

# Mittel- und spätpleistozäne Stratigraphie und Morphogenese in Schlüsselregionen der Nordschweiz

Oskar Keller, Edgar Krays

## Kurzfassung:

Mit dem Ziel eine Gliederung der mittel- und spätpleistozänen Grossvergletscherungen in der Nordschweiz zu erarbeiten, werden sedimentologische und morphologische Befunde aus sieben Schlüsselregionen erläutert und interpretiert. Die Untersuchungen umfassen den Zeitraum nach der Ablagerung der Tieferen Deckenschotter längs des Hochrhins und einer darauf folgenden vom Bodenseeraum ausgehenden markanten Ausräumung.

Für diese Periode lassen sich vier Grossglaziale nachweisen. Sie werden gemäss den Frontlagen der Vergletscherungen im Rhein-Aare-Reuss-System als Möhlin-, Habsburg-, Koblenz- und Birrfeld-Glazial bezeichnet. Erfassbar sind auch die dazwischen eingeschobenen Interglaziale Holstein, Meikirch und Eem. Die vier Vorlandvergletscherungen weisen folgende Merkmale auf:

**Möhlin-Eiszeit:** Grösste Vergletscherung des nördlichen Alpenvorlandes im Anschluss an die grosse Ausräumungsphase. Eisüberflutung des östlichen Juras und der Höhen nördlich des unteren Hochrhins und des Klettgaus.

**Habsburg-Eiszeit:** Ausmass etwa wie die jüngste Vergletscherung (Birrfeld). Extern der Gletscherzungen Schüttung der mächtigen Hochterrassen-Schotterstränge. Intern in den tiefen Becken hoch liegende Seen.

**Koblenz-Eiszeit** (Beringen sensu GRAF 2009b): Zweitgrösste Vorlandvergletscherung, bisher oft als grösste Eiszeit („Riss“) angesprochen. Greift zwischen Koblenz und Schaffhausen über den heutigen Hochrhein hinaus.

**Birrfeld-Eiszeit:** Letzte und jüngste Eiszeit, bisher als „Würm“ angesprochen. Überfährt die meisten tiefen Becken und baut markante Endmoränenkränze auf. Extern werden die Schotter des Niederterrassensystems abgelagert.

Die **Chronostratigraphie der Nordschweiz** basiert auf Zeitmarken für die Interglaziale Eem und Holstein aus Norddeutschland sowie Meikirch aus der Schweiz. Die vier Glaziale verteilen sich demgemäss wie folgt über den Untersuchungszeitraum: Möhlin  $\pm 350$  ka BP (MIS 10), Habsburg  $\pm 250$  ka BP (MIS 8), Koblenz  $\pm 150$  ka BP (MIS 6), Birrfeld 30–15 ka BP (MIS 2). Ein Vergleich mit der Quartärgliederung gemäss der Stratigraphischen Tabelle von Deutschland 2002 (LITT ET AL. 2005) zeigt, dass für drei Glaziale Korrelationen möglich sind: Möhlin mit Elster/Mindel, Koblenz mit Saale/Riss und Birrfeld mit Weichsel/Würm.

## [Middle and Late Pleistocene stratigraphy and morphogenesis in key regions of Northern Switzerland]

## Abstract:

To find a stratigraphical division of the Middle and the Late Pleistocene of Northern Switzerland, the sedimentological and morphological field observations of seven key regions are explained and interpreted. The investigations include the period after the sedimentation of the “Tieferen Deckenschotter” along the High Rhine (Hochrhein) and the subsequent period of a strong erosion that started in the Lake of Konstanz area.

In this period four main glacials can be verified. According to the front positions of the glaciers within the river system of Rhine-Aare-Reuss, they are named Möhlin-, Habsburg-, Koblenz- and Birrfeld-Glacial. Furthermore, the interpolated interglacials Holstein, Meikirch and Eem are recognizable. The four foreland-glaciations show the following characteristics:

**Möhlin-Glacial:** Most extensive glaciation of the northern alpine foreland that followed to the important erosional period. Ice overflow over the Eastern Jura as well as over the hills in the north of the High Rhine and the Klettgau.

**Habsburg-Glacial:** Surface nearly as big as the youngest glaciation (Birrfeld). Outside the glacier tongues upbuilding of the thick alluvial High Terraces (Hochterrassen). Inside many lakes of high level in the overdeepened basins.

**Koblenz-Glacial** (Beringen sensu GRAF 2009b): Second biggest foreland glaciation, until today often supposed as the most extensive glaciation (“Riss”). Between Koblenz and Schaffhausen the ice traversed the Rhine.

**Birrfeld-Glacial:** The last and youngest ice age, mostly named “Würm”. The glaciers override most of the overdeepened basins and build up well marked moraine belts. Outside the gravels of the Lower Terraces (“Niederterrassen”) are deposited.

The **Chronostratigraphy of Northern Switzerland** is based on dates of the interglacial periods of Eem and Holstein in Northern Germany as well as Meikirch in Switzerland. Accordingly the four main glacials are distributed over the period of the investigations as follows: Möhlin  $\pm 350$  ky BP (MIS 10), Habsburg  $\pm 250$  ky BP (MIS 8), Koblenz  $\pm 150$  ky BP (MIS 6), Birrfeld 30–15 ky BP (MIS 2).

A comparison with the Quaternary System of the stratigraphical table of Germany 2002 (LITT ET AL. 2005) shows possible correlations for three of these glacials: Möhlin with Elster/Mindel, Koblenz with Saale/Riss as well as Birrfeld with Weichsel/Würm.

## Keywords:

Northern Switzerland, Pleistocene, sediments in overdeepened basins, glacial drainage, chronostratigraphy

**Addresses of authors:** O. Keller, Brühlstrasse 90, CH-9320 Arbon. E-Mail: O.keller@paus.ch; E. Krays Myrtenstrasse 9, CH-9010 St. Gallen

## 1 Einführung und Allgemeines

### 1.1 Anlass und Ziel

Auf Anregung der „Arbeitsgemeinschaft Alpenvorland-Quartär“ (AGAQ) übernahmen es die Autoren, eine einheitliche Chronostratigraphie für die mittel- und spätpleistozä-

nen Vergletscherungen der Nordschweiz zu entwickeln. Als Grundlage konnten sie auf während drei Jahrzehnten erarbeitete vertiefte Kenntnisse zum Rheingletscher zurückgreifen, wobei gerade der Region des Bodensees als Bindeglied zwischen Schweizer Mittelland und östlichem Alpenvorland eine besondere Bedeutung zukommt. Die Nordschweiz zwischen Berner Aaretal und Bodensee weist zahlreiche tiefe

