

# Die Gletscher der letzten Eiszeit im Speer-Bergland

Autor(en): **Keller, Oksar**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Toggenburger Jahrbuch**

Band (Jahr): - **(2009)**

PDF erstellt am: **27.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-882781>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Die Gletscher der letzten Eiszeit im Speer-Bergland

Während des Eishöchststandes vor 24 000 Jahren überragte das zentrale Speer-Bergland das umgebende Eisstromnetz von Rhein-, Thur- und Linthgletscher inselartig, war aber selbst auch vergletschert. Während dieser Zeit herrschte ein sehr kaltes und trockenes Polarklima, ähnlich wie heute auf Spitzbergen im nördlichen Eismeer. Im Konstanz-Stadial vor 18 000 Jahren waren die Eisströme weit zurückgeschmolzen, so dass sich in den Speertälern bis sechs Kilometer lange eigenständige Gletscher entwickeln konnten. Diese Periode der Lokalvereisung lässt sich ausdehnungsmässig mit der heutigen Vergletscherung des Berninamassivs vergleichen. Das auf 17 300 Jahre vor heute datierte und bereits späteiszeitliche Weissbad-Stadial (Alpstein) hinterliess in vielen Tälern, etwa im Wängital, Ijental und auf der Mattstock-Nordseite, markante Eisrand- und Eisfrontbildungen. Die nordseitigen höchsten Karmulden von Speer und Mattstock waren selbst noch um 16 000 vor heute von kleinen Gletschern erfüllt.

*Oskar Keller*

## Einführung

Das Bergland zwischen Rickenpass und Churfirsten, zwischen Thur und Linthebene ist eine bestens bekannte Wanderregion. Besonders oft werden Speer und Tanzboden bestiegen. Aber auch das Gebiet des Mattstocks und der Amdener Höhi erfreuen sich grosser Beliebtheit. Ebenso geschätzt sind Wanderungen im Steintal, im Wängital oder im Tal der Wiss-Thur. Beherrschend für das ganze Gebiet sticht der Speer in seiner klotzigen Pultform hervor. Mit 1950 Metern Höhe überragt er deutlich seine Nachbarberge und ist sogar noch höher als die alpine Kalkbastion des nahe gelegenen Mattstocks. Dies ist umso auffälliger, als der Speer geologisch nicht mehr zu den Alpen gehört, sondern als Molasseberg mit mächtigen Nagelfluh-Formationen den Voralpen zuzurechnen ist. Seine alpine Höhe zeichnet ihn im gesamten Alpenraum als höchsten Molassegipfel überhaupt aus.





Überblick über das Wiss-Thur-Tal. Während der Mattstock (links) alle Zeichen der Frontgebirge der Kalkalpen zeigt, ist der Speer (rechts) mit seiner Pultform und den aufsteigenden Nagelfluh-Schichten ein Vertreter der Molasse-Voralpen. Die Alpengrenze verläuft über den tiefen Sattel der Mättler Höhi. Foto: O. Keller.

In dieser Abhandlung sollen nun aber nicht die gesteinsgeologischen Verhältnisse diskutiert werden, sondern es geht um glazialgeologische, also um eiszeitliche Fragen. Wenn von Eiszeitgletschern die Rede ist, so denkt man unwillkürlich an die grossen Vorland-Eisströme des Rheins im Bodenseeraum oder der Linth im Zürischsee- und Glatttalgebiet. Bereits weniger bekannt ist der eiszeitliche Thurgletscher, der ausser im unteren Toggenburg auch nur sporadisch Zeichen seiner Eisränder hinterlassen hat. Auffälliger hingegen sind die Zeugen der einstigen Vergletscherung rund um den Alpstein. Nun finden sich bei genauerem Nachforschen auch im Speer-Bergland zahlreiche eiszeitliche Relikte. Sie wurden jedoch von den Geologen, die die Molasse (Speer, Tanzboden) oder die Alpenrandzone (Mattstock, Gulmen, Goggeien) untersuchten, nur am Rande festgestellt und meist generell als Moräne kartiert.<sup>1</sup> Grösseres Interesse fanden schon immer hochliegende alpine Erratiker (Findlinge), die Hinweise zur maximalen Eishöhe der Hauptgletscher von Linth und Thur lieferten.<sup>2</sup> Erst Hantke (1980) geht auf einige Lokal- und Kargletscher ein, vor allem im Steintal. Der Autor selbst hat 1984 bis 1987 das Speer-Mattstock-Gebiet speziell auf eiszeitliche Hinterlassenschaften untersucht.<sup>3</sup> Der vorliegende Artikel basiert im Wesentlichen auf diesen Untersuchungen, wobei neuere Feldbegehungen mitverwertet worden sind.



## Mehr als ein Dutzend echte Eiszeiten

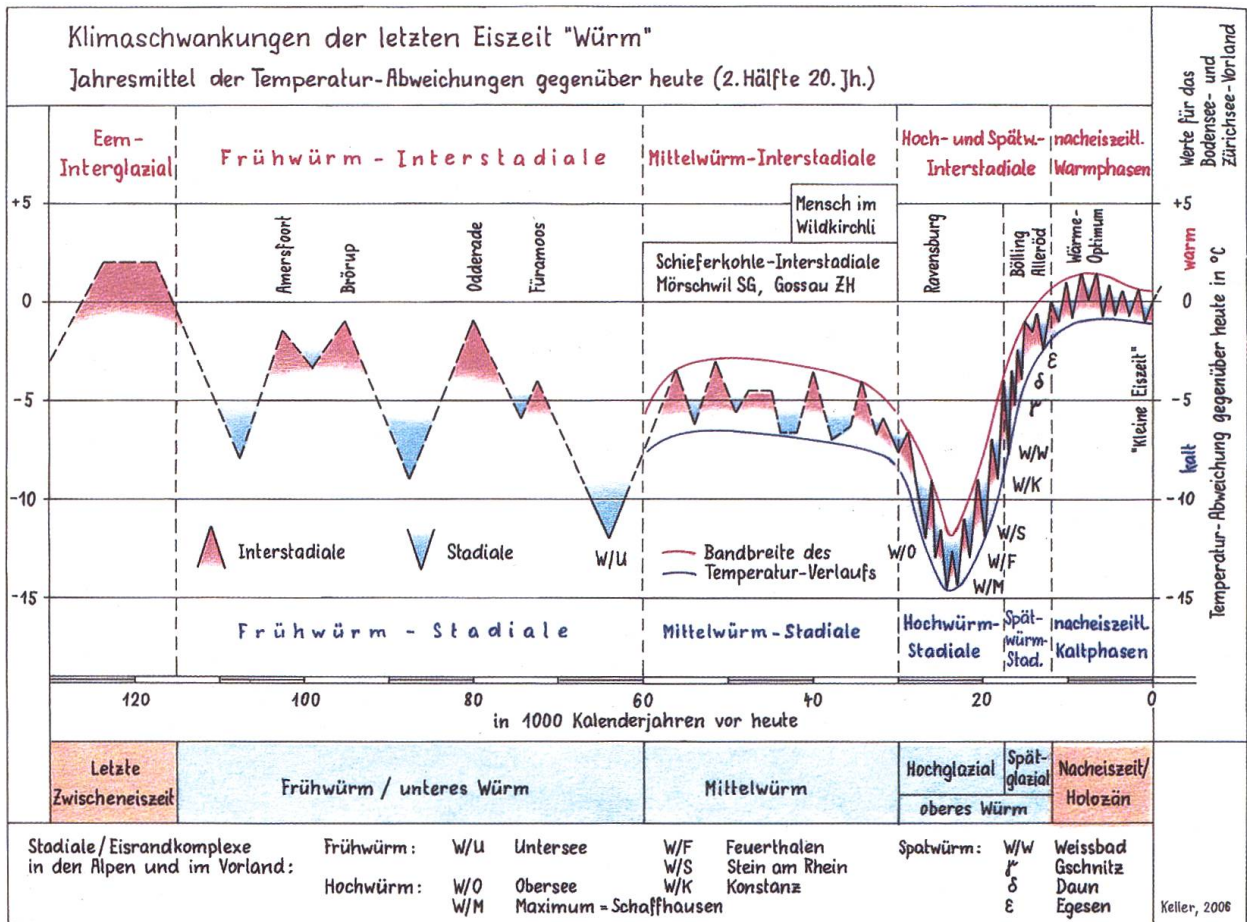
Nicht einmal 200 Jahre sind es her, dass die bis dahin als unmöglich, ja verrückt angesehene Vorstellung einstiger gewaltiger Eisüberflutungen, die weite Teile Nordamerikas und Nordeuropas und eben auch das Alpen-Vorland unter sich begraben hatten, von den Forschern akzeptiert worden ist. Bahnbrechend waren die Ausführungen von Louis Agassiz 1837 anlässlich eines Geologen-Kongresses in Neuenburg. Er war, angeregt durch Erklärungen von Walliser Bergführern und durch seine Funde weit verstreuter Walliser Kristallinblöcke, im Westschweizer Mittelland und im Jura, auf die Idee gekommen, dass einst ein riesiger Rhone-Gletscher bis ins Vorland vorgestossen sein müsse.<sup>4</sup> Vorerst glaubte man an ein einmaliges Ereignis, bis A. Penck um 1900 im Alpen-Vorland Bayerns und der Schweiz vier Eiszeiten, die durch Warmphasen (Zwischeneiszeiten, Interglaziale) ähnlich der Gegenwart zu trennen waren, nachweisen konnte.<sup>5</sup> Seit den 1970er Jahren, als man Tiefsee-Bohrkerne aus der Karibik, dem Indischen Ozean und dem Pazifik mit modernen Methoden auf Klimasignale und Zeitmarken auswerten konnte, weiss man, dass es in den letzten 2 Millionen Jahren 15 bis 20 echte Eiszeiten (Glaziale) gegeben hat.<sup>6</sup>

Im Vorland der Alpen, in welchem jede nächstfolgende Vergletscherung das, was die vorangehenden Eiszeiten geschaffen hatten, wieder umpflügte und zerstörte, können ältere Eiszeiten nur an bevorzugten Stellen nachgewiesen werden. Umso mehr sind in den Alpen und im Alpenrandraum, wo die Gletscher vor allem ausräumten, kaum Zeugen früherer Vereisungen erhalten geblieben. Hingegen sind die Marken der letzten Eiszeit grossenteils noch vorhanden, sodass deren Verlauf heute gut erforscht ist.

