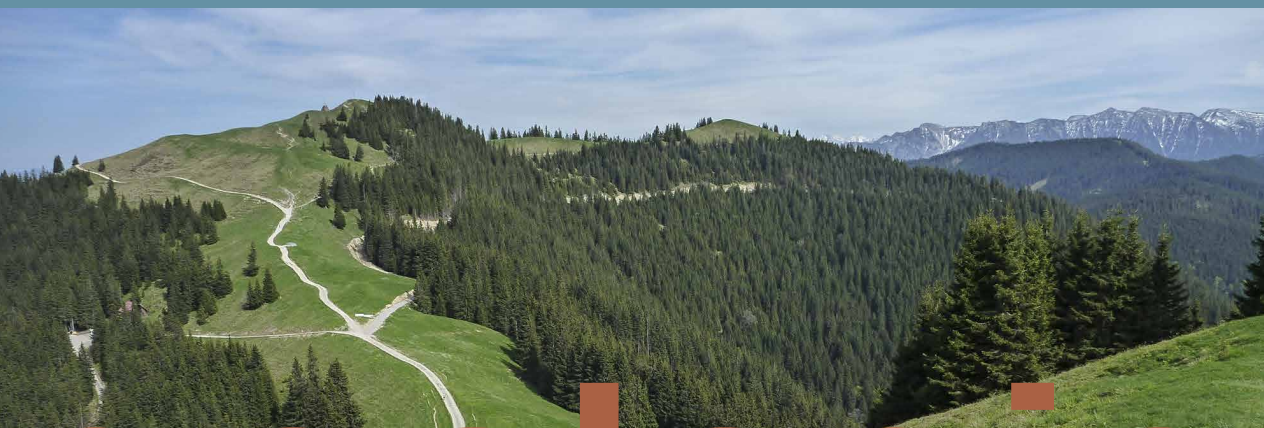




**Zersatz- und  
Solifluktionsbildungen  
oberhalb der würmzeitlichen  
Vergletscherung im  
Hörnle-Aufacker-Gebiet  
(Ammergebirge)**



geologie





# **Zersatz- und Solifluktionsbildungen oberhalb der würmzeitlichen Vergletscherung im Hörnle-Aufacker-Gebiet (Ammergebirge)**

Von  
Ulrich Teipel

34 Seiten, 22 Abbildungen, Augsburg 2016

**UmweltSpezial**  
**Geologica Bavarica 113**

## Impressum

Zersatz- und Solifluktionsbildungen oberhalb der würmzeitlichen Vergletscherung im Hörnle-Aufacker-Gebiet (Ammergebirge)

### Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)  
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160  
86179 Augsburg  
Tel.: 0821 9071-0  
Fax.: 0821 9071-5556  
E-Mail: [poststelle@lfu.bayern.de](mailto:poststelle@lfu.bayern.de)  
Internet: [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de)

### Konzept/Text:

LfU, Referat 102, Dr. Ulrich Teipel

### Redaktion:

LfU, Referat 102

### Bildnachweis:

LfU

### Titelbild:

Blick vom Mittleren Hörnle auf die Flysch-Gipfel Hinteres Hörnle, Stierkopf, Kleiner und Großer Aufacker.  
Im Hintergrund sind die Nördlichen Kalkalpen des Estergebirges erkennbar.

### Stand:

Mai 2016

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die Publikation wird kostenlos abgegeben, jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt.

Der Inhalt wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.



BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 089 122220 oder per E-Mail unter [direkt@bayern.de](mailto:direkt@bayern.de) erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzfassung</b>	<b>7</b>
<b>Abstract</b>	<b>7</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>8</b>
<b>2 Geologischer Überblick</b>	<b>9</b>
<b>3 Aufschlussbeschreibungen</b>	<b>11</b>
3.1 Zersatz- und Solifluktionsbildungen	11
3.1.1 Abriss im nördlichen Schönleitenwald	11
3.1.2 Wegböschung am Westhang des Schwaigerberges	14
3.1.3 Wegböschung nordwestlich des Hinteren Hörnle	17
3.2 In-situ-Zersatzbildungen	18
3.2.1 Weg südlich des Rehbreinkopfes	18
3.2.2 Weg zwischen Rehbreinkopf und Großer Aufacker	18
3.2.3 Wegböschung nordöstlich des Hinteren Hörnle	19
3.3 Umgelagerter, weißlicher Lehm	20
3.3.1 Forststraßenböschung nordwestlich des Vorderen Hörnle	20
3.4 Forststraßenböschung südlich des Reißgrabens	22
<b>4 Interpretation</b>	<b>23</b>
4.1 Zersatzbildungen	23
4.2 Solifluktionsbildungen	24
4.3 Umgelagerter, weißlicher Lehm	24
4.4 Höhenlagen von Glazial-, Zersatz- und Solifluktionsbildungen	25
<b>5 Diskussion</b>	<b>27</b>
5.1 Chemische Verwitterung	27
5.2 Solifluktion	28
<b>6 Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>30</b>
<b>7 Literatur</b>	<b>31</b>
<b>Danksagung</b>	<b>33</b>



## Kurzfassung

*Schlüsselwörter:* Periglazial, chemische Verwitterung, Solifluktion, Würm, Bayerische Alpen

Im Hörnle-Aufacker-Gebiet (TK Nr. 8332 Unterammergau) am Nordrand der Bayerischen Alpen lassen sich verbreitet Reste periglazialer Zersatz- und Solifluktionsbildungen oberhalb des würmzeitlichen Eishöchststandes von 1.050 bis 1.180 m ü. NN nachweisen.

Die chemische In-situ-Verwitterung (Zersatz) anstehender Gesteine des Rhenodanubischen Flyschs ist zum Teil älter als der würmzeitliche Eishöchststand (?früh-/hochwürmzeitlich), zum Teil vermutlich spätwürmzeitlich oder jünger einzustufen. Stellenweise sind eindeutige Solifluktionsbildungen (Fließerde) mit Verwürgungen oder mit oberflächenparalleler Einregelung plattiger Komponenten dokumentiert.

Das verbreitete Auftreten von auffälligen weißlichen Linsen aus Verwitterungslehm in Hangablagerungen wird als Hinweis darauf interpretiert, dass es sich bei diesen allgemein als Hangablagerungen bezeichneten Deckschichten ursprünglich um im Periglazial-Gebiet flächenhaft verbreitete Fließerden handelt, deren charakteristische Solifluktionsgefüge durch spätere Hang-Prozesse überprägt oder ausgelöscht wurden.

## Abstract

Relics of in situ weathering and solifluction above the last glacial maximum position in the Hörnle-Aufacker area (Ammergebirge)

*Keywords:* Periglacial, chemical weathering, solifluction, Wurmian, Bavarian Alps

In the Hörnle-Aufacker area (Map sheet 8332 Unterammergau) at the northern margin of the Bavarian Alps relics of periglacial in situ weathering and solifluction deposits can be found above the last glacial maximum position (LGM) of 1.050 to 1.180 m a. s. l.

Chemical in situ weathering of bed rock of Rhenodanubian Flysch formations is constrained to have taken place prior to the LGM at least in one outcrop, other occurrences may also point to late glacial or younger ages. Locally, distinct solifluction deposits showing involution and disturbance or slope parallel orientation of platy components are documented.

The widespread occurrence of conspicuous irregular lenses of whitish loam within undifferentiated slope deposits is believed to indicate that these slope deposits were originally solifluction deposits, covering the periglacial area, whose characteristic solifluction structures have been partly or completely overprinted or extinguished by subsequent slope processes.

# 1 Einleitung

Während des Hochstandes der Würm-Eiszeit (last glacial maximum, LGM) zog sich am Alpennordrand eine Kette von Gipfeln, die aus der Eismasse des Eisstromnetzes herausragten und eisfrei waren (Nunatakker), entlang (VAN HUSEN 1987). Es ist davon auszugehen, dass in diesen Gebieten oberhalb der würmzeitlichen Vergletscherung periglaziale Bedingungen mit entsprechenden Prozessen, wie Verwitterung, Solifluktion und Kryoturbation, herrschten.

Seit ŁOZIŃSKY (1912) den Begriff 'Periglazial' einführte, wird die physikalische Verwitterung, vor allem die Frostverwitterung, als im Allgemeinen dominierende Form der periglazialen Verwitterung in kalten Klimaten angesehen, während chemische Verwitterung bei niedrigen Temperaturen nur untergeordnet oder gar nicht vorkommen soll (z. B. PELTIER 1950). Bereits THORN (1983) weist auf die Bedeutung der Schmelzwasserverfügbarkeit als treibende Kraft der chemischen Verwitterung in kalten Klimaten hin, und in jüngerer Zeit wurde zunehmend die Bedeutung der chemischen Verwitterung in kalten Klimaten in Periglazial-Gebieten erkannt (z. B. HALL et al. 2002, DIXON & THORN 2005, THORN et al. 2011).

Je nach Ausgangslithologie können sich große Mengen an tonig-schluffigem, sandigem und kiesig-steinigem Verwitterungsmaterial bilden, die bei saisonalem oder Permafrost sowie Zufluss von (Schnee)schmelz- und Niederschlagswässern soliflukktiv umgelagert werden. Die Bedeutung solcher Solifluktionsdecken für die Bodeneigenschaften heben VEIT et al. (2002) hervor: Das soliflukktiv umgelagerte, allochthone Material stellt das Ausgangsmaterial für die Bodenbildung dar; Solifluktionsdecken können in Zusammensetzung, Korngrößenspektrum, Durchlässigkeit und anderen strukturellen Eigenschaften vom autochthonen Anstehenden abweichen; sie können Versickerung und Wasserführung beeinflussen sowie zu Staunässe oder Quellaustritten führen.