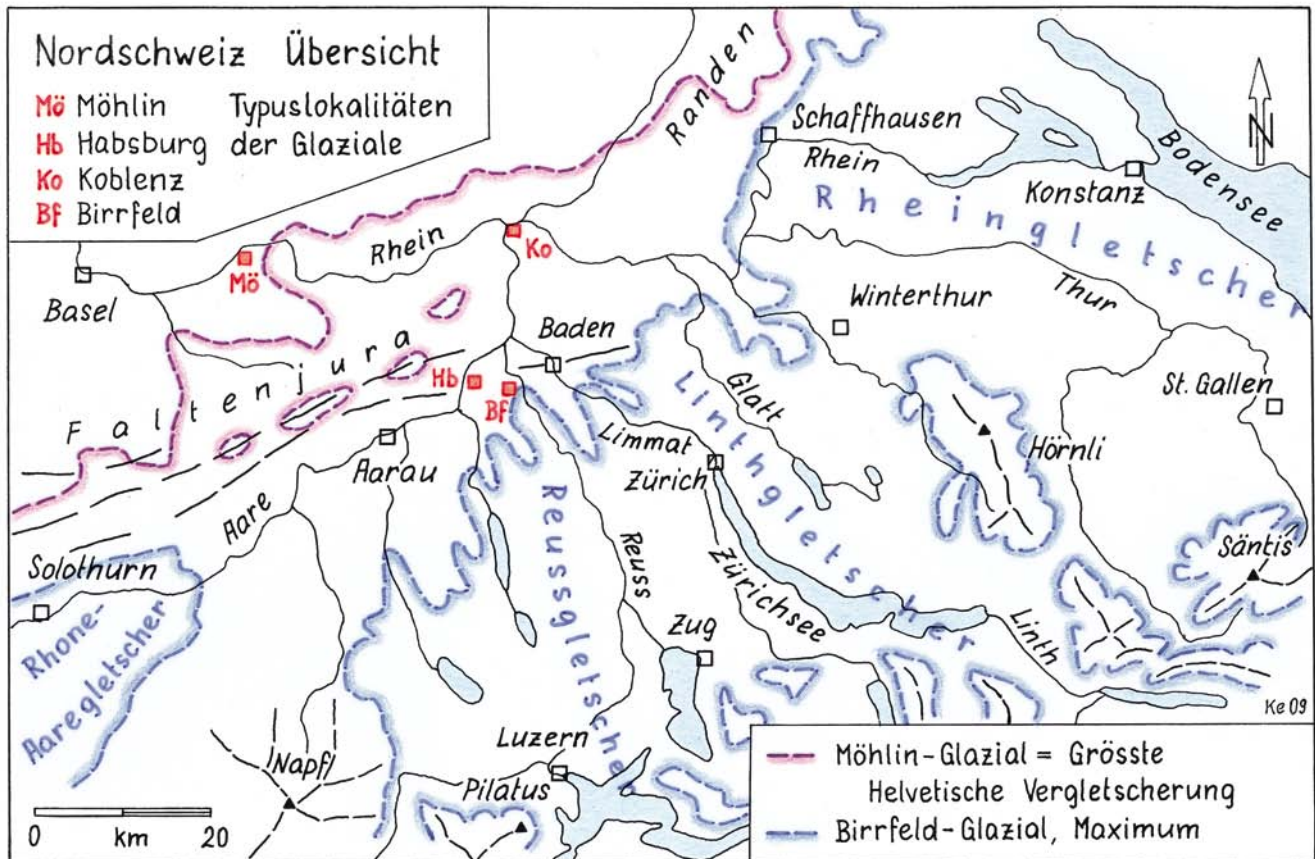


Abb. 1: Erweitertes Untersuchungsgebiet Nordschweiz mit Randlagen der grössten sowie der letzten Vorlandvergletscherung.

Fig. 1: Enlarged area of investigations in Northern Switzerland with front positions of the most extensive and the last foreland glaciation.

Becken und Rinnen auf, deren Sedimentfüllungen vor allem im Zusammenhang mit der Grundwasserprospektion bekannt geworden sind. Die wissenschaftliche Auswertung hat zu neuen Erkenntnissen der quartären Prozesse im lokalen bis regionalen Bereich geführt. Abb. 1 gibt einen Überblick zu den Vergletscherungen.

Seit PENCK & BRÜCKNER (1909) galt auch in der Nordschweiz die klassische Eiszeitenabfolge Günz, Mindel, Riss, Würm, verknüpft mit den höheren und tieferen Deckenschottern, respektive mit der Hochterrasse und der Niederterrasse.

Erst in den 1990er Jahren wurde die klassische Stratigraphie ernsthaft angezweifelt, ausgelöst durch palynologische Befunde von WELTEN, durch die Untersuchungen an den Sedimenten im Aaretal durch SCHLÜCHTER und die Erkenntnisse an den Deckenschottern durch GRAF. Dies führte zu einer von MÜLLER & SCHLÜCHTER (1997) aufgestellten neuen Chronostratigraphie der Eiszeiten in der Nordschweiz. Sie wich allerdings von den Vorstellungen der Autoren zur Eiszeitgliederung im Bodenseeraum (KELLER & KRAYSS 1999: Abb. 4.2) beträchtlich ab, was in der Gegenüberstellung in der Abb. 2 zum Ausdruck kommt.

In den anschliessenden Jahren wurden die laufenden Forschungsergebnisse (HOFMANN, KEMPF, SCHINDLER, WYSSLING) weiter verfolgt. Insbesondere standen die detaillierten Untersuchungen von GRAF zu einer Stratigraphie von Mittel- und Spätpleistozän in der Nordschweiz als Typuskript seit 2002 zur Verfügung. Diese Arbeit ist 2009 (GRAF 2009b) publiziert worden.

## 1.2 Untersuchter Zeitraum

Die Zeitspanne der hier zur Diskussion stehenden Vergletscherungen umfasst das Mittlere und Späte Pleistozän. Als Abgrenzung zum Unteren wird der Abschnitt angenommen, den MÜLLER & SCHLÜCHTER (1997) gemäss Abb. 2 als „Morphogenetisches-morphotektonisches Ereignis im nördlichen Alpenvorland“ bezeichnen. Es hat seine obere Grenze um 780 ka BP und setzt sich sowohl bei diesen Autoren als auch bei GRAF (2007: 3) eindeutig von der Zeit der Schweizerischen Deckenschotter-Vergletscherungen ab. In der Quartärgliederung von KELLER & KRAYSS (1999) entspricht obiges Ereignis einer „Grossen Ausräumungsphase“, deren Zeitgrenzen allerdings gegenüber MÜLLER & SCHLÜCHTER erheblich differieren. Der Begriff „Grosse Ausräumungsphase“ stützt sich auf die stark variierenden Erosionsraten, die an den Schotterbasen am Hochrhein und im Bodenseebecken zu beobachten sind (Abb. 3). So beträgt bei Neuhausen am Durchbruch des Rheins durch den Jurakalk-Riegel die Eintiefung während dieser Ausräumungsphase das Dreifache der Differenz zwischen Höheren und Tieferen Deckenschottern. Als Hauptursache dieser „morphologischen Wende“ wird, nebst tektonisch bedingten Hebungen und Absenkungen, die Umlenkung des Alpenrheins von der Donau zur Aare betrachtet (KELLER 2009).

## 1.3 Grundlagen

Die vorliegende Arbeit stützt sich auf:

- eine umfassende Literaturlauswertung, vor allem zur

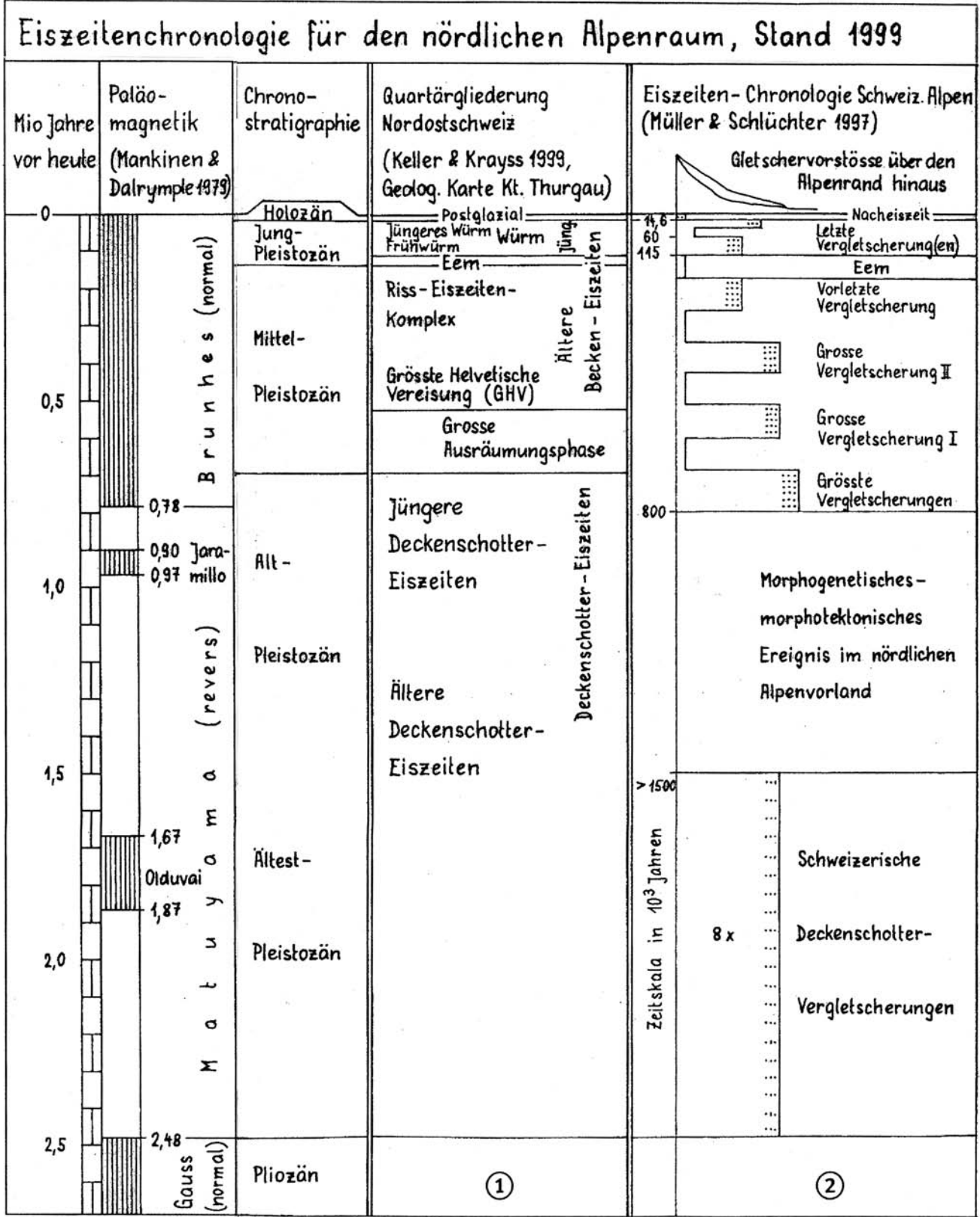


Abb. 2: Quartärgliederung Nordostschweiz und Eiszeiten-Chronologie Schweizer Alpen. Forschungsstand 1999, bzw. 1997. Aus KELLER & KRAYS (1999: Abb. 4.2).  
 Fig. 2: Quaternary chronology of Northern Switzerland and of the Swiss Alps. Situation of research 1999, resp. 1997. After KELLER & KRAYS (1999: Fig. 4.2).

