

Jörg VÖLKEL, Regensburg
Harald ZEPP, Bochum
Arno KLEBER, Bayreuth

Periglaziale Deckschichten in Mittelgebirgen – ein offenes Forschungsfeld

Summary

Periglacial slope deposits are widespread in Central European Highlands. They cover the underlying hard rock almost continuously with varying thickness up to several meters. Being chronostratigraphic equivalents of fluvial gravel terraces these deposits were accumulated during the Wisconsin (Würm, Weichsel) ice age. Distinct stratigraphic units can be observed. This paper is an introduction in the genesis, properties and significance of the periglacial slope deposits to form the base for the following four papers that focus on selected research activities. Periglacial slope deposits are the parent material in which the soil formation took place during the late glacial and the holocene period. Without such slope deposits soils on the hard rocks would not have developed more than shallow profiles (A-C-horizon-profiles). The hydrological and landscape ecological properties of the multi-layered deposits vary from region to region.

Vorbemerkung

Dieser Beitrag soll in die landschaftsökologische Bedeutung und in aktuelle Fragen der Erforschung der periglazialen Deckschichten in Mittelgebirgen einführen. Anlass hierzu bot die von A. Kleber und J. Völkel geleitete Fachsitzung auf dem Leipziger Geographentag 2001. Die Kapitel 1 und 2 bieten einen Einblick in das Forschungsfeld und in die landschaftsökologische Bedeutung der Thematik, damit anschließend (Kap. 3) die Einordnung der in diesem Heft folgenden Beiträge von ZÖLLER und NEHRING, RAAB und VÖLKEL, SCHOLTEN und BEHRENS sowie von BECK in den Forschungs- und Anwendungszusammenhang deutlich wird. Da an anderer Stelle die Forschungsgeschichte zu periglazialen Deckschichten umfassend aufgearbeitet ist, beschränkt sich dieser Beitrag auf die gut zugängliche, vor allem neuere Literatur. Weitere relevante Literaturhinweise enthalten die folgenden Beiträge.

1 Merkmale, Eigenschaften, Verbreitung und Alter periglazialer Deckschichten

Die europäischen Mittelgebirge nördlich der Alpen werden überwiegend aus paläozoischen und mesozoischen, teils auch aus tertiären Festgesteinen aufgebaut. Zwischen den Eigenschaften der gebirgsbildenden Gesteine (insbesondere Korngrößenzusammensetzung und Mineralbestand) und den durch Verwitterungs- und Bodenbildungsprozesse entstandenen Böden bestehen Zusammenhänge. Geomorphologische und bodenkundliche Kartierungen der letzten Jahrzehnte haben diese grundsätzlich richtige, aber zu simple Aussage modifizieren lassen. So sind die Mittelgebirgsböden in den seltensten Fällen unmittelbar die Verwitterungsprodukte der am Standort selbst im Untergrund anstehenden Gesteine. Vielmehr fand die Bodenbildung in Schichten statt, die die Festgesteine gerade auch im Hangrelief der Mittelgebirge weitflächig überdecken. Da diese Hangsedimente im Quartär entstanden sind und stets unter kalteklimatischen Bedingungen im Periglazialraum gebildet wurden, werden sie als *quartäre resp. periglaziale Hangsedimente* (Tab. 1) bezeichnet. Äolische Sedimente wie Löss und Flugsand und untergeordnet auch im Mittelgebirgsraum glaziale Sedimente (Tills) zählen dazu, während die solifluidal-kryoturbat entstandenen *periglazialen Deckschichten* die größte Bedeutung besitzen (VÖLKEL und RAAB 1999). Ihre Eigenschaften prägen entscheidend die Art und Intensität der bodenbildenden Prozesse, welche nach dem Hochstand der letzten Kaltzeit im Spätglazial einsetzten und insbesondere während des anschließenden Holozäns gewirkt haben.

Quartäre und Periglaziale Hangsedimente	
<p>Löss (äolisch) Flugsand (äolisch) glaziale Sedimente (tills, glazial)</p>	<p><i>periglaziale Deckschichten</i> (dominant kryoturbat-solifluidale Genese)</p>

Tab. 1: Quartäre Hangsedimente in Mittelgebirgen

Bis in die 80er Jahre hinein war das Studium der periglazialen Deckschichten einigen wenigen Spezialisten vorbehalten, die breitere fachliche Öffentlichkeit nahm von der Existenz dieser Schichten wenig Notiz. Dies erklärt, weshalb in bodenkundlichen und geomorphologischen Lehrbüchern und insbesondere in Bodenkarten der alten Bundesländer aus dieser Zeit die Deckschichten meist vernachlässigt wurden. Die Mittelgebirgsböden wurden weitgehend als Verwitterungsprodukte der anstehenden Festgesteine angesehen und folglich z.B. als Sandstein-, Schiefer- oder Kalkböden angesprochen, verbunden mit der Angabe des Bodentyps, z.B. Braunerde,

Podsol oder Pseudogley. Wegen ihrer Bedeutung für den Landschaftshaushalt und seine Nutzung ist mittlerweile anerkannt, dass die Entstehung und Verbreitung der Deckschichten ein wichtiges Forschungsfeld darstellen.