Obwohl davon ausgegangen werden muss, dass in der periglazialen Höhenstufe oberhalb der jeweiligen würmzeitlichen Waldgrenze Solifluktionsdecken „flächig das Anstehende“ überziehen (VEIT et al. 2002), fanden Periglazial-Gebiete oberhalb der würmzeitlichen Vergletscherung in den Bayerischen Alpen bisher nur wenig Beachtung: in den Berchtesgadener Alpen beschreibt STAHR (2000) Solifluktionsdecken in Lithologien des kalkalpinen Jura, aus der Schweiz, den Hohen Tauern und Südtirol beschreiben VEIT et al. (2002) würmzeitliche bis holozäne Solifluktionsbildungen. In geologischen Karten werden Deckschichten in der Regel als Hangablagerungen<sup>1</sup> dargestellt, ohne solifluktive Anteile zu erwähnen.

Im Rahmen der geologischen Neuaufnahme des Kartenblattes TK25 Nr. 8332 Unterammergau durch die Geologische Landesaufnahme (TEIPEL & HAHN 2015) wurden im Hörnle-Aufacker-Gebiet Relikte zersetzter anstehender Gesteine sowie Solifluktionsbildungen gefunden. In diesem Artikel sollen derartige Bildungen anhand ausgewählter Aufschlüsse detailliert beschrieben und diskutiert werden, um damit weitere Hinweise auf periglaziale Bildungen und Relikte in den Bayerischen Alpen zu dokumentieren. Die Begriffe „Verwitterung“ und „Zersatz“ beziehen sich im Folgenden auf die chemische In-situ-Verwitterung anstehender Festgesteine, wenn nicht anders erwähnt.

<sup>1</sup> Hangablagerungen: polygenetische Umlagerungsbildungen in Hangbereichen (AD-HOC-AG GEOLOGIE 2008)



## 2 Geologischer Überblick

Im Hörnle-Aufacker-Gebiet kommen kreidezeitliche Sedimente des Rhenodanubischen Flyschs vor (Abb. 1). Nördlich folgt die tertiäre Subalpine Molasse (Faltenmolasse) mit weit verbreiteter Moränenbedeckung; im Süden wird der Rhenodanubische Flysch von den Nördlichen Kalkalpen überschoben. Im Westen und Osten wird das Hörnle-Aufacker-Massiv von den glazial übertieften und mit Beckensedimenten aufgefüllten Tälern von Ammer und Loisach begrenzt.

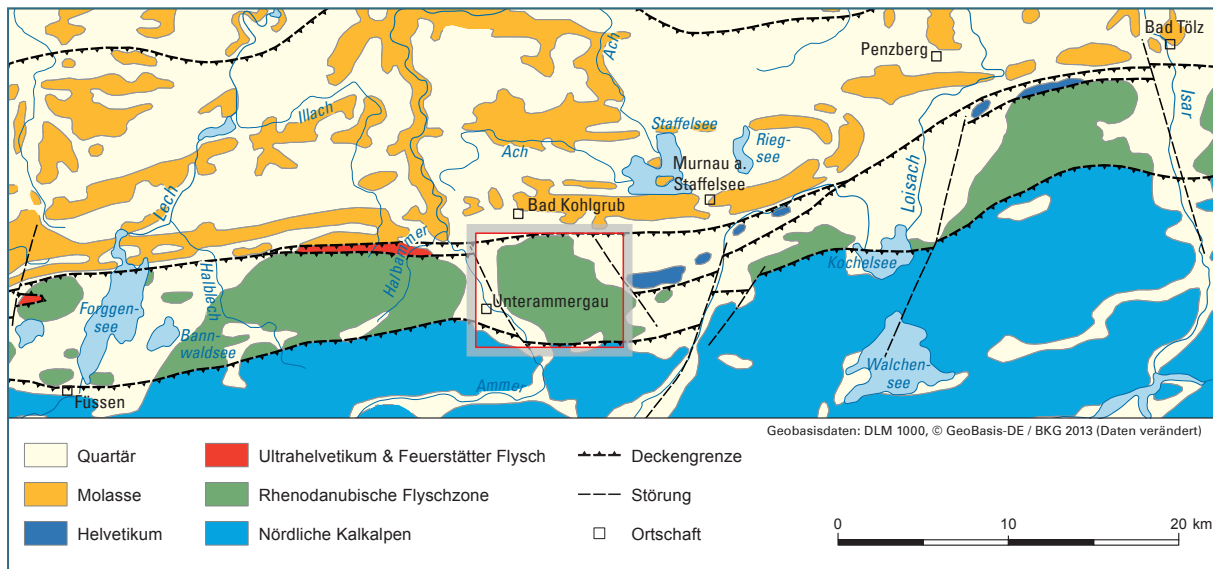


Abb. 1: Geologische Übersichtskarte des Mittelabschnittes der Bayerischen Alpen mit Untersuchungsgebiet (vereinfacht und modifiziert nach BAYER. GEOL. LANDESAMT 1996)

Die höchsten Gipfel im Norden des Untersuchungsgebietes bilden die drei Hörnle-Gipfel sowie der Stierkopf mit 1.484 bis 1.548 m ü. NN. Diese Gipfel werden aufgebaut aus großräumig verfalteten, zyklischen Kalksand-/Kalk-/Mergel-/Tonmergelstein-Folgen der oberkretazischen Kalkgraben- und Hällritz-Formation sowie in den höchsten Bereichen durch Sand-, Kalksand- und Mergelsteine der Altlenzbach-Formation (Abb. 2). Im Süden des Untersuchungsgebietes erreichen die beiden Aufacker-Gipfel 1.533 und 1.542 m ü. NN; sie bestehen aus zyklischen Wechselfolgen aus Kalksandsteinen und dominierenden Mergelsteinen („Zementmergel“) der Kalkgraben-Formation. Zwischen beiden Höhenrücken liegt eine tektonisch komplizierte Zone mit Auf- und Überschiebungen, intensivem Sattel- und Muldenbau sowie Querstörungen, die einen Großteil der Abfolge des bayerischen Rhenodanubischen Flyschs von der unterkretazischen Tristel- bis zur oberkretazischen Kalkgraben-Formation umfasst (TEIPEL & HAHN 2015).

Die Landschaft des Hörnle-Aufacker-Gebietes wurde durch die pleistozänen Vereisungen geprägt, wobei lediglich Ablagerungen des letzten Glazials, der Würm-Eiszeit, erhalten sind. Während durch die großen, etwa Südost–Nordwest beziehungsweise Süd–Nord verlaufenden Täler von Ammer und Loisach Gletscher des Eisstromnetzes flossen und unter anderem Fernmoränenmaterial ablagerten, ist das Lahngraben-Gebiet im Hörnle-Aufacker-Gebiet durch Eisstaubeckensedimente geprägt (Abb. 2).

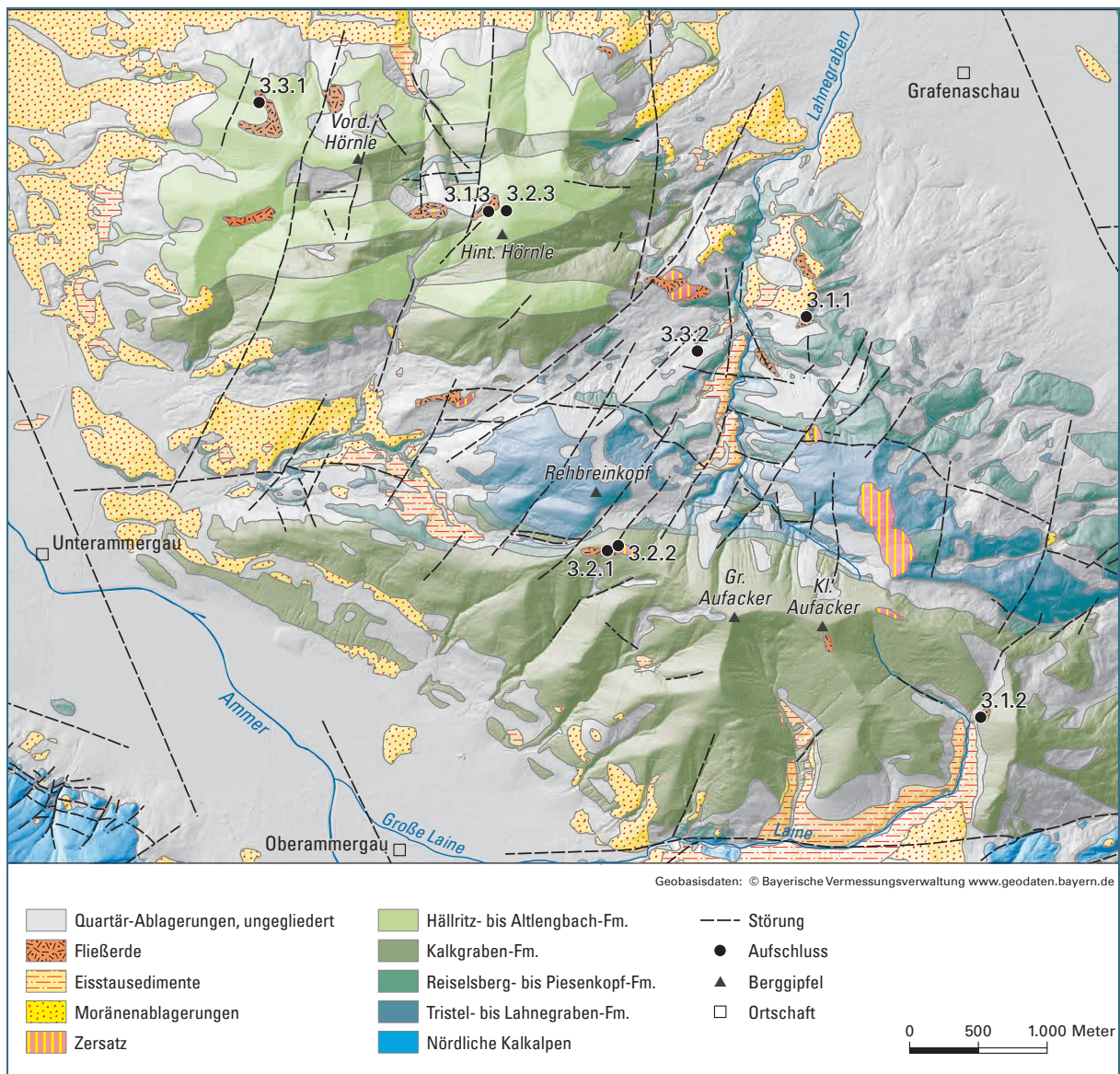


Abb. 2: Geologische Karte des Hörnle-Aufacker-Gebietes (vereinfacht nach TEIPEL & HAHN 2015). Die beschriebenen Aufschlusspunkte sind mit der Kapitelnummer gekennzeichnet.