Aus Datierungen mit physikalischen Messmethoden ergibt sich, dass die letzte Eiszeit, die Würmeiszeit (benannt nach einem Flüsschen im bayrischen Vorland), vor rund 110 000 Jahren mit etappenweise kälter werdenden Zeitabschnitten einsetzte. Vor gut 60 000 Jahren war ein erster Kältegipfel erreicht, der zum Vormarsch des Rheingletschers über den Bodensee hinaus bis in den Untersee führte.<sup>7</sup>

In der Folge erholte sich das Klima etwas, sodass das Eis bis in den Raum oberhalb von Chur zurückschmolz. Nach 30 000 Jahren vor heute, als das Klima arktisch kalt und trocken wurde, kam es zur Hauptvereisung.<sup>8</sup> Dabei rückte das Rheineis durch das Rheintal und über den Bodensee vor und endete um 24 000 Jahre vor heute bei Schaffhausen und im Norden nahezu



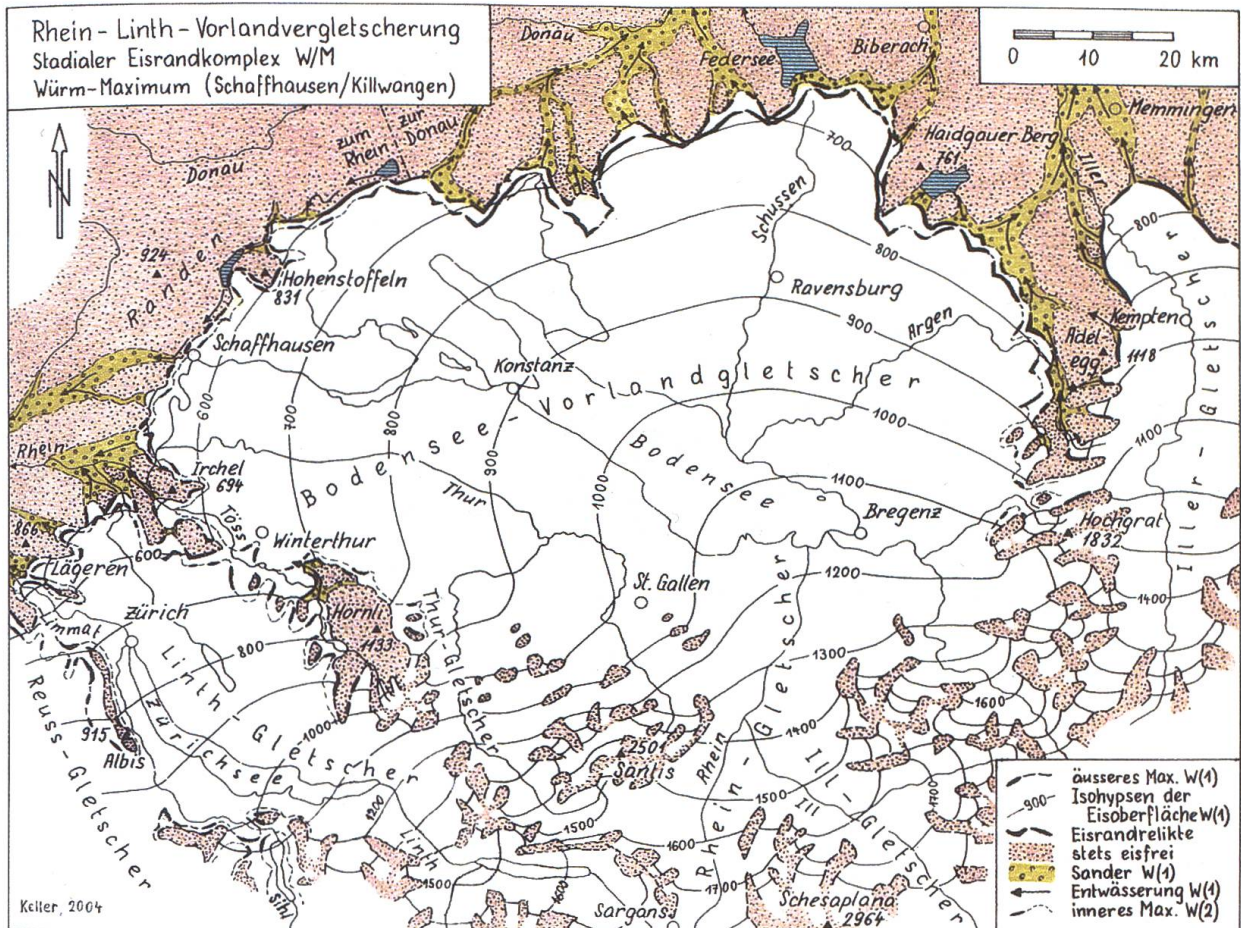


Der Verlauf der Jahresmittel-Temperatur während der letzten Eiszeit ist in Mitteleuropa durch zahlreiche Schwankungen charakterisiert. Hoch-, Spät- und Nacheiszeit weisen eine hohe Frequenz auf. Gleiches dürfte auch für das Früh- und das Mittelwürm gelten; sie sind aber noch wenig erforscht. Die Bandbreite für das Schwankungsmass bewegt sich im Rahmen von 2 Grad bis 5 Grad Celsius. Aus Keller und Krays (2005) abgeändert.

an der Donau. Der Linthgletscher aus den Glarner Alpen, verstärkt durch den Walenseearm des Rheingletschers, reichte über Zürich hinaus bis in die Nähe von Wettingen. Ab 22 000 Jahre vor heute begann bei milder werdendem Klima das Abschmelzen, unterbrochen von Klima-Rückschlägen und dadurch ausgelösten Wiedervorstössen der Gletscher. Um 16 000 vor heute hatte sich der Rheingletscher im Bündnerland in einzelne grosse Talgletscher aufgelöst, und um 12 000 vor heute waren nur noch die alpinen Hochgebiete vergletschert, mit Ausmassen ähnlich wie heute. Damit war die jüngste Eiszeit abgeschlossen, und das Klima erreichte heutige Werte. Seither schwanken in der Nacheiszeit (oder nur Zwischeneiszeit?) die Durchschnittstemperaturen im engen Rahmen von 1 Grad bis maximal 2 Grad Celsius, was die Gletscher mit kleineren Vorstössen und mit Rückschmelzen innerhalb der Hochalpen beantworten.

Klima-Rekonstruktionen haben ergeben, dass während der grossen Interstadialzeit im Mittelwürm vor 60 000 bis 30 000 Jahren am Zürich- und Bodensee ein halbtrockenes Nadelwaldklima herrschte mit um 5 Grad niedrigeren Jahrestemperaturen gegenüber heute.<sup>9</sup> Als die Gletscher vor 24 000 Jahren ihre ma-





ximale Ausdehnung erreicht hatten, waren die Jahrestemperaturen um 15 Grad gegenüber heute abgesunken, im Winter war es gar gegen 20 Grad kälter als heute. Die Niederschläge, die vorwiegend als Schnee fielen, erreichten nur mehr 20 bis 30 Prozent gegenüber heute.

### Ein «Eismeer» zwischen Alpen und Donau

Über den etappenweisen Aufbau der Eismassen vor der maximalen Vereisung ist sowohl im Thurtal als auch im Linthgebiet zwischen Rickenpass und Amden wenig bekannt.<sup>10</sup> Im Steinbachtobel bei Rieden hat sich der Bach in einer mächtigen eisrandnahen Talverfüllung erosiv eingeschnitten. Diese belegt die Verstopfung des Tobels durch den sich aufbauenden und den Talausgang verbarrikadierenden Linthgletscher. In ähnlicher Weise sind wohl auch die umfangreichen Lockersedimente am Ausgang des Wiss-Thur-Tals oberhalb von Stein zu deuten. An beiden Stellen haben aber nach der Hauptvereisung die abschmelzenden Gletscher die Stausedimente überprägt und die heute erkennbaren Formen geschaffen, was später dargelegt wird.

Während der Maximal-Vereisung der letzten Eiszeit überdeckten riesige Vorlandgletscher das Bodensee- und das Zürichseegebiet. Das Toggenburg und das Speergebiet waren in diese Eismassen eingehüllt.





Blick vom Speer auf die Churfirnten. Sie überragten in der Maximal-Vergletscherung das Eisstromnetz, während die ausgedehnte Terrasse von Sellamatt eisbedeckt war. Gulmen (Mitte rechts) und Goggeien (Mitte links) reichten über das Eismeer hinaus. Foto: O. Keller.