Die periglazialen Hangsedimente sind Schichten im geologisch-sedimentologischen Sinne. Begrifflich sind sie damit von Horizonten im Sinne der Bodenbildung zu trennen, die durch Stoffumwandlungen und vorwiegend vertikale Stoffverlagerungsprozesse entstanden sind. Vor allem die periglazialen Deckschichten bilden kraft ihrer solifluidal-kryoturbaten Genese in aller Regel Schichtkomplexe. Deckschichtenprofile, in welchen sich am jeweiligen Standort die Böden etablierten, bestehen in der Regel aus mehreren Schichten von wenigen Dezimetern bis zu einigen Metern Mächtigkeit. Diese unterscheiden sich einerseits im Vertikalprofil voneinander durch Lagerung, Dichte, Skelettgehalt und dessen Einregelung, Korngrößenverteilung und Mineralzusammensetzung des Feinbodens ($< 2 \text{ mm}$), nicht zuletzt auch durch die durch Bodenbildung geschaffenen Gefügemerkmale. Andererseits variieren die Merkmale und Eigenschaften periglazialer Deckschichten gleichartiger Genese und Altersstellung mit wechselnden Gesteinen, sogar innerhalb naturräumlicher Einheiten.

Ein Idealprofil ist aus drei Schichten unterschiedlicher Genese und unterschiedlichen Alters aufgebaut (Abb. 1). Im Laufe der Forschungsgeschichte sind diese Schichten mit den verschiedensten Begriffen belegt worden (vgl. VÖLKELE 1995a, VÖLKELE et al. 2002). Seit den späten 1980er Jahren besteht Konsens, diese Schichten *Lagen* zu nennen (u.a. AG BODEN 1994). Man unterscheidet die gelisolifluidal unter einem feuchten periglazialen Klima entstandenen *Basislagen*, die ihre Herkunft vor allem durch die in Bewegungsrichtung hangabwärts eingeregelter Skelettkomponenten und durch das Fehlen äolisch eingetragener Sedimentanteile (Löss) zweifelsfrei belegen. Dem kaltariden Periglazialklima sind hingegen die stark löss(lehm)haltigen *Hauptlagen* zuzurechnen, die wie auch die Basislagen ubiquitär auftreten. Die solimixtiv-kryoturbaten Prozesse schufen ganz andere Sedimenteigenschaften, die sich neben dem Löss(lehm)anteil in Form eines deutlich erhöhten Feinkornanteils ($< 63 \mu\text{m}$) im Feinboden von meist über 60%, in einer geringeren Lagerungsdichte und in geringeren Anteilen an Fein- und Mittelskelettkomponenten manifestieren. Für die rezente Bodenbildung im Mittelgebirgsraum sind diese Hauptlagen von besonderer Bedeutung, denn ohne sie wäre die Bodenbildung in den Mittelgebirgen vielerorts kaum über das Rankerstadium hinausgekommen (SEMMELE 1993). Zwischen Haupt- und Basislagen kann im Vertikalprofil ein weiteres Schichtglied eingeschaltet sein, die *Mittellage*. Sie steht sedimentologisch, nicht zuletzt wegen der hohen Anteile an Löss(lehm), den Haupt-

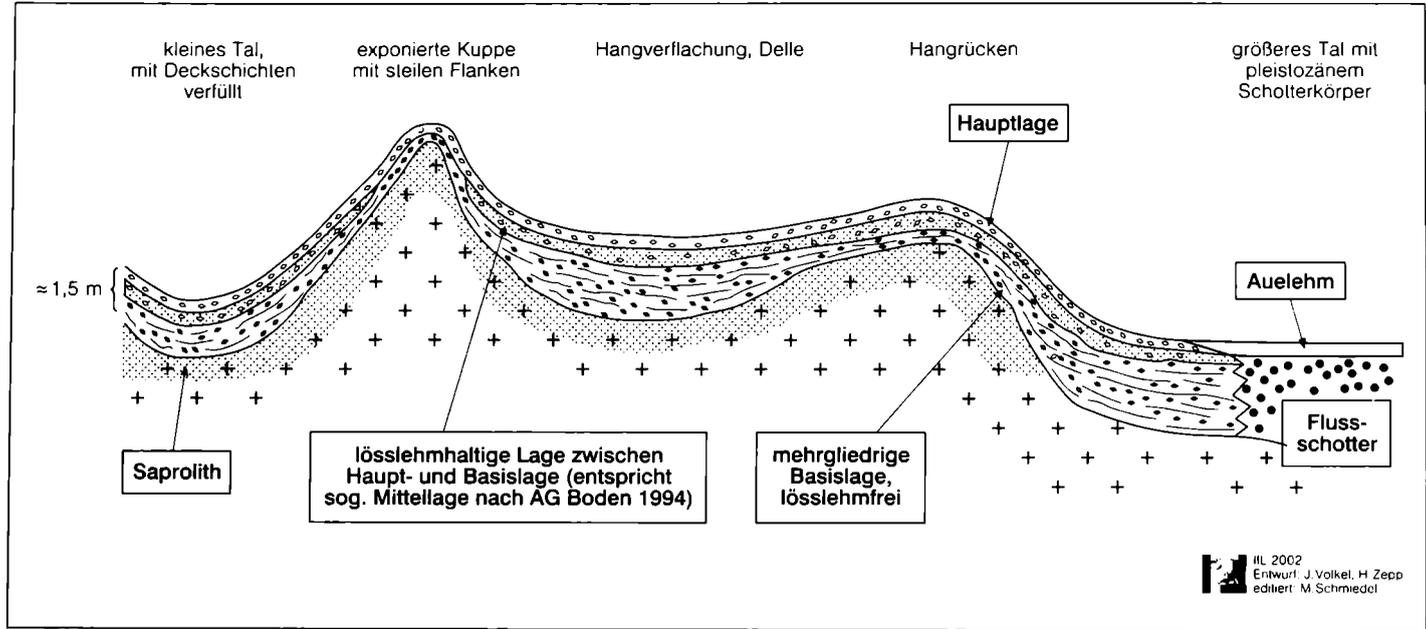


Abb. 1: Idealierte Gliederung periglazialer Deckschichten in Mittelgebirgen

lagen nahe; aufgrund zumeist klar trennbarer, von Region zu Region allerdings oft unterschiedlicher, jeweils zu definierender Sedimenteigenschaften ist sie jedoch als eigenständige Schicht auszuweisen. Hinsichtlich der Verbreitung der Lagen sowie deren Bedeutung für Relief, Bodenbildung und Landschaftsökologie eines Naturraumes sind die Mittellagen jedoch von nachgeordneter Bedeutung, weil sie nur lokal in abtragungsgeschützten oder ablagerungsbegünstigenden Hangpositionen auftreten.