Für den Eishöchststand im Hörnle-Aufacker-Gebiet wird im Allgemeinen eine Höhenlage von circa 1.200 m ü. NN angegeben (BLÜHER 1935, VAN HUSEN 1987). Aus den Höhenlagen der höchsten Vorkommen von Moränenablagerungen (siehe Kap. 4.4; Abb. 22) lässt sich rekonstruieren, dass die Eisobergrenze während des würmzeitlichen Gletscher-Höchststandes im Hörnle-Aufacker-Gebiet am Südrand, im Bereich der Großen Laine, östlich Oberammergau, bei 1.180 m ü. NN lag und nach Norden, am Nordhang des Hörnle-Massivs, auf 1.050 m ü. NN absank.

Die anstehenden Gesteine des Rhenodanubischen Flyschs sowie die glazigenen Ablagerungen sind meistens von Dezimeter bis mehrere Meter mächtigen, braunen bis ockerfarbenen, überwiegend ungeschichteten Diamikten überdeckt, die im Allgemeinen als Hangablagerungen bezeichnet und dargestellt werden.

### 3 Aufschlussbeschreibungen

Im Hörnle-Aufacker-Gebiet wurden in Höhenlagen oberhalb 900 m ü. NN Vorkommen mit Relikten periglazialer Bildungen gefunden. Neben zwei größeren Aufschlüssen mit differenzierten Profilen mit Zersatz- und Solifluktionsbildungen, werden weitere charakteristische, kleinere Vorkommen beispielhaft beschrieben (die Identifikationsnummer des Bodeninformationssystems (BIS, [www.bis.bayern.de](http://www.bis.bayern.de)) des Bayerischen Landesamtes für Umwelt ist jeweils angegeben). Interpretation und Diskussion der Geländebefunde erfolgen in Kapitel 4 und 5.

#### 3.1 Zersatz- und Solifluktionsbildungen

##### 3.1.1 Abriss im nördlichen Schönleitenwald

(R: 4432780, H: 5277640; BIS 8332AG015163)

In einem Abriss im nördlichen Schönleitenwald, südöstlich der Angerl-Hütte ist auf 1.110 m ü. NN ein etwa 8 m mächtiges Profil mit Hangablagerungen, Moränenablagerungen und zersetzter Lahnegaben-Formation („Untere Bunte Mergel“) aufgeschlossen (Abb. 3 bis 7).



Abb. 3: Abrisskante im nördlichen Schönleitenwald, Blick nach W (1.110 m ü. NN); Interpretation siehe Abb. 7

Mächtigkeit	Lithologie	Beschreibung
0,1 m	Lehm, humos, durchwurzelt	rezenter Oberboden
1–2 m	Diamikt, braungrau, häufig mit oberflächenparallel eingeregeltten Gesteinsbruchstücken, überwiegend eckige bis kantengerundete Sandsteine der Reiselsberg-Formation; zum Teil verfestigt (Abb. 4 & 5); stellenweise mit schlierig weißgrau-orangen Lehm-Linsen <sup>2</sup> ; lateral löst sich das eingeregeltte Gefüge auf	zum Teil solifluktiv umgelagertes Verwitterungsmaterial, Fließerde
4–6 m	Diamikt, karbonatisch, hell- bis mittelgrau, mit kanten- bis gut gerundeten Geröllen aus Flysch-Sand- & Mergelsteinen, Calcit-Bruchstücken, kalkalpinen Kalksteinen, Rauhacke, oft gekritz	unverwitterte Fernmoräne, würmzeitlich
> 1 m	Ton- und Tonmergelsteine, lagig, schwarz, rot, graugrün, lehmig verwittert, halbsteif, knetbar (Abb. 6)	lehmig verwittertes, anstehendes Gestein (Lahngraben-Formation)



Abb. 4/5: Diamikt mit oberflächenparallel eingeregeltten, plattigen Gesteinsbruchstücken aus Sandsteinen der Reiselsberg-Formation, die weiter südlich oberhalb (links außerhalb) anstehen

<sup>2</sup> Lehm: meist karbonatfreie Mischung aus Schluff und Ton, vielfach mit untergeordneten Anteilen größerer Komponenten, vorwiegend aus Verwitterungsprozessen (Ad-Hoc-AG GEOLOGIE 2008)



Abb. 6: Lehmig verwitterte schwarze, rote und grau-grüne Tonsteine der Lahnegraben-Formation, die unter 5 m mächtigen, karbonatischen Moränenablagerungen aufgeschlossen sind

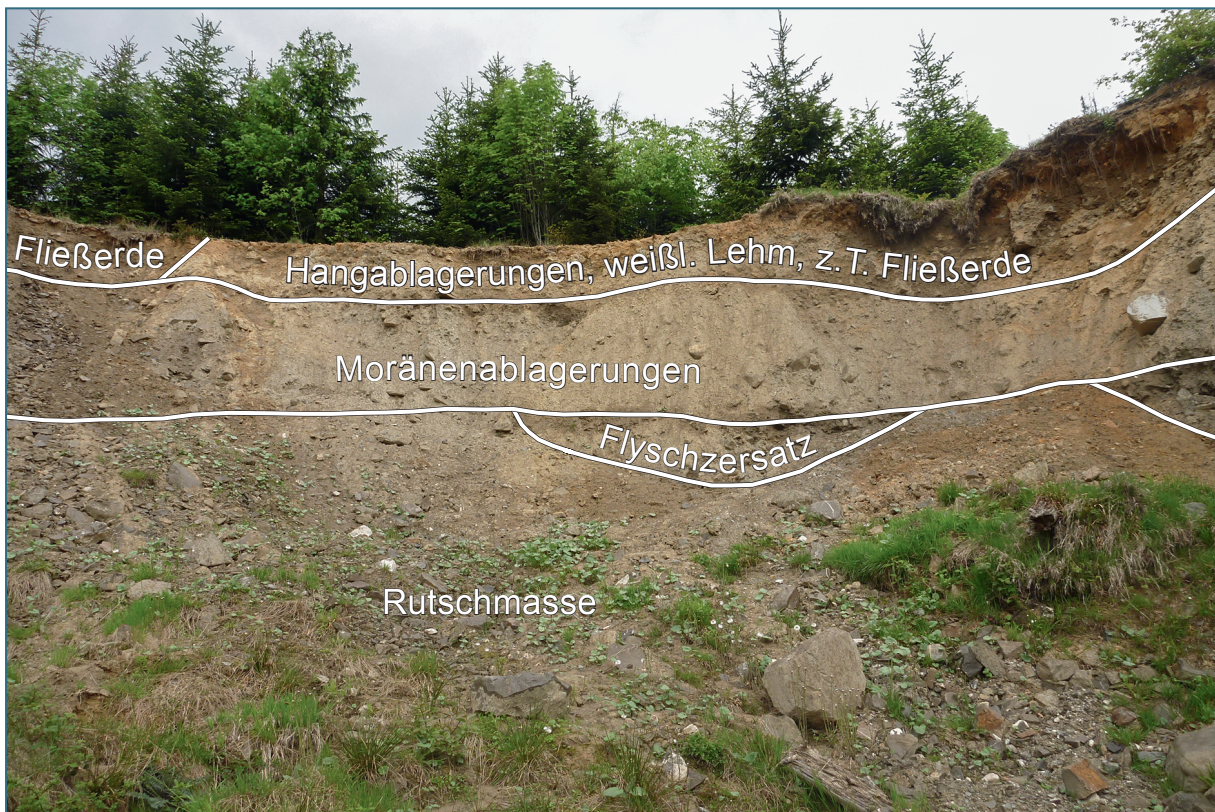


Abb. 7: Interpretation des Aufschlusses am Abriss im Schönleitenwald (Abb. 3)

### 3.1.2 Wegböschung am Westhang des Schwaigerberges

(R: 4434050, H: 5274730; BIS 8332AG015085)

An der Forststraße zum Kleinen Aufacker war am Westhang des Schwaigerberges auf 1.215 m ü. NN im Zuge der Verbreiterung der Forststraße 2013 ein etwa 70 m langes, bis zu 3,5 m hohes Profil mit Hangablagerungen und bereichsweise anstehender Kalkgraben-Formation aufgeschlossen (Abb. 8 bis 12).



Abb. 8: Forststraßenböschung am Westhang des Schwaigerberges, Blick nach ESE (1.216 m ü. NN). Der Hang fällt von E (links hinten) nach W (rechts vorne) ein. Interpretation siehe Abb. 12.