#### Sedimentstratigraphie

- Darstellungen des Quartärs in geologischen Karten mit den zugehörigen Erläuterungen
- Eigene Untersuchungen zur Morphostratigraphie und zu glazialen Prozessen in der Nord- und Ostschweiz.

#### 1.4 Terminologie

Nachdem in den neuen Publikationen der Schweizerischen Landesgeologie, insbesondere im Geologischen Atlas der Schweiz 1:25.000, die Bezeichnungen des Penck'schen Sys-

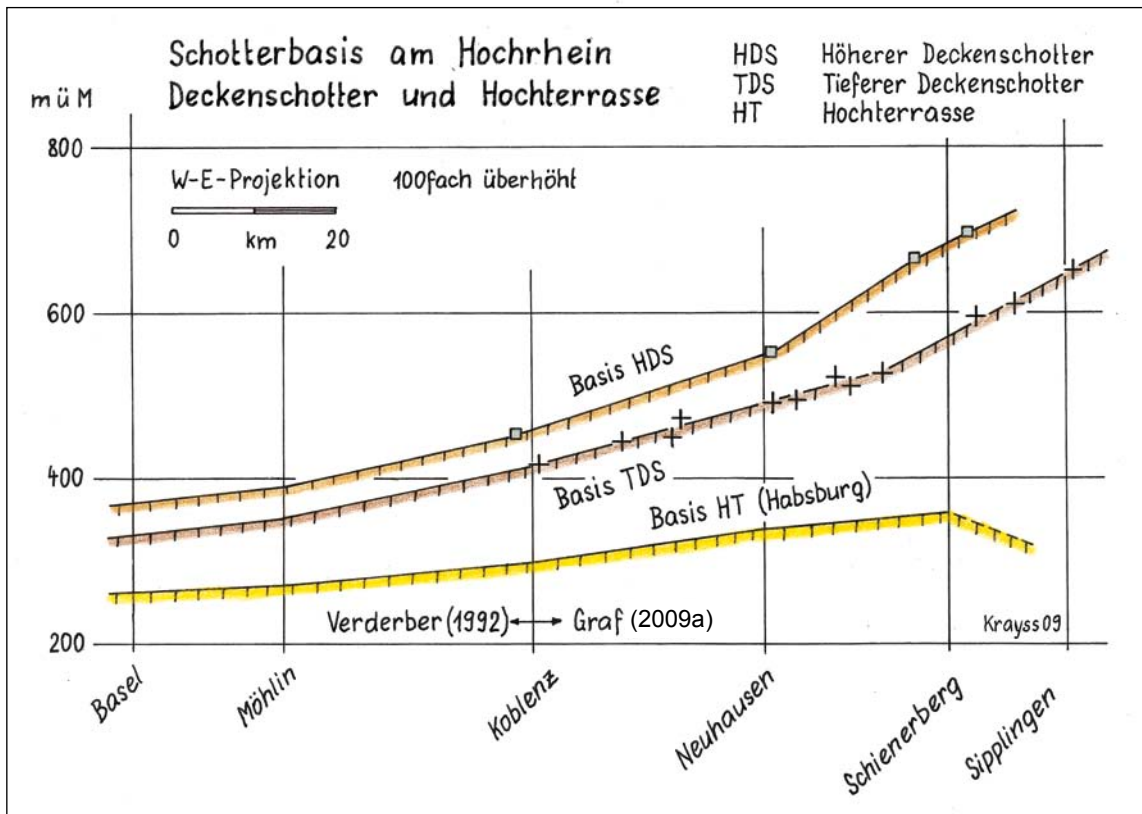


Abb. 3: W-E-Profil der Schotterbasis am Hochrhein. Die Zeitspanne zwischen den Basislinien der Deckenschotter und der Hochterrasse zeichnet sich durch starke Tiefenerosion aus.

Fig. 3: Profile W-E of the gravel basis along the High Rhine. The period between the basis of the "Deckenschotter" and the High Terrace is marked by strong deep erosion.

tems nicht mehr offiziell zur Verwendung kommen, soll auch in dieser Arbeit generell davon abgesehen werden. Neu wird eine Terminologie gebraucht, die sich auf Örtlichkeiten im unteren Reuss- und Aaretal sowie am unteren Hochrhein bezieht. Damit ergibt sich als Abfolge der Grossglaziale die Gliederung

Birrfeld [Bf]	statt bisher	Würm
Koblenz [Ko]	statt bisher	Riss
Habsburg [Hb]	statt bisher	—
Möhlin [Mö]	statt bisher	GHV [Grösste Helvetische Vergletscherung] oder Riss, auch Mindel [je nach Autor]

Die Namen Birrfeld, Habsburg und Möhlin entsprechen maximalen Frontlagen des Aare-Reussgletschers. Sie wurden durch GRAF (2002) für einige seiner Vorstoss-Positionen eingeführt. Mit dem Namen Koblenz wird ein Maximalstand des Aare-Reussgletschers bezeichnet, dessen genaue Endlage im Raum Waldshut-Tiengen allerdings nicht eindeutig ist. GRAF (2002, 2009b) verwendet hierfür den Namen Beringen, weil sich dort die Zweiphasigkeit des entsprechenden Rheingletscher-Maximums klar nachweisen lässt.

Zum Bezug auf die historische Literatur und Kartographie sowie zur Orientierung im traditionellen Kontext werden die bisherigen Bezeichnungen gelegentlich in Klammern oder zwischen Anführungszeichen vermerkt.

## 2 Modell der vier Grossglaziale des Mittel- und Spätpleistozäns

Aufgrund der Erkenntnisse aus zahlreichen Einzelbefunden sahen sich die Autoren veranlasst, Modellvorstellungen mit eigenständigen Vorlandvergletscherungen, d. h. mit echten Glazialen, zu entwickeln. Das Modell mit vier Grossglazialen ist das Ergebnis mehrjähriger Studien und Vergleiche mit dem „klassischen Eiszeitschema“ sowie mit den Vorschlägen anderer Geologen, insbesondere aber auch mit der Korrelationstabelle von GRAF (2002).

Zum Verständnis des folgenden Kapitels ist es unumgänglich, die Abmessungen und Charakteristika der vier Grossvergletscherungen im Sinne eines Modells kurz vorzustellen. Methodisch lässt sich das Modell als Arbeitshypothese verstehen.

### Möhlin-Eiszeit (Abb. 4a)

Eiszeit,

- deren Vergletscherung in der Nordschweiz die grössten Ausmasse im Quartär erreichte.
- deren mächtige Eisströme die meisten tiefen Becken im Mittelland ausschürften und die tiefen, grossen Entwässerungsbahnen ausweiteten.

