten Halde von Juni 1996 bis August 1997. Unterbrechungen der Kurven sind auf Ausfälle der Meßgeräte zurückzuführen.

Die Temperaturmaxima des nordexponierten Hanges liegen an Strahlungstagen innerhalb der Vegetationsperiode immer um 15-20 °C unter denen des südexponierten Hanges. Hier macht sich bemerkbar, daß die Intensität der Sonnenstrahlung zwischen 30 ° geneigten Süd- und Nordhängen starke Unterschiede aufweist (SAUBERER & HÄRTEL 1959). Auf der südexponierten Seite fällt die Strahlung fast senkrecht ein, während auf

der Nordseite eine nahezu hangparallele Einstrahlung erfolgt. Die Südhalde zeigt auf ihrer Oberfläche eine deutlich größere Temperaturamplitude als die Nordhalde: auf der Halde des Südhanges wurden als absolutes Maximum 50 °C, auf der Halde des Nordhanges nur etwa 34 °C erreicht. Die relative Luftfeuchte in 20 cm Höhe sinkt dabei auf der südexponierten Halde bis auf 10 %, im nordexponierten Teil nie unter 25 %. An wolkigen Tagen sind diese Unterschiede weitgehend nivelliert. In den bewaldeten Haldenbereichen beider Expositionen läßt sich bei den Temperaturverhältnissen ein ähnlicher Trend beobachten; hier ist allerdings in beiden Fällen die Temperaturamplitude abgeschwächt.

Im Blockzwischenraum des Haldenkörpers sind diese expositionsbedingten Unterschiede schon in einer Tiefe von 50-60 cm weitgehend aufgehoben. Die Wochenmittel der Lufttemperatur im Haldenkörper beider Hänge unterscheiden sich auch im Sommer nie um mehr als 2-3 °C. Die absoluten Temperaturmaxima im Blockmaterial liegen während des Meßzeitraumes für die offenen Haldenbereiche beider Talseiten bei etwa 21 °C.

4.1.2. Mikroklimatische Differenzierung zwischen Haldenoberfläche und Hohlraumsystem

Eine vertikale Differenzierung der Temperatur zwischen Hohlraumsystem, Haldenoberfläche und darüberliegender, bodennaher Luftschicht ist sowohl auf der süd- als auch der nordexponierten Halde zu beobachten. Sehr deutlich wird diese vertikale Temperaturabfolge bei der Betrachtung eines ausgewählten Tagesganges (Abb. 2). Während sich die Haldenoberfläche mittags auf 25 °C erwärmt, erreicht die Luft im Haldenkörper mit etwa einstündiger Verspätung maximal 17 °C. Die Luft über der Halde erwärmt sich durch den Wärmeaustausch mit der Haldenoberfläche und zeichnet daher deren Temperaturverlauf nach. Der Luftraum zwischen den Blöcken besitzt in jeder Hinsicht ein ausgeglicheneres Mikroklima als die Haldenoberfläche. Im Sommer ist es hier generell kühler, im Winter hingegen wärmer als auf der Haldenoberfläche, insbesondere dann, wenn eine Schneedecke vorhanden ist (Abb. 3). In diesem Fall ist das Haldeninnere vom täglichen Temperaturgang des Luftraums darüber weitgehend abgeschirmt.

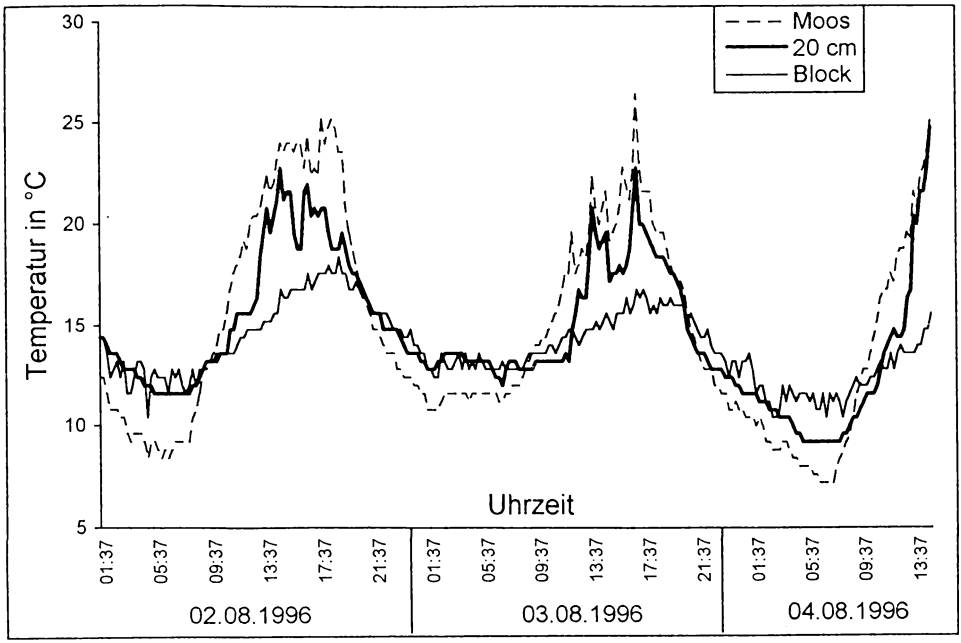

Abbildung 2. Temperaturverlauf in der offenen, nordexponierten Halde zwischen den Blöcken, in 20 cm über der Halde und in einem Moospolster auf der Haldenoberfläche in der Zeit vom 2.8 bis 4.8.1996 (Strahlungstage).

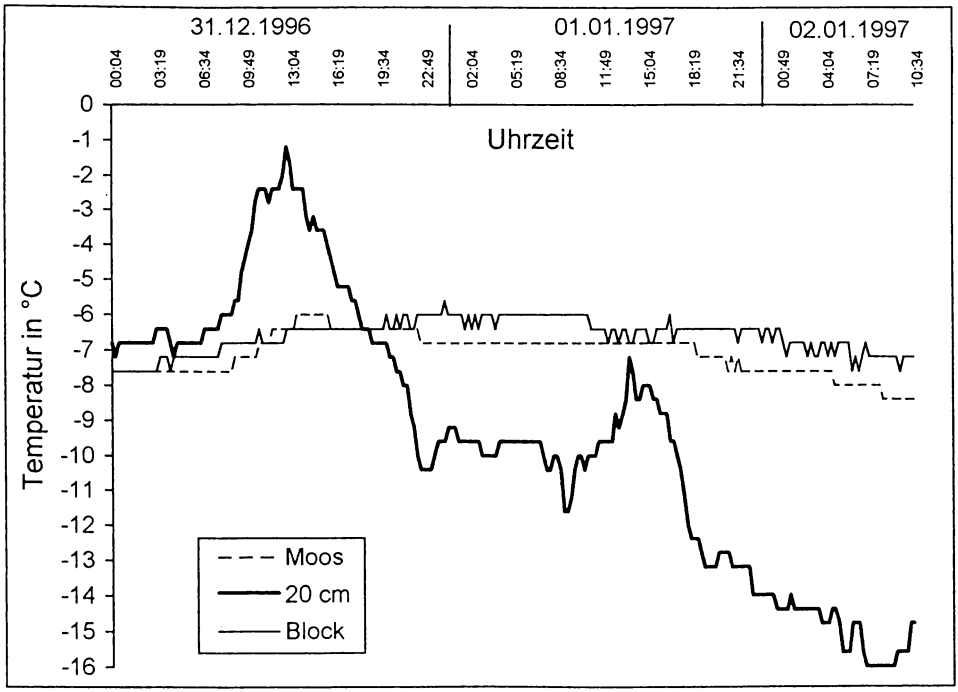

Abbildung 3. Temperaturverlauf während Schneebedeckung in der offenen, nordexponierten Halde zwischen den Blöcken, in 20 cm über der Halde und in einem Moospolster auf der Haldenoberfläche in der Zeit vom 31.12.1996 bis 2.1.1997.