Die *Altersstellung* der periglazialen Deckschichten ist in den letzten Jahren intensiv diskutiert worden (zusammenfassend VÖLKELE und LEOPOLD 2001 und VÖLKELE et al. 2002). Sie lässt sich auf folgende Kernaussagen reduzieren: Die jüngsten Schichtglieder eines periglazialen morphodynamischen Regimes in zentraleuropäischen Mittelgebirgen sind die Hauptlagen. Sie können nur unter einem kaltariden Klima gebildet worden sein, wie es mit dem Hochstand der jüngsten Kaltzeit und dessen Übergang ins Spätglazial gegeben war. Hauptlagen finden sich auch auf den hochwürmzeitlichen Moränen und den entsprechenden Rückzugsstadien der Mittelgebirgsvergletscherungen (s. Beitrag RAAB und VÖLKELE in diesem Heft) und der Alpen (MAILÄNDER und VEIT 2001). Eine schnelle Wiederbealdung sorgte für die Konservierung der mit ca. 50 cm vergleichsweise geringmächtigen und vor allem leicht erodierbaren Hauptlagen. Auf das Problem der Mittellagen soll hier nicht näher eingegangen werden (vgl. u.a. VÖLKELE 1995b, VÖLKELE et al. 2002). Auch sie sind in jedem Fall junge, spätglaziale Bildungen. Inwieweit sogar noch während der Jüngeren Dryas-Zeit, dem letzten Kalterückschlag der ausgehenden Eiszeit, eine umfassende periglaziale Hangmorphodynamik reaktiviert wurde, wird von Region zu Region diskutiert. Die Basislagen müssen hingegen in aller Regel vor dem Hochglazial entstanden sein. Ein spätglaziales Alter scheidet aus, denn sie werden von Haupt- und teils auch Mittellagen bedeckt; nirgendwo wurden bisher Belege für eine Verschneidung periglazialer Deckschichten mit bereits während des Spätglazials (u.a. Ältere Dryas, Bölling) aufgewachsenen Mooren der Mittelgebirge gefunden (VÖLKELE und LEOPOLD 2001). Allerdings könnten, wenn die geomorphodynamischen Voraussetzungen für laminares Bodenfließen gelisolifluidaler Art gegeben waren, auch lokal – und daher eher in Einzelfällen – Basislagen auch noch im älteren Spätglazial entstanden sein (vgl. FRIED 1984). Generalisierend gilt jedoch, dass Basislagen ältere Bildungen sind, die in den kühl-feuchten Phasen der jüngsten Kaltzeit entstanden sind, denn auf hochwürmzeitlichen Moränen sind Basislagen *sensu strictu* nicht nachweisbar, während Hauptlagen vorhanden sind (s.o. und KÖSEL 1996). Im Falle mächtiger Basislagenkomplexe mit mehreren Metern Mächtigkeit ist anzunehmen und in Einzelfällen auch näher untersucht (RAAB 1999), dass auch riß- bzw. saalezeitliche

Basislagen früherer Kaltzeiten erhalten sind und zur Mächtigkeit des periglazialen Schichtkomplexes beitragen. Wie bei mehrgliedrigen Lößprofilen kam es dort zu einer Akkumulation periglazialer Sedimente, die auch im Falle der periglazialen Deckschichten teilweise von Paläoböden getrennt werden (ZÖLLER und NEHRING in diesem Heft). Datierungsversuche mittels Infrarot stimulierter Lumineszenz (IRSL) von VÖLKELE und MAHR (2001) zeigen, dass die Basislagen entweder grundsätzlich nicht belichtet wurden, was bedeutet, dass eine Datierung mittels Lumineszenzverfahren nicht möglich ist, oder aber alle in dieser Studie untersuchten Basislagen älter als 30.000 Jahre waren.

2 Bedeutung periglazialer Deckschichten für Relief und Landschaftsökologie

Das Hangrelief wird im Mittelgebirgsraum insofern entscheidend von den periglazialen Deckschichten beeinflusst, als diese vor allem in Form mehr- bis vielgliedriger Basislagenkomplexe in hohem Maße auskleidend und begleichend wirken (VÖLKELE 1995a, KLEBER und SCHELLENBERGER 1998). Das erklärt die vielfach gestreckten Hänge mit gleichmäßigem Gefälle vor allem in den mittleren und oberen Lagen der höheren Mittelgebirge. Im Bereich der Unterhänge sorgen mehrgliedrige Deckschichten für eine Betonung von Hangverflachungen. In den größeren Tälern verzahnen sich die periglazialen Deckschichten mit den fluvialen Sedimenten (Abb. 1). Kleinere Täler, deren Gerinne eine geringere holozäne Ausräumungskraft entwickelten, sind häufig mit periglazialen Deckschichten (v. a. vielgliedrigen Basislagen) verfüllt (THIEMEYER 1988). Hier liegen die fluvialen Sedimente und insbesondere die holozänen Aulehne den periglazialen Deckschichten auf. Die Talform kleinerer Nebenflüsse wird oft nachhaltig von periglazialen Deckschichten gestaltet. Im Karstrelief der Südlichen Frankenalb bei Regensburg kam es zum Beispiel zur Umgestaltung markanter Kastentäler zu anderen Talformen wie Kerb-Sohlentälern. Im Hochgebirge (Alpen) und in den vergletscherten Hochlagen einiger Mittelgebirge (u.a. Bayerischer Wald, Schwarzwald und Harz) nivellieren periglaziale Deckschichten vor allem versteilte Formelemente der glazialen Morphodynamik (ARTMANN und VÖLKELE 1999, RAAB 1999). Die reliefausgleichende Wirkung der periglazialen Deckschichten durch die Auskleidung konkaver Hangbereiche und kleinerer Tälern trifft z.B. ebenfalls auf das Rheinische Schiefergebirge zu.