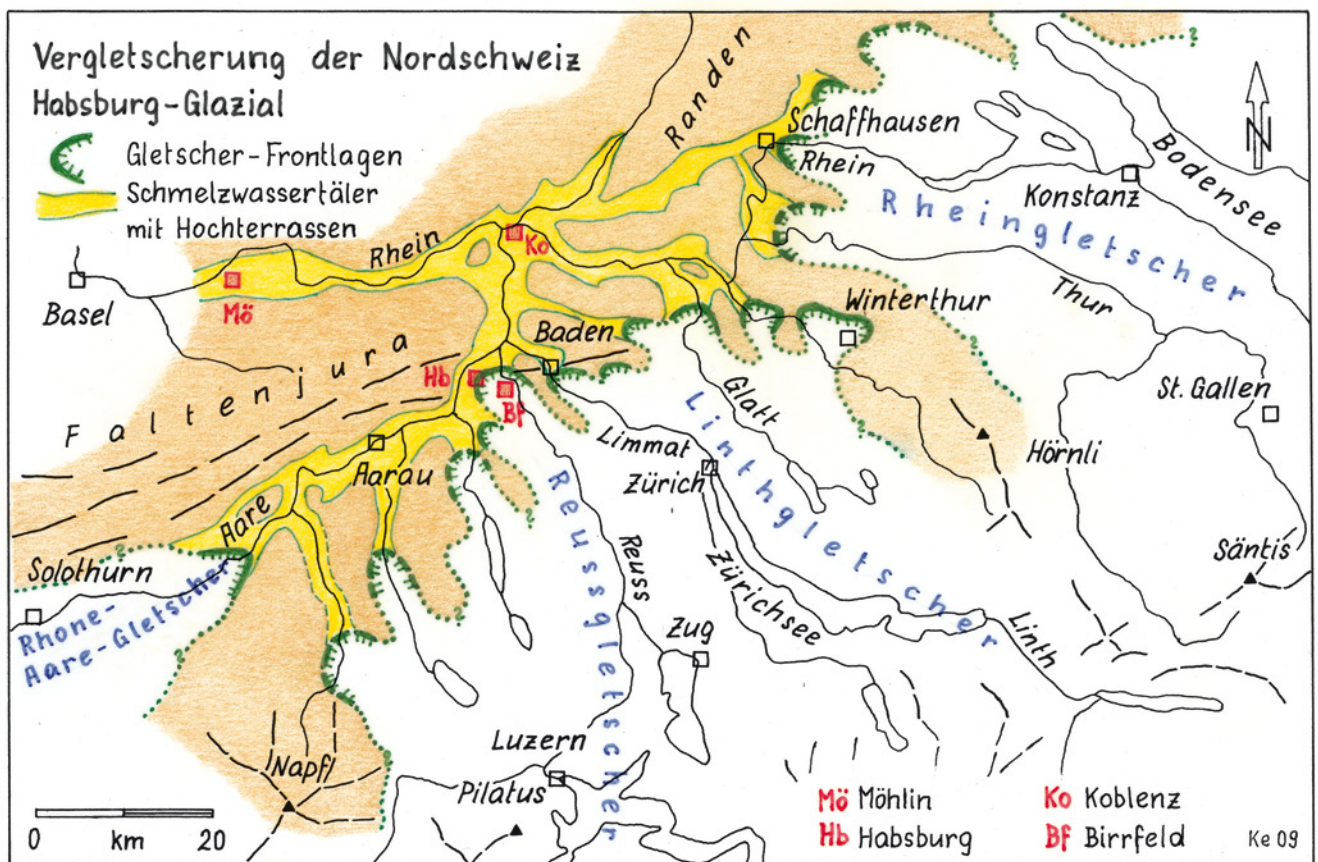
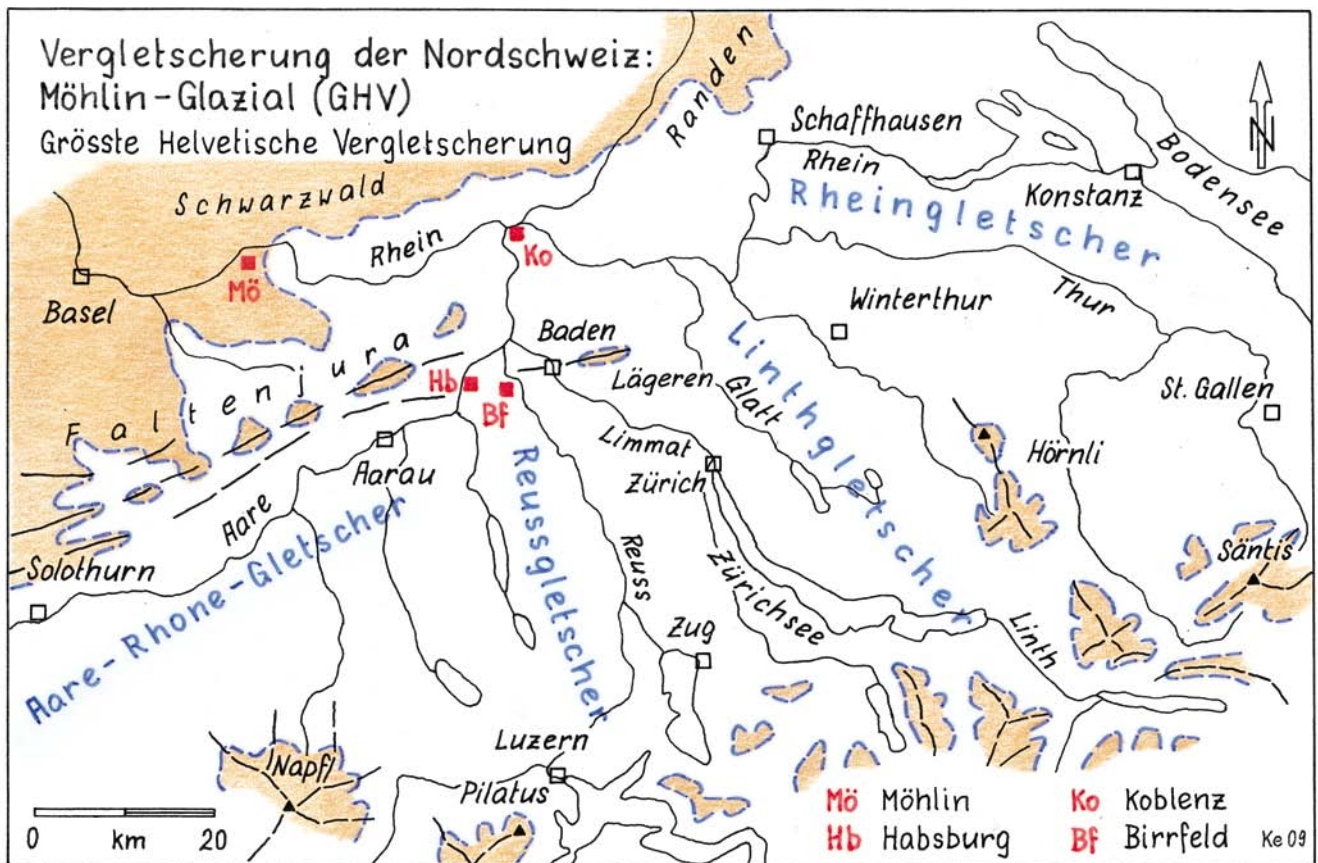


Abb. 4: Abmessungen und Charakteristika der Grossvergletscherungen in der Nordschweiz.

4a: Möhlin-Glazial (GHV, MEG). – 4b: Habsburg-Glazial. – Rote Quadrate: Namengebende Frontlagen der Vergletscherungen.

Fig. 4: Extension and characteristics of the main glacials in Northern Switzerland.

4a: Möhlin-Glacial (GHV, MEG). – 4b: Habsburg-Glacial. – Red squares: Named front positions of the glaciations.