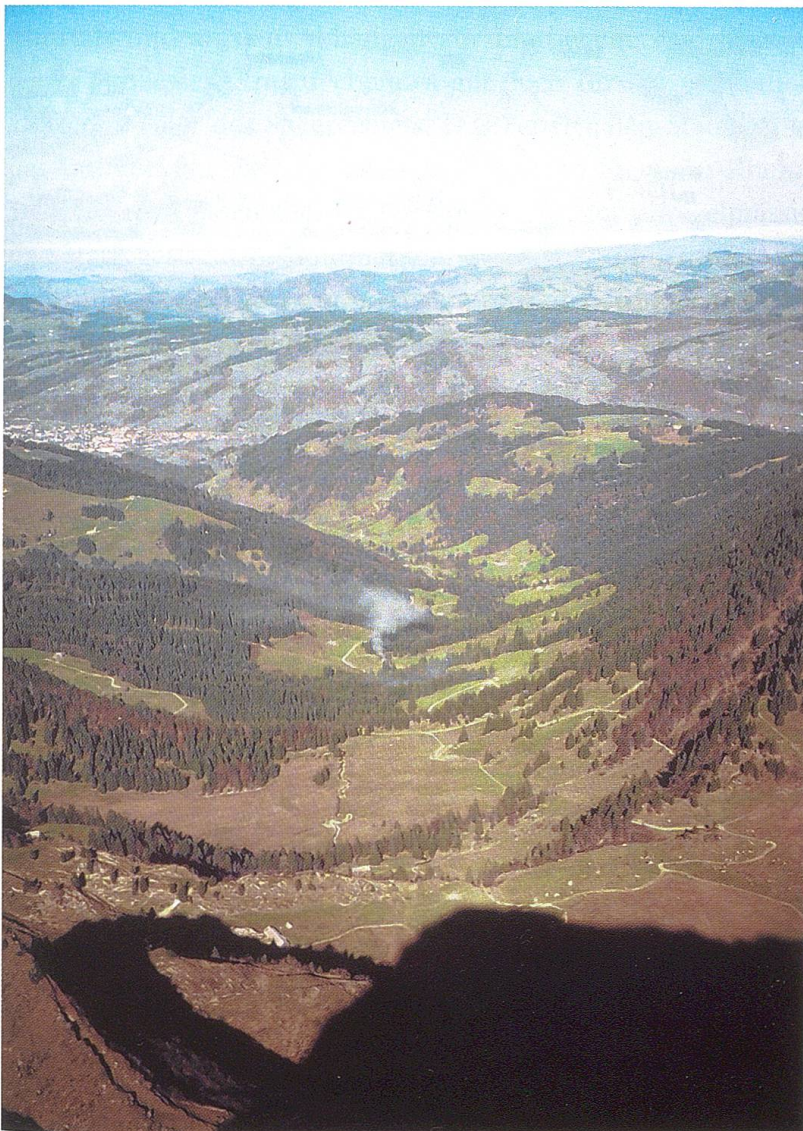
Schrattenkalk-Blöcke in einer Rutschung sind vom Eis poliert und weisen Kritzler auf. Dieser Aufschluss liegt an der Hagegg über dem Wiss-Thur-Tal. Die Steine stammen aus den Churfirnten und wurden vom Eis über die Hinter Höhi hierher transportiert. Foto: O. Keller.

Der gewaltige Eisaufbau dauerte nur rund 5000 Jahre. Der Linthgletscher stiess aus dem Tödigebiet, der Thurgletscher vom Säntis und von den Churfirnten herunter vor, beide unterstützt vom Rheingletscher von Sargans her, beziehungsweise über den niedrigen Pass von Wildhaus. Während die Gletscherfronten sich immer weiter ins Mittelland vorschoben, wuchs das Eis im Toggenburg und über der Linthebene in die Höhe. Bald einmal kam es über dem Rickenpass zum Zusammenfluss von Linth- und Thurgletscher. Schliesslich erreichte das Eis während des Höchststandes vor 24 000 Jahren ungefähr 1200 Meter Meereshöhe, über Stein im Toggenburg 1400 Meter und bei Amden gegen 1500 Meter.<sup>11</sup>

Woher weiss man das? Die Gletscher hinterliessen eine Art Küstenlinie, indem sie Schriffspuren anlegten, mitgeschleppte Steinblöcke als Erratiker deponierten, Bergkuppen und Sporne zu Rundhöckern überformten. Die obersten derartigen Marken ergeben die maximale Eishöhe. Aussagekräftig sind zudem auch Transfluenzen, das heisst glazial überarbeitete Pässe, über die das Eis floss. Hinzu kommen eismechanische Überlegungen wie Fliessverhalten, Form der Eisoberfläche oder Geländeneigung.<sup>12</sup>

Nur diejenigen Areale, die im Speer-Mattstock-Gebiet höher liegen als 1200 Meter im Norden und 1500 Meter im Süden, schauten als sogenannte Nunatakker wie Inseln aus dem alles überziehenden Eisstromnetz heraus. Wie Berechnungen ergeben haben, lag die Schneegrenze nordseits des Säntis und damit





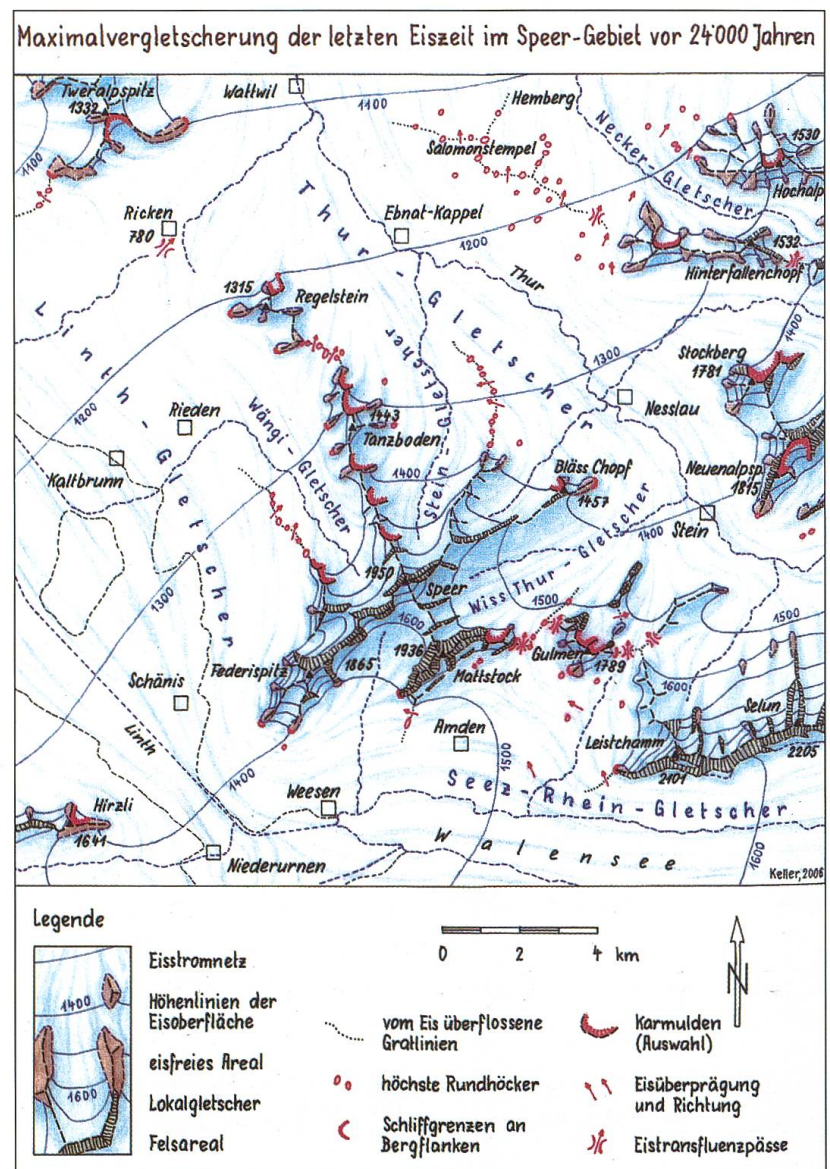
Das grosse und mustergültige Kar bildet den Abschluss des Wängitals mit steiler, halbkreisförmiger Rückwand, wannenartiger Karmulde und felsiger, eisgeschliffener Karstufe am Ausgang. Kare sind untrügliche Zeichen eiszeitlicher Gletscher-Erosion. Links Felsgrat des Speers, rechts Grappenhorn. Foto: O. Keller

Das Steintal, vom Speer gesehen. Es weist die typische Trogform eines eiszeitlichen Gletscher-Tals auf. Der oberste Abschnitt ist eine riesige Karmulde, die in mehreren Steilstufen absteigt. Die Wolzenalp (Mitte rechts) ist eisüberprägt mit zahlreichen Rundhöckern. Foto: O. Keller.



auch in der Region des Speers auf 1000 Metern.<sup>13</sup> Über der Schneegrenze taut auch im Sommer der Schnee nicht weg, er wird in Eis verwandelt, und es entstehen Gletscher. Aus dieser Tatsache ist abzuleiten, dass alle aus dem Eisstromnetz aufragenden Areale Eiskappen trugen, aus denen sich kleine lokale Gletscher entwickelten, die mit dem Eisstromnetz zusammenflossen. Davon legen die im Speer-Bergland häufigen Karmulden Zeugnis ab. Es handelt sich dabei um halbkreisförmige Wannen mit steiler, meist felsiger Rückwand und flacherem Boden, die durch Glazialerosion aus den Bergkämmen herausgefräst worden sind.