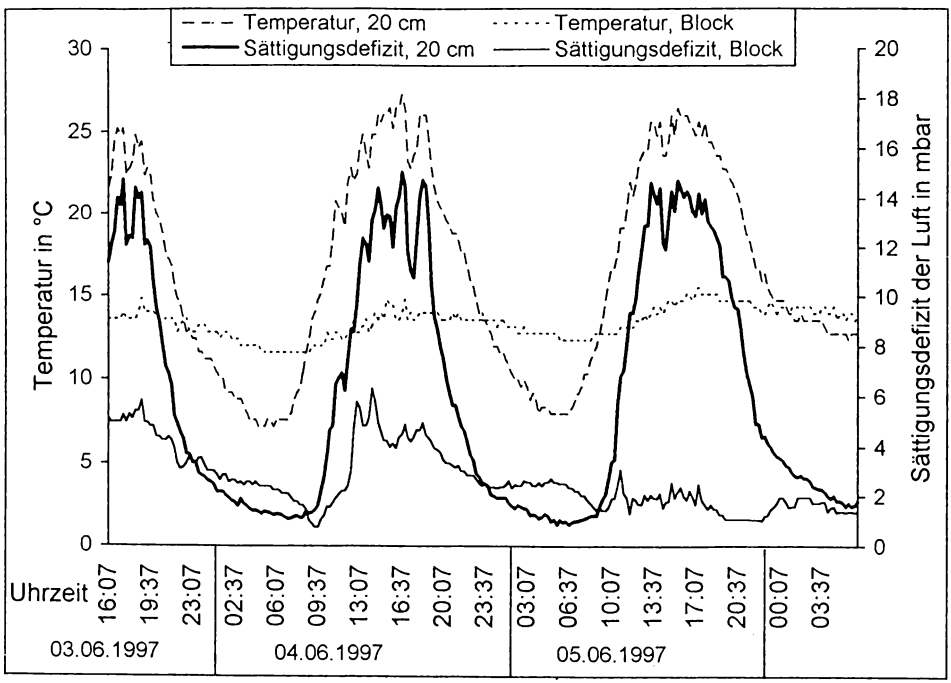

Abbildung 4. Vergleich von Temperaturverlauf und Sättigungsdefizit im Hohlraumsystem und in 20 cm Höhe in der Zeit vom 3.6. bis 6.6.1997.

Die relative Luftfeuchte ist einer direkten Messung leicht zugänglich und korreliert mit der Temperatur in der Regel in komplementärer Weise. BARKMANN (1977) weist allerdings daraufhin, daß das sogenannte Sättigungsdefizit der Luft eine bessere Kenngröße zur Beschreibung ihrer Aufnahmefähigkeit für Wasserdampf ist. Es läßt sich aus Temperatur und relativer Feuchte mit Hilfe der MAGNUSschen Dampfdruckformel berechnen. In Abb. 4 sind Sättigungsdefizit und Temperatur im Blockzwischenraum und in 20 cm Höhe über der Halde für einen Strahlungstag (4.6.1997) und einen Tag mit mäßiger Bewölkung (5.6.1997) dargestellt: deutlich ist der Zusammenhang zwischen beiden Meßgrößen im Tagesgang zu verfolgen. Bei Erhöhung der Lufttemperatur steigt auch das Sättigungsdefizit rapide an, bei Temperaturerniedrigung sinkt es. Tagsüber liegt das Defizit im Blockzwischenraum immer deutlich unter den Werten über der Halde. Während an der Oberfläche Werte um 13 mbar erreicht werden, gehen sie in den Spalten nie wesentlich über 5 mbar hinaus. Die Moose trocknen hier daher wesentlich langsamer aus und können länger assimilieren (s.u.). In der Nacht kühlt die oberflächennahe Luftschicht rasch ab; ihr Sättigungsdefizit liegt dann unter den Meßwerten für den Blockzwischenraum. Die dann herrschenden Bedingungen können aber von den Moosen nicht effizient genutzt werden, da kein Licht für die Assimilation zur Verfügung steht. Besonders an strahlungsarmen Tagen herrscht daher im Hinblick auf das Sättigungsdefizit ein sehr ausgeglichenes Mikroklima im Haldenkörper. Im niederschlags- und bewölkungsreichen Großklima der Ardennen ist eine solche Witterung typisch, wirklich heiße Tage sind in diesen montanen Lagen selten (PONCELET 1972).

An dieser Stelle sei auf das nur kurze "Zeitfenster" für die Kryptogamen an der Haldenoberfläche hingewiesen, während dessen sie mit positiver Stoffbilanz assimilieren können. Für die meisten Moose dieser Standorte (z. B. *Racomitrium lanuginosum*) gilt, daß sie unter 70-80 % relativer Feuchte (bzw. dem entsprechenden Sättigungsdefizit) nicht mehr in der Lage sind, aus der Umgebungsluft Wasser zu entnehmen, sondern auszutrocknen beginnen (mdl. Mitt. J.-P. FRAHM). Das bedeutet, daß in der Halde zu dieser Jahreszeit ab etwa 11:00 Uhr ein Wasserdefizit beginnt, die Moose je nach Speichervermögen nach einiger Zeit lufttrocken sind und erst am Abend wieder Wasser aufnehmen können. Zwischen der Dunkelheit der Nacht und der Trockenphase am Tag bleibt also nur ein kurzes Zeitfenster für eine positive Stoffbilanz.

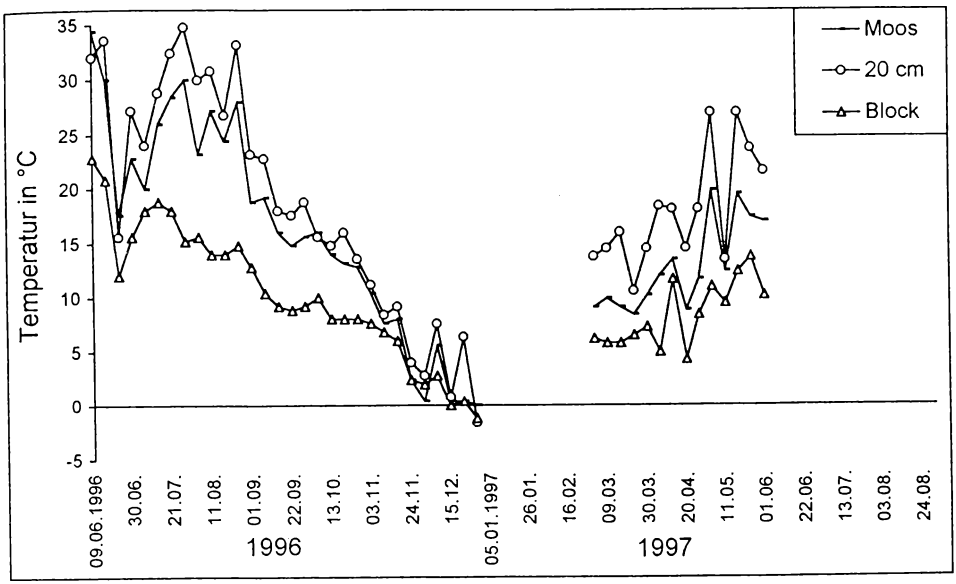

Abbildung 5. Wochenmaxima der Temperatur im Betulo-Sorbetum der nordexponierten Halde (Jun. 1996 - Aug. 1997) zwischen den Blöcken, 20 cm über der Halde und in einem Moospolster auf der Haldenoberfläche (Unterbrechungen durch Ausfälle der Meßgeräte).