Mächtigkeit	Lithologie	Beschreibung
0,1–0,2 m	Lehm, schwach kiesig, schwarz, humos; mit scharfer, gerader Untergrenze	Oberboden
1–1,5 m	Diamikt; schlierig braungrau-beige-hellocker; stellenweise unregelmäßige Linsen aus schlierig weißgrau-orangem Lehm; zum Teil hangabwärts eingeregelt, plattige Komponenten; mit meist scharfer, unregelmäßiger Untergrenze	Hangablagerungen, selten solifluktuve Relikte, Einregelung meist aufgelöst
0–0,5 m	nur bereichsweise, zum Teil linsen- oder taschenartig; Lehm, zum Teil schwach kiesig; schlierig weißgrau-orange, verwürgte Struktur; weich (Abb. 9 & 11); mit scharfen, unregelmäßigen Grenzen; Korngrößenanalyse: U 65,9 % (überwiegend fU–mU); T 33,5 %; S 0,3 %; G 0,3 %	umgelagerter Verwitterungslehm
0–1 m	nur bereichsweise; Mergelsteine, hellgrau, lehmig zersetzt; steilstehende Schichtung, nach oben zunehmend durchbewegt und aufgelöst (Abb. 9 & 12)	chemische In-situ-Verwitterung; durchbewegte Schichtung durch Bodenkriechen
> 1 m	Wechsellagerung aus Mergelsteinen, hellgrau und Kalkmergelsteinen, mittelgrau	anstehendes Gestein (Kalkgraben-Formation), nach oben zunehmend zersetzt



Abb. 9/10: Ausschnitt des Profils: unten steilstehende Mergelsteine (Kalkgraben-Formation), nach oben zunehmend zersetzt; die sich auflösende Schichtung ist durchbewegt und verwürgt (Linien im rechten Bild). Darüber folgt schlieriger, weißgrau-oranger Lehm mit scharfen, unregelmäßigen Grenzen, der von hellocker Diamikt überlagert wird.



Abb. 11: Detailaufnahme des schlierigen, weißgrau-orangen Lehms zwischen hellgrauen, zersetzten Mergelsteinen (unten) und hellocker Diamikt (oben). Plattige Steine sind hangabwärts eingeregelt und spießen in den weißlichen Lehm.

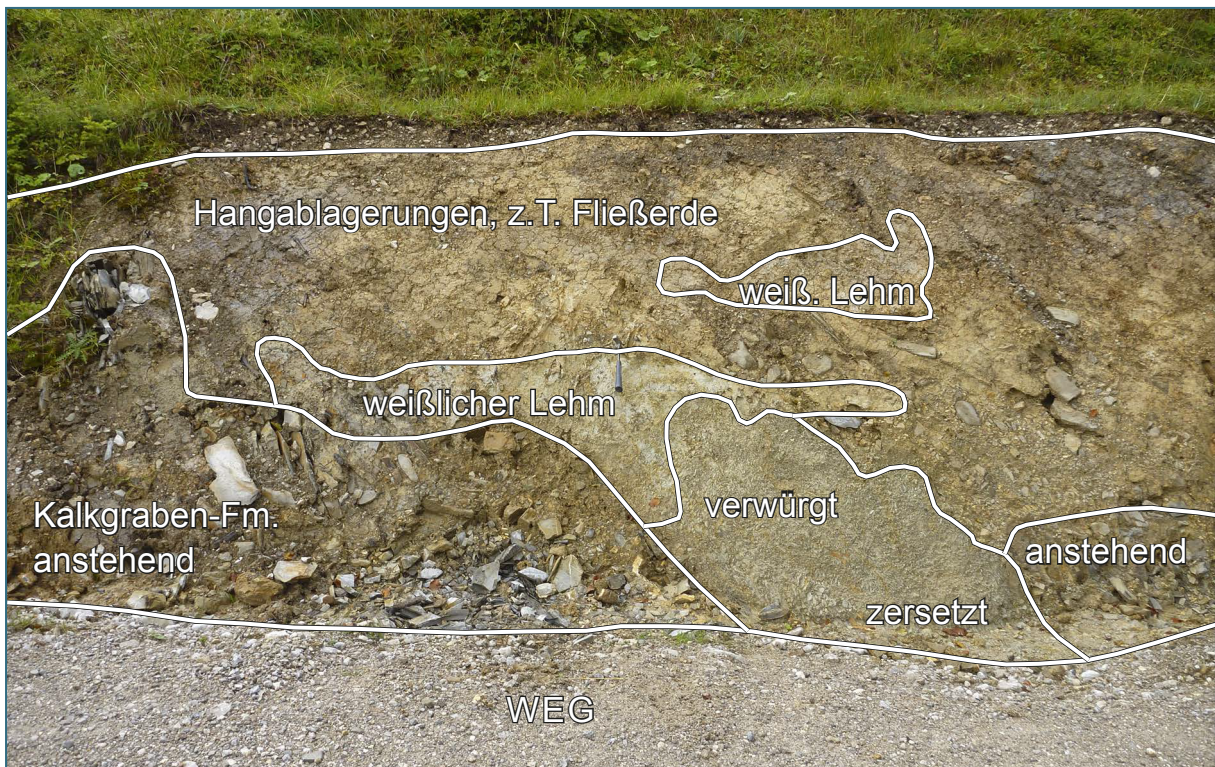


Abb. 12: Interpretation des Aufschlusses an der Forststraßenböschung am Westhang des Schwaigerberges (Abb. 8)



### 3.1.3 Wegböschung nordwestlich des Hinteren Hörnle

(R: 4430470, H: 5278410; BIS 8332KG015304)

Am Wanderweg nordwestlich des Hinteren Hörnle sind auf 1.385 m ü. NN an einer etwa 1 m hohen Wegböschung Hangablagerungen mit eingeregeltten, sandig verwitterten Gesteinsbruchstücken aufgeschlossen (Abb. 13). In unmittelbarer Nähe stehen in situ zersetzte Tonmergel-, Mergel- und Kalksandsteine der Altlenzbach-Formation an (3.2.3).



Abb. 13: Schlieriger, weißgrauer Lehm mit hangparallel eingeregeltten, eckigen Komponenten aus rotbraun verwitterten, feinsandig zersetzten Kalksandstein-Bruchstücken am Wanderweg nordwestlich des Hinteren Hörnle, Blick nach SE (1.385 m ü. NN)

Mächtigkeit	Lithologie	Beschreibung
0,2 m	Lehm, dunkelbraun, humos, durchwurzelt	Oberboden
> 1 m	Lehm, weißbeige, mit eingeregeltten, eckigen Komponenten aus rotbraun verwitterten, feinsandig zersetzten Kalksandstein-Bruchstücken (Abb. 13); bereichsweise schlieriger, weißbeige-oranger, karbonatfreier Lehm	soliflukktiv umgelagertes, lehmiges bis steiniges Verwitterungsmaterial; die Verwitterung der Gesteinsbruchstücke erfolgte nach der Umlagerung

## 3.2 In-situ-Zersatzbildungen

### 3.2.1 Weg südlich des Rehbreinkopfes

(R: 4431330, H: 5275940; BIS 8332KG015300)

Südlich des Rehbreinkopfes sind in einem Pfad, der von der Forststraße zum Großen Aufacker abzweigt, in einer Wegrinne auf 1.387 m ü. NN ocker anwitternde, dünnbankige Kalksandsteine im Wechsel mit weißbeigen, dünnbankigen Schlufflagen aufgeschlossen. Es handelt sich um vollständig lehmig zersetzte Mergelsteine der Kalkgraben-Formation, die mit mäßig zersetzten Kalksandsteinen im Verband anstehen (Abb. 14 & 15). Die Überdeckung besteht aus 1 bis 2 dm mächtigem, lehmigem Oberboden.



Abb. 14: Vollständig lehmig zersetzte Mergelsteine im Wechsel mit dünnbankigen Kalksandsteinen (Kalkgraben-Formation) mit geringmächtiger Überdeckung südlich des Rehbreinkopfes (1.387 m ü. NN)



Abb. 15: Die hellen Mergelsteine sind in situ zu weißbeigem, karbonatfreiem Schluff verwittert.

### 3.2.2 Weg zwischen Rehbreinkopf und Großer Aufacker

(R: 4431410, H: 5275980; BIS 8332KG015301)

Im Wanderpfad, der vom Rehbreinkopf zum Großen Aufacker führt, ist auf 1.414 m ü. NN ein wenige Dezimeter großer Bereich mit einer mittelbankigen Wechsellagerung aus sehr feinkörnigem Kalksandstein und schlierigem, weiß-hellocker Schluff freigelegt (Abb. 16). Die Kalksandsteine sind stellenweise sandig zersetzt; der helle Schluff stellt die Verwitterungsreste der hellen Mergelsteine der Kalkgraben-Formation dar. Die Überdeckung beträgt 1 bis 2 dm.



Abb. 16: Wechsellagerung aus sehr feinkörnigem Kalksandstein und vollständig zu schlierigem, weißheller Schuff zersetzten Mergelsteinen (Kalkgraben-Formation) mit geringmächtiger Überdeckung zwischen Rehbreinkopf und Großem Aufacker (1.414 m ü. NN)

### 3.2.3 Wegböschung nordöstlich des Hinteren Hörnle

(R: 4430600, H: 5278410; BIS 8332KG015303)

Am Wanderweg nordöstlich des Hinteren Hörnle stehen auf 1.503 m ü. NN vollständig zersetzte, ockerfarbene, mittelbankige Kalksandsteine der Altlenzbach-Formation an, die sandig zerfallen (Abb. 17). Hinzu kommen grusig-splittig verwitterte Kieselkalksteine sowie lehmig zersetzte Tonmergelsteine. Die etwa 1 m mächtige Überdeckung besteht aus umgelagertem Verwitterungsmaterial.