Von besonderer Bedeutung – sowohl bezogen auf das Hangrelief als auch auf die Landschaftsökologie – ist die hydrologische Funktion periglazialer Deckschichten. Die locker gelagerten Hauptlagen nehmen aufgrund

ihrer hervorragenden Draineigenschaften und ausgeprägten Wasserdurchlässigkeit sowohl (Stark-)Regen als auch Schmelzwasser problemlos auf, so dass es auch auf Kahlschägen o. ä. niemals oder selten zu Verspülungserscheinungen oder Erosionsanrissen kommt. Das erklärt die fehlende Zerrung des Hangreliefs im Mittelgebirgsraum. Unter der Hauptlage folgt jedoch regelmäßig eine Schicht mit höherer Lagerungsdichte und geringerer Wasserleitfähigkeit. Das Sickerwasser wird im Bereich von Änderungen der hydraulischen Leitfähigkeit ganz oder teilweise aus der Vertikalen abgelenkt. In weiten Bereichen der Mittelgebirge fließt deshalb das Hangwasser im Wesentlichen parallel zur Reliefoberfläche. Als schnelle Abflusskomponente (sog. Interflow) ist es vielfach hochwasserwirksam.

Es existieren aus den verschiedenen Gebirgen Mitteleuropas sehr unterschiedliche Befunde darüber, welche Lagen bevorzugt das Hangwasser lateral abführen. Als Ursachen für den Hangwasserfluss sind im Frankenvald sowohl Leitfähigkeitssprünge an der Grenzfläche zwischen der Haupt- und der Mittellage als auch zwischen der Mittel- und der Basislage identifiziert worden (KLEBER et al. 1998a). Diese Untersuchungen in diesem Mittelgebirge (Tonschiefer) zeigten darüber hinaus, dass durch Störungen, wie sie durch tiefreichende Eiskeile oder Wurzelbahnen gegeben sind, Wasser auch in Basislagen einsickern kann. Durch die Einregelung der Gesteinskomponenten ist darin eine dachziegelartige Struktur entstanden, sodass das Sickerwasser auch innerhalb mächtiger Basislagen entlang dieser vorgegebenen Struktur in Gefällsrichtung abgelenkt wird und als Interflow abfließt. Im untersuchten Beispiel hat dieser Fließweg den weitestgrößten Anteil am Gesamtabfluß eines kleinen Quelleinzugsgebiets (KLEBER et al. 1998, KLEBER und SCHELLENBERGER 1998, 1999).

Auch in einigen kristallinen Mittelgebirgen Süddeutschlands tritt das Sickerwasser in die Basislagen über (VÖLKEl et al. 2002). Diese sind zwar auch dort kompakt gelagert und können allein aufgrund ihres Skelettreichtums massive Barrieren für eine Durchwurzelung sein. Letztlich zeigen sie aber einen eher porösen Aufbau und sind die Leitbahnen für den Hangabfluss. Schluffkappen auf den Oberseiten der Skelettkomponenten und charakteristisch blanke Unterseiten derselben sind beredete Zeugen dieser Leiterfunktion der Basislagen. Werden Basislagen im Zuge von Bauvorhaben angeschnitten, tritt meist aus ihnen das Wasser heraus. Die hangenden Mittel- und Hauptlagen setzen hingegen kaum Wasser frei.

Stauend wirken vielfach die unter den Basislagen entwickelten verlehnten Saprolithe, die typisch für die Vergangenheit zahlreicher Mittelgebirge während des Mesozoikums und des Tertiärs sind (u.a. WIECHMANN und ZEPP 1985, FELIX-HENNINGSSEN 1990, Völkel 1999). In weiten Teilen des Rheinischen Schiefergebirges bildet solches tonreiches Saprolithmaterial

den Hauptbestandteil der Basislagen (ZEPP, unveröff.). In diesen Fällen sind die Basislagen hervorragende Wasserstauer. Insgesamt lassen sich somit keine für alle Mittelgebirge gleichermaßen gültigen Aussagen zur hydrologischen Wirkung der Basis- und Mittellagen machen.

Die Beeinflussung des Wasserflusses durch die periglazialen Deckschichten besitzt nicht nur eine hydrologische, sondern auch eine geökologische Bedeutung für den Stoffhaushalt der Landschaften. Durch Interflow werden Schadstoffe vielfach so schnell transportiert, dass die Filterwirkung des Substrats nicht zum Tragen kommt (LINDEMANN 1997). Darüber hinaus scheiden einzelne, gering wasserdurchlässige und daher nicht durchflossene Lagen als Filter, Puffer oder Transformator für Schadstoffe aus (vgl. BECK in diesem Heft).