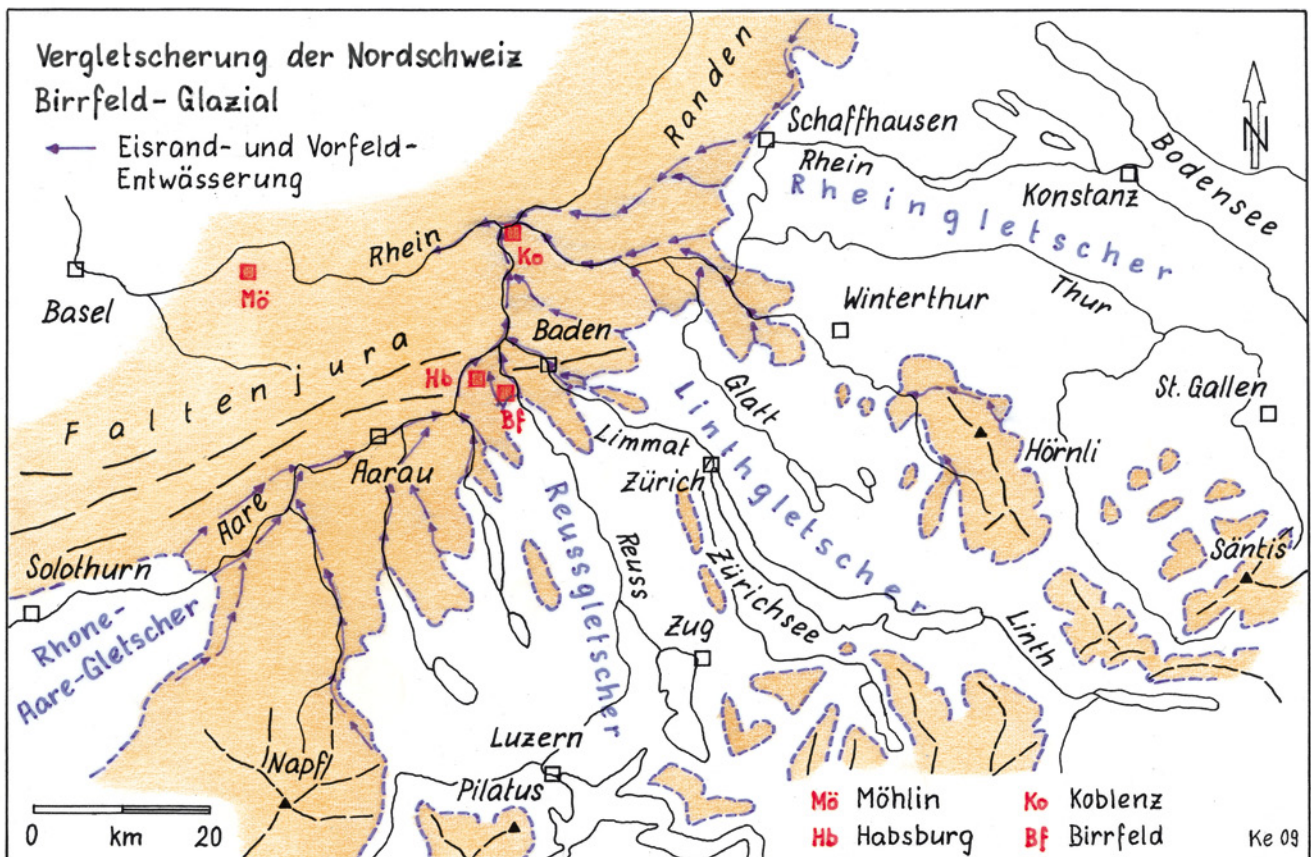
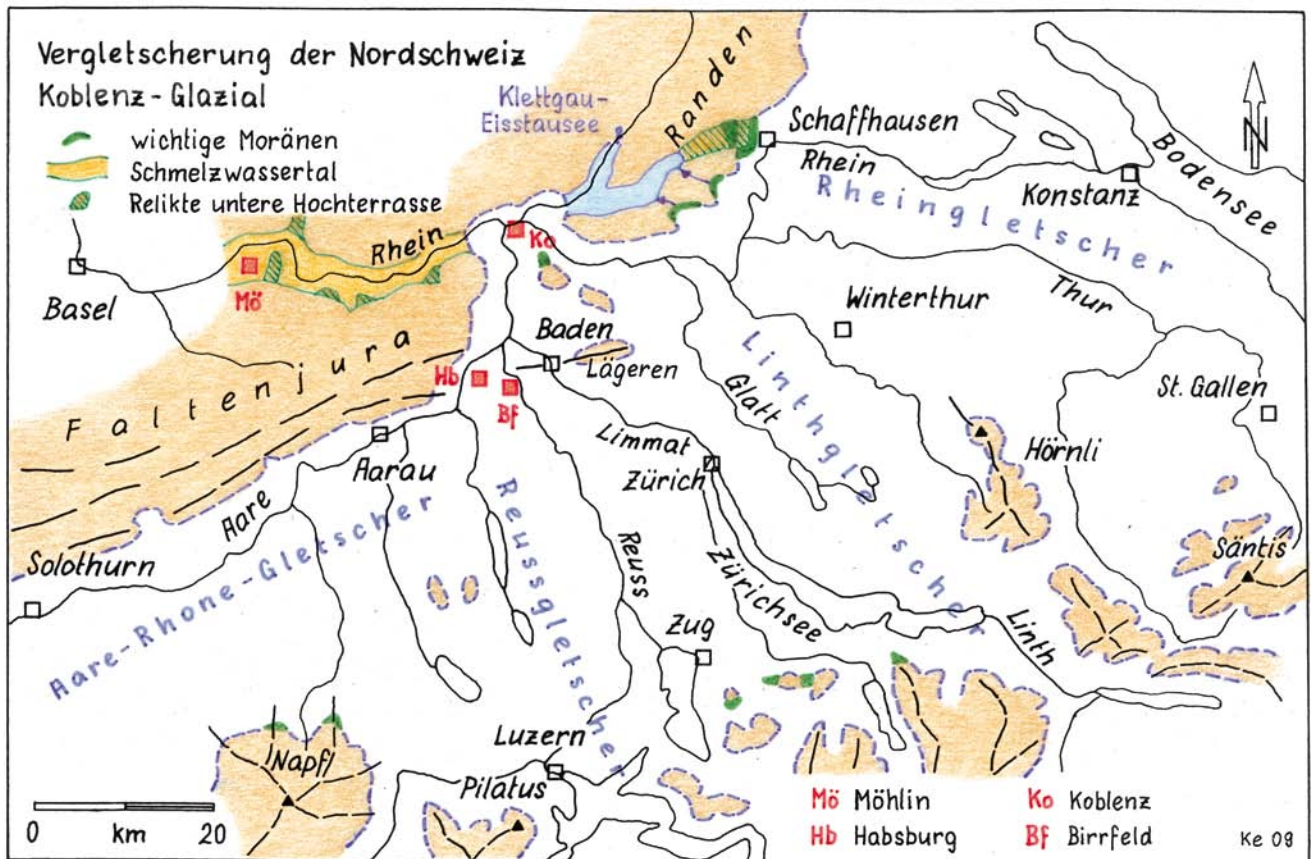


Abb. 4: Abmessungen und Charakteristika der Grossvergletscherungen in der Nordschweiz.

4c: Koblenz-Glazial („Riss“) – 4d: Birrfeld-Glazial („Wurm“, LGM). – Rote Quadrate: Namengebende Frontlagen der Vergletscherungen.

Fig. 4: Extension and characteristics of the main glacials in Northern Switzerland.

4c: Koblenz-Glazial („Riss“) – 4d: Birrfeld-Glazial („Wurm“, LGM). – Red squares: Named front positions of the glaciations.

- die als einzige den östlichen Jura überschritt und bis auf die unteren Hänge des südöstlichen Schwarzwaldes empor reichte.
- deren äusserste Front am Hochrhein bei Möhlin lag.

#### **Habsburg-Eiszeit (Abb. 4b)**

Eiszeit,

- deren Vergletscherung weit zurück lag und die tiefen Becken gerade noch überfuhr.
- von deren Frontlagen aus die mächtigen Hochterrassen in die grossen Abflusstäler geschüttet wurden.
- bei deren Rückschmelzen sich im Spätglazial in den tiefen Becken hoch liegende Seen bildeten, gestaut durch die ebenso hoch reichenden Ansatzstellen der Hochterrassen.
- in der die vorderste Front des Reussgletschers im Raum Habsburg lag.

#### **Koblenz-Eiszeit (Abb. 4c)**

Eiszeit,

- deren Gletscher die Hochterrassen überfuhren und die Rheinachse zwischen Schaffhausen und Waldshut noch überschritten.
- in der der Rheingletscher bis in den oberen Klettgau vorsties und der Aare-Reuss-Linth-Gletscher im unteren Klettgau einen grossen Eisstausee entstehen liess.
- deren Eisströme oftmals über den Seesedimenten in den tiefen Becken Vorstossschotter mit besonderem Habitus absetzten.
- deren Gletscher verschiedentlich neue Becken schufen.
- deren äusserste Front im Raum Koblenz lag, ohne genauer fassbar zu sein.

#### **Birrfeld-Eiszeit (Abb. 4d)**

Eiszeit,

- deren Vorlandgletscher in etwa das Ausmass der Habsburg-Eiszeit erreichten und deren Gletscherfronten markante Reliefformen hinterliessen, die wegen ihres „jungen Alters“ gut erhalten sind.
- in der in teils neu geschaffenen Abflussbahnen die Niederterrassen eingeschüttet wurden.
- deren Gletscher die Sedimentfüllungen in den tiefen Becken selektiv ausräumten, wobei wieder zahlreiche Seen entstanden, die oft bis heute überdauerten.
- in der der Reussgletscher im Birrfeld den äussersten Sander schüttete.