4.1.3. Mikroklima im Betulo-Sorbetum LOHMEYER & BOHN 1972

Ein interessantes Detail im Verlauf der Wochenmaxima zeigt sich am kühlfeuchten Standort des Betulo-Sorbetum LOHMEYER & BOHN 1972, dem bewaldeten Teil der nordexponierten Halde (vgl. Kap. 4.2.1). Hier werden die Temperaturmaxima nicht, wie selbst bei einer fast hangparallelen Einstrahlung zu erwarten, im Moospolster auf der Bodenoberfläche erreicht, sondern in der Luft in 20 cm Höhe; während einer Trockenperiode waren dies immerhin fast 35 °C (Abb. 5). Aufgrund der Beschattung durch Bäume fehlt der Einfluß direkter Einstrahlung und damit eine starke Erwärmung der Bodenoberfläche, die somit über weite Teil des Jahres gut durchfeuchtet und kühl bleibt.

4.1.4. Kaltluftaustritte

Ein anderes blockhaldentypisches Phänomen stellen Kaltluftaustritte am Hangfuß dar, über die von verschiedenen Haldensystemen berichtet wird (FURRER 1961, 1966, MOLENDA 1996 a, b, WUNDER & MÖSELER 1996). Sie treten in der Regel während der Vegetationsperiode am Haldenfuß auf. Im Winter kann es, durch Umkehrung der sommerlich hangabwärts gerichteten Luftströmung, am Haldenkopf zum Austritt relativ warmer Luft kommen. Im Warchetal konnten wir Warmluftaustritte nicht, Kaltluftquellen nur in geringem Umfang in einem kleinen Bereich der offenen Nordhalden beobachten. Die Bewegung der austretenden Luft ist im Gegensatz zu anderen Haldensystemen, wo man Strömungen mit Geschwindigkeiten von mehreren m/sec gemessen hat (MOLENDA 1996 b), sehr gering. Abb. 6 gibt die Wochenmittel- sowie Maximal- und Minimaltemperaturen einer Kaltluftquelle am Hangfuß der nordexponierten Halde im Vergleich zur Lufttemperatur in 20 cm Höhe während zweier Monate wieder. Die Minima der Kaltluft aus den Felszwischenräumen und der bodennahen Luftschicht in 20 cm Höhe fallen weitgehend zusammen. Dies könnte darauf hinweisen, daß die abgeschirmten tieferen Gesteinslagen in der Halde die Quelle für die Abkühlung darstellen. Mittelwerte und Maxima der Temperatur liegen dagegen an den Kaltluftaustritten ständig deutlich unter denen der Luft über der Halde.

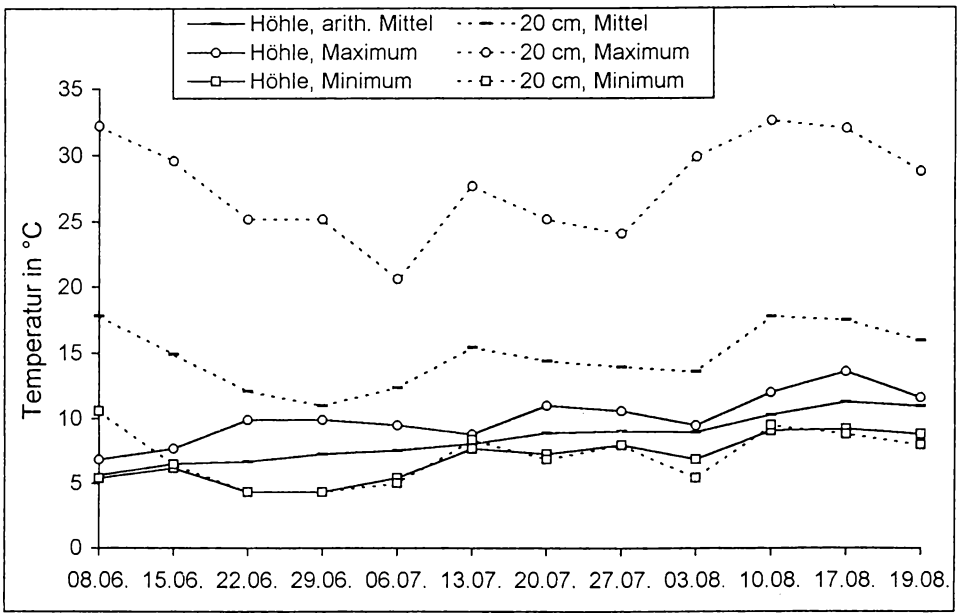

Abbildung 6. Wochenmittel, -maxima und -minima der Temperatur an einer Kaltluftaustrittsstelle am Fuß der nordexponierten Halde im Vergleich zur Temperatur in 20 cm Höhe im Juni und August 1997.

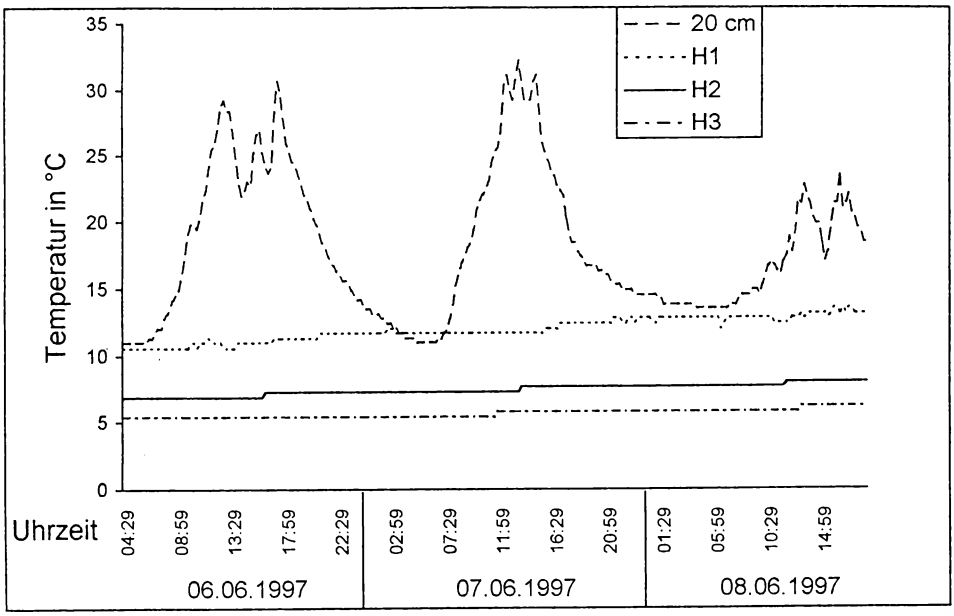

Abbildung 7. Tagesgang der Temperatur in drei Kaltluftaustrittsstellen (H1-H3) am Fuß der nordexponierten Halde im Vergleich zur Temperatur in 20 cm Höhe in der Zeit vom 6.6. bis 8.6.1997 (6.6. und 7. 6. Strahlungstage, 8.6. bewölkt).

In Abb. 7 sind die Tagesgangkurven dreier Kaltluftstellen dargestellt. Parallel durchgeführte Luftfeuchtemessungen ergaben, daß die Luftfeuchte an diesen Stellen immer nahe 100 % liegt, das Sättigungsdefizit somit nur sehr gering ist.

Es lassen sich die folgenden mikroklimatischen Charakteristika für diese Sonderstandorte beobachten:

- Die Tagesgänge der Temperatur bilden die Schwankungen der Lufttemperatur in der Umgebung so gut wie nicht ab. Ein kleinräumiger Austausch von Luft zwischen Halde und Oberfläche findet hier also nicht statt.

- Ein allmählicher Anstieg der Umgebungstemperatur über einen längeren Zeitraum wirkt sich auch in einem Anstieg der Temperatur der Kaltluft aus (Abb. 6). Das bedeutet, daß die Umgebungsluft mit einer gewissen zeitlichen Verzögerung in der Halde abgekühlt wird.

- Wie Abb. 7 zeigt, existiert am Fuß der Halde eine relativ kleinräumige Differenzierung mit unterschiedlich niedrig temperierten Kaltluftaustritten. In weiten Teilen des Haldenfußes fehlen entsprechende Austritte jedoch ganz.