Da sich die rezenten Böden auch im Mittelgebirgsraum nur sehr selten aus dem anstehenden Festgestein selbst entwickelten, kommen der Verbreitung, dem Schichtaufbau und den Materialeigenschaften periglazialer Deckschichten grundlegende Bedeutung für die Bodengenese und folglich auch für die Bodenökologie zu. Die Schichten steuern mit ihren jeweiligen Schichtgrenzen neben der Horizontausprägung der Böden auch die physikochemischen Eigenschaften sowie die Transformations- und Verlagerungsprozesse innerhalb der Böden. Hiervon betroffen ist beispielsweise die Fähigkeit der Böden, eingetragene Schadstoffe (Schwermetalle, Herbizide oder Pestizide) zu binden und damit vom Grundwasser fernzuhalten. Ferner beeinflussen die Deckschichten die Tiefenfunktion geochemischer Parameter wie Boden-pH, organischer Kohlenstoff, Stickstoff, Schwermetallkonzentrationen etc. Periglaziale Deckschichten können geogene Grundgehalte abmildern, wenn zum Beispiel stark bleihaltige Vulkanite von lösslehmreichen Deckschichten überlagert werden. Darüber hinaus steuern die periglazialen Deckschichten auch die Trinkwasserqualität. Die hohe Aluminiumbefrachtung von Wässern in alten Kristallingebieten wie dem Bayerischen Wald, dem Oberpfälzer Wald, dem Fichtelgebirge, Teilen des Schwarzwaldes, aber auch im Harz und im Erzgebirge kann durch die mineralogische Zusammensetzung der Hauptlagen gemildert werden, denn ihr Reichtum an frischen, leicht verwitterbaren Mineralen wirkt der pedogenen Freisetzung des Aluminiums als der wesentlichen Quelle für die Aluminiumbelastung entgegen. Andererseits können aus dem gleichen Grunde auch die periglazialen Deckschichten einen höheren geogenen Schwermetall-Background an die Böden weitergeben, als die Analyse der anstehenden Festgesteine erwarten ließe (zur geökologischen Bedeutung der Deckschichten vgl. SEMMEL 1991 (Überblick) oder z.B. STAHR 1979, SABEL 1989, SCHILLING und SPIES 1991, LORZ 1996, LINDEMANN 1997, KLEBER et al. 1998b).

Periglaziale Deckschichten steuern vor allem in den Hochlagen der Mittelgebirge wie auch im Alpenraum teils sehr nachhaltig die Ausprägung der organischen Auflagehorizonte (Oh- und Of-Horizonte). Das wiederum hat zum Beispiel aus radioökologischer Sicht einen erheblichen Einfluss auf den Kontaminationsgrad und auf die Tiefenverteilung von künstlich freigesetzten Radionukliden wie dem Radiocäsium aus dem Tschernobyl-Fallout von 1986 (u.a. VÖLKEI 1998). Weitere Bedeutung kommt den periglazialen Deckschichten im Zusammenhang mit Standortkartierungen zur forstlichen Nutzung zu. Vor allem die im Zuge der Differenzierung der Windwurfgefährdung und darauf aufbauenden gelenkten Bestockung von Wuchsbezirken zu kartierenden Schichtmächtigkeiten (hier Haupt- und Mittellagen) sind ein entscheidender Faktor für forstwirtschaftliche Entscheidungen (HEINRICH 1991).

Aufgrund ihrer bodenökologischen und landschaftsökologischen Bedeutung ging die vertiefte Forschung an periglazialen Deckschichten auch von Standortkundlern bzw. Feldbodenkundlern aus (u.a. SCHILLING und WIEFEL 1962, SEMMEL 1968). Bekannt sind die periglazialen Deckschichten in der (quartär-)geomorphologischen Forschung indes bereits u.a. seit den Publikationen von PASSARGE (1920) und BÜDEL (1937, 1944). Eine Zusammenfassung zur Forschungsgeschichte, zu den wechselnden Terminologien und zum derzeitigen Stand der Deckschichtenforschung gibt VÖLKEI (2002). Nicht zuletzt im Rahmen anwendungsbezogener bodenökologischer Forschung haben periglaziale Deckschichten in den 1990er Jahren eine wahre Renaissance (u.a. SABEL 1989) erfahren. Hinzu kommt ihre grundsätzliche Bedeutung als geowissenschaftliche Archive im Rahmen der Paläoklimaforschung, weshalb Forschungsarbeiten an periglazialen Deckschichten wiederholt im Rahmen eines DFG-Schwerpunktprogramms „Zum Wandel der Geo-Biosphäre während der letzten 15.000 Jahre ...“ durchgeführt wurden (u.a. VÖLKEI und LEOPOLD 2001, VÖLKEI und MAHR 2001). Die in Mitteleuropa gewonnenen Ergebnisse sind über den engeren Raum hinaus von Bedeutung, da periglaziale Deckschichten, obwohl in den meisten Forschungstraditionen des Auslands unbekannt, ein in den gesamten Mittelbreiten verbreitetes Phänomen sind (KLEBER 1997, 1999, 2001).

3 Periglaziale Deckschichten – ein offenes Forschungsfeld

Fundierte Aussagen zur lithofaziellen Ansprache periglazialer Hangsediimente und insbesondere zur Deckschichtengliederung sind nur in geeigneten Aufschlüssen (Böschungsanschnitten, Baugruben etc.) und in Profilgruben möglich. Bereits recht einfache, aus der Körnung ableitbare Indices (Feinbodenquotient, Schluffquotient; s. SCHOLTEN und BEHRENS in diesem Heft) und der aus Eisenfraktionen ableitbare Verwitterungsindex (nach

GÜNSTER und SKOWRONEK, zitiert in SCHOLTEN und BEHRENS in diesem Heft) helfen bei der Gliederung mehrschichtiger Profile. Auch klassische Methoden der Sedimentanalyse, wie etwa situmetrische Messungen zur Einregelung des Grobskeletts, sind hilfreich, z.B. um Deckschichten von glazialen Tills in Hanglage unterscheiden zu können (RAAB und VÖLKEI in diesem Heft). Um die Befunde aus der Aufschlussarbeit abzusichern, qualitativ und quantitativ zu verbessern, treten in jüngeren Arbeiten aufwändige laboranalytische Verfahren hinzu.