### **3 Befunde aus Schlüsselregionen**

#### **3.1 Übersicht**

Unter Schlüsselregionen verstehen die Autoren Areale, in denen sich die Glazialforschung schon seit Jahrzehnten bemüht hat, Argumente zum Verlauf und zur Gliederung pleistozäner Vergletscherungen zu finden. An ihnen soll das Modell der vier Grossglaziale überprüft werden. Die sieben Schlüsselregionen, die im Folgenden zur Diskussion stehen und in der Karte der Abb. 5 eingetragen sind, lassen sich nach zwei Hauptkriterien ordnen:

- Sedimentologie, d. h. Profile mit längeren Sedimentsequenzen mit Moränen, Schottern, Seeablagerungen

und biogenen Horizonten: Glatttal – Linthbecken – Menzingen-Sihltal

- Morphologie, d. h. Bereiche mit Tal- und Rinnenwechsel, mit Aufschotterungen sowie mit Staubbildungen: Möhlin – Aare-Rhein-Konfluenz – Schaffhausen-Klettgau – Baden
- Sämtliche Schlüsselregionen werden anhand von Profilen und zum Teil auch Karten besprochen. Der Text gliedert sich jeweils in zwei Abschnitte. In einer historischen Übersicht werden zuerst die wichtigsten früheren Arbeiten kurz vorgestellt. Anschliessend folgt die Interpretation der Autoren, aufgebaut nach dem Modell der vier Grossglaziale nach der Deckenschotterzeit.

#### **3.2 Schlüsselregion Möhlin**

Bereits GUTZWILLER (1894) deutet die beiden Wälle auf dem Möhliner Feld als Endlagen des helvetischen Gletschers, das heisst des vereinigten Rhein-Reuss-Aare-Rhone-Gletschers. Er zieht aber in Betracht, dass das Eis zeitweise sogar bis Basel gereicht haben könnte. Seit PENCK & BRÜCKNER (1909) wird diese Vergletscherung mit dem süddeutschen „Riss“ in Verbindung gebracht und als grösste Vereisung betrachtet. Die liegenden Schotter werden der Hochterrasse zugerechnet.

In den auf Bohrungen basierenden Profilen durch das Möhliner Feld (JÄCKLI & KEMPF 1972: Taf. III) zeigt sich, dass keine Moränenbedeckung vorhanden ist. Vielmehr liegen über den mächtigen Schottern ausschliesslich Lössablagerungen. Die Wallmoränen werden durch Reliefformen vorgetäuscht (Abb. 6). Hingegen sind in der wenig südlich am Rheintalrand und etwas erhöht gelegenen Kiesgrube Bünten (MÜLLER-DICK 2000) zwei Moränenhorizonte erkennbar, was zweimalige Präsenz eines Gletschers belegt. Ein verfalteter Paläoboden unterteilt den eingeschobenen Schotterkörper in zwei Komplexe (Abb. 7 oben). GRAF (2002) weist aufgrund der Geröllpetrographie nach, dass der obere Schotter des Möhliner Feldes und die obere Moräne in der Kiesgrube Bünten vom Schwarzwald her geschüttet worden sind.

Bei Riedmatt knapp nordseits des Rheins beschreibt ZINK (1941) unter wenig Hochterrassenschotter ein Vorkommen von blaugrauen Tonen mit organischen Resten. BLUDAU et al. (1994) stellen vorerst im Hinblick auf die Höhenlage diese biogenen Stillwassersedimente in ein Riss-Intervall. Aufgrund der pollenanalytischen Untersuchungen sind sowohl Eem als auch Holstein auszuschliessen, während ein ins Riss fallendes Interstadial in Frage kommt.

#### **Interpretation**

Diese folgt im Wesentlichen der Auffassung von MÜLLER-DICK (2000) und GRAF (2002) mit Ergänzungen.

#### **Prä-Möhlin (Prä-GHV)**

Nach der jüngsten Deckenschotter-Vergletscherung wird die Entwässerung während der tiefen fluviatilen Durchtahlung auf die Felsrinne im Südteil des Möhliner Feldes abgelenkt (Abb. 6).

#### **Möhlin (GHV)**

In das bereits tief liegende Entwässerungs- und Talnetz

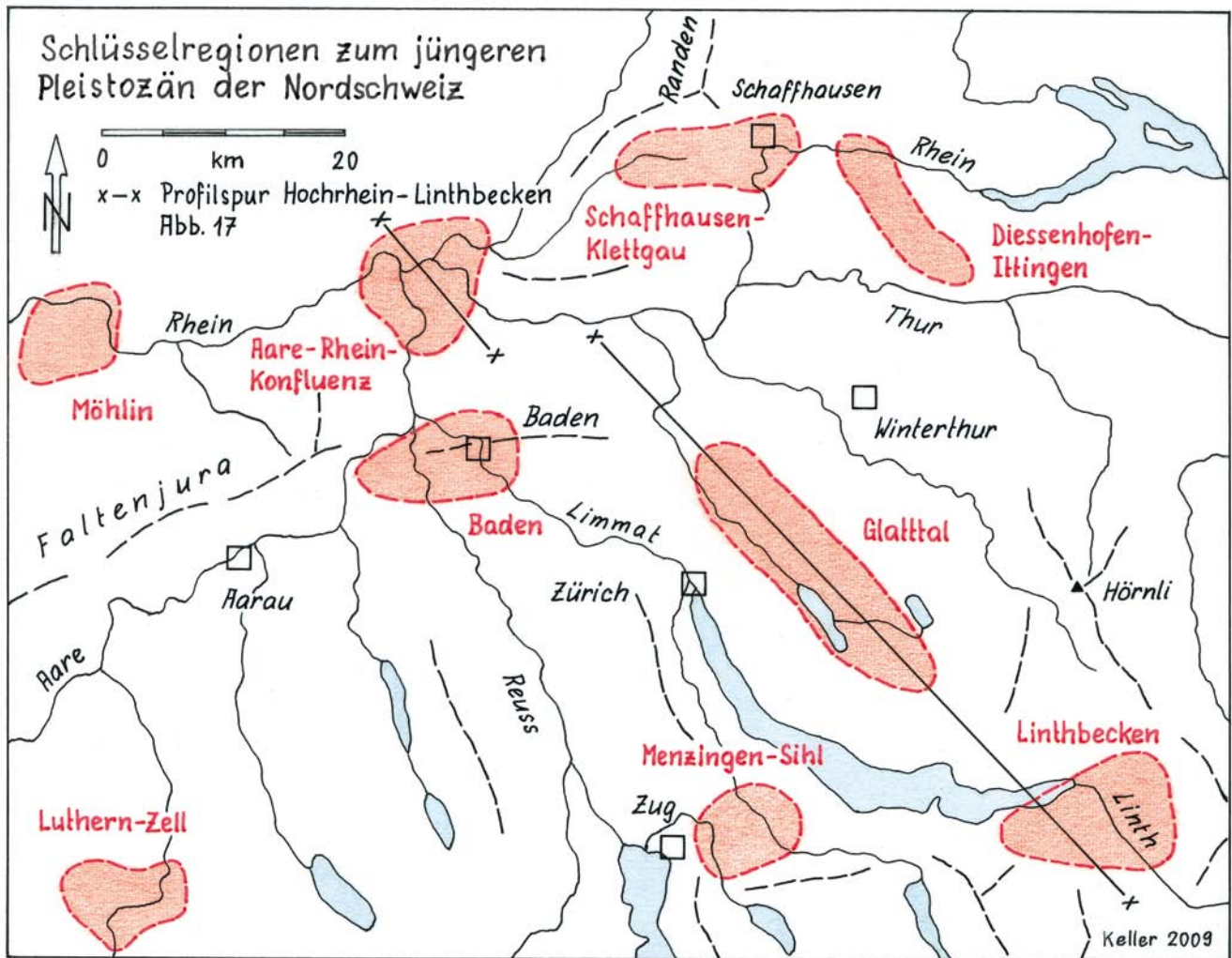


Abb. 5: Übersicht zu den Schlüsselregionen der Nordschweiz. x - x: Profilsur der Abb. 17.

Fig. 5: Overview of the key regions in Northern Switzerland. x - x: cross section of Fig. 17.

stösst das Eis der grössten Vergletscherung vor und erreicht mindestens Möhlin. Zeuge dafür ist die untere Moräne am südlichen Talrand in der Kiesgrube Bünten (Abb. 7 oben).