Aufgrund der Kleinflächigkeit dieser Standorte konnte kein Zusammenhang zwischen Kaltluftaustritten einerseits und dem Vorkommen bestimmter Arten andererseits gefunden werden. Im folgenden Abschnitt wird dieses Phänomen daher nicht mehr aufgegriffen.

4.2. Vegetation

4.2.1. Übersicht über die Waldgesellschaften im Talquerschnitt

Die Waldgesellschaften des Warchetals sind bereits bei JAQUES DE DIXMUDE (1988) und MATZKE (1990) ausführlich beschrieben worden. Im Talgrund, dem Auebereich der Warche, finden sich neben z.T. ausgedehnten Douglasien- und Lärchenforsten noch Reste von Auwäldern. Im Tal der Warche handelt es sich dabei um das artenreiche Stellario

nemorum-Alnetum glutinosae LOHMEYER 1957. Im nordexponierten Hang schließen sich hangaufwärts ausgedehnte offene Haldenbereiche an, die in Kap. 4.2.2 beschrieben werden. Im blockbeeinflußten Mittel- und Oberhang findet sich das Betulo carpaticae-Sorbetum aucupariae LOHMEYER & BOHN 1972 (MATZKE 1990), eine kryptogamenreiche, extrazonale Waldgesellschaft mit borealem Florengepräge. In nicht von Blöcken beeinflußten Standorten stocken *Quercus petraea*-reiche, durchgewachsene Niederwälder, die vermutlich aus bodensauren Buchenwäldern hervorgegangen sind (Abb. 8). Im südexponierten Hang sind die offenen Halden wesentlich kleinflächiger als im Nordhang. Der weitaus größte Teil der Südhalde ist mit einer von *Quercus petraea* dominierten Waldgesellschaft bestanden. Im Oberhang schließen großflächig Fichtenforste an.

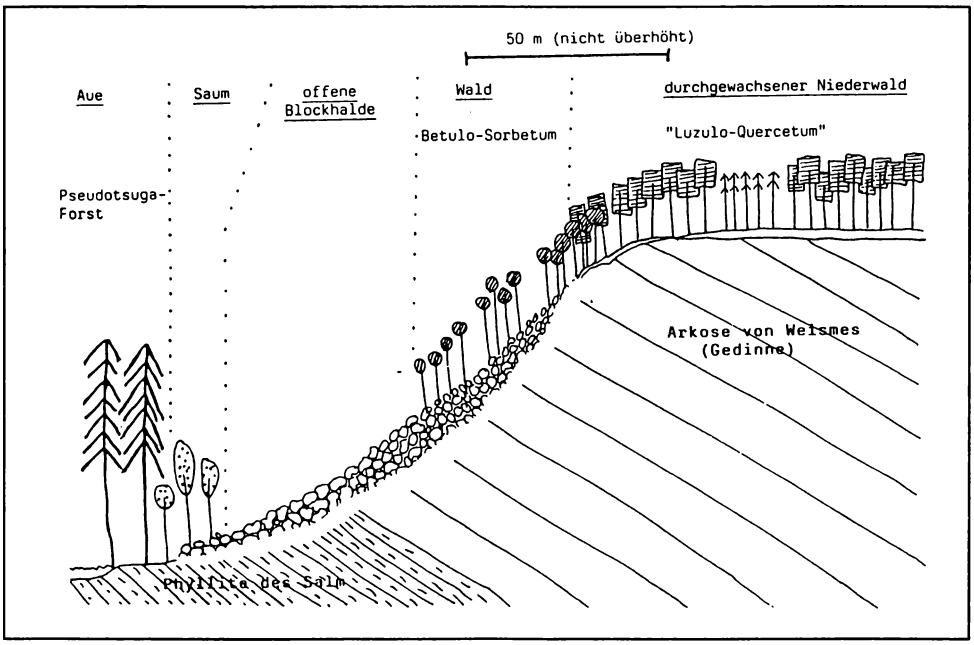

Abbildung 8. Schematischer Querschnitt durch den nordexponierten Hang: reale Vegetation und Geologie.

4.2.2. Die offenen Haldenbereiche

Auf den unbewaldeten, besonnten Blockhaldenbereichen beider Talseiten dominieren Kryptogamen – vor allem Moose mit über 50 Arten, aber auch Flechten sowie Grünalgen -, das Inventar an Phanerogamen und Farnen ist mit nur wenig mehr als sieben Arten ausgesprochen artenarm.

Die ausgedehnten, offenen Haldenbereiche im Nordhang zeigen eine ausgeprägte, mosaikartige Verteilung der Vegetationseinheiten. Die Kryptogamen erreichen hier einen hohen Anteil an der Gesamtbiomasse und eine große Artenvielfalt. Auf den exponierten Felsblöcken dominieren *Racomitrium lanuginosum*, *Andreaea rupestris* und *Orthodicranum montanum*, teilweise sind die freien Felsflächen auch zu großen Anteilen mit Krustenflechten und Algen bedeckt. Die dünne Humusschicht zwischen den einzelnen Blökken ist oberflächennah mit *Campylopus flexuosus*, *Dicranum scoparium*, *Polytrichum formosum*, *P. juniperinum*, *Bazzania trilobata*, *Pohlia nutans* u.a. bedeckt. Stellenweise treten hier auch Polster mit *Sphagnum quinquefarium* auf. In den Zwischenräumen der Blöcke befindet sich ein kompliziertes Mosaik von Kleinstandorten, in denen Arten wie *Diplophyllum albicans*, *Gymnocolea inflata*, *Sphenolobus minutus*, *Barbilophozia attenuata* und *Plagiothecium laetum* typisch sind (Abb. 9). Zwischen den felsigen Blockbereichen sind inselartig humusreichere Flächen entstanden, in denen *Calluna vulgaris*, *Deschampsia flexuosa* und *Vaccinium myrtillus* fußgefaßt haben. Teilweise ist hier auch Jungwuchs von *Betula carpatica*, *Sorbus aucuparia* und subspontaner Aufwuchs von *Picea abies* zu beobachten. Eingestreut sind kleinere Baumgruppen mit Karpaten-Bir-

ken, deren Unterwuchs ebenfalls aus *Vaccinium*-Arten, *Calluna vulgaris* etc. besteht. In den Grenzbereichen zu diesen Inseln und zum geschlossenen Wald treten besonders *Sphagnum quinquefarium*, *Polytrichum formosum*, *Hylocomium splendens* und *Pleurozium schreberi*, zudem verschiedene Cladonien wie *Cladonia portentosa*, *C. gracilis* und *C. squamosa* teilweise massiv hervor.

Im Gegensatz zum Nordhang ist die unbewaldete Halde des Südhanges fast frei von höheren Pflanzen. Selbst die in der Nordhalde durchaus im offenen Bereich wachsenden Arten *Vaccinium myrtillus*, *Dryopteris carthusiana* und *D. dilatata* treten in der Südexposition ausschließlich innerhalb des Blockwaldes unter *Quercus petraea*, *Betula carpatica* und *Sorbus aucuparia* auf. Auch die Bryophyten nehmen hier stark ab: auf den Felsblöcken dominieren nur wenige, austrocknungsresistente Spezies wie *Racomitrium lanuginosum*, *R. heterostichum*, *Campylopus flexuosus* und *Andreaea rupestris* – offensichtlich aufgrund der zeitweise sehr trockenen Standortverhältnisse. Die Besiedlung durch höhere Pflanzen und Moose wird aber sicherlich auch durch die hier wesentlich geringere Humusdecke erschwert. Die Hohlräume zwischen den Blöcken werden von *Plagiothecium laetum*, *P. curvifolium* und *Isopterygium elegans* besiedelt, selten treten Lebermoose wie *Sphenolobus minutus*, *Diplophyllum albicans* oder *Barbilophozia barbata* hinzu. Neben epilithischen Flechten wie *Parmelia saxatilis* und *P. sulcata* treten ähnlich wie im Nordhang in Saumbereichen auch verschiedene Cladonien stark hervor.

