

Manuel Ecker / Christine Embleton-Hamann

Das Phänomen der Buckelwiesen in den Dolomiten

**Verbreitung und mögliche
Entstehungstheorien**

Ecker, Manuel; Embleton-Hamann, Christine: Das Phänomen der Buckelwiesen in den Dolomiten: Verbreitung und mögliche Entstehungstheorien. Hamburg, Diplomica Verlag GmbH 2015

Buch-ISBN: 978-3-95850-627-5

PDF-eBook-ISBN: 978-3-95850-127-0

Druck/Herstellung: Diplomica® Verlag GmbH, Hamburg, 2015

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Bearbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Die Informationen in diesem Werk wurden mit Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden und die Diplomica Verlag GmbH, die Autoren oder Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für evtl. verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

Alle Rechte vorbehalten

© Diplomica Verlag GmbH

Hermannstal 119k, 22119 Hamburg

<http://www.diplomica-verlag.de>, Hamburg 2015

Printed in Germany

Inhaltsverzeichnis

Kurzbeschreibung.....	3
Abstract	4
1. Einleitung	5
2. Buckelwiesen	7
2.1. Definition.....	7
2.2. Gestalt des Kleinreliefs.....	9
2.3. Entstehungstheorien.....	10
2.3.1. Karstansatz	11
2.3.2. Frostkonzept	12
2.3.3. Windwurfkonzept.....	13
2.3.4. Glaziale Aufschüttungen	15
2.3.5. Kombination des Karstansatzes mit anderen Konzepten	16
2.4. Verbreitung von Buckelwiesenvorkommen	17
3. Waldgrenze.....	19
3.1. Definition Wald- und Baumgrenze.....	19
3.2. Einflussfaktoren auf die Waldgrenze	21
3.3. Abiotische Einflussgrößen.....	21
3.3.1. Wärmebilanz	21
3.3.2. Frosthärte und Schäden	22
3.3.3. Frostrocknis und Abrasion	23
3.3.4. Bodentemperaturen	24
3.3.5. Wind.....	25
3.3.6. Schneebedeckung	26
3.3.7. Böden	28
3.3.8. Topographie und Geomorphologie	29
3.3.9. Exposition.....	30
3.4. Biotische Einflussgrößen	30
3.4.1. Einfluss der Fauna auf die Waldgrenze.....	30
3.4.2. Anthropogener Einfluss.....	31
3.4.3. Klimatische Veränderungen	32
3.5. Waldgrenzentwicklung in Südtirol während des Postglazials bis zur heutigen Zeit.....	33
4. Untersuchungsgebiet	35
4.1. Abgrenzung des Untersuchungsgebietes	35
4.1.1. Abgrenzung des Untersuchungsgebietes nach Gebirgsgruppen	35
4.1.2. Gründe für die Auswahl des Untersuchungsgebiets	36
4.2. Geologie.....	37
4.2.1. Quartärgeologie.....	39
4.3. Klima	40
4.4. Waldbedeckung	45
5. Untersuchungsmethoden	47
5.1. Arbeitshypothesen	47
5.2. Luftbildauswertung.....	48
5.2.1. Auswertung der Waldgrenzen.....	49
5.3. Buckelwiesenkategorien.....	50
5.4. Methodik der statistischen Auswertungen.....	55
5.4.1. Fläche	55
5.4.2. Seehöhe und Hangneigung.....	56
5.4.3. Exposition.....	57
5.4.4. Kalkgehalt	59

5.4.5.	Gebirgsgruppen	61
5.4.6.	Position im Relief.....	61
5.4.7.	Kolmogorov-Smirnov Test	62
5.4.8.	T – Test nach Student für zwei unabhängige Stichproben.....	62
5.4.9.	Chi ² - Test.....	63
5.4.10.	U Test von Mann und Whitney	64
5.4.11.	Rayleigh Test.....	64
5.4.12.	Watson Test with Ties	65
5.4.13.	Korrelationsanalyse	67
5.4.14.	Berechnung der Buckelwiesendichte pro Quadratkilometer	68
5.4.15.	Frequency ratio	68
5.5.	Literaturrecherche.....	69
6.	Daten	70
7.	Ergebnisse	71
7.1.	Buckelwiesenstandorte	71
7.1.1.	Identifizierungsprobleme von Buckelwiesen auf Orthophotos	84
7.2.	Lage der Waldgrenzen.....	85
7.3.	Statistische Auswertungen nach Lageparametern	86
7.3.1.	Fläche	88
7.3.2.	Seehöhen	88
7.3.3.	Expositionen.....	93
7.3.4.	Hangneigungen.....	97
7.3.5.	Kalkgehalt	101
7.3.6.	Auswertung der Lageparameter nach den Gebirgsgruppen	101
7.3.7.	Auswertung der Lageparameter nach dem Relief	107
7.4.	Prüfstatistik.....	111
7.4.1.	Fläche	112
7.4.2.	Seehöhe	113
7.4.3.	Hangneigung	114
7.4.4.	Exposition.....	116
7.4.5.	Kalkgehalt	118
7.5.	Weitere statistische Tests.....	119
7.5.1.	Flächengröße - Seehöhe	119
7.5.2.	Flächengröße - Hangneigung	121
7.5.3.	Flächengröße - Kalkgehalt	121
8.	Interpretation der Ergebnisse/Diskussion.....	124
8.1.	Bewertung der Methode der Buckelwiesenextraktion auf Orthophotos	129
8.2.	Weitere Vorgehensweise	130
9.	Zusammenfassung.....	131
10.	Literaturverzeichnis.....	133
11.	Abbildungsverzeichnis	139
12.	Tabellenverzeichnis.....	141
13.	Anhang	143