Abb. 17: Vollständig zersetzte, sandig zerfallende Kalksandsteine der Altlangbach-Formation nordöstlich des Hinteren Hörnle (1.503 m ü. NN)

### 3.3 Umgelagerter, weißlicher Lehm

Im Zusammenhang mit Zersatz- und Solifluktionsbildungen wurde bereits das Auftreten von auffälligem, weißlichem Lehm beschrieben (3.1.1, 3.1.2). Dieser ist verbreitet in meist kleineren, oft nur temporären Freilegungen an Forststraßen- oder Wegböschungen oder in Wanderwegen und Pfaden aufgeschlossen. Der weißliche, hellgraue oder hellbeige, meist karbonatfreie, zum Teil kiesigsteinige Lehm mit orange- bis ockerfarbenen Schlieren findet sich immer wieder in scharf begrenzten, bis etwa 1 m großen, unregelmäßigen Linsen oder Taschen innerhalb bräunlicher, diamiktischer Hangablagerungen.

#### 3.3.1 Forststraßenböschung nordwestlich des Vorderen Hörnle

**(R: 4428800, H: 5279200; BIS 8332KG015302)**

In der etwa 4 m hohen Böschung der Forststraße südwestlich unterhalb des Bergwacht-Hauses im Nordwesten des Vorderen Hörnle ist auf 1.252 m ü. NN schlieriger, weiß-oranger Lehm mit eckigen Gesteinsbruchstücken, überdeckt von 0,5 m ockerbraunem Diamikt, aufgeschlossen (Abb. 18).

Mächtigkeit	Lithologie	Beschreibung
0,2 m	Lehm, schwarzbraun, humos, durchwurzelt	Oberboden
0,5 m	Diamikt, ockerbraun, mit eckigen Gesteinsbruchstücken	Hangablagerungen
1 m	Lehm, schlierig, weiß-orange, mit eckigen Gesteinsbruchstücken (Abb. 18)	umgelagerter Verwitterungslehm
1,5 m	Überschüttet und verwachsen	
> 1 m	Kalksandstein, fein- bis mittelkörnig, dünnbankig, steilstehend, nach oben zerlegt	anstehendes Gestein (Altlangbach-Formation)

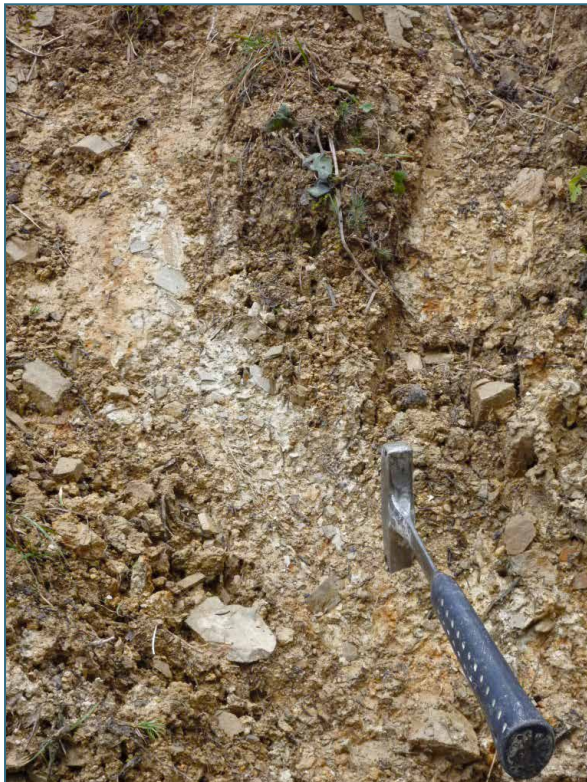


Abb. 18: Schlieriger, weiß-oranger Lehm mit eckigen Gesteinsbruchstücken am Vorderen Hörnle (1.252 m ü. NN)

### 3.4 Forststraßenböschung südlich des Reißgrabens

(R: 4431990, H: 5277390; BIS 8332KG015305)

Südlich des Reißgrabens sind in einer circa 1 m hohen Böschung der Forststraße von der Angerl-Hütte in Richtung Stierkopf auf 1.094 m ü. NN Hangablagerungen über Eisstausedimenten aufgeschlossen (Abb. 19).

Mächtigkeit	Lithologie	Beschreibung
0,1 m	Lehm, dunkelbraun, humos, durchwurzelt	Oberboden
0,1–0,8 m	Lehm, schlierig, weiß-ocker; mit scharfer, unregelmäßiger Untergrenze	umgelagerter Verwitterungslehm
0,3– > 0,8 m	Diamikt, grau, mit kanten- bis mäßig gerundeten Bruchstücken und Geröllen aus Flysch-Material	Eisstausedimente, würmzeitlich



Abb. 19: Schlieriger, weiß-ocker Lehm mit scharfem, unregelmäßigem Kontakt über braungrauem Diamikt, mit kanten- bis mäßig gerundeten Bruchstücken und Geröllen aus Flysch-Material in einer Forststraßenböschung südlich des Reißgrabens (1.094 m ü. NN)

## 4 Interpretation

### 4.1 Zersatzbildungen

Im Hörnle-Aufacker-Gebiet lässt sich In-situ-Zersatz in den meisten Formationen des Rhenodanubischen Flyschs belegen. Die Zersatzprodukte sind je nach Ausgangsgestein schluffig bis sandig, hinzu können kiesig-steinige Bruchstücke kommen:

- Hell- bis mittelgraue Mergelsteine, wie sie verbreitet in der Kalkgraben-Formation sowie in der Hällritz-, Altlenzbach-, Piesenkopf- und zum Teil Reiselsberg-Formation auftreten, verwittern zu hellem, weißgrauem oder weißbeigem, meist halbweichem, tonigem Schluff. Meist ist dieser Zersatzlehm entkalkt, selten karbonatisch. Aufgrund der flächenmäßig großen Verbreitung der Kalkgraben-Formation (vor allem im Aufacker-Massiv) treten gehäuft Verwitterungsbildungen in Form dieses charakteristischen weißgrauen bis weißbeigen Lehms, oft mit Mergelstein-Bruchstücken, auf.
- Die schwarzen, grünlichen und rötlichen Ton- und Tonmergelsteine der Lahngraben-, Seisenburg- sowie zum Teil der Tristel-, Rehbrengraben- und Piesenkopf-Formation verwittern zu halbweichem bis halbfestem, schluffigem Ton in der Farbe des Ausgangsgesteins.
- Kalksandsteine und karbonatisch gebundene Sandsteine, wie sie vor allem in der Reiselsberg-, Altlenzbach-, Hällritz-, Kalkgraben- und Rehbrengraben-Formation auftreten, verwittern einerseits zu Bruchstücken, andererseits zu fein- bis grobsandigem Zersatz, meist ocker, untergeordnet bläulich oder grünlich. Sie sind oft im Verband erhalten, lassen sich aber leicht zu Sand zerreiben. Sehr feinkörnige Kalksandsteine der Altlenzbach-, Hällritz- und Kalkgraben-Formation können zu auffällig weißen, völlig entkalkten, porösen, leichten Bruchstücken verwittern, die verbreitet als Lesesteine zu finden sind.

Die in situ verwitterten Gesteine können von Dezimeter bis mehrere Meter mächtigen Hangablagerungen, selten von Moränenablagerungen oder, in höheren Lagen, oft von nur 1 bis 2 dm mächtigem Oberboden überdeckt sein.

Die Zersatzzone ist heute meistens nur wenige Dezimeter mächtig ohne Untergrenze aufgeschlossen. In wenigen Vorkommen ist der Übergang von zersetzten in weitgehend unverwitterte Gesteine mit Zersatzmächtigkeiten von heute 1 bis 2 m aufgeschlossen (Abb. 8).

Für die zeitliche Einstufung der Zersatzbildung gibt es nur wenige Hinweise:

In einem Aufschluss (3.1.1) ist chemische Verwitterung von Ton- bis Tonmergelsteinen unter 5 bis 6 m mächtiger, karbonathaltiger, unverwitterter Fernmoräne auf circa 1.100 m ü. NN belegt. Hier lassen sich In-situ-Verwitterungsrelikte aus der Zeit vor dem würmzeitlichen Eishöchststand (prä-LGM) nachweisen.

In den übrigen Aufschlüssen sind Zersatzbildungen von bis mehrere Meter mächtigen Hangablagerungen oder, vor allem in höheren Lagen, von bis 2 dm mächtigem, humosem Oberboden überdeckt; hier ist keine genauere zeitliche Einstufung möglich.

Stellenweise enthalten Hangablagerungen in lehmiger Grundmasse augenscheinlich unveränderte, vollständig zersetzte Komponenten, z. B. aus hangparallel eingeregelt, plattigen Kalksandstein-Bruchstücken (3.1.3). Hier muss die chemische Verwitterung nach der Umlagerung (mit Einregelung der Komponenten), also spät- bis postglazial erfolgt sein.

## 4.2 Solifluktionsbildungen

In wenigen Aufschlüssen lassen sich im Hörnle-Aufacker-Gebiet Reste von Ablagerungen mit charakteristischen Solifluktionsmerkmalen (Fließerde) nachweisen; hierzu gehören die oberflächenparallele Einregelung eckiger, plattiger, lokaler Gesteinsbruchstücke (3.1.1) oder verwürgte, durchbewegte Schichtung (3.1.2). Diese Gefügemerkmale sind nur in Dezimeter großen Bereichen aufgeschlossen und lösen sich nach wenigen Dezimetern bis Metern sowohl lateral als auch vertikal auf. Die Überdeckung solcher eingeregelter Bereiche kann von 2 dm Oberboden bis 6 m diamiktischer Hangablagerungen reichen.

Der Aufschluss am Schönleitenwald (3.1.1) zeigt mit direkt über unverwitterten Moränenablagerungen liegender Fließerde, dass die Fließerde sich hier mit dem Eisrückgang kurz nach dem LGM bildete.