Auf der Grundlage all dieser Erkenntnisse kann der letzteiszeitliche Höchststand der Vergletscherung im Raum Rickenpass – Churfürsten rekonstruiert und als Karte mit den Höhenlinien der Eisoberfläche dargestellt werden.



Nur die hohen Berge ragten im Maximum der letzten Eiszeit aus dem Eismeer heraus. Sie waren ihrerseits auch vergletschert. Die Höhenlage der Eisoberfläche ergibt sich aus Schlift- und Erosionsformen.

## Das ausgehende Hochglazial – selbständige Talgletscher

### *Das Konstanz-Stadial im Überblick*

Ab 22 000 Jahre vor heute setzte das Rückschmelzen der Vorlandvergletscherung ein. Sie ging aber nicht kontinuierlich vor sich, sondern verlief in Etappen. Immer wenn das Klima, das ganz allgemein langsam milder wurde, wieder für Jahrhunderte einen Kälterückschlag erlitt, stagnierte der Abschmelzprozess, oder es kam sogar zu begrenzten Wiedervorstößen der Gletscher. Im Bodensee- und im Zürichsee-Vorland sind drei Stadiale (Kaltphasen) des Rückschmelzens anhand von markanten und verknüpfbaren Eisrandlagen feststellbar: Feuerthalen/Schlieren, Stein am Rhein/Zürich und Konstanz/Hurden.<sup>14</sup> Während sich die Vorlandgletscher im Frontgebiet entlang der Rhein-Bodensee-, beziehungsweise der Limmat-Zürichsee-Achse zurückbildeten, sank das Eisstromnetz im Voralpengebiet und in den inneren Alpen schrittweise vertikal zusammen. Eisrandterrassen und Moränenwälle entlang der Flanken des Toggenburger Thurtals und an den Abhängen zur Linthebene sind Zeugen dieses Prozesses. Entsprechendes gilt auch für die wesentlich kleineren Täler des Speergebiets. Das Feuerthalen-Stadial und das im Vorland weit herum sehr deutliche Stein-am-Rhein-Stadial hinterliessen aber im Voralpengebiet nur unregelmässig und stark gestreut Eisrandmarken. Vor allem können diese im Umland des Speers oft kaum verknüpft werden, sodass hier eine Gletscher-Rekonstruktion nur mit zahlreichen Lücken möglich und lokal sehr unsicher ist. Immerhin kann die Frontlage des Thurgletschers im Stein am Rhein-Stadial, als er bei Bazenheid stirnte, sehr exakt gefasst werden. Wie das aus der Vogelschau anzusehen war, deutet die zeichnerische Rekonstruktion an.

Anders sieht es für das Konstanz-Stadial aus, welches auf rund 18 000 Jahre vor heute datiert werden konnte.<sup>15</sup> Der Linthgletscher reichte gerade bis zur Seeverengung Rapperswil-Hurden, sodass die gesamte Linthebene und der Zürich-Obersee noch unter dem Eis begraben waren. In den Voralpen war das Eisstromnetz endgültig weggetaut. Damit konnten die lokalen Gletscher in den höheren Molasse- und Alpenrandgebirgen selbständig vorstossen. Über rund 1300 Meter gelegene Areale wurden zu Firngebieten, welche die in den ausstrahlenden Tälern vorrückenden Gletscher ernährten. Im Ablationsgebiet (Zehrgebiet) der Talgletscher ist mitgeführtes Moränenmaterial randlich und frontal ausgetaut, das bei nicht zu steilem Gelände als eisrandliche Terrassen und als Wallmoränen angehäuft wurde.<sup>16</sup>



## Das Toggenburg zur letzten Eiszeit im Stein a/Rh-Stadial vor 19'000 Jahren Ansicht aus 2000m ü. M. über Münchwilen

- |                  |                    |                          |                     |                         |                     |                    |                           |
|------------------|--------------------|--------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|--------------------|---------------------------|
| Öhrl<br>Kronberg | Säntis<br>Hochhamm | Silberplatten<br>Hochalp | Lütispitz<br>Wilket | Churfirten<br>Stockberg | Leisthamm<br>Gulmen | Speer<br>Tanzboden | Federispitz<br>Regelstein |
|                  |                    |                          |                     | Salomonstempel          |                     |                    |                           |



- |   |  |  |   |
|---|--|--|---|
| Rheingletscher-<br>Zunge  | Wiler Eisstausee   | Wiler Schotterfeld   | Littenheider Flusstal                         |
| Be-zü<br>Ne-Gl.<br>Th-Gl.   | Ba-K<br>Bu<br>De<br>Di<br>He                                       | Jo<br>Kr<br>Kr<br>Li<br>Mb                                   | Ri<br>Sa<br>Sb                                |
| Betzauer Zunge<br>Necker-Gletscher<br>Necker-Eisstausee<br>Thur-Gletscher | Bozenheid-kirche<br>Busswil<br>Degersheim<br>Dietschwil<br>Hemberg | Jonschwil<br>Kirchberg<br>Kirnou<br>Littenheid<br>Mogelsberg | Rickenbach<br>Schwarzenbach<br>Schwellbrunn   |
| Be-zü<br>Ne-Gl.<br>Th-Gl.   | Ba-K<br>Bu<br>De<br>Di<br>He                                       | Jo<br>Kr<br>Kr<br>Li<br>Mb                                   | Ri<br>Sa<br>Sb                                |
|   |  | Mo<br>Mü<br>Nu<br>Oh   | Ur<br>Wa<br>Wf<br>Wi                          |
|   |  | Masnang<br>Muselbach<br>Nuetenwil<br>Oberhelfenschwil        | Unterrindal<br>Wattwil<br>Wasserfluh<br>Wilen |

Vom Säntis- und Churfirtengebiet herunter stiess der Thurgletscher nochmals bis Bazenheid vor (Moränenwall Kirche Bazenheid). Aus der Thurgletscherzunge sowie aus dem Rindal und dem Neckertal flossen die Schmelzwässer (Thur) gegen Wil. Sie schütteten eine breite Ebene auf und mündeten in den Wiler Eisstausee. Dieser war entstanden, weil die Rheingletscherzunge vom Bodensee her den Abfluss der Thur verhinderte. Der See entwässerte durch das Littenheider Tal Richtung Westen.



### **Toggenburger Thurtal**

Von den Hochlagen der Churfirten-Nordseite und aus den südwestlichen Alpstein-Tälern stand im Konstanz-Stadial so viel Eis zur Verfügung, dass sich das gesamte langgezogene Becken des oberen Thurtals von Lisighus bis Starkenbach mit Eis füllte, das über und durch den Thur-Durchbruch talabwärts abfloss. So konnte der Thurgletscher noch über Nesslau hinaus bis in die Gegend von Büel vorrücken. Eine Reihe von kurzen Wällen, Eisrandterrassen, Schmelzwasserrinnen und Rundhöckern, vor allem auf der westlichen Talseite, zeigt das Absteigen des Eisrandes gegen Norden in der Talweitung von Nesslau an. Im Becken von Stein hat der Thurgletscher den einstigen Ausgang des Wiss-Thur-Tals bei Stigen verstopft. Die angehäuften Moränenwälle musste der Fluss nordwärts umfliessen. Er hat sich hier nach dem Eisrückzug in einer engen Schlucht eingesägt, da er den alten Weg nicht mehr finden konnte.

### **Wiss-Thur-Tal**

Die Talverbauung durch den Thurgletscher am Talausgang bei Stigen ist verantwortlich für den 3 Kilometer langen flachen Talabschnitt zurück bis zur Mündung des Schwemmibaches, indem der Stau die Talaufschüttung auslöste. Eisrandterrassen und -wälle, die bei Au gegen die Talmitte einbiegen, zeigen

Unteres Ende des Wiss-Thur-Tals bei Stigen. Ein Moränenwall des Thur-Hauptgletschers verbaut den Talausgang. Die Wiss Thur umfließt heute die Barrikade links in einer Schlucht. Foto: O. Keller.





die Front des Wiss-Thur-Gletschers an. Von hier aus wurde ein Zwischensander (Gletscher-Vorfeld) an den Thurgletscher-Eisrand bei Stigen geschüttet, der die Gleichzeitigkeit beider Eisrandlagen belegt. Mehrere in Richtung Speer am Nordhang ansteigende Terrassen bis Perfiren markieren den Eisrand des Wiss-Thur-Gletschers auf seiner Nordseite.

Vom Gulmen und von den Goggeien herunter entwickelte sich der Sulzbach-Gletscher, der durch Moränenwälle, erratische Blöcke und Moränenmassen ausgewiesen ist. Er muss demnach den Wiss Thur-Gletscher noch erreicht haben.

### **Mattstock- und Federispitzgebiet**

Auf der Südostflanke des Mattstocks lag die Schneegrenze des Konstanz-Stadials wegen der Exposition zur Sonne mit etwa 1400 Metern recht hoch, sodass die kleinen Gletscher aus den Karmulden nur bis maximal 1100 Meter hinunter vorankamen, also bereits deutlich oberhalb von Amden (um 900 Meter) endeten.