Kurzbeschreibung

In diesem Buch geht es um das geomorphologische Phänomen der „Buckelwiesen“, die sich aus einem rhythmischen Wechsel von Buckel und Mulden zusammensetzen. Zur Genese dieses Kleinreliefs gibt es vier verschiedene Ansätze, die in der Vergangenheit teilweise sehr kontrovers diskutiert wurden, von denen sich bisher allerdings keiner durchsetzen konnte. Ein Problem ist auch, dass es zu wenige Informationen über die flächenhafte Verbreitung dieses Phänomens gibt.

Im Zuge dieser Untersuchungen sollen daher durch die Auswertung von Orthophotos Buckelwiesen in den Südtiroler Dolomiten kartiert und in Karten dargestellt werden, um einen Überblick über die Verbreitung zu erhalten. Mit Hilfe eines Geländemodells sollen die Lageparameter Flächengröße, Exposition, Seehöhe, Hangneigung und Kalkgehalt zu den gebuckelten Arealen erhoben und statistisch ausgewertet werden, um mögliche Korrelationen zwischen den Parametern zu suchen. Zusätzlich erfolgt auch eine Beschreibung der Waldgrenzentwicklung seit dem Postglazial sowie die Auswertung der rezenten Waldgrenzen im Untersuchungsgebiet. Dadurch soll die Entstehungstheorie des Windwurfkonzeptes, welches an das Vorhandensein einer rezenten oder ehemaligen Waldbedeckung gekoppelt ist, überprüft und gegebenenfalls falsifiziert werden.

Die Studien ergaben dabei, dass die Buckelwiesen im Untersuchungsgebiet bei bestimmten Hangneigungen und Seehöhen bevorzugt auftreten. Da keine gebuckelten Flächen oberhalb der postglazialen Waldgrenzen kartiert werden konnten, kann das Windwurfkonzept als mögliche Entstehungstheorie nicht verworfen werden. Der Großteil des Kleinreliefs wurde außerdem in Gebieten mit karbonathaltigen Gesteinen gefunden, wodurch angenommen werden kann, dass Karstlösungen von entscheidender Bedeutung für die Genese sind. Allerdings gibt es auch eine gewisse Anzahl an gebuckelten Arealen, die, aufgrund diverser Probleme bei der Orthophotoauswertung, möglicherweise fälschlich als Buckelwiesen kartiert wurden und die sich teilweise nicht in Gebieten mit verkarstungsfähigen Gesteinen befinden.

Abstract

This book is about the geomorphological phenomenon "Buckelwiesen" which are composed of a rhythmic alternation of hummocks and pits. On the genesis of this small-sized relief there are four different approaches that have been discussed controversially in the past but none of them could prevail in the scientific community. Another problem is that there is too little information on the distribution of the phenomenon.

In the course of these studies Buckelwiesen are mapped in the Dolomites of South Tyrol through the evaluation of orthophotos and presented in maps to get an overview of the distribution. With the help of a digital terrain model the location parameters aerial extent, aspect, elevation, slope and lime content of Buckelwiesen are collected and evaluated statistically to search for correlations between the parameters. In addition there is also a description of the forest boundary development since the Holocene, and the evaluation of the recent forest boundaries in the evaluated area. This leads to the theory of the windfall concept which is linked to the existence of a recent or former forest cover. The concept is reviewed and possibly falsified.

The investigations have shown that Buckelwiesen occur preferentially at certain altitudes and slope gradients in the evaluated area. Since no hummocky areas were mapped above the postglacial forest boundaries, -the windfall-concept-, as a possible theory of the origin of Buckelwiesen, can not be rejected. Most of the hummocky reliefs were found in areas with lime rocks. Thus it can be assumed that karst-solutions are critical for the genesis. However there may be a certain number of hummocky areas, which were probably mapped falsely as Buckelwiesen due to various problems with the orthophoto mapping and some of them are partially located in areas with rocks which are not able to form karst formations.

1. Einleitung

Dieses Buch widmet sich der Untersuchung des geomorphologischen Phänomens „Buckelwiesen“ in den Südtiroler Dolomiten. Zur Genese der gebuckelten Areale gibt es in wissenschaftlichen Kreisen mehrere Theorien, die sich teilweise widersprechen. Um die jeweiligen Konzepte verifizieren oder falsifizieren zu können, ist es wichtig die Verbreitung des Phänomens zu kennen. Im Folgenden soll nun versucht werden mit Hilfe von Orthophotos mögliche Buckelwiesenstandorte im Untersuchungsgebiet zu ermitteln und diese anhand bestimmter statistischer Lageparameter zu vergleichen um eventuelle Gemeinsamkeiten zu ermitteln. Zusätzlich soll das Windwurfkonzept zur Entstehung der Buckelwiesen überprüft werden. Dazu ist auch die Untersuchung der Waldgrenzentwicklung seit dem Postglazial in den Südtiroler Dolomiten notwendig.