## 4.3 Umgelagerter, weißlicher Lehm

Der schlierige, weißliche Lehm tritt oft in Dezimeter großen, scharf begrenzten Linsen oder Taschen innerhalb von bräunlichen, diamiktischen Hangablagerungen (3.3.2) oder seltener in unmittelbarer Umgebung zu lehmig verwitterten Mergelsteinen (3.1.2) auf. Das Material ähnelt den vollständig zu weißlichem Schluff verwitterten grauen Mergelsteinen, enthält aber untergeordnet oft sandige bis kiesige Komponenten und Bruchstücke.

Der Ablauf der Prozesse, die zum Einbau der Lehm-Linsen in die Hangablagerungen führten, ist unklar. Denkbar ist, dass zunächst unzersetzte Mergelstein-Bruchstücke umgelagert wurden, die anschließend innerhalb der Hangablagerungen lehmig verwitterten. Die Erhaltung der weißlichen Lehm-Linsen im Zusammenhang könnte hierfür sprechen. Derartige, umgelagerte und anschließend zersetzte Mergelstein-Bruchstücke sind stellenweise aufgeschlossen: Überwiegend schluffig zersetzte Mergelstein-Bruchstücke schwimmen in einer Grundmasse aus ocker oder bräunlichem, kiesigem Lehm und haben eckige Formen mit scharfen Grenzen (Abb. 20 & 21).





Abb. 20/21: Im Weg zur Auerhahn-Diensthütte (R: 4431700, H: 5277060), NE Rehbrenkopf, sind auf 1.208 m ü. NN in orangeocker, karbonatfreiem, kiesigem Lehm 5 bis 30 cm große, kantige Komponenten aus weißgrauem, karbonatfreiem, feinsandigem Schluff aufgeschlossen. Die Grenzen sind scharf mit einem 5 bis 10 mm mächtigen Saum aus rotocker, karbonatfreiem Lehm.

Diese zersetzten Komponenten unterscheiden sich allerdings durch ihr engeres Korngrößenpektrum und ihre gut als Bruchstücke erkennbaren, kantigen Formen von den meist größeren, unregelmäßig geformten Linsen und Taschen aus oft schwach kiesigem, weißlichem Lehm.

Das schlierige Erscheinungsbild sowie das linsen- und taschenförmige Auftreten mit eher runden Formen und oft scharfen Grenzen zum umgebenden bräunlichen Diamikt, werden als Hinweis auf Umlagerung von bereits plastischem Verwitterungslehm innerhalb von Hangablagerungen gedeutet. Die meist schlierige, verwürgte Struktur legt die Vermutung nahe, dass diese Verwitterungslehm-Pakete durch turbulente Kriechprozesse umgelagert wurden. Möglicherweise erfolgte diese kriechende Umlagerung soliflukktiv, wie beim Aufschluss am Schwaigerberg (3.1.2) durch die unmittelbare Nähe von weißlichem Lehm zu Solifluktionsmerkmalen wie Schichtumbiegen und hangparalleler Einregelung von Komponenten nahegelegt wird. Diese Hypothese würde bedeuten, dass es sich bei den ocker bis braunen, diamiktischen Hangablagerungen, zumindest in den Bereichen mit hellen Lehmtaschen, überwiegend um Solifluktionsbildungen (Fließerde), deren charakteristische Gefüge weitgehend überprägt oder ausgelöscht sind, handelt.

#### 4.4 Höhenlagen von Glazial-, Zersatz- und Solifluktionsbildungen

Hinweise auf die Eisobergrenze während des würmzeitlichen Gletscher-Höchststandes im Hörnle-Aufacker-Gebiet geben die Höhenlagen der höchsten Vorkommen von Moränenablagerungen (Abb. 22): Am Südrand im Bereich der Großen Laine kommen Moränenablagerungen bis 1.180 m ü. NN vor, nach Norden sinkt die Obergrenze der Moränenablagerungen gleichmäßig auf 1.130 m ü. NN südlich des Hörnle-Rückens und 1.100 m ü. NN nördlich davon ab; am Nordhang des Hörnle-Massivs sinkt die Obergrenze rasch auf 1.050 m ü. NN ab. Weitere Hinweise auf die Eisobergrenze sind Eisstausedimente, die vor allem an der Großen Laine und am Lahnegraben auftreten, und höher reichen als die Moränenablagerungen: die Obergrenze von Eisstausedimenten liegt im Süden (Große Laine) bei 1.190 m ü. NN, bleibt bis zum Langen Tal südlich des Hörnle-Rückens bei 1.175 m ü. NN und sinkt am Hörnle-Nordhang auf 1.080 m ü. NN ab.

Relikte von In-situ-Zersatz anstehender Gesteine sind verbreitet zwischen 1.110 und 1.515 m ü. NN erhalten, während sie in Lagen unterhalb 1.100 m ü. NN nur selten zu finden sind.

Die seltenen Relikte von Ablagerungen mit charakteristischen Solifluktuionsmerkmalen (Fließerde) lassen sich in Höhenlagen zwischen 1.015 und 1.485 m ü. NN nachweisen.

Der auffällige, weißliche Lehm, der als soliflukktiv umgelagerter Verwitterungslehm gedeutet wird, ist oberhalb 1.050 bis 1.520 m ü. NN verbreitet, vereinzelt auch in tieferen Lagen.

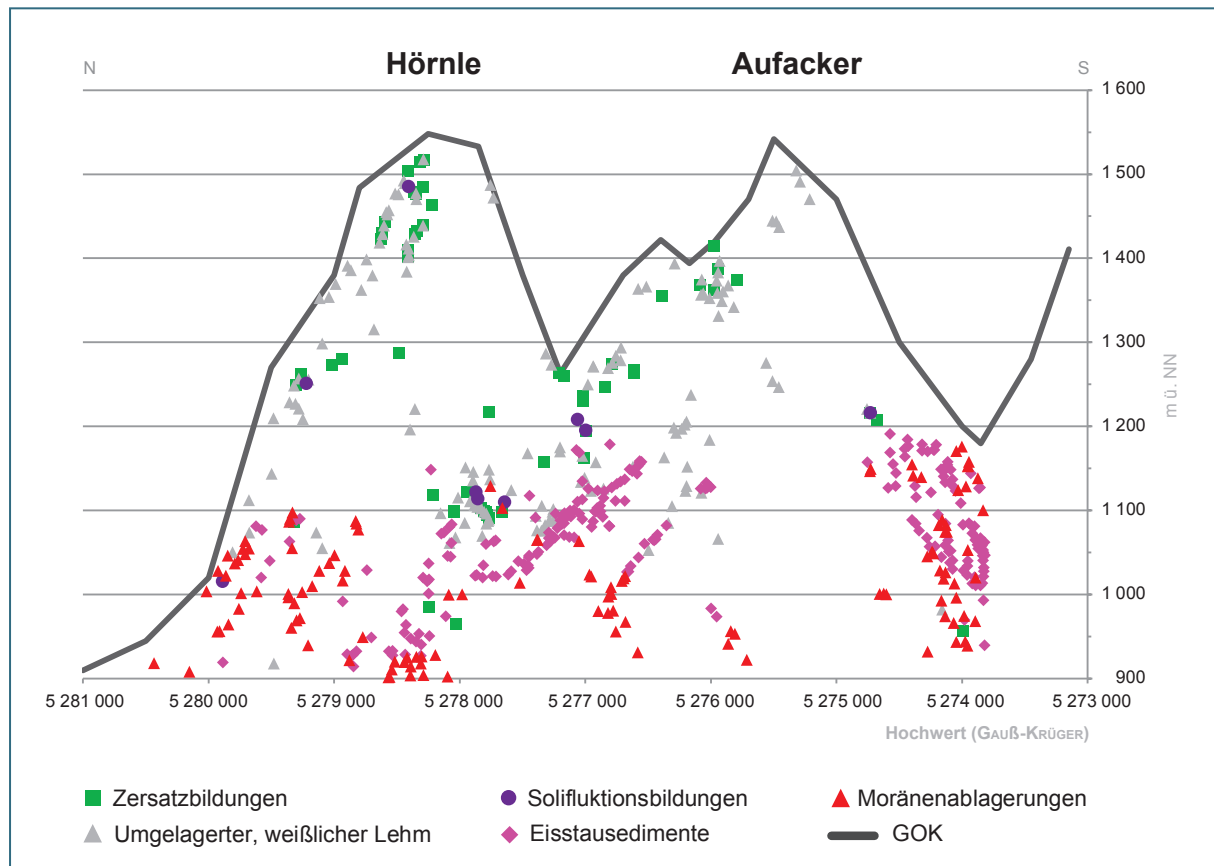


Abb. 22: Zusammenfassende Darstellung der Höhenlagen, in denen Aufschlüsse mit Verwitterungs-, Periglazial- und Glazialbildungen vorkommen, in einem synthetischen N-S-Schnitt durch das Hörnle-Aufacker-Gebiet. GOK kennzeichnet die aus den jeweils höchsten Erhebungen im Hörnle-Aufacker-Gebiet zusammengesetzte, schematische Geländeoberkante, die etwa von Bad Kohlgrub im Norden zum Laberkopf im Süden verläuft.