#### Habsburg (neu)

Akkumulation der Rheintal-Schotter des Möhliner Feldes als Hochterrasse. Der zugehörige Eisrand liegt weit zurück bei der Habsburg.

Im anschliessenden Interglazial Verwitterung und Bildung des unteren Paläobodens (KG Bünten). Die Seesedimente von Riedmatt liegen auf dem Niveau der Basis der unteren Hochterrasse und wären somit in die Interglazialzeit Habsburg/Koblenz einzustufen, allerdings mit interstadialem Charakter.

#### Koblenz („Riss“)

Zweitgrösste Vergletscherung, der helvetische Gletscher reicht bis in den Raum Koblenz. Aus dem Schwarzwald stösst der Wehra-Gletscher über die Hochterrasse bei Möhlin vor: Schotter mit Schwarzwaldmaterial und basale Blocklage (GRAF 2002). Der Rhein wird phasenweise gestaut auf ein Niveau um  $\pm 340$  m ü. M. Daher kommt es zur Materialmischung in den hangenden Schottern (Abb. 7 unten). Der Wehra-Gletscher erreicht den südlichen Rand

des Rheintals: Stauchung des unteren Paläobodens, Ablagerung der oberen Moräne mit Schwarzwaldmaterial (KG Bünten).

Nach dem Abschmelzen des Wehra-Gletschers Beginn der fluviatilen Eintiefung des Rheins im Bereich der heutigen Rheinrinne.

Im anschliessenden Interglazial Verwitterung und Bildung des oberen Paläobodens. Weitere Tiefenerosion des Rheins.

#### Birrfeld („Würm“)

Lössablagerung auf dem Möhliner Feld. Aufschüttung der Niederterrasse im engeren Rheintal (Abb. 6).

Im Postglazial Eintiefung des Rheins teils bis auf den Felsuntergrund, heutiger Rheinlauf.

### 3.3 Schlüsselregion Aare-Rhein-Konfluenz

Obwohl bereits MÜHLBERG (1896) feststellte, dass vor „Riss“ eine weitere Eiszeit einzuschalten sei, wurde dies z. B. von PENCK & BRÜCKNER (1905) und seither von weiteren Autoren abgelehnt und an der Viergliedrigkeit des Eiszeitalters festgehalten. Mühlberg hatte erkannt, dass die Hochterrassenschotter im Raum unteres Aaretal eisüberfahren sind. Sie mussten somit älter sein als „Riss“, das mit der



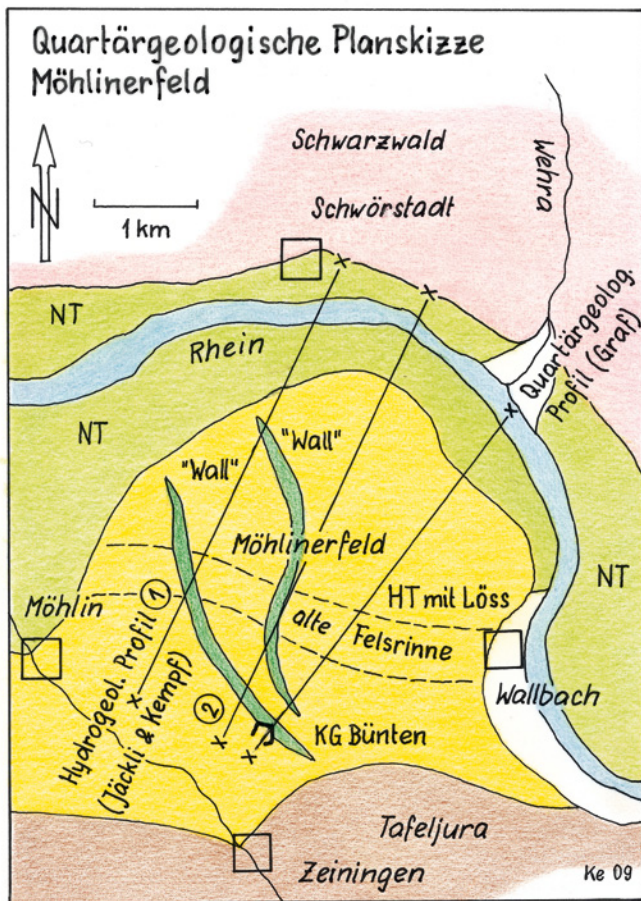


Abb. 6: Quartärgeologische Planskizze Möhlenerfeld.

Fig. 6: Quaternary geological map of "Möhlenerfeld".

grössten Eiszeit verknüpft wurde. Auch die Arbeiten von BLÖSCH (1911) und später von BUGMANN (1961) führten bei diesen Autoren zur Auffassung, dass die „Riss“-Eiszeit in zwei Glaziale aufzutrennen sei.

HANTKE (1978) schlägt vor, dass nach dem Rissmaximum ein Rückschmelz-Stadial „Koblenz“ einzufügen sei, um die Eisüberfahrung zu erklären. Im Zusammenhang mit dem Bau der Autobahn A3 ergaben Bohrungen im Bereich Habsburg eisrandnahe Schüttungen mit eingeschalteten Moränen. SCHINDLER (1985: 34) weist hier auf den Zusammenhang zwischen Eisrandlage und der davon ausgehenden Hochterrasse hin. Er möchte deshalb vor „Riss“ einen Gletschervorstoss einschieben.

Die Untersuchungen von GRAF (2002) basieren stark auf den von ihm ausgewerteten, zahlreichen Bohrungen im Raum der unteren Aare. Demnach postuliert auch er eine „Habsburg“-Vergletscherung, die mit den Hochterrassen zu verbinden sei. Zudem konnte das Felsrelief rekonstruiert werden. Es zeigte sich (GRAF 2000), dass von Rhein und Aare vor der Schüttung der Hochterrasse gegenüber heute teilweise abweichende Achsen benutzt worden sind (Abb. 8). Unter Berücksichtigung der Petrographie, der Höhenlage der Rinnen, der Relikte von Paläoböden und der Füllungen mit Hochterrassenschottern sieht GRAF (2002) mehrere Gletschervorstösse: Leibstadt, Habsburg, Koblenz.

Im unteren Klettgau werden die vielerorts nachgewiesenen Seesedimente, die glazilakustrische Serie (GRAF

1996, 2002), einem Eisstau im Raum östlich Waldshut zugeschrieben. Nach BAUSCH et al. (1989) liegt dort ein See mit glazigenen Sedimenten, in den höheren Schichten mit warmgetönter Flora vor. HOFMANN (1994) erwähnt Seesedimente mit vermutlich Dropstones bei Neunkirch. Demzufolge wird ein Gletschervorstoss angenommen, der Aaretal-abwärts in der Gegend von Koblenz den Rhein noch überschritten haben muss.

## Interpretation

### Prä-Möhlin (GHV)

Während der markanten Tiefenerosion nach der jüngsten Deckenschotter-Eiszeit wird das Talnetz um rund 150 m tiefer gelegt. Die Tieferschaltung dürfte zum Teil auf die anhaltende Absenkung des Oberrhein-Grabenbruchs und das parallel dazu anzunehmende tektonische Aufsteigen des Alpen- und Voralpenraumes zurückzuführen sein. Als wesentliche Ursache wird jedoch die Umlenkung des Alpenrheins von der Donau zur Oberrheinischen Tiefebene angesehen (KELLER 2009), was den Abfluss im Konfluenzgebiet Aare-Rhein nahezu verdoppelt hat. Der neu auch interglazial westwärts entwässernde Rhein benutzt aus dem Klettgau kommend die Äpelöö-Rinne (Abb. 8) und vereinigt sich 2 km südlicher als heute mit der Aare. Anschließend fließen sie gemeinsam durch das Felstal von Strick nach Westen ab.

### Möhlin (GHV)

Nach der fluviatilen Tieferlegung des Entwässerungsnetzes kommt es zur grössten Vergletscherung. Der helvetische Gletscher überfließt den östlichen Jura und den Klettgau. Er reicht mehrere Kilometer über den Rhein hinaus bis auf die Südabdachung des Schwarzwaldes. Die in den tiefen Rinnen erhaltenen Moränenreste werden dieser Vergletscherung zugeschrieben (Abb. 9).

### Habsburg (neu)

Die nächstfolgende Vergletscherung bleibt in ihrer Ausdehnung weit zurück. Der äusserste Eisrand des Reussgletschers liegt bei Habsburg, derjenige des Rhone-Aare-Gletschers westlich Olten. Von diesen Frontpositionen aus werden die mächtigen Hochterrassen in die bestehenden Talwege geschüttet: obere Hochterrasse (Abb. 4b und 9).