Im ersten Kapitel dieses Buches wird ein Überblick über das Phänomen der Buckelwiesen gegeben. Welche Definitionen gibt es und wie sieht das Kleinrelief Buckelwiese überhaupt aus. Außerdem werden die unterschiedlichen Entstehungskonzepte der verschiedenen Autoren diskutiert, sowie die bisherigen Erkenntnisse über die Verbreitung des Phänomens dargestellt. Das zweite Kapitel befasst sich mit den Definitionen zur Waldgrenze sowie den Einflussfaktoren darauf. Zusätzlich wird auch versucht, die Entwicklung der Baum- und Waldgrenzen im Untersuchungsgebiet seit dem Postglazial zu skizzieren. Im vierten Kapitel wird das Untersuchungsgebiet hinsichtlich der Geologie, dem Klima und der Waldbedeckung näher vorgestellt. Natürlich erfolgen auch eine genaue Abgrenzung des Gebietes, eine Unterteilung in Gebirgsgruppen sowie eine Beschreibung der Gründe, die zur Auswahl dieser Region führten. Der nächste Teil des Buches widmet sich den Arbeitshypothesen und der Beschreibung der Untersuchungsmethoden. Hierbei soll erklärt werden, wie die Auswertung der Orthophotos zur Bestimmung der Buckelwiesenstandorte und Lage der Waldgrenzen erfolgte. Außerdem werden auch die verschiedenen Buckelwiesenkategorien beschrieben. Zusätzlich erfolgt eine Darstellung der verschiedenen statistischen Methoden, die zur Auswertung der Lageparameter verwendet wurden. Das nächste Kapitel widmet sich der Darstellung der gewonnenen Ergebnisse. Hierbei erfolgt die Angabe der Lage der gefundenen Buckelwiesen mit Hilfe von Orthophotos. Ein Unterkapitel widmet sich auch den Identifizierungsproblemen die durch die Orthophotoauswertung auftraten. Daran anschließend erfolgen die Auswertungen der Waldgrenzen sowie der Lageparameter, getrennt nach dem gesamten Untersuchungsgebiet sowie nach den Gebirgsgruppen und Reliefformen. Auf den

letzten Seiten dieses Kapitels werden die Ergebnisse der statistischen Auswertungen grafisch und tabellarisch dargestellt. Im achten Kapitel werden die Resultate sowie mögliche Ursachen, die zu deren Entstehung führten, diskutiert und ein Link zwischen den postglazialen Waldgrenzen und den Seehöhen der Buckelwiesen hergestellt. Die abschließenden Teile widmen sich der Bewertung der Methode der Buckelwiesenextraktion mit Hilfe von Orthophotos sowie der weiteren Vorgehensweise zur Untersuchung des Phänomens in den Südtiroler Dolomiten. Vor dem Anhang, der die statistischen Auswertungen der einzelnen Buckelwiesen zeigt, und den obligaten Literatur-, Abbildungs- und Tabellenverzeichnissen werden in einer Zusammenfassung noch einmal die wichtigsten Ergebnisse und Schlussfolgerungen erwähnt.

2. Buckelwiesen

2.1. Definition

Bevor man sich mit der Gestalt des Kleinreliefs und den Entstehungstheorien befasst, muss genau definiert werden, was unter diesem Begriff zu verstehen ist. In der Vergangenheit wurden teilweise sehr lebhafte und leidenschaftliche wissenschaftliche Diskussionen um dieses Phänomen geführt, wobei die Autoren teilweise gewisse Auffassungsunterschiede hatten, was genau unter diesem Kleinrelief verstanden werden kann (ENGELSCHALK 1971). Unter Buckelwiesen (siehe Abb. 1) im weiteren Sinn versteht HAMANN 1985: „*Flächen, die durch muldenförmige Vertiefungen im Wechsel mit kleinen Bodenkuppen rhythmisch reliefiert sind*“. Diese Erhebungen bauen sich aus anorganischer Substanz und nicht aus vegetationsbedeckten Höckern auf. Aus morphographischer Sicht lassen sich die Buckelwiesen laut ENGELSCHALK 1971 folgendermaßen charakterisieren:

„Buckelfluren besitzen eine unruhige Oberfläche, die sich aus vergesellschafteten, wohlausgebildeten Buckeln und abflusslosen Mulden zusammensetzt. Die Buckel sind lückenlos in einer Dichte von 170 bis 900 Stück pro Hektar angeordnet, und ihre Größe bewegt sich zwischen 100 und 700 cm im Durchmesser, zwischen 25 und 150 cm in der Höhe. Sie bestehen aus anstehendem Lockergestein, das mehr oder minder stark verwittert ist, und werden Bodenbuckel genannt.“ (ENGELSCHALK 1971).