4.3. Korrelationen zwischen Mikroklima und Moosvegetation

Speziell auf den offenen Blockhalden herrscht vermutlich eine geringere Konkurrenz zwischen den Arten, so daß das Mikroklima hier auf die Verteilung der Pflanzen sicher einen höheren Einfluß hat. Allerdings ist es nahezu unmöglich, immer zu entscheiden, ob Konkurrenz oder Mikroklima die größere Rolle spielt (OTT et al. 1996). Insgesamt können für Verbreitungsmuster von Pflanzen natürlich sehr viele Faktoren verantwortlich sein, wobei OTT et al. (1997) speziell für Kryptogamen klimatischen Einflüssen eine große Bedeutung zumessen.

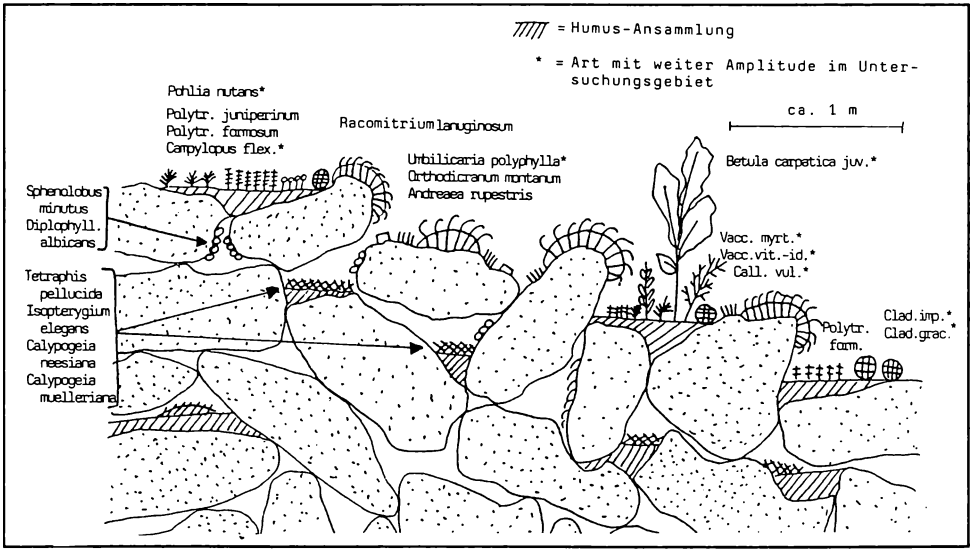

Abbildung 9. Schema der vertikalen Verteilung der Kleinstandorte und deren Artenspektrum auf den Blockhalden. Call.vul. = *Calluna vulgaris*, Campylopus flex. = *Campylopus flexuosus*, Clad.imp. = *Cladonia impexa* (= *Cladonia portentosa*) , Clad.grac. = *Cladonia gracilis*, Diplophyll. = *Diplophyllum*, Polytr. = *Polytrichum*, Vacc.myrt. = *Vaccinium myrtillus*, Vacc.vit.-id. = *Vaccinium vitis-idaea*.

Für viele Arten ist hierbei die relative Luftfeuchtigkeit bzw. das Sättigungsdefizit an einem Standort sicher bedeutender als die absolute Temperatur, da die Temperatur- bzw. Hitzeresistenz von Moosarten, die z.T. völlig austrocknen können, sehr hoch ist.

Nach LANGE (1955) beginnt die Schädigung selbst empfindlicher Moose erst bei Temperaturen von über 60 °C, wie sie sogar auf den offenen, voll besonnten Flächen der südexponierten Halde nicht erreicht werden. Die Mehrzahl der hygrophytischen Lebermoose vermag dagegen sogar bei niedrigen Temperaturen eine Austrocknung nicht zu überstehen. Die Temperaturwerte sind daher vor allem als Indikatoren für die Luftfeuchte von Bedeutung.

Die geringe Artenzahl der Phanerogamen und deren Verteilungsmuster auf den untersuchten Flächen machen diese recht ungeeignet für Korrelationsversuche zwischen Mikroklima und Vegetation. Besser geeignet für die Betrachtung solcher Zusammenhänge sind hier die Bryophyten, die – vor allem auf den offenen Blockhalden – eine hohe Artenvielfalt auch mit einigen Spezialisten erreichen und deren Verteilung wesentlich kleinräumiger ist. Dieses Verteilungsmuster wird hier am Beispiel des Nord-Transektes gezeigt und es werden Korrelationen zum dort gemessenen Mikroklima hergestellt. Schließlich wird auf die Verteilung der Moosarten im Haldenkörper der beiden Blockhalden eingegangen.

Wie in Kapitel 4.1. dargestellt, herrschen auf dem südexponierten Talhang deutlich höhere Maximaltemperaturen (Abb. 1) und geringere Luftfeuchtigkeitswerte als auf dem Nordhang. Austrocknungsempfindliche Arten wie *Sphagnum* spp., *Bazzania trilobata*, die beiden *Calypogeia*-Arten, *Lophozia incisa* und *Cephalozia lunulifolia*, die auf der Nordhalde durchaus regelmäßig nachgewiesen wurden, fehlen vermutlich aufgrund dieser Extremwerte auf der südexponierten Halde völlig. Sphagnen haben nach ABEL (1956) eine sehr hohe Empfindlichkeit gegen Austrocknung; schon bei einer relativen Luftfeuchte von unter 90 % sind merkliche Schädigungen feststellbar. Bemerkenswert ist, daß es sich bei einem Großteil der auf den Nordhang beschränkten Arten um boreomontane Sippen handelt. Umgekehrt fand sich z. B. *Racomitrium heterostichum* als extrem austrocknungsresistente, aber konkurrenzschwache Moosart nur auf der Südhalde.

4.3.1. Verteilung der Bryophytenvegetation entlang des Nordtransektes

Auf der Strecke des Transektes durch den Nordhang lassen sich fünf Gruppierungen von Moosen mit ähnlichem Verteilungsmuster unterscheiden (Abb. 10). Die meisten Sippen sind nicht zufällig über den Transekt verteilt, sondern können klar verschiedenen Standorten zugeordnet werden. Diese Standorte wiederum unterscheiden sich teilweise so stark in ihren mikroklimatischen Begebenheiten, daß ein Zusammenhang zwischen Mikroklima und dem Vorkommen von Arten wahrscheinlich ist.

- Als "Spezialisten" der offenen Blockhalden können *Andreaea rupestris*, *Racomitrium lanuginosum*, *Gymnocolea inflata*, *Cephalozia lunulifolia* und *Cephaloziella rubella* gelten (Abb. 10). Ihr Fehlen in allen bewaldeten Bereichen kann entweder mit fehlender Konkurrenzkraft oder aber damit erklärt werden, daß ihnen das Waldklima z. B. aufgrund zu geringer Lichtintensität nicht zusagt. *Racomitrium lanuginosum* beispielsweise vermag zwar völlige Austrocknung zu überstehen, hat aber auch nur einen jährlichen Längenzuwachs von ca. 20 mm (TALLIS 1958) und ist daher an geschützteren Standorten wahrscheinlich zu konkurrenzschwach. KOPERSKI (1978) bezeichnete die Ein-Art-Gesellschaft des Racomitrietum lanuginosi PREIS 37 als eine "ausgesprochen heliophile Gesellschaft, die bei Beschattung an Konkurrenzkraft verliert" und maß die höchsten Temperaturen und niedrigsten Luftfeuchtewerte am Standort des Racomitrietum.
- Arten, die im gesamten blockbeeinflußten Bereich sowohl in der bewaldeten als auch der besonnten Halde, nicht aber im von Blöcken unbeeinflußten Wald vorkommen, stellen die größte Gruppe der im Transekt nachgewiesenen Bryophyten. Hierbei haben ein Teil der Arten wie *Sphagnum quinqefarium*, *Cephalozia lunulifolia*, *Calypogeia muelleriana*, *Plagiothecium undulatum* und *Rhytidiadelphus loreus* ihren Schwerpunkt auf den bewaldeten Halden, andere (*Sphenolobus minutus*, *Diplophyllum albicans*, *Calypogeia neesiana* var. *meylanii*, *Pohlia nutans*) sind vermehrt in der offenen Blockhalde zu finden. Arten, die sich gleichmäßig auf offene wie bewaldete Bereiche verteilen, sind z. B. *Lophozia ventricosa* und *Isopterygium elegans*. Diese Arten sind anscheinend einerseits in der Lage, den relativ starken Temperatur- und Luftfeuchte-

Unterschieden des offenen Haldenbereiches zu begegnen, andererseits aber auch im ausgeglicheneren Waldklima konkurrenzstark genug zu sein. *Isopterygium elegans* weicht dabei auch in das Hohlraumsystem aus.