## 5 Diskussion

### 5.1 Chemische Verwitterung

Chemische Verwitterung wird im Allgemeinen mit relativen Warmphasen, wie z. B. dem Riß-Würm-Interglazial, und mit Vegetationsbedeckung in Verbindung gebracht. Jüngere Untersuchungen in kalten arktischen oder alpinen Regionen zeigen jedoch, dass chemische Verwitterung nicht temperaturabhängig ist, sondern von der verfügbaren Feuchtigkeit durch (Schnee)schmelz- und Niederschlagswässer kontrolliert wird und in Periglazial-Gebieten auch bei geringer oder fehlender Vegetationsdecke die wesentliche und zum Teil dominierende Verwitterungsform sowohl in Fest- als auch Lockergesteinen darstellt (z. B. HALL et al. 2002, TRANTER 2003, DIXON & THORN 2005). Jüngere, alpine Böden (< 1.000 a) können dabei deutlich höhere Verwitterungsraten als ältere Böden (~ 10.000 a) zeigen (MAVRIS et al. 2010, DAHMS et al. 2012). Insbesondere in eisfreien, proglazialen Gebieten können niederschlags- und/oder schmelzwasserbedingte, hohe Verwitterungsraten zu Mineralum- und -neubildungen, vor allem in karbonatischen Gesteinen, führen (MAVRIS et al. 2010).

Das Frühwürm (einschließlich Mittelwürm) ist charakterisiert durch deutliche Klimaschwankungen mit mehreren, in den Ostalpen eisfreien Stadialen und Interstadialen (BOCH et al. 2011, STARNBERGER et al. 2013, HEIRI et al. 2014). Die wechselnden Temperaturen und Niederschläge hatten Phasen mit Vegetationsdecke und verstärkter Verwitterung im Wechsel mit Permafrost- und Periglazialbedingungen zur Folge (TERHORST et al. 2002, HEIRI et al. 2014).

Im Hochwürm wird im Periglazial-Gebiet des Alpenvorlandes infolge niedriger Temperaturen und Niederschläge von verminderter chemischer Verwitterung ausgegangen, wie z. B. die Verbreitung von Löß und Tundregleyen zeigt (TERHORST et al. 2002). Für die höheren Lagen am nördlichen Alpenrand gibt es bisher keine Informationen zu Temperatur- und Niederschlagsbedingungen.

Das Spätwürm ist wiederum charakterisiert durch deutliche Klimaschwankungen mit wechselnden Temperaturen und Niederschlägen sowie Phasen mit Vegetationsdecke und verstärkter chemischer Verwitterung (z. B. HEIRI et al. 2014).

Für die im Hörnle-Aufacker-Gebiet unter Moränenüberdeckung nachweisbare, prä-LGM chemische Verwitterung anstehender Gesteine ist der Zeitraum vom Riß-Würm-Interglazial bis in das Hochwürm kurz vor dem Eishöchststand vorstellbar.

Die wechselnden Klimabedingungen im Frühwürm mit Phasen mit Permafrost-Bedingungen und Solifluktion legen intensive Abtragung von Verwitterungsmaterial nahe; auch im Hochwürm muss oberhalb der Vergletscherung Abtragung stattgefunden haben, wie die hochglazialen Eisstausedimente aus tonig-schluffigem Verwitterungsmaterial und Einschaltungen von groben Schüttungen (Murschutt) dokumentieren. Diese Phasen intensiver Abtragung im Früh- und Hochwürm lassen in diesem Relief eine Erhaltung älterer Zersatzbildungen, z. B. aus dem Riß-Würm-Interglazial, unwahrscheinlich erscheinen, so dass das jüngere Frühwürm (Mittelwürm) oder das Hochwürm als wahrscheinlicher Zeitraum für die chemische Verwitterung dieser prä-LGM Zersatzbildungen vermutet wird.

Die Niederschlagsverhältnisse im Hochwurm am nördlichen Alpenrand, die chemische Verwitterung, Abtragung und Solifluktion beeinflussen, sind unklar: einerseits wird im Hochwurm von kalten und trockenen Verhältnissen ausgegangen, andererseits muss in den hohen Lagen oberhalb der Vergletscherung ausreichend Schneeschmelz- und/oder Niederschlagswasser für die Abtragung und folglich für chemische Verwitterung zur Verfügung gestanden haben.

Bei den Vorkommen von In-situ-Zersatz im Hörnle-Aufacker-Gebiet ohne Moränenüberdeckung ist unklar, ob diese ebenfalls hochwürmzeitliche oder ältere Relikte sind, die im Laufe der Zeit freigelegt wurden, und das Material für die zum Teil mehrere Meter mächtigen Hang- und Solifluktionsablagerungen hangabwärts lieferten, oder ob die chemische Verwitterung aufgrund großer Mengen an Schneeschmelzwasser und/oder hoher Niederschlagsmengen spätwurmzeitlich bis ?holozän ablief.

## 5.2 Solifluktion

Die Alterseinstufung periglazialer Prozesse in den Alpen kann im Allgemeinen mit der heutigen Höhenstufe in Zusammenhang gebracht werden (VEIT et al. 2002): Rezente periglaziale Prozesse lassen sich im Bereich der weitgehend vegetationsfreien, subnivalen Höhenstufe beobachten; periglaziale Deckschichten der alpinen Höhenstufe, unterhalb der Rasengrenze, entstanden während des Holozäns, während sie in tieferen Lagen, unterhalb der heutigen Waldgrenze (subalpin, montan), sowie im nördlichen Alpenvorland (kollin) spätwurmzeitlich oder älter sind.

Eine detaillierte Untersuchung periglazialer Deckschichten in den Berchtesgadener Alpen gibt STAHR (2000): Dort kommen differenzierte Solifluktionsdecken aus Lithologien des kalkalpinen Jura in Höhenlagen von 1.000 bis 2.000 m ü. NN vor. Unterhalb des dortigen Gletscherhöchststandes (1.470 m ü. NN, „Königsseegletscher“) belegen Fließerden über Moränenablagerungen ein Absinken des Periglazialraumes mit dem Gletscherrückzug im Spätglazial. STAHR (2000) schließt auf eine mehrphasige Entstehung auf weitgehend vegetationslosen Hängen im Hoch- und Spätwürm; trotz ähnlicher Ausbildung liegen Fließerden unterschiedlicher zeitlicher Entstehung vor.

Ein ähnliches Bild ergibt sich für das Hörnle-Aufacker-Gebiet: Für Solifluktionsbildungen, die oberhalb des würmzeitlichen Eishöchststandes (1.050 bis 1.180 m ü. NN) erhalten und auf anstehendem Gestein abgelagert sind, ist eine Entstehung im hochwürmzeitlichen Periglazialraum oberhalb der Vergletscherung wahrscheinlich. Solifluktionsbildungen, die Moränenmaterial überlagern, sind nach dem Eishöchststand (post-LGM), während des Zerfalls des Eisstromnetzes im Spätwürm entstanden. Eindeutige Relikte von Solifluktionsbildungen sind bis etwa 1.000 m ü. NN herab nachweisbar und dokumentieren das Absinken des Periglazialraumes mit dem Eiszerfall. Unterhalb des Eishöchststandes konnten periglaziale Prozesse und Solifluktion im Zeitraum zwischen Eisfreiheit und Wiederbewaldung ablaufen.

Nach dem hochwürmzeitlichen Höchststand folgt in den Ostalpen im frühen Spätglazial eine Phase des Eismassenverlustes, in der die Hauptgletscher in den Längstälern stagnierten und zum Teil innerhalb weniger 100 Jahre rapide abnahmen (REITNER 2007), die etwa 18 ka BP endete (VAN HUSEN 1997).

Das Ansteigen der Baumgrenze nach dem Eiszerfall in den nördlichen Schweizer Alpen lässt sich nach HEIRI et al. (2014: Abb. 4) wie folgt zusammenfassen:

- vom Hochwürm bis in die Älteste Dryas (bis circa 14,6 ka BP) war das Gebiet baumfrei,
- im Bølling (14,6 bis 14 ka BP) lag die Baumgrenze vermutlich immer noch unter 700 m über Normal-Null,
- in der Älteren Dryas bis Allerød (circa 14 bis 13 ka BP) stieg die Baumgrenze auf 600 bis 1.000 m ü. NN an,
- etwa in der Jüngeren Dryas (13 bis 11,5 ka BP) erreichte die Baumgrenze 900 bis 1.500 m ü. NN,
- überstieg im Präboreal (ab circa 11,5 ka BP) eine Höhe von 1.600 m ü. NN
- und bleibt seit dem Atlantikum (ab circa 9,5 ka BP) > 2.000 m ü. NN.

Übertragen auf den Nordrand der Bayerischen Alpen würde sich folgendes Bild ergeben:

Da der Eiszerfall nach dem LGM relativ schnell erfolgte (VAN HUSEN 1997, REITNER 2007), ist anzunehmen, dass bis in das Bølling und die Ältere Dryas (etwa 13,9 ka BP) vegetationsarme, periglaziale Bedingungen nicht nur in den hohen Lagen, sondern auch an den Talflanken, vermutlich bis hinab in das Ammer- und Loisachtal (heute etwa 830 m beziehungsweise 630 m ü. NN) herrschten. Im Verlauf von Allerød und Jüngerer Dryas (circa 13,9 bis 11,5 ka BP) stieg die Baumgrenze an und damit auch die Untergrenze des Periglazialraumes, bis schließlich etwa im Präboreal (ab circa 11,5 ka BP) die Baumgrenze die Höhe der höchsten Gipfel im Hörnle-Aufacker-Gebiet überstieg und eine geschlossene Vegetationsdecke den Periglazialraum ablöste. In den höheren Lagen konnten periglaziale Prozesse und Solifluktion unter vegetationsarmen Bedingungen also bis in das ausgehende Spätwürm stattfinden.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Aus den oft nur relikthaft erhaltenen Geländebefunden lassen sich für das Hörnle-Aufacker-Gebiet folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- Im Hörnle-Aufacker-Gebiet ist chemische In-situ-Verwitterung (Zersatz) anstehender Gesteine des Rhenodanubischen Flyschs in mehreren Vorkommen belegt.
- Zersatzbildungen kommen meistens in Höhenlagen oberhalb des würmzeitlichen Eishöchststandes von 1.050 bis 1.180 m ü. NN vor.
- Die Zersatzrelikte dokumentieren unterschiedliche Phasen chemischer Verwitterung. Vereinzelt lässt sich chemische In-situ-Verwitterung, die älter als der würmzeitliche Eishöchststand (prä-LGM) ist, nachweisen; ein früh- oder hochwürmzeitliches Alter wird vermutet. In den meisten Fällen bleibt die genaue Altersstellung der chemischen In-situ-Verwitterung unklar. Zersetzte Umlagerungsbildungen belegen auch jüngere, spät- bis postglaziale Phasen mit chemischer Verwitterung.
- In einzelnen Aufschlüssen sind Solifluktionsbildungen (Fließerde) mit oberflächenparalleler Einregelung plattiger Komponenten oder Verwürgung dokumentiert.
- Diese Solifluktionsbildungen treten meistens in Höhenlagen oberhalb des würmzeitlichen Eishöchststandes und zum Teil unterhalb auf.
- Dezimeter große Linsen und Taschen aus auffälligem, weißlichem Lehm mit verwürgten Strukturen innerhalb bräunlicher, diamiktischer Hangablagerungen werden als soliflukktiv umgelagerter Verwitterungslehm aus zersetzten Mergelstein-reichen Flysch-Formationen (vor allem Kalkgraben- und Altlenzbach-Formation) interpretiert.
- Das verbreitete Auftreten dieser vermutlich soliflukktiv umgelagerten, weißlichen Linsen aus Verwitterungslehm innerhalb bräunlicher Hangablagerungen und die vereinzelt nachweisbaren Übergänge zwischen Fließerde mit Einregelung und unregelmäßigen Hangablagerungen legen nahe, dass es sich bei den im allgemeinen als Hangablagerungen bezeichneten, braunen bis ockerfarbenen Diamikten ursprünglich um oberhalb der jeweiligen Waldgrenze flächenhaft verbreitete Fließerden handelt, deren charakteristische Solifluktionsgefüge durch spätere Prozesse teilweise oder vollständig überprägt oder ausgelöscht wurden.

Aufgrund ihrer nur relikthaften Erhaltung sind Zersatz- und Solifluktionsbildungen aus dem Periglazialraum oberhalb der würmzeitlichen Vergletscherung in den Bayerischen Alpen schwierig zu identifizieren und zu interpretieren, und daher bisher kaum beschrieben oder flächenhaft dargestellt worden.

Es ist ungeklärt, inwieweit die hier dokumentierten Solifluktionsformen typisch für Mergelstein-reiche, lehmig verwitternde Lithologien wie z. B. des Rhenodanubischen Flyschs sind, und inwieweit sie sich mit Solifluktionsbildungen aus kalkalpinen Einheiten, wie sie STAHR (2000) aus den Berchtesgadener Alpen beschreibt, vergleichen lassen.

Zur Klärung der Bedeutung der unregelmäßigen Linsen aus weißlichem Lehm ist die Erfassung und Untersuchung weiterer Vorkommen notwendig. Weitere Belege für periglaziale Verwitterungs- und Solifluktionsbildungen oberhalb der würmzeitlichen Vergletscherung in den Bayerischen Alpen sollten sich im Bereich der, z. B. bei VAN HUSEN (1987) dargestellten, eisfreien Gebiete untersuchen lassen.

## 7 Literatur

- AD-HOC-AG GEOLOGIE (2008): Liste der Petrographischen Gesteinsbezeichnungen & Liste der Petrogenetischen Bezeichnungen. – In: Geologische Kartieranleitung – Fachliche Grundlagen. – www.geol-ka.de, abgerufen 1. Dezember 2015.
- BAYER. GEOL. LANDESAMT (1996): Geologische Karte von Bayern 1 : 500 000 – München (Bayer. Geol. Landesamt).
- BLÜHER, H.-J. (1935): Molasse und Flysch am bayerischen Alpenrand zwischen Ammer und Murnauer Moos. – Abh. geol. Landesuntersuch. a. Bayer. Oberbergamt, **16**: 7–55, München (Bayer. Oberbergamt).
- BOCH, R., CHENG, H., SPÖTL, C., EDWARDS, R. L., WANG, X. & HÄUSELMANN, P. (2011): NALPS: a precisely dated European climate record 120–60 ka. – *Clim. Past*, **7**: 1247–1259, Göttingen (Copernicus Publications).
- DAHMS, D., FAVILLI, F., KREBS, R. & EGLI, M. (2012): Soil weathering and accumulation rates of oxalate-extractable phases derived from alpine chronosequences of up to 1 Ma in age. – *Geomorphology*, **151–152**: 99–113, Amsterdam (Elsevier).
- DIXON, J. C. & THORN, C. E. (2005): Chemical weathering and landscape development in mid-latitude alpine environments. – *Geomorphology*, **67**: 127–145, Amsterdam (Elsevier).
- HALL, K., THORN, C. E., MATSUOKA, N. & PRICK, A. (2002): Weathering in cold regions: some thoughts and perspectives. – *Prog. Phys. Geogr.*, **26**: 577–603, London (E. Arnold).
- HEIRI, O., KOINIG, K. A., SPÖTL, C., BARRETT, S., BRAUER, A., DRESCHER-SCHNEIDER, R., GAAR, D., IVY-OCHS, S., KERSCHNER, H., LUETSCHER, M., MORAN, A., NICOLUSSI, K., PREUSSER, F., SCHMIDT, R., SCHOENEICH, P., SCHWÖRER, C., SPRAFKE, T., TERHORST, B. & TINNER, W. (2014): Palaeoclimate records 60–8 ka in the Austrian and Swiss Alps and their forelands. – *Quat. Sci. Rev.*, **106**: 186–205, Amsterdam (Elsevier).
- ŁOZIŃSKY, W. VON (1912): Die periglaziale Fazies der mechanischen Verwitterung. – C. R. XI Congr. Int. Géol. Stockholm 1910: 1039–1053, Stockholm (P. A. Norstedt & Söner).
- MAVRIS, C., EGLI, M., PLÖTZE, M., BLUM, J. D., MIRABELLA, A., GIACCAI, D. & HAEBERLI, W. (2010): Initial stages of weathering and soil formation in the Morteratsch proglacial area (Upper Engadine, Switzerland). – *Geoderma*, **155**: 359–371, Amsterdam (Elsevier).
- PELTIER, L. (1950): The geographic cycle in periglacial regions as it is related to climatic geomorphology. – *Ann. Am. Assoc. Geogr.*, **40**: 214–236, Washington (Am. Assoc. Geogr.).
- REITNER, J. (2007): Glacial dynamics at the beginning of Termination I in the Eastern Alps and their stratigraphic implications. – *Quat. Internat.*, **164/165**: 64–84, Amsterdam (Elsevier).
- STAHR, A. (2000): Zur Differenzierung periglazialer Deckschichten der montanen und subalpinen Höhenstufe in den Berchtesgadener Alpen. – *Frankfurter geowiss. Arbeiten, D*, **26**: 155–172, Frankfurt am Main (Univ. Frankfurt a. M.).

- STARNBERGER, R., DRESCHER-SCHNEIDER, R., REITNER, J. M., RODNIGHT, H., REIMER, P. J. & SPÖTL, C. (2013): Late Pleistocene climate change and landscape dynamics in the Eastern Alps: the inner-alpine Unterangerberg record (Austria). – *Quat. Sci. Rev.*, **68**: 17–42, Amsterdam (Elsevier).
- TEIPEL, U. & HAHN, T. (2015): Geologische Karte von Bayern 1 : 25 000 Blatt 8332 Unterammergau – unveröff. Manuskriptkarte. – Augsburg (Bayer. Landesamt für Umwelt).
- TERHORST, B., FRECHEN, M. & REITNER, J. (2002): Chronostratigraphische Ergebnisse aus Lößprofilen der Inn- und Traun-Hochterrassen in Oberösterreich. – *Zeitschr. Geomorphol. N.F.*, **127**: 213–232, Stuttgart (Schweizerbart).
- THORN, C. E. (1983): Seasonal Snowpack Variability and Alpine Periglacial Geomorphology. – *Polarforschung*, **53**: 31–35, Hamburg (Dt. Ges. f. Polarforschung).
- THORN, C. E., DARMODY, R. G., DIXON, J. C. & SCHLYTER, P. (2011): The chemical weathering regime of Kärkevagge, arctic-alpine Sweden. – *Geomorphology*, **41**: 37–52, Amsterdam (Elsevier).
- TRANter, M. (2003): 5.07 Geochemical Weathering in Glacial and Proglacial Environments. – In: Holland, H. D. & Turekian, K. K. (Hrsg.): *Treatise on Geochemistry*, **5**: 189–205, Amsterdam (Elsevier).
- VAN HUSEN, D. (1987): Die Ostalpen und ihr Vorland in der letzten Eiszeit (Würm) (Paläogeographische Karte 1:500.000). – In: *Die Ostalpen in den Eiszeiten*. – 24 S., Wien (Geol. Bundesanstalt).
- VAN HUSEN, D. (1997): LGM and late-glacial fluctuations in the Eastern Alps. – *Quat. Internat.*, **38/39**: 109–118, Amsterdam (Elsevier).
- VEIT, H., MAILÄNDER, R. & VONLANTHEN, C. (2002): Periglaziale Deckschichten im Alpenraum: bodenkundliche und landschaftsgeschichtliche Bedeutung. – *Petermanns Geograph. Mitt.*, **146**: 6–14, Gotha (Justus Perthes).



## Danksagung

Ich danke meinen Kollegen Dr. Ulrich Haas und Reinhard Jochum (LfU) für Diskussionen und kritische Durchsicht des Manuskriptes.