HAMANN 1985 bemerkte, dass in dieser Definition ein recht breites Formenspektrum Platz findet und stellt diese in der Tabelle 1 in Vergleich zu den Werten anderer Autoren dar. Da Engelschalk diese Werte kannte und in die Untersuchungen der Buckelwiesenareale des eiszeitlichen Isargletschers miteinfließen ließ, stellen diese Zahlen einen guten Überblick über die Grenz- und Durchschnittswerte dar.



Abbildung 1: Buckelwiese bei Kompatsch auf der Seiser Alm

	Höhe	Basisdurchmesser des Buckels	Dichte
ENGELSCHALK, 1971, S. 13	40 - 50 cm	200 - 400 cm	570/ha
Minimalwert	25 cm	100 cm	170/ha
Maximalwert	150 cm	700 cm	900/ha
GRACANIN, 1970, S. 194	50 - 100 cm	80 - 300 cm	
Maximalwert	150 cm		
WÖLFEL, 1975, S. 9	über 100 cm	100 - 300 cm	500/ha
MÜLLER, 1959, S. 40	30 - 150 cm		
PENCK, 1940/41, S. 3	30 - 50 cm	200 - 300 cm	
KNAUER, 1943, S. 207	bis 150 cm	200 - 300 cm	
LUTZ, 1947, S. 99	50 cm	300 - 400 cm	
Minimalwert		200 cm	
Maximalwert	100 cm	500 cm	

Tabelle 1: Vor 1985 veröffentlichte Zahlenwerte zu den Größenverhältnissen der Buckelwiesen. Quelle: HAMANN 1985

Ursprünglich war der Begriff „Buckelwiesen“ der Landschaftsname für die wellig-buckeligen, rhythmisch bewegte Oberflächengestalt der bayerischen Mittenwalder Mäher. Seit etwa 1940 lässt sich der Ausdruck in der wissenschaftlichen Literatur vorfinden, wobei

ENGELSCHALK in seinen Publikationen die Bezeichnung „Buckelfluren“ bevorzugt. Er befürchtete nämlich, die Verwendung des Ausdrucks „Buckelwiese“ könnte den Eindruck erwecken, dass die Vorkommen dieses Phänomens auf grasbewachsene Flächen beschränkt sind, obwohl diese Geländeform auch in bewaldeten Bereichen auftritt. Nichtsdestotrotz hat sich in der geomorphologischen Literatur der Fachausdruck „Buckelwiesen“ durchgesetzt (EMBLETON-HAMANN 1999 und ENGELSCHALK 1971).

2.2. Gestalt des Kleinreliefs

Die Art und Weise der Vergesellschaftung der Einzelformen sowie deren Gestalt prägen das Erscheinungsbild der Buckelwiesen. Dabei wird zwischen einer Vielzahl von morphometrisch erfassbaren Merkmalen unterschieden, wie die (nach HAMANN 1985):

- Höhe der Vollform bzw. Tiefe der Hohlform
- Durchmesser des Grundrisses der Voll- bzw. Hohlform
- Form des Grundrisses
Buckel bzw. Mulden mit rundem oder mehr oder weniger in die Länge gezogenem Grundriss
- Krümmungsart der Flächenelemente

Ob im Gesamterscheinungsbild der Buckelwiesen eher die Buckel oder Mulden in Erscheinung treten, wird durch deren Größe und Gestalt determiniert. Meistens dominiert jedoch keine dieser beiden Einzelformen und beide weisen einen etwa gleichen Anteil am Aufbau des Reliefs auf. Die Art und Weise der Vergesellschaftung wird durch folgende Punkte bestimmt (nach HAMANN 1985):

- Anordnungsdichte der Einzelformen
- Regelmäßigkeit des Reliefs, wobei die durch die Abstände der Buckelscheitel, Gleichförmigkeit der Einzelformen und die Ausrichtung der Längsachsen der Erhebungen determiniert wird

Zur zahlenmäßigen Charakterisierung werden vor allem folgende Merkmale herangezogen (nach HAMANN 1985):

- Durchmesser der Buckel: teilweise erfolgt bei den Daten in der Literatur keine Angabe, ob es sich um Längs- oder Querachse einer ovalen bzw. um den Durchmesser einer runden Form handelt
- Höhe der Bodenbuckel: ENGELSCHALK 1971 versteht darunter den „*Abstand zwischen einem Buckelscheitel und der tiefsten Stelle der benachbarten Mulde, senkrecht zur Geländeoberfläche gemessen*“. HAMANN 1985 merkte dazu an, dass dadurch nicht die Vollform allein, sondern der Höhenunterschied zwischen Buckel und Mulde charakterisiert wird. Bei der Mittelung über ein bestimmtes Areal lässt sich dadurch die Reliefenergie und nicht die mittlere Höhe der Buckel berechnen.
- Anordnungsdichte der Bodenbuckel

Zusätzlich zu den bereits erwähnten Faktoren können Buckelwiesen laut ENGELSCHALK 1971 auch noch über das die Buckel aufbauende Material charakterisiert werden. Dabei ist laut ihm das anstehende Lockergestein entscheidend am Aufbau der Erhebungen beteiligt.