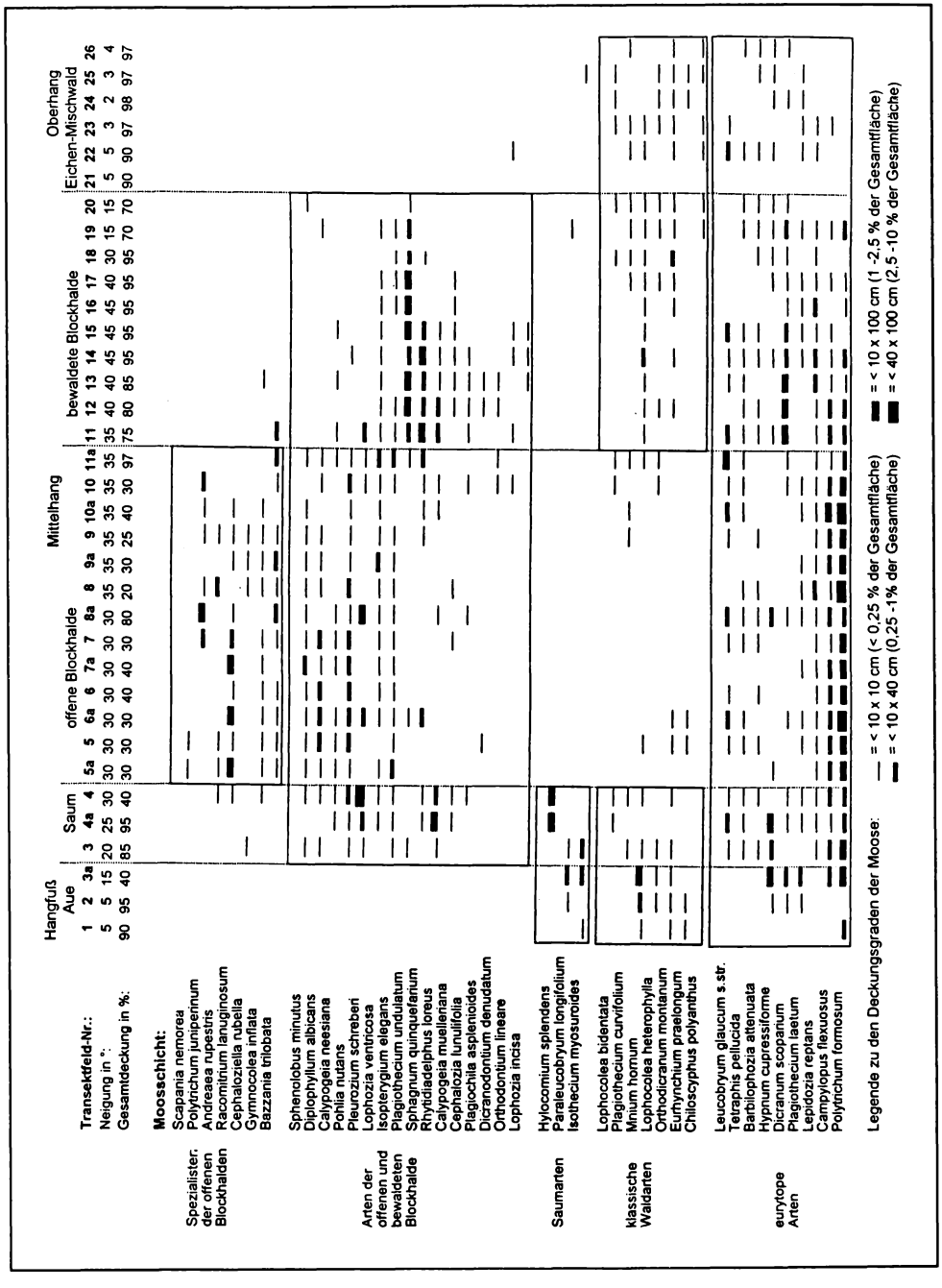

Abbildung 10. Verteilung der Bryophyten entlang des Nordtransektes. Arten, die aufgrund zu weniger Nachweise nicht zuzuordnen waren, sind nicht mitaufgeführt.

- Im Übergangsbereich von der Aue zur offenen Blockhalde können *Hylocomium splendens*, *Paraleucobryum longifolium* und *Isothecium myosuroides* als typische Saumarten gelten.
- "Waldarten", die sowohl in den unteren als auch in den oberen Waldbereichen, nicht aber auf offener Blockhalde nachzuweisen waren, sind z. B. *Isothecium myusuroides*, *Orthodicranum montanum*, *Mnium hornum* und *Lophocolea heterophylla*. Für diese Sippen ist das Klima der offenen Halden anscheinend zu extrem, sie sind auf gemäßigtere Verhältnisse im Schutz von Bäumen angewiesen (vgl. Abb. 5). Im Wald siedeln sie aber sowohl in der nährstoffreichen Aue als auch im kühl-feuchten Karpatenbirken-Ebereschen-Wald sowie im trockeneren Traubeneichen-Niederwald.
- Eurytope Arten, die in allen bewaldeten und offenen Bereichen mehr oder weniger durchgehend vom Talgrund bis zum Plateau vorkommen, sind z. B. *Polytrichum formosum*, *Plagiothecium laetum*, *Dicranum scoparium*, *Campylopus flexuosus* und *Barbilophozia attenuata*. Sie haben ein sehr weites ökologisches Spektrum und können daher viele klimatisch ausgesprochen unterschiedliche Standorte innerhalb des Talhanges besiedeln.

Die Bryophyten der südexponierten Blockhalde zeigen ein ähnliches Verbreitungsmuster, dieses ist allerdings aufgrund der geringeren Ausdehnung dieser Halde weniger deutlich ausgeprägt und soll hier nicht näher erläutert werden.