In der ausgedehnten Hochzone zwischen Mattstock, Speer und Federispitz muss sich trotz südlicher Exposition ein bedeutender Gletscher entwickelt haben, der im Flibach-Tobel bis unter 1000 Meter hinunter reichte, wo er noch auf den Walensearm des mächtigen Rheingletschers auftraf.

Amdener Mulde gegen Osten. Links der Bildmitte der Leistchamm als Westende der Churfirnen-Kette. Im Konstanz-Stadial war das Walenseetal bis über Amden hinauf eisbedeckt (rechts im Bild, Eisrand angedeutet). Die Lokalgletscher erreichten diesen grossen Eisstrom nicht mehr; ihre Zungen endeten in den Tälern vom Leistchamm und vom Gulmen (links ausserhalb angedeutet). Foto: O. Keller.





Die ausgedehnte und schattige Karmulde Bättruns nördlich des Federispitzes war Firnzone des Bättrungletschers, dessen Zunge bei Obermatt auf 800 Meter mit dem grossen Linthgletscher zusammenfloss. Moränenwälle, Terrassen und Erratikum im Gebiet von Rütiberg geben darüber Auskunft.

### **Wängital**

Ausgehend von der grössten Karmulde der ganzen Region mit den mächtigen Nagelfluh-Felswänden zwischen Speer und Chüemettler als einem imposanten Talschluss ist das Wängital nach Nordwesten ausgerichtet und biegt bei Rieden unvermittelt gegen die tiefliegende Linthebene um. Wegen der nördlichen Exposition und der hoch gelegenen Firnzone oberhalb Vorderwängi baute sich im Konstanz-Stadial mit über 6 Kilometern der längste Lokalgletscher des Speer-Berglandes auf. Sein Zungen-



Das Wängital vom Speer aus, das bei Rieden scharf gegen die Linthebene umbiegt. Im Konstanz-Stadial stirnte der Wängi-Gletscher an der Terrasse am Talende, im Weissbad-Stadial erfüllte er noch die Talweitung von Vorderwängi mit den Waldstreifen. Foto: O. Keller.



Altis südseits am Ausgang des Wängitals. Hier baute der eiszeitliche Wängi-Gletscher im Konstanz-Stadial zwei nahe beieinander liegende Moränenwälle auf: Der äussere und höhere verläuft von rechts nach links mitten durch das Bild. Der innere bildet den bewaldeten Sporn hinter der Scheune. Foto: O. Keller.



ende lag auf 750 Metern im Steinenbach-Tobel, wo ein kleiner Moränenwall bei Cholschlagen die Front bezeichnet. Aus den älteren Staumassen präparierte der Wängi-Gletscher auf der Nord- und der Ostseite Eisrandterrassen heraus. Auf der Südwestseite lassen bei Altwis zwei eng gescharte Moränenwälle den Eisrand klar erkennen. Talaufwärts deutet ein Erratikerstreifen am Berghang von Schwendi den Eisrand an. Bei Hohwald und auf der Tal-Gegenseite im Steineggwald finden sich deutliche Eisrandterrassen. Aufgrund dieser zahlreichen Relikte lässt sich der Wängi-Gletscher gut gesichert rekonstruieren.

### **Steintal**

Ähnlich dem Wängital war auch das Steintal von einem bedeutenden Gletscher erfüllt. Hier sind aber die Eisrandmarken viel weniger klar. Immerhin kann das Zungenende des Steingletschers anhand undeutlicher Terrassenformen bei Mettler auf rund 800 Metern angenommen werden. Einige weitere Terrassen und kurze Wälle geben im mittleren Talabschnitt Auskunft über die Höhenbegrenzung der Gletscherzunge. Im Seitental des Geissbachs zwischen Tanzboden und Schorhüttenberg existierten im Konstanz-Stadial nur zuoberst kleine Gletscher und

Steintal bei Mettler mit Blick auf die Höhen der Wolzenalp (links) und das Speermürli. Die Talmulde in der Bildmitte ist das Zungenbecken des Konstanz-stadialen Steingletschers, der wenig rechts des Bildrandes stirnte.

Foto: O. Keller.





Firne, die den Steingletscher nicht mehr erreichten. Dafür aber verbarrikadierte dieser das Tal, sodass ein Eisstausee entstand, der vom Tanzboden herunter mit Hangschutt und Schwemmlehm verfüllt wurde.

### ***Ijental***

Das ziemlich ausgedehnte Ijental ist wenig bekannt, liegt doch sein Eingang hoch über Nesslau auf über 1000 Metern. Daher gibt es auch keine das ganze Jahr bewohnte Höfe. Es besitzt einen langen flachen Talboden, der unvermittelt in den steilen oberen Abschnitt übergeht. Ganz im Südwesten erhebt sich beherrschend das Speermürli auf 1746 Meter. Im Gegensatz zur rechten Talflanke weist die linke eine grössere Anzahl Eisrandterrassen auf. Das oberste System von Schönenboden biegt auf knapp 1100 Metern ins Thur-Haupttal ein, was das Zusammenfliessen des Ijengletschers mit dem Thurgletscher belegt. Diese Höhenlage des Thurgletschers kann aus weiteren regionalen Vergleichen nur Stein-am-Rhein-Stadial bedeuten.

Die nächst tiefere Terrassenabfolge setzt mit einem Doppelwall in rund 1350 Metern auf Ronen ein. Sie lässt das Zungenende bei Plattenschwand am unteren Ende des Hochtals annehmen. Dieser Stand kann als «Konstanz» identifiziert werden.

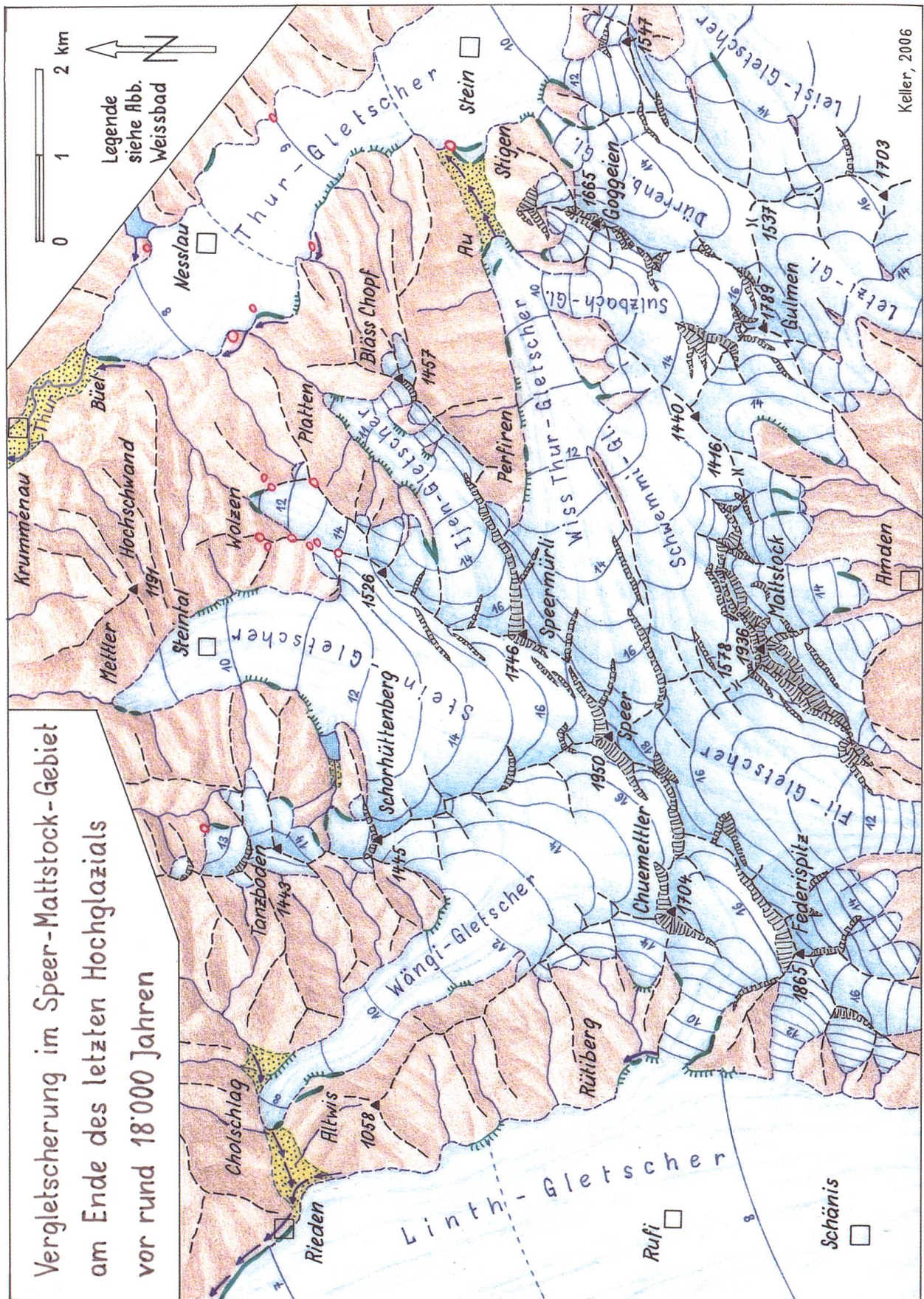
### ***Zur Rekonstruktion der Konstanz-stadialen***

#### ***Lokalgletscher***

Nach dem Stein-am-Rhein-Stadial schmolz das Eisstromnetz in den Voralpen weg, sodass die tieferen Lagen im Speergebiet eisfrei wurden. Dafür entwickelte sich hier die dargelegte lokale Vergletscherung. Alle Areale über 1300 Meter wurden zu Firngebieten, und in den Tälern schoben sich selbständige Gletscherzungen vor.