2.3. Entstehungstheorien

Die Entstehung der Buckelwiesen ist in der Vergangenheit aufgrund unterschiedlicher, sich teilweise widersprechender Theorien, sehr kontrovers diskutiert worden. Zusammenfassend lassen sich dabei vier unterschiedliche Konzepte unterscheiden: Karstansatz, Frostkonzept, Windwurfkonzept und Konzept der glazialen Aufschüttungen. Dabei schränkt jede dieser Entstehungstheorien die Verbreitung von Buckelwiesen ein, da nur bestimmte Faktoren zur Genese führen. Beispielsweise ist die Ausbildung von Buckelwiesen nach dem Windwurfkonzept nur in Gebieten mit ehemaligen Waldflächen möglich. Buckelwiesen in karstfreien Gebieten würden wiederum dem Karstansatz widersprechen (HAMANN 1985 und HOFINGER 2010).

2.3.1. Karstansatz

Der Karstansatz besagt, dass das Relief durch eine Oberflächensackung aufgrund der Auflösung des karbonatischen Gesteinsanteils im Bereich der Mulden entsteht. Dadurch kommt es zu Massenverlusten im Untergrund wodurch der Gesteinsschutt zusammen sinkt und die Mulden entstehen. Demnach wären die Buckel zwischen den eingesunkenen Dellen nur relative Erhebungen. Kritiker dieses Konzeptes bemängeln allerdings, dass die Scheitel der Buckel, wenn sie durch Einsinken des zwischen ihnen gelegenen Geländes entstanden wären, ungefähr in einer Ebene liegen müssten (EMBLETON-HAMANN 1999 ENGELSCHALK 1971).

Diese Theorie bedingt eine deutlich größere Boden- und Verwitterungsmächtigkeit unter den Mulden als unter den Buckeln, da der Volumenverlust durch Lösungsvorgänge mit der Verwitterung Hand in Hand geht. Ein Profilschnitt durch Buckel und Mulde zeigt daher ein ganz typisches Erscheinungsbild, wie es in der Abb. 2 von PENCK 1940/41 dargestellt wird. Diese Grafik zeigt eine geringmächtige Bodendecke über dem aus unverwittertem Material bestehenden Buckelkern, wohingegen unter der Mulde eine tiefreichende Bodenentwicklung zu sehen ist (EMBLETON-HAMANN 1999).

Profilbild vom Penck'schen Typ

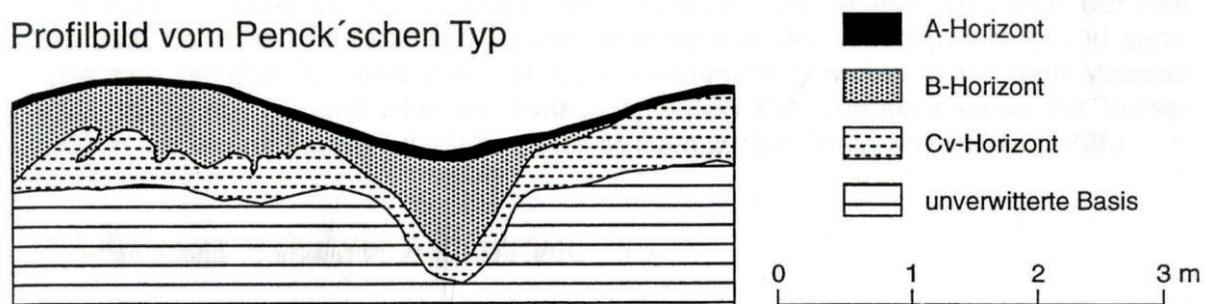


Abbildung 2: Schematisiertes Profilbild einer Grabung von Penck im Tennengebirge. Quelle: EMBLETON-HAMANN 1999

Ein strittiger Punkt am Karstansatz ist die Frage, wie ohne Primärrelief, an dem die Verkarstung der Buckel und Mulden ansetzen kann, die ersten rhythmisch differenzierten Niveauunterschiede einer Schuttdecke entstehen können. Die punktförmige Verkarstung einer ebenen Fläche aus Kalkschutt würde nur ein Gebiet aus mehr oder weniger stark eingesenkten Dolinen entstehen lassen. Außerdem konnte bei Grabungen in den Buckelwiesen bei Mittenwald nicht das von Penck publizierte idealtypische Erscheinungsbild festgestellt werden (EMBLETON-HAMANN 1999 und HOFINGER 2010).

2.3.2. Frostkonzept

Laut dem Frostkonzept werden die Buckelwiesen als fossiles, frostbedingtes Produkt des Spätglazials betrachtet. Die Vertreter dieser Theorie glauben, dass durch Frosteinwirkung im Boden Netzrisse entstehen und sich diese zu Polygonen zusammenschließen, welche die Grundlage für die Entwicklung eines Eisrahmens bilden. Dieser übt anschließend einen Druck auf die dazwischen liegenden Felder aus, wodurch es zu deren Emporwölbung kommt. Anschließend sackt, nachdem die Eiskeile ausgeschmolzen sind, die unmittelbare Umgebung in die entstandenen Hohlformen nach, wodurch sich die Höhenunterschiede verstärken (EMBLETON-HAMANN 1999, HAMANN 1985 und HOFINGER 2010).