Die bloße Existenz von Mineralen, die beim allerödzeitlichen Laacher See-Vulkanismus gefördert wurden, in der Hauptlage ist in der Vergangenheit häufig als Zeitmarke überschätzt worden (VÖLKEI et al. 2002). Eingeführte Methoden der absoluten Altersdatierung (Thermolumineszenz-Verfahren, ¹⁴C-Datierungen) können auf periglaziale Deckschichten nicht angewandt werden. Versuche, über Infrarot stimulierte Lumineszenz (IRSL) zu verlässlichen absoluten Altersangaben zu gelangen (VÖLKEI und MAHR 2001), zeigen erste ermutigende Ergebnisse (RAAB und VÖLKEI in diesem Heft). Erfolgreiche Versuche, das Alter der Deckschichten insgesamt und einzelner Schichtglieder zu ermitteln, nehmen häufig ihren Ausgang bei der Verzahnung der Lagen mit Sedimenten, die entweder eine relative Alters-einstufung erlauben oder datierbare Komponenten enthalten (Torf, organische Substanz in Humuszonen/Paläobodenhorizonten). ZÖLLER und NEHRING (in diesem Heft) geben Beispiele davon, wie sich am Nordrand des Rheinischen Schiefergebirges periglaziale Deckschichten mit Lössen verzahnen und welche morphodynamischen Schlussfolgerungen für das Entstehungsmilieu daraus gezogen werden können: Solifluktionsschichten sind immer Ausdruck erhöhter morphodynamischer Aktivität nach einer Stabilitätsphase, in der die Reliefoberfläche durch die Pflanzendecke vor dem Abtrag weitgehend geschützt war. Besonders wichtig ist der Befund, dass sich die Basislagen-Fazies in einem der untersuchten Profile (Neustadt/Wied) auf den Zeitraum des Alt- und Mittelwürm bis zur Grenze des Oberwürm, ca. 110.000 bis 20.000 a BP erstrecken. Diese Angaben sind möglich, weil die zwischen den mehrgliedrigen Basislagen eingeschalteten Lössse sehr gut in die bekannte Lössstratigraphie der Gebirgsvorländer eingeordnet werden können. Erst im Randbereich der Lössverbreitung konvergieren die Basislagen und können dadurch singuläre Ereignisse vortäuschen.

RAAB und VÖLKEI (in diesem Heft) können Angaben zum Alter der Hauptlagen im Bayerischen Wald absichern, indem sie deren stratigraphische Position mit auf das Hochwürm datierbaren glazialen Ablagerungen, glaziolakustrinen Ablagerungen und Torfen flächenhaft kartieren. Ihren Befund sehen sie als weitere, methodisch und regional unabhängige Be-

stätigung früherer Untersuchungen, dass die Hauptlagen zentraleuropäischer Mittelgebirge mindestens in der Ältesten Dryas-Zeit entstanden sind und keinesfalls die Jüngere Dryas als Bildungszeit in Frage kommt. Die Basislagen werden wegen einer als interglazial eingestuften Parabraunerde-Paläoboden-Bildung als prä-würmzeitlich betrachtet.

Nicht die Altersdatierung und die stratigraphische Gliederung der Deckschichten, sondern die Frage, inwiefern die Verbreitung der periglazialen Deckschichten mit Hilfe reliefstatistischer und GIS-Methoden regionalisiert werden kann, steht bei SCHOLTEN und BEHRENS (in diesem Heft) im Mittelpunkt der Untersuchungen. Die Autoren leisten einen Beitrag zur Methodenentwicklung. Für zahlreiche angewandte Problemstellungen ist die Kenntnis der räumlichen Verbreitung der Deckschichten und deren Eigenschaften eine Grundvoraussetzung, etwa für die Anwendung flächendifferenzierter, numerischer Modelle des Gebietswasserhaushaltes, aber auch für prozessorientierte, semiquantitative landschaftsökologische Raumgliederungen und -typisierungen. Scholten und Behrens stand mit über 600 Profilbeschreibungen eine außerordentliche breite Datenbasis zur Ableitung signifikanter Regionalisierungsregeln zu Verfügung. So streben sie die Vorhersage von Gesamtmächtigkeit der Deckschichten, Mächtigkeiten einzelner Lagen sowie der Textur und Skelettgehalte für Areale im Harz und im Solling an. Die Verallgemeinerbarkeit der Regionalisierungsmodelle auf andere Mittelgebirge wird zukünftig sicherlich zu prüfen sein.

Der Verwendungszusammenhang der Studie von BECK (in diesem Heft) wird durch den Bodenschutz gegeben. Beck begründet anhand der im Naturpark Schönbuch bei Tübingen beispielhaft gewählten Elemente Blei und Zink, dass zukünftig die Bewertungsverfahren zum Filter- und Immobilisierungspotenzial des Bodens den Besonderheiten des Wasserflusses in periglazialen Deckschichten Rechnung tragen sollten, denn in Abhängigkeit von den lateralen Fließwegen des Bodenwassers fallen – wie im vorigen Kapitel bereits dargestellt – ganze Profilbereiche als Filtersubstrat vollständig aus. Folglich rufen schematisch angewendete Bewertungsverfahren zwangsläufig falsche Ergebnisse hervor. In Abhängigkeit von den regional und sogar lokal variierenden Eigenschaften der Deckschichten sind angepasste Bewertungsstrategien erforderlich.