4.3.2. Kleinstandörtliche Bindung einiger Bryophyten

Charakteristisch für Blockhalden ist u.a. die Vielzahl von Kleinststandorten auf geringer Fläche: Durch die lockere Lagerung der Blöcke entstehen zum einen beschattete Nischen und Höhlen in unterschiedlicher Tiefe mit unterschiedlich dicker Humusauflage, zum anderen sonnenexponierte, kahle Felsflächen oder auch humusreichere, aber besonnte Stellen an den Kontaktzonen zwischen zwei Blöcken (Abb. 9). Da die Verbreitung von Flechten und Moosen schon durch kleinste Änderungen der klimatischen Faktoren beeinflußt wird (OTT et al. 1996), ist zu erwarten, daß neben der oben dargestellten Verteilung der Moose entlang des Transektes auch Differenzierungen der Moosarten auf unterschiedliche Kleinstandorte auftreten. Die prozentuale Verteilung einiger Arten auf kategorisierte Standorttypen ist in Tab. 1 dargestellt: neben Arten, die keinerlei Bevorzugung für bestimmte Kleinststandorte zeigen, gibt es andere, die ihren Schwerpunkt deutlich auf nur einem der sechs von uns definierten Standorte haben. Es lassen sich hier drei Gruppen bilden:

- Die xerophytischen Lichtarten *Racomitrium lanuginosum*, *R. heterostichum* und *Andreaea rupestris* haben über 75 % ihrer Vorkommen auf offenen, voll besonnten Felsflächen ohne jegliche Humusauflage. Hier sind sie aufgrund der starken Einstrahlung sowohl extrem hohen und niedrigen Temperaturen als auch sehr geringen Luftfeuchtigkeiten bzw. hohen Sättigungsdefiziten ausgesetzt (vgl. Abb. 4).
- Offen gelegene, aber mit einer Humusschicht bedeckte Flächen werden von den temperat bis euryozeanisch verbreiteten Elementen *Polytrichum juniperinum*, *P. formosum*, *Lophocolea bidentata*, *Rhytidiadelphus loreus* und *Leucobryum glaucum* s. str. dominiert. Der Wasserhaushalt dieser Standorte ist weniger angespannt als auf kahlem Fels, obwohl auch hier hohe Einstrahlung und damit hohe Temperaturen herrschen. Ubiquisten wie z. B. *Polytrichum formosum* zeigen nach ABEL (1956) eine sehr hohe Austrockungsresistenz, so daß z.T. Schädigungen erst bei weniger als 5 % relativer Feuchte auftreten.
- Andere Arten wie *Calypogeia muelleriana*, *C. neesiana* var. *meylanii*, *Diplophyllum albicans* und *Isopterygium elegans* entgehen diesem Trockenstreß, indem sie auf die humosen, beschatteten Flächen in den Zwischenräumen der Felsblöcke ausweichen. Bei ihnen handelt es sich um euryozeanische (montane) bzw. temperate Elemente. Sie brauchen augenscheinlich das ausgeglichenere Mikroklima der Blockzwischenräume mit schmalerer Temperaturamplitude und einer weniger stark schwankenden, insgesamt höheren Luftfeuchtigkeit bzw. kleinerem Sättigungsdefizit (Abb. 4) und nehmen dafür geringere Lichtstärken in Kauf. Für *Tetraphis pellucida* z. B. beobachtete ABEL (1956) bereits bei Werten unter 60 % relativer Feuchte nach 24 Stunden eine deutliche Schädigung. Im Winter schirmt die Schneedecke das Haldeninnere vor starken Frösten (gemessen wurden bis -16° C, Abb. 3) ab, die nach IRMSCHER (1912) für einige Arten durchaus schädigend wirken können, indem sie durch Wasserentzug Trockenstreß bewirken.

Tabelle 1. Vertikale Verteilung der Moosarten auf verschiedene Kleinstandorte entlang beider Transekte dargestellt in % ihrer Nachweise (OF = Haldenoberfläche, HR = Hohlraumsystem, Werte ganzzahlig gerundet, Vork. = Vorkommen).

	Humus OF	Humus HR	Stein OF	Stein HR	Tot-holz	Stamm-basis	Anzahl Vork.
Polytrichum juniperinum	**86**		14				7
Lophocolea bidentata	**79**	7			7	7	15
Rhytidiadelphus loreus	**77**		23				13
Polytrichum formosum	**63**	8	23	4		2	51
Leucobryum glaucum s.str.	**61**	35	4				23
Calypogeia muelleriana	29	**71**					14
Calypogeia neesiana var. *meylanii*	38	**62**					13
Diplophyllum albicans		**52**	10	33		5	21
Isopterygium elegans	22	**51**	8	16	3		37
Tetraphis pellucida	18	**44**	10	13	5	10	39
Racomitrium heterostichum			**100**				5
Paraleucobryum longifolium	8		**92**				12
Andreaea rupestris	6		**88**	6			16
Barbilophozia barbata	20		**80**				5
Racomitrium lanuginosum	21		**79**				29
Orthodicranum montanum	13	6	**40**		28	13	47

5. Zusammenfassung

Die Ergebnisse der vegetationsökologischen Untersuchungen an den Halden des Warchetales lassen bezugnehmend auf die in der Einleitung gestellten Fragen die folgenden Feststellungen zu:

- Die Vegetation der Blockhalden zeigt eine deutliche Gliederung in offene, von Kryptogamen dominierte Bereiche im Unterhang und bewaldete Abschnitte im Oberhang. Darüberhinaus lassen sich Artengruppen von charakteristischen Bryophyten für die verschiedenen Haldenabschnitte unterscheiden.

- Unter Berücksichtigung von Angaben zur Autökologie aus der Literatur läßt sich das Verteilungsmuster einiger Arten auf den Halden mit den mikroklimatischen Beobachtungen in Verbindung bringen.

- Das Mikroklima der Haldenoberfläche zeichnet sich im Jahres- und Tagesgang durch deutliche, z. T. drastische expositionsabhängige Schwankungen von Temperatur und relativer Luftfeuchte bzw. Sättigungsdefizit aus. Im Hohlraumsystem der Halde sind diese Schwankungen deutlich nivelliert: Luftfeuchte und -temperatur sind hier vor allem an strahlungsarmen Tagen relativ stabil, aber auch an strahlungsreichen Tagen ist die Amplitude deutlich geringer als auf der Oberfläche.

- Die Verteilung der verschiedenen Moosarten wird sowohl in den Haldenkörper hinein (vertikal) als auch auf der Haldenoberfläche (horizontal) in hohem Maße durch das Mikroklima bestimmt. Die Vielzahl von klimatischen Kleinststandorten speziell aufgrund der oberflächennahen Haldenstruktur ist sicherlich mitverantwortlich für den Artenreichtum an Kryptogamen auf Blockhalden.

- Kleinflächig sind in bestimmten Bereichen des Haldenfußes der Nordhalde Kaltluftaustritte vorhanden, die sich durch eine vom Tagesgang weitgehend unabhängige, niedrige Lufttemperatur und eine permanent hohe Luftfeuchte auszeichnen.

Danksagung

Herr Prof. Dr. R. SCHUMACKER und Herr Dr. L. LECLERCQ (beide Univ. Liège, Station Scientifique des Hautes Fagnes, Robertville, Belgien) gaben uns die Möglichkeit, die Forschungsstation der Universität Liège im Hohen Venn als Quartier und Arbeitsplatz zu nutzen. Herr Prof. J.-P. FRAHM (Bot. Inst. Bonn) öffnete uns sein umfangreiches Herbar, überprüfte kritische Bryophyten und war jederzeit zu inhaltlichen Diskussionen bereit. F. BUNGARTZ (Bonn) hat uns auf typische Flechten hingewiesen. J. WUNDER (Bonn) gab uns wichtige Hinweise zu den mikroklimatischen Untersuchungen, insbesondere zur Gerätetechnik. J. MUTKE (Bonn) stellte uns das Makro zur graphischen Darstellung von Deckungsgraden der Arten im Transekt zur Verfügung. Herr M.J.M. BLESS (Gulpen, Niederlande) überließ uns geologische Literatur. Ihnen allen danken wir sehr herzlich.

Literatur

ABEL, W. O. (1956): Die Austrocknungsresistenz der Laubmoose. - Sitzungsber. Akad. Wiss., Wien, math.-nat. Kl., Abt. 1, **165**, 619-707

BARKMANN, J. J. (1977): Die Erforschung des Mikroklimas in der Vegetation - theoretische und methodische Aspekte. - in: DIERSCHKE, H. (Hrsg.): Vegetation und Klima, Ber. Int. Symp. Ver. Veg.-kunde, Vaduz, 5-20

BOHN, U. (1981): Vegetationskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:200 000 - Potentielle natürliche Vegetation - Blatt CC 5518 Fulda. - Schr.-R. f. Vegetationskde. **15**. Bundesforschungsanstalt für Naturschutz und Landschaftsökologie, Bonn-Bad Godesberg, 330 S.