Die Abbildung 3 zeigt typische, daraus resultierende Profile, in welchen Verwitterungskörper, die das Aussehen von flachgedrückten Blasen besitzen, zu sehen sind. Diese setzen unter den Buckelflanken an und führen von dort schräg oder waagrecht in die Buckelzentren hinein, wo sie von weniger verwittertem Material überlagert sind. Dadurch nimmt die Verwitterungsintensität von der Buckeloberfläche zum Kern hin zu. Teilweisen lassen sich auch linsenförmige Einsprengungen von angewittertem Material in diesen Feinerdetaschen finden und stellenweise gibt es darin auch Humus (EMBLETON-HAMANN 1999 und HOFINGER 2010).

ENGELSCHALK 1971 vermutet nun einen zweiten Prozess der Buckelwiesenbildung, in welchem die Feinerdetaschen durch Fließ- und Drehbewegungen diese überwiegend schräge und verdreht anmutende Lage annahmen. Die Ursache dafür liegt in Kongeli-Solifluktions- und Solifluktionsprozessen begründet, die zu einer hangabwärts gerichteten Verschleppung der Feinerdetaschen in den Spaltenfüllungen geführt hätten, welche mit wenig intensiv verwittertem Bodenmaterial überdeckt wurden. Dies bewirkte eine weitere Aufbuckelung, die in den heutigen Größenverhältnissen resultierte (EMBLETON-HAMANN 1999).

Profilbild vom Engelschalk'schen Typ

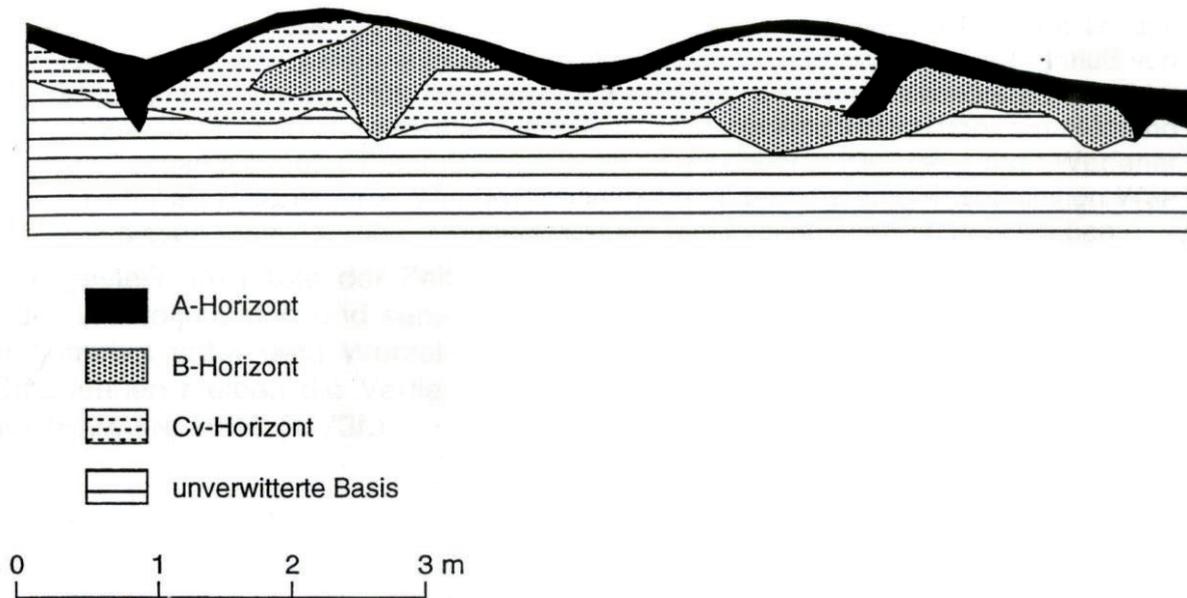


Abbildung 3: Schematische Darstellung einer Grabung von Engelschalk. Quelle: EMBLETON-HAMANN 1999

2.3.3. Windwurfkonzept

Die Vertreter dieser Theorie bringen die Buckelwiesengeneese aufgrund der Regelmäßigkeit und der Anordnungsdichte der Buckel, die an das Standortmuster von Bäumen in einem Wald erinnern, mit Windwurfkatastrophen in Zusammenhang. Dabei wird durch die auskippenden Wurzelteller der umstürzenden Bäume die Böden um die unmittelbaren Wurzelräume hochgerissen und senkrecht gestellt. Anschließend fällt das Material aus den Wurzelpackungen im Laufe der Zeit zu Boden und sammelt sich ineinander oder nestförmig nebeneinander gemengt unter den Wurzelstöcken und formt dabei die Bodenbuckel. Die Vertiefungen der ehemaligen Wurzelräume bleiben nun zwischen diesen Erhebungen als Mulden zurück (EMBLETON-HAMANN 1999 und HOFINGER 2010).