Mit Hilfe der in einigen Abschnitten häufigen Eisrandzeugen können die betreffenden Gletscher dieser Phase rekonstruiert werden. Kerngebiet ist die Hochzone Speer – Mattstock. Von hier aus floss das Eis nach allen Richtungen weg. Die Verknüpfung mit dem Konstanz-Stadial der Vorlandgletscher ist am Wängi-, am Ijen- und am Wiss-Thur-Gletscher möglich. Die übrigen Gletscher ergeben sich durch Parallelisieren und unter Berechnung der Schneegrenzen.<sup>17</sup> Obwohl fast ganz in den Voralpen gelegen, war die Konstanz-stadiale Vergletscherung des Speer-Berglandes, wie sie aus der Vergletscherungskarte vor 18 000 Jahren hervorgeht, recht bedeutend, vergleichbar mit den heutigen Gletschern im Berninamassiv.





Die Karte zeigt die Konstanz-stadiale Vergletscherung. Meist selbständige Gletscher schoben sich sternförmig vom Spier aus in den Tälern vor. Während der Linthgletscher das Gebiet der Linthebene noch völlig einhüllte, endete der Thurgletscher wenig unterhalb von Nesslau.



## Die ältere Späteiszeit – Klimaeinbruch und ein rascher Gletschervorstoss

*Das Weissbad-Stadial in den Randalpen und im Rheintal*

«Nur» 700 Jahre lagen zwischen dem Konstanz- und dem Weissbad-Koblach-Stadial des Rheingletschers mit 17 300 Jahren vor heute. In dieser wärmeren Zwischenperiode taute der Vorlandgletscher, der noch das ganze Bodenseebecken bis Konstanz erfüllt hatte, vollständig ab, und schliesslich zog sich der Rheingletscher bis ins mittlere Rheintal bei Koblach zurück, wo er sich wieder stabilisierte. In der eigentlichen Abschmelzzeit von geschätzten 350–450 Jahren verlor der Gletscher durchschnittlich pro Jahr vertikal 0,25 Meter Eis, das bedeutet einen negativen Bilanzwert, der demjenigen einiger genau vermessener und grösserer heutiger Alpengletscher entspricht.<sup>18</sup> Der Längenverlust ist dabei besonders gewaltig, indem der Rheingletscher 60 Kilometer zurückwich, das heisst einen Drittel seiner Gesamtlänge einbüsste. Beim lokalen und viel kleineren Sittergletscher, der sich in der Ausdehnung mit dem heutigen Grossen Aletschgletscher vergleichen lässt, belief sich der mittlere jährliche Längenverlust auf 22–28 Meter pro Jahr, beim Aletschgletscher sind es 25 Meter pro Jahr.<sup>19</sup> Die Übergangsphase vom Hoch- zum Spätglazial war also mit einem schnellen Abschmelzen verbunden in einem Mass, das auch bei den Alpengletschern im 20. Jahrhundert festzustellen ist.

Wie aus den glazialen Sedimenten und aus den Formen der Eisrandbildungen des Weissbad-Stadials zu schliessen ist, verhielt sich der riesenhafte Eisstrom im Rheintal völlig anders als die lokalen und viel kleineren Gletscher der Rand- und Voralpen. Während sich der Rheingletscher bei Koblach nur gerade für einige Zeit stationär verhielt, sind die kleinen kräftig vorgestossen, nachdem sie sich bis in die Firn- und Karregionen zurückgezogen hatten. Die Rückschmelzpositionen vor dem Wiedervorstoss können an einigen Gletschern anhand von Bergstürzen und Eisstauseen bestimmt werden.<sup>20</sup> Es ergibt sich, dass die Lokalgletscher aus ihren Rückschmelzlagen um 20–40 Prozent der Länge vormarschieren sind. Diese Werte sind auch etwa für das Speergebiet anzunehmen.

In den Vorarlberger Alpen, vor allem aber rund um den Alpstein und im Alviergebiet sowie am Mattstock und am Speer gingen in der Konstanz-Weissbad-Abschmelzzeit zahlreiche Berg- und Felsstürze nieder. Die wieder vorstossenden Lokalgletscher haben dieses Blockmaterial aufgegriffen und in ihre Zungen- und Frontgebiete verfrachtet. Daher sind die Weissbad-





Erratische Blockstreu auf der Alp Vorder Wängi, die sich über das gesamte Zungenbecken des Wängi-Gletschers im Weissbad-Stadial verbreitet findet.

Foto: O. Keller.

stadialen Vergletscherungsareale in auffälliger Weise mit Blockstreu angereichert. Dies lässt sich als wichtige Zuordnungshilfe ausnutzen: Konstanz meist wenig Erratiker, Weissbad viele in dichter Verteilung.

Aus einer Reihe von Indikatoren sind auch Rückschlüsse möglich auf das Klima, und zwar für das Interstadial zwischen Konstanz und Weissbad (Rückschmelzphase), aber auch für das Weissbad-Stadial (Vorstossperiode). Wichtige Klimasignale liefern Spuren von Permafrost (Dauerfrost) und Solifluktion (Bodenfliessen), Schneegrenzen, Ausbruchnischen von Bergstürzen, Vegetationsfunde, Pollenanalyse usw.<sup>21</sup> Die errechneten Klimawerte (Temperaturen und Niederschläge) sind in der Tabelle zusammengestellt und gelten für die Alpenrand- und Voralpenzone.

Eiszeit-Periode	Temperaturabsenkung in °C gegenüber heute (2. Hälfte 20. Jahrhundert)			Niederschlagsmenge im Vergleich zu heute (2. Hälfte 20. Jahrh.) pro Jahr
	Juli	Januar	Jahresmittel	
Stadial Konstanz	7-8°	um 9°	8-9°	ca. 60 Prozent
Interstadial	3-4°	um 6°	4°	?
Stadial Weissbad	7°	um 8°	7,5°	70-80 Prozent

Späteiszeitliche Klimawerte, gültig für das Bodenseegebiet.



## **Mattstockgebiet**

Am Nordostende des Mattstocks liegen im Dürrwald mächtige Bergsturzmassen, die zur Hauptsache glazial überprägt sind, indem ihnen deutlich in Erscheinung tretende Wallmoränen oder mindestens dichte Streifen erratischer Blöcke aufliegen. Weitere Eisrandwälle finden sich beim Grundboden, die einen Gletscher von der Hinter-Höhi herunter ausweisen. Gegen Südwesten steigt ein sehr markanter, rund 1 Kilometer langer und blockreicher Wall vom Dürrwald zur Vordermatt empor. Dabei ist besonders zu vermerken, dass dieser der nagelfluhreichen Speermolasse aufsitzt, aber völlig aus kalkalpinem Material des Mattstocks aufgebaut ist. Der Dürrwald-Bergsturz ist somit vor dem die Wälle erzeugenden Gletschervorstoss erfolgt. Da sich die Ausbruchsnische in rund 1700 Metern befindet, ist für den Abbruch der Felsmassen Eisfreiheit bis in diese Höhe zu fordern, was dem oben genannten Konstanz-Weissbad-Interstadial entspricht.

Auf diese Abschmelzperiode folgte eine erneute Vergletscherung, deren Eisströme über die Sturzmassen hinweg bis in den Schwemmiwald vorfuhren. Dass dieser Vorstoss zum Weissbad-

Bei Vorder Matt sind mächtige Bergsturzmassen angehäuft. In der Bildmitte, von links nach rechts absteigend, zeigt sich ein markanter Moränenwall, dem reichlich Kalk-Blockstreu aufliegt. Es ist dies der nordseitige Wall des Weissbad-stadialen Vordermatt-Gletschers, der im Hintergrund erkennbar, der Molasse-Nagelfluh aufsitzt. Foto: O. Keller.





Stadial zu rechnen ist, ergibt sich aus folgenden Erkenntnissen:

1. Diese Eisrandlage ist innerhalb Konstanz der erste interne und deutliche Gletscherstand im Wiss-Thur-Tal, also Weissbad.
2. Im Gegensatz zu Konstanz des Wiss-Thur-Gletschers ist diese Vergletscherung reich mit erratischen Blöcken und Blockstreu ausgestattet, was für Weissbad typisch ist.
3. Die bei Nordost-Exposition auf knapp 1400 Metern bestimmte Schneegrenze dieses Vordermatt-Gletschers stimmt mit derjenigen im Nordost-Alpstein (Schwendi-, Brüel-Gletscher) überein, was Weissbad bedeutet.
4. Etliche interne und nahe liegende Frontwälle sind ebenfalls für Weissbad charakteristisch.

Bei Unter Bütz im oberen Flibachtal. Der Hinter-Matt-Gletscher hat sich im Weissbad-Stadial von rechts her über eine Nagelfluhrippe (Bildmitte) vorgeschoben und einen Moränenwall ausschliesslich aus hellen Kalksteinen des Mattstocks aufgelagert (oben im Bild). Foto: O. Keller.