Literatur

- AG BODEN ⁴1994: Bodenkundliche Kartieranleitung. Stuttgart.
- ARTMANN, S. und J. VÖLKELE 1999: Untersuchungen an periglazialen Deckschichten im Nationalpark Berchtesgaden. Nördliche Kalkalpen. In: Zeitschrift für Geomorphologie N.F. 43, S. 463–481.

- BÜDEL, J. 1937: Eiszeitliche und rezente Verwitterung und Abtragung im ehemals nicht vereisten Teil Mitteleuropas. In: Petermanns Geographische Mitteilungen, Ergänzungs-Heft 229, S. 1–83.
- BÜDEL, J. 1944: Die morphologischen Wirkungen des Eiszeitklimas im gletscherfreien Gebiet. In: Geologische Rundschau 34, S. 482–519.
- EINSELE, G., G. AGSTER und M. ELGNER 1986: Niederschlag-Bodenwasser-Abflußbeziehungen bei Hochwasserereignissen im Keuper-Lias-Bergland des Schönbuchs. In: Deutsche Forschungsgemeinschaft (Hrsg.): Das landschaftsökologische Forschungsprojekt Naturpark Schönbuch. Weinheim, S. 209–234.
- FELIX-HENNINGSSEN, P. 1990: Die mesozoisch-tertiäre Verwitterungsdecke (MTV) im Rheinischen Schiefergebirge. Berlin, Stuttgart (= Relief, Boden, Paläoklima, 6).
- FRIED, G. 1984: Gestein, Boden und Relief im Buntsandstein-Odenwald. Frankfurt a.M. (= Frankfurter Geowissenschaftliche Arbeiten, D4).
- HEINRICH, J. 1991: Ursachen von Sturmschäden in Buchenbeständen (*Fagus Silvatica*) aus bodengeographischer Sicht. In: Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 162/8, S. 145–149.
- KLEBER, A. 1992: Periglacial slope deposits and their pedogenic implications in Germany. In: Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology 99, S. 361–372.
- KLEBER, A. 1997: Cover-beds as soil parent materials in mid-latitude regions. In: Catena 30, S. 197–213.
- KLEBER, A. 1999: Zur Übertragbarkeit des deutschen Deckschichtenkonzepts. In: Petermanns Geographische Mitteilungen 143, S. 363–372.
- KLEBER, A. 2001: Jungquartäre Entwicklung von Hängen, Böden und Klima im Westen der USA (Nördliches Great Basin und Randgebirge). Bayreuth (= Bayreuther Geowissenschaftliche Arbeiten, 21).
- KLEBER, A., J. LINDEMANN, A. SCHELLENBERGER, C. BEIFERKUHNEIN, M. KAUPENJOHANN und S. PEIFFER 1998a: Slope deposits and water paths in a spring catchment, Frankenwald, Bavaria, Germany. In: FINKE, P.A., J. BOUMA, M.R. HOOSBEEK (eds.): Soil and Water Quality at Different Scales. Dordrecht: Kluwer Publ., S. 119–126.
- KLEBER, A. und R. MAILÄNDER 1998: Veränderungen in Mineralböden relativ zum Ausgangssubstrat am Beispiel der Bindungsformen des Bleis. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 88, S. 199–202.
- KLEBER, A., R. MAILÄNDER und W. ZECH 1998b: Stratigraphic approach to alteration in mineral soils – the heavy metal example. In: Soil Science Society America Journal 62, S. 1647–1750.
- KLEBER, A. und A. SCHELLENBERGER 1998: Slope hydrology triggered by cover-beds. With an example from the Frankenwald Mountains, northeastern Bavaria. In: Zeitschrift für Geomorphologie N.F. 42, S. 469–482.
- KLEBER, A. und A. SCHELLENBERGER 1999: Hydrogeologische Verhältnisse eines Quelleinzugsgebiets im Frankenwald. In: Bayreuther Forum Ökologie 71, S. 17–25.
- KLEBER, A. und H. STINGL 2000: Zur Flußgeschichte des Trebgasttals nördlich von Bayreuth. Eine zweiphasige Talverlegung im Rotmainssystem. In: Bamberger Geographische Schriften, Sonderfolge 6, S. 191–208.
- KÖSEL, M. 1996: Der Einfluß von Relief und periglazialen Deckschichten auf die Bodenausbildung im mittleren Rheingletschergebiet von Oberschwaben. Tübingen. (= Tübingenr. Geowissenschaftliche Arbeiten, D1).
- LINDEMANN, J. 1997 Quantifizierung biogeochemischer Eisen- und Sulfat-Umsetzungen in einem Quellmoor und deren Beitrag zur Säureneutralisierung in einem Einzugsgebiet des Frankenwaldes. In: Bayreuther Forum Ökologie 51, S. 1–271.
- LORZ, C. 1996: Zur Problematik des geologischen Aufbaus der Bodendecke und der Verteilung von geogenen Schwermetallen. In: Geoökodynamik 17, S. 25–44.