Dieses Konzept kann also nur in bewaldeten Bereichen oder ehemaligen Waldgebieten seine Gültigkeit finden. So meinte schon STINI 1940, dass die Buckelwiesen an ehemaliges Waldland gebunden sein dürften, da er oberhalb der Waldgrenzen keine gebuckelten Areale beobachten konnte. Beobachtungen durch GERLACH 1960, die in den Karpaten durchgeführt wurden, konnten das Windwurfkonzept untermauern. Wie im Vertikalschnitt (siehe Abb. 4) zu sehen ist, baut sich der Buckel aus den weitgehend umgewandelten Wurzeltellerresten eines umgestürzten Baumes auf. Dabei besteht das Zentrum des Buckels

aus einem gewachsenen, ungestörten Bodenprofil mit B- und Ah-Horizont. Die begrabene, ehemalige Hangoberfläche wird durch einen darüber liegenden, schmalen, organischen Auflagenhorizont aus teilweise zersetzten Blättern und Holzstücken dargestellt. Ein auf den Kopf gestelltes Bodenprofil aus liegendem Humus- und hangendem Verwitterungshorizont überdeckt dieses normale Profil. Dies ist dadurch erklärbar, dass die Vertiefung der Standort eines ehemaligen Baumes ist und das mit dem Wurzelteller des umfallenden Baumes mitgerissene Material der Mulde nach unten versetzt abgelagert wurde (siehe Abb. 5). Der Wurzelteller, der zur Entstehung des in der Abb. 4 gezeigten Buckels geführt hat, muss dabei stark überkippt gewesen sein, da sich das herausgerissene Material in inverser Horizontabfolge ablagern konnte. Die Vegetationsdecke schloss sich später über der reliefierten Oberfläche wieder und führte zur Ausbildung eines lockeren Humushorizontes. Auch HAMANN konnte 1985 am Südrand des Tengegebirges Buckelwiesen vorfinden, die aus einer Windwurfkatastrophe in den ehemaligen subalpinen Wäldern hervorgingen (HAMANN 1985 und HOFINGER 2010).

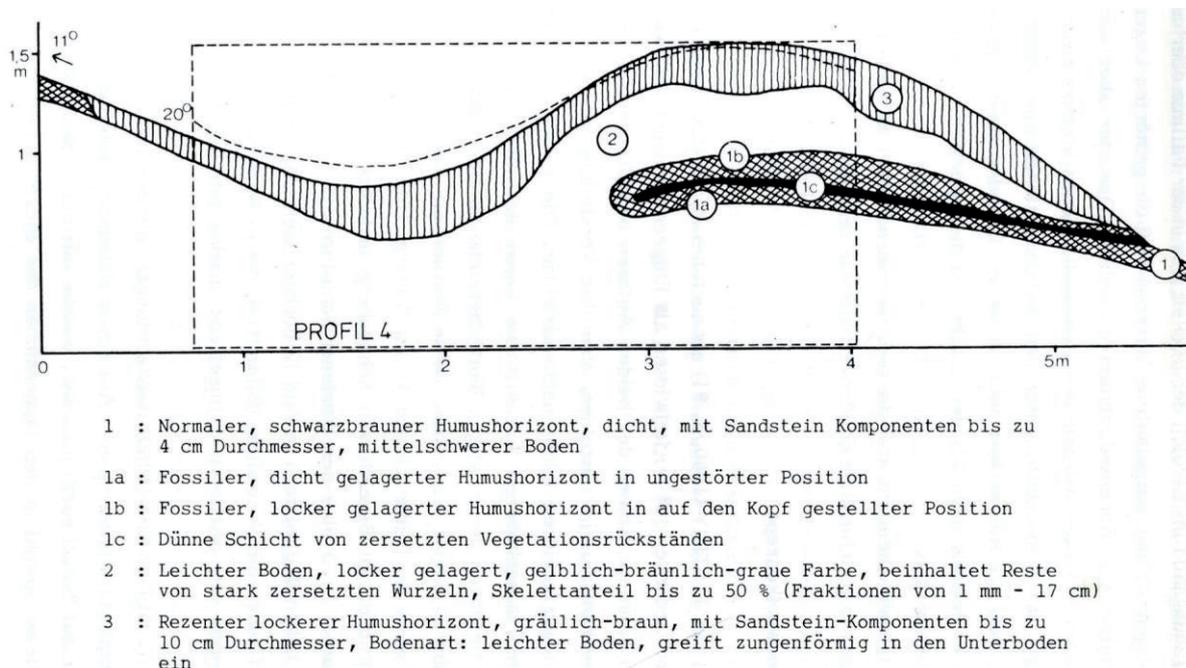


Abbildung 4: Profilbild einer Grabung von Gerlach in den Karpaten. Quelle: HAMANN 1985