Alp Unter Chäseren und Speer (hinten rechts). Über dem Haus schwingt sich ein Moränenwall aus dem Wald zum rechten Bildrand. Die zugehörige Gletscherzunge endete vorn am Fotostandort. Am linken Bildrand zeigt sich der Frontwall mit Blöcken aus Speer-Nagelfluh. Die Alp bildet das Zungenbecken des späteiszeitlichen (Weissbad-Stadial) Fli-Gletschers. Foto: O. Keller.





Auf der Nordwestseite des Mattstocks wiederholt sich das, was für Vordermatt-Dürrwald erkannt wurde. Hier überfuhr der Weissbad-Vorstoss den Bergsturz von Chremmli und legte blockreiche Wälle und Erratiker-Häufungen von Hintermatt über Unterbütz bis Chremmli an. Zudem ist wiederum Kalk-Erratikum auf und über die Molasserippen vorgeschoben worden.

Die Moränenwälle bei Unterchäseren wurden gemäss ihrer Ausrichtung vom Gletscher, der sich auf der Südseite des Speers aufgebaut hatte, geschüttet. Sie weisen ebenfalls viele Blöcke auf, diesmal aber ausschliesslich Nagelfluh der Speerzone. Dass der Vorstoss hier viel weniger weit reicht als derjenige vom Mattstock, ist eine Folge der Südexposition, für welche die Schneegrenze auf gegen 1600 Meter Meereshöhe bestimmt werden kann. Dies steht in Übereinstimmung mit dem gleich ausgerichteten Weissbad-stadialen Thurgletscher auf der Südseite des Alpsteins.

### **Wängital**

Wenig oberhalb Wängibrugg scharen sich ein halbes Dutzend Moränenwälle bis über Vorderwängi hinauf, die sämtliche an der steilen rechten Talflanke ansetzen und bogenförmig bis zum Wängibach absteigen. Einige deutliche Wälle sind auch auf

Markanter Moränenwall mit Blockstreu des Ijen-Gletschers im Weissbad-Stadial. Im Talhintergrund die Bremacher Höhi.  
Foto: O. Keller.





der linken Talflanke vorhanden. Sie alle sind reich gespickt mit Blöcken, ausschliesslich Nagelfluh aus dem Talhintergrund von Speer-Chüemettler. Auch hier handelt es sich um die Weissbad-typische dichte Blockstreu.

### ***Ijental***

In diesem Hochtal des Speergebiets sind die Relikte des Weissbad-Stadials wie schon beim Konstanz-Stadial auffallend markant und klar. Hohe, langgezogene und mit Nagelfluhblöcken bedeckte Moränenwälle setzen oberhalb von Stofel auf der linken Talseite ein und lassen sich durchgehend bis Heidlen am oberen Ende des flachen Talbodens verfolgen. Am Ijentaler Berg auf der rechten Seite fehlen wohl infolge Steilheit des Geländes Eisrandmarken. Wie bei anderen Lokalgletschern gibt es auch hier etliche interne nahe gelegene Wälle.<sup>23</sup>

### ***Übrige Täler***

Auf der Südflanke des Mattstocks treten zwar verstreut einige Eisrand-Relikte auf, sie lassen sich aber nur via Schneegrenze Weissbad zuordnen.

Im Kar südwestlich des Federispitzes umschliessen Frontwälle bei Vorder Federispitz den Alpboden.

Der Bättruns-Gletscher hinterliess bei Beischnaten deutliche Wälle mit Blockstreu vor allem auf der Südflanke. Demnach hat er bis 840 Meter hinunter gereicht.

Wie schon im Konstanz-Stadial ist auch das Weissbad-Stadial im Steintal schlecht dokumentiert. Seitliche Wall- und Terrassenstücke sind bei Hinter-Engi erhalten. Das Gletscherende ist durch linksseitige, frontnahe Wälle bei Hinter-Allmen zu suchen, wobei rechtsseitig eine undeutliche Randterrasse das Gegenstück bildet.

Im obersten Wiss-Thur-Tal ergibt sich vom Speer herunter ein Gletscher, der bei Perfiren durch Terrassen, Wallstücke und etliche Blockstreu vertreten ist. Kuppen am Aussenrand der Talstufe von Perfiren markieren das Gletscherende.

Im Sulzbachtal vom Gulmen herunter sind keine sicheren Zeugen vorhanden, auch fehlt die sonst typische Blockstreu, die aber in diesem Flyschgebiet mit rasch zerfallendem Gestein gar nicht zu erwarten ist.

Zwischen Goggeien und Häderenberg südwestlich von Stein ist im Dürrenbachtal das Weissbad-Stadial bei Wijer durch einen links- und einen rechtsseitigen frontnahen Moränenwall mit deutlicher Form und einigem Erratikum belegt.



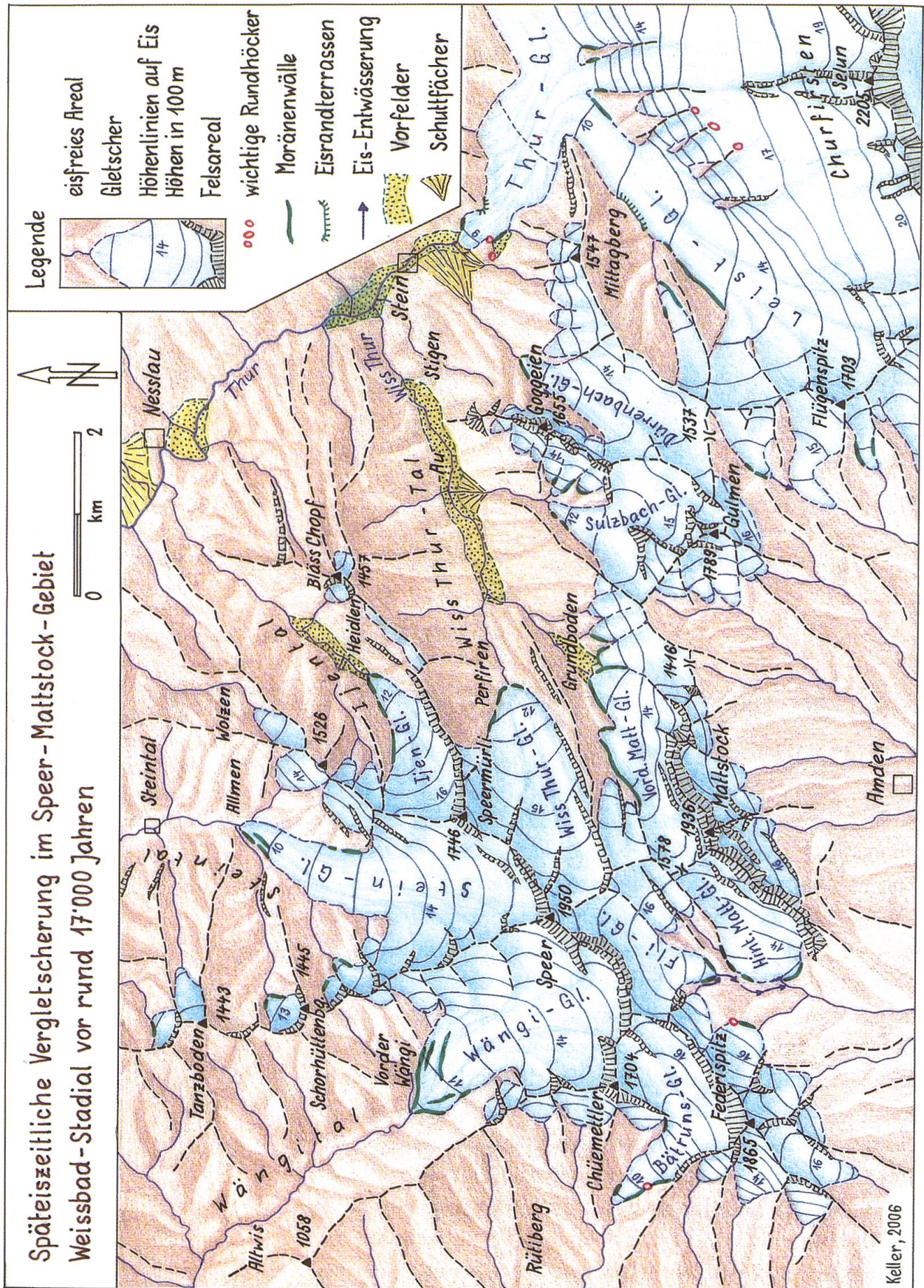


Mittleres Steintal, Weissbad-stadialer Moränenwall bei Allmen. Der Geissbach (links ausserhalb) hat infolge seiner Seitenerosion einen Anriss hervorgerufen. Das Lockermaterial ist typisch für eine Wallmoräne: grobe, kantige Blöcke wirt eingelagert in sandiger bis lehmiger Grundmasse grauer Färbung. Hier liegt die Moräne zerrüttetem, bräunlichem Nagelfluhfels auf (rechts unten). Foto: O. Keller.