- MAILÄNDER, R. und H. VEIT 2001: Periglacial cover-beds on the Swiss Plateau: Indicators of soil, climate and landscape evolution during the Late Quaternary. In: *Catena* 45, S. 251–272.
- PASSARGE, S. 1920: Die Oberflächengestaltung der Erde. Berlin (= Grundlagen der Landschaftskunde, Bd. III, 558 S.).
- RAAB, T. 1999: Würmzeitliche Vergletscherung des Bayerischen Waldes im Arbergebiet. Regensburg. (= Regensburger Geographische Schriften, 32).
- ROHDENBURG, H. und B. MEYER 1968: Zur Datierung und Bodengeschichte mitteleuropäischer Oberflächenböden, Schwarzerde, Parabraunerde, Kalksteinbraunlehm. Spätglazial oder Holozän? In: *Göttinger Bodenkundliche Berichte*, 6, S. 127–212.
- SABEL, K.-J. 1989: Zur Renaissance der Gliederung periglazialer Deckschichten in der deutschen Bodenkunde. Frankfurt a.M. (= Frankfurter Geowissenschaftliche Arbeiten, D 10).
- SCHILLING, B. und E.-D. SPIES 1991: Die Böden Mittel- und Oberfrankens. In: *Bayreuther Bodenkundliche Berichte* 17, S. 68–82.
- SCHILLING, W. und H. WIEFEL 1962: Jungpleistozäne Periglazialbildungen und ihre regionale Differenzierung in einigen Teilen Thüringens und des Harzes. In: *Geologie* 11, S. 428–460.
- SEMMEI, A. 1964: Junge Schuttdecken in hessischen Mittelgebirgen. In: *Notizblatt des hessischen Landesamtes für Bodenforschung*, 92, S. 275–285.
- SEMMEI, A. 1968: Studien über den Verlauf jungpleistozäner Formung in Hessen. Frankfurt am Main (= Frankfurter Geographische Hefte, 45).
- SEMMEI, A. 1990: Periglaziale Formen und Sedimente. In: LIEDTKE, H. (Hrsg.): *Eiszeitforschung*. Darmstadt, S. 250–260.
- SEMMEI, A. 1991: Schuttdecken und ihre Bedeutung für den Landschaftshaushalt in hessischen Mittelgebirge. In: *Geographische Rundschau* 43, S. 298–302.
- SPIES, E.-D. 1991: Böden und Deckschichten der Münchberger Hochfläche und des Frankenwaldes. In: *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* 64, S. 139–210.
- SEMMEI, A. 1993: *Grundzüge der Bodengeographie*. Stuttgart.
- STAHR, K. 1979: Die Bedeutung periglazialer Deckschichten für Bodenbildung und Standortseigenschaften im Südschwarzwald. Freiburg i.Br. (= *Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen*, 9).
- THIEMEYER, H. 1988: Holozäne Dellenentwicklung durch Bodenerosion – Beispiele aus Lößgebieten. In: *Bayreuther Geowissenschaftliche Arbeiten*, 14, Bayreuth, S. 95–102.
- VÖLKEI, J. 1995a: Periglaziale Deckschichten und Böden im Bayerischen Wald und seinen Randgebieten als geogene Grundlagen landschaftsökologischer Forschung im Bereich naturnaher Waldstandorte. *Zeitschrift für Geomorphologie*, Supplementband 96, 301 S.
- VÖLKEI, J. 1995b: Zur Darstellung von Schichtwechselln in periglazialen Decklagen des Bayerischen Waldes unter besonderer Berücksichtigung der Mittellage und ihrer Eigenschaften. In: *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 158, S. 177–186.
- VÖLKEI, J. 1998: Radioökologisches Monitoring zur Entwicklung der Cäsiumkontamination süddeutscher Waldgebiete und Maßnahmen zur Reduktion der Cäsiumaufnahme durch Pflanzen. In: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), 10. Fachgespräch zur Überwachung der Umweltradioaktivität, 28.–30.4.98. Hamburg, S. 419–424.
- VÖLKEI, J. 1999: Charakterisierung saprolithischer Verwitterung im südwestlichen Moldanubikum durch röntgendiffraktometrische Untersuchungen. In: *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie*, Teil I, 1998, 5/6, S. 289–304.

- VÖLKEL, J. und M. LEOPOLD 2001: Zur zeitlichen Einordnung der jüngsten periglazialen Aktivitätsphase im Hangrelief zentraleuropäischer Mittelgebirge. In: Zeitschrift für Geomorphologie N.F. 45, S. 273–294.
- VÖLKEL, J., M. LEOPOLD, A. MAHR und T. RAAB 2002: Zur Bedeutung kaltzeitlicher Hangsedimente in zentraleuropäischen Mittelgebirgslandschaften und zu Fragen ihrer Terminologie. In: Petermanns Geographische Mitteilungen 146, S. 50–59.
- VÖLKEL, J., M. LEOPOLD und M.C. ROBERTS 2001: The Radar Signatures and Age of Periglacial Slope Deposits, Central Highlands of Germany. In: Permafrost and Periglacial Processes, 12, S. 379–387.
- VÖLKEL, J. und A. MAHR 1997: Neue Befunde zum Alter der periglazialen Deckschichten im Vorderen Bayerischen Wald. In: Zeitschrift für Geomorphologie N.F. 41, S. 115–121.
- VÖLKEL, J. und A. MAHR 2001: Die IRSI-Datierung von periglazialen Hangsedimenten - Ergebnisse aus dem Bayerischen Wald. In: Zeitschrift für Geomorphologie N.F. 45, S. 295–305.
- VÖLKEL, J. und T. RAAB 1999: Zur Differenzierung periglazialer, glazigener und kolluvialer Sedimente im Hangrelief von Mittel- und Hochgebirgen. In: Zentralblatt für Geologie und Paläontologie, Teil I, 1998, 5/6, S. 305–318.
- WIECHMANN, H. und H. ZEPP 1985: Zur morphogenetischen Bedeutung der Graulehne in der Nordeifel. In: P.D. JUNGERIUS (Hrsg.): Soils and Geomorphology, Catena Supplement 6. Braunschweig, S. 121–135.