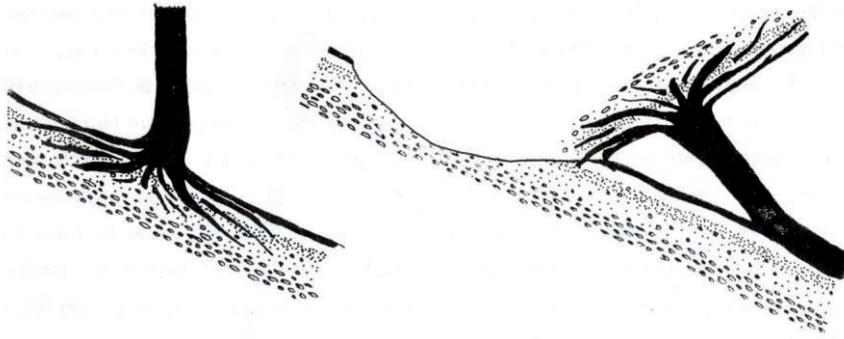


Abbildung 5: Entstehung von Buckel und Mulde durch einen umstürzenden Baum. Quelle: HAMANN 1985

2.3.4. *Glaziale Aufschüttungen*

Laut dem Konzept der glazialen Aufschüttungen entstanden die Buckelwiesen bereits während der Ablagerungen des Schuttes, aus dem sie aufgebaut sind. Die Vertreter dieses Konzeptes sehen darin typische Eiszerfalls-Landschaften, die durch Aufschüttungs- und Umlagerungsprozesse des durch Eistransporte bewegten Buckelwiesenmaterials entstanden sind (EMBLETON-HAMANN 1999).

KNAUER 1943 deutet die Buckelwiesen als eine besondere Art der Grundmoränenablagerungen, wohingegen EBERL in einer Mitteilung an EBERS 1957 angibt, die gebuckelten Areale seien durch Vorgänge entstanden, die im Vorfeld von abschmelzenden Gletscherzungen auftreten. Einen anderen Formungsprozess schlug PRIEHÄUSSER 1957 vor, der im ungleichmäßig löchrigen Zerfall von schuttdurchsetzten Firneisdecken die Antwort auf die Frage der Buckelwiesengenese fand. Laut seiner Theorie sammelt sich der während des Abschmelzens frei getaute Schutt in Hohlformen der Firnoberfläche zu Schuttkörpern an, welche in der Folge auf den Hängen als Buckel abgesetzt werden (HAMANN 1985).

ENGELSCHALK 1971 merkte allerdings kritisch an, dass die Mittenwälder Buckel kristalline Geschiebe beinhalten, was allerdings der Theorie von PRIEHÄUSSER widerspricht, da er die Herkunft des Schuttes in den umliegenden Felswänden der Kalkalpen sieht und das die Buckelwiesen aufbauende Substrat als eine eigene Gesteinsschicht, die dem Grundmoränenmaterial aufliege. Zusätzlich entstanden die tiefer gelegenen Buckelwiesen im bayerischen Alpenvorland in Gebieten, die nicht von einer Firnvereisung betroffen waren und sich auch zu weit entfernt von den Felswänden der Kalkalpen befinden. Auch HAMANN

1985 konnte aufgrund des Aufbaues der Buckelwiesen über Werfener Schiefer keine Übereinstimmung mit den erwähnten Erklärungsversuchen feststellen.

2.3.5. Kombination des Karstansatzes mit anderen Konzepten

Die Entstehung des Primärreliefs in der Karsttheorie lässt sich durch die Kombination verschiedener Elemente der soeben erwähnten Ansätze erklären (nach (EMBLETON-HAMANN 1999):

1) Korrosive Ausbildung eines Primärreliefs unter Waldbedeckung

Der Einfluss eines Waldes führt nach KRIEG 1953 und MÜLLER 1962 zu einer ungleichmäßigen Verteilung des in den Boden eindringenden Sickerwassers. Im unmittelbaren Bereich der Stämme dringt aufgrund des Blätterdaches weniger Wasser in den Untergrund ein als zwischen den Bäumen. Außerdem liefert die ungleichmäßige Schneeverteilung im Frühling den Bereichen zwischen den Bäumen vermehrte Einträge von lösungsfreudigen Schmelzwässern, da die dünne Schneedecke im Bereich der Stämme viel früher abschmilzt als die ungleich Mächtigere zwischen den Bäumen. Auch in der warmen Jahreszeit führen Rohhumuskissen rund um die Stammanläufe den mit lösungsfreudigen, organischen Säuren angereicherten Niederschlag zu den Lösungsherden zwischen den Bäumen. Dies führt dazu, dass durch die Karstlösung aus einer planaren Kalkschuttdecke langsam eine Gebuckelte entsteht (EMBLETON-HAMANN 1999).

2) Entstehung eines Primärreliefs durch Windwurf

HAMANN 1984 postulierte, dass die Entstehung des Primärreliefs einiger Buckelwiesen bei Mittenwald auf Windwürfe zurück zu führen sei, indem diese Flächen korrosiv fixiert und anschließend ausgestaltet wurden. Die durch Windwürfe entstandenen Buckelwiesen am Südrand des Tennengebirges weisen nämlich die typischen Profilbilder vom Engelschalk'schen Typus mit der Anordnung von Schichten und Linsen wechselnder Verwitterungsintensität und Herkunft auf (EMBLETON-HAMANN 1999).