### ***Zur Rekonstruktion der Weissbad-stadialen Gletscher***

Rund um den Speer sowie im Mattstockgebiet sind die meisten Talgletscher durch vielfältige Zeugen des Weissbad-Typs ausgewiesen. Der Thurgletscher lag im Talengnis unterhalb von Starkenbach bereits so tief und weit zurück, dass ein Kontakt mit dem Ijen- oder dem Vordermatt-Gletscher, aber selbst mit dem Dürrenbach-Gletscher ausgeschlossen ist. Entsprechend erreichte auch keiner der lokalen Gletscher den bei Schänis stirnenden Linthgletscher.<sup>24</sup> Aus diesem Grund wurden die lokalen Talgletscher mit dem Höhenkurvenbild der Eisoberfläche vorerst anhand der Eisrandzeugen rekonstruiert. Anschliessend erfolgte für sie zur Absicherung der Zuordnung die Berechnung der zugehörigen Schneegrenzen. Vor allem entlang der hohen Bergkämme müssen Weissbad-stadiale Kleingletscher und Firnfelder existiert haben, obwohl Eisrandrelikte fehlen. Sie sind daher mit Hilfe der Höhenlage





Auch im Weissbad-Stadial konnten sich in den höheren Lagen des Speer-Mattstock-Gebiets noch ansehnliche Eisströme entwickeln. Wegen der Exposition zur Sonne sind die süd-gerichteten Gletscher deutlich kleiner als die anderen.



der Schneegrenze und der Exposition zur Sonne theoretisch berechnet und abgegrenzt worden. Dies wurde erarbeitet, um ein lückenloses Vergletscherungsbild des Weissbad-Stadials zu erhalten, wie es als Resultat die Karte der Vergletscherung vor 17 000 Jahren zeigt.

### **Jüngere Späteiszeit – letzte Gletscherchen in Schattenlagen**

Unterhalb der undeutlichen Karmulde an der Nordfront des Mattstock-Gipfels ist ein bogenförmiger Moränenwall auf 1450–1500 Meter Höhe erhalten, der einen kleinen Kargletscher bedingt. Die zugehörige Schneegrenze um 1500 Meter kommt deutlich höher zu liegen als Weissbad, woraus auf einen jüngeren Gletscherstand zu schliessen ist.

Zuoberst im Wängital zeigen markante Wälle bei Hinterwängi ebenfalls einen jüngeren Gletscherstand an. Ausgeprägt ist Entsprechendes auch auf der Elisalp im hintersten Steintal vorhanden.

In 1500–1600 Metern Höhe finden sich auf den höchsten Karböden von Ober Bättruns, Bütz im Wängital und unter der Speer-Nordwand im Steintal eiszeitliche Überbleibsel.

Im Vergleich mit dem Bündnerland und dem Rätikongebiet in Vorarlberg dürften die tieferen Eisrandlagen Steinach- und die höheren Gschnitz-Äquivalente (in den Ostalpen definierte Gletscherstände) bedeuten. Hernach wurde das Speer-Bergland auch in den höchsten Regionen eisfrei, das heisst, dass hier damals die Eiszeit endgültig zu Ende ging.

### **Schlussfolgerungen**

Entgegen der landläufigen Meinung, dass das Speer-Mattstock-Bergland nur in den Hochständen der letzten Eiszeit vergletschert gewesen war, haben nun genauere Nachforschungen erkennen lassen, dass bis in die Späteiszeit hinein Gletscher und Firne vorhanden waren. In etlichen der Speertäler weisen die markanten und zahlreichen Eiszeitzeugen eine ausgedehnte Lokalvergletscherung aus. Die Gletscherstände konnten teilweise direkt oder aber über besondere Merkmale mit den Stadialen der vielfach ausgedehnteren Rhein-Linth-Vergletscherung korreliert werden. Mit Verwendung der weit verbreiteten Eisrandzeugen ist die Rekonstruktion der Lokalgletscher möglich geworden, was aus den Vergletscherungskarten des Maximums der letzten Eiszeit sowie denjenigen vor 18 000 und vor 17 000 Jahren hervorgeht.



## Anmerkungen

- 1 Oberholzer und Heim, 1910; Oberholzer, 1933; Habicht, 1945; Herb, 1962; Ochsner, 1969.
- 2 Gutzwiller, 1873; Frey, 1916; Grüninger, 1972.
- 3 Keller, 1988.
- 4 Agassiz, 1840.
- 5 Penck und Brückner, 1909.
- 6 Imbrie and Imbrie, 1979.
- 7 Keller und Krayss, 1998.
- 8 Keller und Krayss, 1993, 2005.
- 9 Keller und Krayss, 2005.
- 10 Keller, 1985; Keller und Krayss, 1991a.
- 11 Krayss und Keller, 1983; Keller und Krayss, 1991b.
- 12 Keller und Krayss, 1982; 1993.
- 13 Keller, 1974; Keller und Krayss, 1993; 2005.
- 14 Krayss und Keller, 1983; Keller und Krayss, 1987; 1993.
- 15 Keller und Krayss, 2005.
- 16 Keller 1988; Keller und Krayss, 1994.
- 17 Keller, 1988.
- 18 Keller und Krayss, 2005.
- 19 Keller, 1988; Keller und Krayss, 2005.
- 20 Keller, 1988.
- 21 Keller, 1988; Keller und Krayss, 2005.
- 22 Keller, 1988.
- 23 Keller, 1988.
- 24 Keller, 1988.

## Verwendete und zitierte Literatur

- AGASSIZ, L. 1840: Etudes sur les Glaciers. Neuchâtel et Soleure.
- FREY, A.P. 1916: Die Vergletscherung des oberen Thurgobietes. Jahrbuch der St. Gall. Naturw. Ges. 54, St. Gallen.
- GRÜNINGER, C. 1972: Geologische Untersuchungen in der subalpinen Molasse des mittleren Toggenburgs. Diplomarbeit Univ. Zürich/Geol. Inst. ETH Zürich.
- GUTZWILLER, A. 1873: Das Vergletscherungsgebiet des Sentisgletschers zur Eiszeit (mit Karte). Berichte der Tätigk. der St. Gall. Naturw. Ges., St. Gallen.
- HABICHT, K. 1945: Geologische Untersuchungen im südlichen st. gallisch-appenzellischen Molassegebiet. Beiträge zur Geol. Karte der Schweiz, NF 83, Schweizer. Geol. Komm.
- HANTKE, R. 1980: Eiszeitalter, Band 2. Ottverlag, Thun.
- HERB, R. 1962: Geologie von Amden, mit besonderer Berücksichtigung der Flyschbildungen. Beiträge zur Geol. Karte der Schweiz, NF 114, Schweizer. Geol. Komm.
- IMBRIE, J. AND IMBRIE, K.P. 1979: Ice Ages. Short Hills (Enslow Publishers), New York.
- KELLER, O. 1974: Untersuchungen zur Glazialmorphologie des Neckertales (Nordostschweizer Voralpen). Diss. Geogr. Inst. Univ. Zürich/ Jahrbuch St. Gall. Naturw. Ges. 80., St. Gallen.
- 1985: Zum Eisaufbau des hochwürmzeitlichen Rheingletschers im Bereich des Alpenrandes. Phys. Geogr. 16, Geogr. Inst. Univ. Zürich.
- 1988: Ältere spätwürmzeitliche Gletschervorstösse und Zerfall des Eisstromnetzes in den nördlichen Rhein-Alpen (Weissbad-Stadium / Bühl-Stadium). Phys. Geogr. 27A und 27B, Geogr. Inst. Univ. Zürich.
- KELLER, O. UND KRAYSS, E. 1982: Methoden zur Rekonstruktion eiszeitlicher Vorland- und Talgletscher. Phys. Geogr. 1, Geogr. Inst. Univ. Zürich.
- 1987: Die hochwürmzeitlichen Rückzugsphasen des Rhein-Vorlandgletschers und der erste alpine Eisrandkomplex im Spätglazial. Geographica Helvetica 1987/2, Zürich.
- 1991a: Der Eisaufbau des Rhein-Linth-Gletschers im Oberen Würm: Ein Modell. Paläoklimaforschung 1, Akademie der Wissenschaften und Literatur, Mainz.
- 1991b: Geologie und Landschaftsgeschichte des voralpinen Appenzellerlandes. Das Land Appenzell 21/22. Verlag Appenzeller Hefte, Herisau.
- 1993: The Rhine-Linth-Glacier in the Upper Würm: A model of the last alpine Glaciation. Quaternary International 18, INQUA/Pergamon Press Ltd., Oxford/New York.
- 1994: Die Bodensee-Vorlandvereisung des Rheingletschers im Konstanz-Stadium der letzten Eiszeit. Berichte St. Gall. Naturw. Ges. 87, St. Gallen.
- 1998: Datenlage und Modell einer Rhein-Linth-Vorlandvergletscherung zwischen Eem-Interglazial und Hochwürm. GeoArcheoRhein 2, Münster.
- 2005: Der Rhein-Linth-Gletscher im letzten Hochglazial. Vierteljahresschrift Naturf. Ges. in Zürich 150/1–2 und 3–4, Zürich.
- KRAYSS, E. UND KELLER, O. 1983: Die Bodensee-Vorlandvereisung während des Würm-Hochglazials. Schriften Ver. Geschichte des Bodensees und Umgebung 101, Friedrichshafen.
- OBERHOLZER, J. 1933: Geologie der Glarneralpen. Beiträge zur Geol. Karte der Schweiz, NF 28, Schweizer. Geol. Komm.
- OBERHOLZER, J. UND HEIM, ALB. 1910: Geologische Karte der Glarneralpen 1 : 50'000. Geol. Spezialkarte 50, Schweizer. Geol. Komm.
- OCHSNER, A. 1969: Geologische Karte Blatt 1133 Linthebene mit Erläuterungen. Geol. Atlas der Schweiz 1 : 25'000. Schweizer. Geol. Komm.
- PENCK, A. UND BRÜCKNER, E. 1909: Die Alpen im Eiszeitalter, 3 Bände. Tauchnitz, Leipzig.