DÜLL, R. (1980): Die Moose (Bryophyta) des Rheinlandes (Nordrhein-Westfalen, Bundesrepublik Deutschland). - Decheniana Beih. **24**, 365 S.

DÜLL-HERRMANNS, I. (1972): Pflanzensoziologisch-ökologische Untersuchungen an Moos- und Flechtengesellschaften im NSG "Felsenmeer" am Königsstuhl bei Heidelberg -Veröff. Landesst. Naturschutz u. Landschaftspfl. Baden-Württemberg **40**, 9-50

EGGER, K. & MATTERN, H. (1959): Zur Moosvegetation der Räthsandsteinblockhalden im Schönbuch. - Jahresh. Vereins Vaterl. Naturk. Württemberg, 132-137

FRAHM, J. P. & FREY, W. (1992): Moosflora, 3. Aufl. - Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 528 S.

FURRER, E. (1961): Über "Windlöcher" und Kälteflora am Lauerzersee (Schwyz) - Ber. Geobot. Inst. d. ETH Stiftung Rübel **32**, 83-96

FURRER, E. (1966): Kümmerfichtenbestände und Kaltluftströme in den Alpen der Ost- und Innerschweiz. - Schweizer. Zeitschr. f. Forstwesen **10**, 720-733

HALFMANN, J. (1988): Die Waldgesellschaften auf periglazialen Hangschuttdecken am Ostabhang des Meissners (Nord-Hessen) und ihre Bedeutung für den Naturschutz. - Naturschutz in Nordhessen **10**, 264-272

HALFMANN, J. (1991): Die Struktur der Vegetation auf periglazialen Basaltblockhalden des Hessischen Berglandes. - Diss. Botanicae **168**, J. Cramer, Berlin, Stuttgart, 212 S.

HERZOG, T. (1926): Geographie der Moose. - G. Fischer-Verlag, Jena, 439 S.

Institut Royal Meteorologique de Belgique (Hrsg., 1996-1997): Bulletin mensuel Observations climatologiques (Juin 1996 - Mei 1997) - Brüssel, o. S.

IRMSCHER, E. (1912): Über die Resistenz der Laubmoose gegen Austrocknung und Kälte. - Jb. wiss. Bot. **50**, 387-449

JAHNS, H. M. & FRITZLER, E. (1982): Flechtenstandorte auf einer Blockhalde. - Herzogia **6**, 243-270

JAQUES DE DIXMUDE, A. (1988): Evaluation ecologique de la vallée de la Warche. - Mémoire, Univ. cath. Louvain, 163 S.

KNAPP, H. D. (1979): Geobotanische Studien an Waldgrenzstandorten des hercynischen Florengebietes. Teil 1 - Flora **168**, 276-319

KNAPP, H. D. (1980): Geobotanische Studien an Waldgrenzstandorten des hercynischen Florengebietes. Teil 3 - Flora **169**, 177-215

KOPERSKI, M. (1978): Standortökologische Untersuchungen an fünf Laubmoosgesellschaften im Naturschutzgebiet Bodetal. - Hercynia N.F. **15**, 169-215

LANGE, O. L. (1955): Untersuchungen über die Hitzeresistenz der Moose in Beziehung zu ihrer Verbreitung - I. Die Resistenz stark ausgetrockneter Moose. - Flora **142**, 381-399

LÜTH, M. (1990): Moosgesellschaften und Gesellschaftskomplexe auf Blockhalden im Südschwarzwald. - Beih. Veröff. Naturschutz Landschaftspflege Bad.- Württ. **58**, 88 S.

MARSTALLER, R. (1986): Die Moosgesellschaften der Basaltblöcke und Basaltblockhalden am Baier bei Dermbach in der Rhön, 23. Beitrag zur Moosvegetation Thüringens. - Gleditschia **14**, 227-254

MATZKE, G. (1990): Der Karpatenbirken-Ebereschen-Blockwald - auch im Rheinischen Schiefergebirge. - Decheniana **143**, 160-172

MOLENDA, R. (1996 a): Das Ökosystem "Kaltluft erzeugende Blockhalde". - Natur- und Kulturlandschaft **1**, 133-136

MOLENDA, R. (1996 b): Zoogeographische Bedeutung Kaltluft erzeugender Blockhalden im außeralpinen Mitteleuropa: Untersuchungen an Arthropoda, insbesondere Coleoptera. - Verh. naturwiss. Ver. Hamburg, (NF) **35**, 5-93

OBERDORFER, E. (1994): Pflanzensoziologische Exkursionsflora, 7.Aufl. - Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 1050 S.

OTT, S., BURGER, E., SCHUSTER, G. & JAHNS, H. M. (1996): Distributions of Lichens on Rock. - Herzogia **12**, 171-198

OTT, S., ELDERS, U. & JAHNS, H. M. (1997): Vegetation of the rock-alvar of Gotland; II. Microclimate of lichen-rich habitats. - Nova Hedwigia **64** (1-2), 87-101
PESCHEUR, P. & LAMBINON, J. (1968): Excursion du 30 Juin 1968 à Sourbrodt et dans la vallée de la Warche. - Nat. Mosana **21** (3), 119-125
PHILIPPI, G. (1986): Die Moosvegetation auf Buntsandsteinblöcken im östlichen Odenwald und südlichen Spessart. - Carolinea **44**, 67-86
PONCELET, L. (1972): Climatologie I-III - Karten. - in: Comité National de Géographie (Hrsg, 1972): Atlas de Belgique. - Brüssel, o. S.
PREIS, K. (1937): Die Besiedlung der Blockhalden in der Biberklamm. - Beih. Bot. Centralbl. Dresden, **B57**, 521-575
RICHTER, D. (1985): Aachen und Umgebung, Nordeifel und Nordardennen mit Vorland. - Sammlung geologischer Führer **48**, 3. Aufl., Berlin, 302 S.
SAUBERER, F. & HÄRTEL, O. (1959): Pflanze und Strahlung. - Probleme der Bioklimatologie **5**, Akadem. Verlagsgesellschaft, Leipzig, 268 S.
STÖCKER, G. (1967): Der Karpatenbirken-Fichtenwald des Hochharzes - Eine vegetationskundlich-ökologische Studie. - Pflanzensoziologie **15**, Gustav Fischer Verlag, Jena, 123 S.
SCHWICKERATH, M. (1944): Das Hohe Venn und seine Randgebiete. - Vegetation, Boden und Landschaft - Pflanzensoziologie **6**, Jena, 278 S.
TALLIS, J. H. (1958): Studies in the biology and ecology of *Racomitrium lanuginosum* BRID., I. Distribution and ecology. - J. ecol. **46**, 271-288
WHITTAKER, R. H. (1967): Gradient analysis of vegetation. - Biol. Reviews **42**, 207-264
WUNDER, J. & MÖSELER, B. M. (1996): Kaltluftströme auf Basaltblockhalden und ihre Auswirkung auf Mikroklima und Vegetation. - Flora **191**, 335-344

Anschrift der Autoren: Dipl. Biol. MONIKA HACHTEL, Dipl. Biol. KLAUS WEDDELING, Priv.-Doz. Dr. BODO MARIA MÖSELER, Institut für Landwirtschaftliche Botanik, Abt. Geobotanik und Naturschutz, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Meckenheimer Allee 176, D-53115 Bonn, BR Deutschland

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Decheniana

Jahr/Year: 1999

Band/Volume: BH_37

Autor(en)/Author(s): Hachtel Monika, Weddeling Klaus, Möseler Bodo Maria

Artikel/Article: Zusammenhänge zwischen Mikroklima und Moosvegetation der Arkose-Blockhalden im Warchetal (Hohe Ardennen / Belgien) 49-65