Eine Erosionsphase führt zur Tieferschaltung des Entwässerungssystems, verbunden mit Verschiebungen im Flussnetz: mittlere Hochterrasse. Die enge Rinne östlich Reuenthal wird wohl nur kurzfristig benutzt. Es dürfte sich in der Anlage um eine Karstwanne handeln. Das Flussnetz ist während der Zeit der oberen Hochterrasse gegenüber heute markant verschoben. Die Aare verläuft über Rüfenach-Würenlingen-Endingen-Strick. Der Rhein fliesst aus dem Klettgau über Koblenz-Äpelöö-Strick. In der Phase der mittleren Hochterrasse wendet sich die Aare im untersten Abschnitt nach Norden über Waldshut (Abb. 8). Der Rhein nimmt bei Koblenz ungefähr den heutigen Weg.

### Koblenz („Riss“)

Diesmal erfolgt ein Gletschervorstoss des Aare-Reuss-Gletschers über die obere und die mittlere Hochterrasse

## Schematisches Profil KG Bünnten (SE Möhlin)

	<u>Lithologie</u>	<u>genetische Interpretation</u>	<u>Glazialchronologie</u>
	Löss und Lösslehm	kaltzeitliches Feinsediment	Birrfeld-Glazial
	obere Moräne mit Schwarzwald-Material	Vorstoss des Wehra-Gletschers	Koblenz-Glazial
	Rheintal-Schotter	Stau durch vorrückenden Wehra-Gl.	Koblenz-Glazial
	Bodenbildung, unterer Paläoboden, verfaltet	zeitlicher Hiatus, Warmzeit	IG Habsburg / Koblenz (Faltung Koblenz)
	Rheintal-Schotter	Hochterrassen-Schotter	Habsburg-Glazial
	untere Moräne am Talrand mit Rheintal-Material	Rheingletscher-Vorstoss bis mindestens Möhlin	Möhlin-Glazial

Unterlagen: Dick et al. 1996  
Müller-Dick 2000  
Graf 2002

## Sammelprofil Möhlinerfeld

	<u>Lithologie</u>	<u>genetische Interpretation</u>	<u>Glazialchronologie</u>
	Löss und Lösslehm	kaltzeitliches Feinsediment	Birrfeld-Glazial
	Bodenbildung, Verwitterung oberer Paläoboden	zeitlicher Hiatus, Warmzeit	IG Koblenz/Birrfeld
	Schotter mit Schwarzwald-Material	Vorstossschotter des Wehra-Gl. Rhein hochgestaut auf 320-350m	Koblenz-Glazial
	basale Blocklage		
	geringe Verwitterungszone	zeitlicher Hiatus	IG Habsburg/Koblenz
	Rheintal-Schotter	Hochterrassen-Schotter des Rheintals	Habsburg-Glazial
	Felsrinne anstehender Fels	alter Rhein-Flusslauf Gipskeuper, Dolomit	Prä-Möhlin —

Unterlagen: Jäckli & Kempf 1972  
Graf 2002

Keller 2009

Abb. 7: Schematisches Profil Kiesgrube Bünnten (oben) und Sammelprofil Möhlinerfeld. (Referenzen siehe Abb.).

Fig. 7: Schematic profile of the gravel pit "Bünnten" (above) and a composite section of "Möhlinerfeld". (References see Fig.).

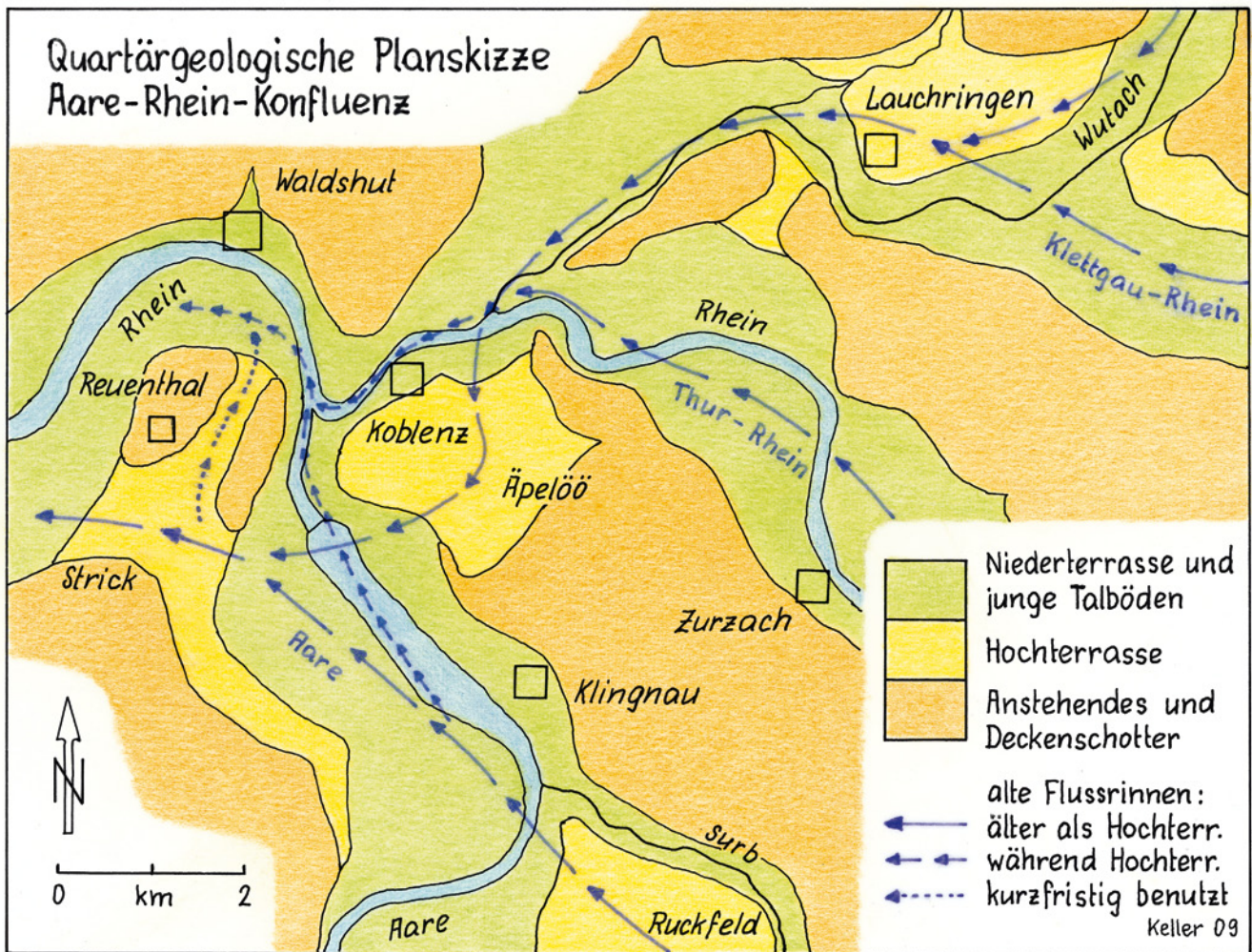


Abb. 8: Quartärgeologische Planskizze Aare-Rhein-Konfluenz.

Fig. 8: Quaternary geological map of "Aare-Rhine-confluence".

hinweg und reicht bei Waldshut-Koblenz über den Rhein hinaus nach Norden (Abb. 4c). Im heutigen Rheintal rückt der Linth-Reuss-Gletscher bis über die unterste Wutach nach Lauchringen vor. Im Klettgau bildet sich ein ausgedehnter Eisstausee auf  $\pm 400$  m ü. M. Er erhält Schmelzwasser von NE her von den Frontlagen des Rheingletschers bei Beringen und im Engewald. Es entsteht die glazilakustrische Serie (GRAF 1996, 2002).

#### Birrfeld („Würm“)

Im Interglazial „Eem“, das der Birrfeld-Eiszeit vorausgeht, schneiden sich Aare und Rhein in einer nördlichen Rinne bis auf  $\pm 290$  m ü. M. ein. Anschliessend im Glazial wird das System der Niederterrassen geschüttet (Abb. 9). Die zugehörigen Gletscherfronten erreichen im Süden (Reussgletscher) das Birrfeld, im Osten (Rheingletscher) Schaffhausen und Rüdlingen. Das gesamte Gebiet unteres Aaretal und Rheintal um Koblenz bleibt eisfrei.

### 3.4 Schlüsselregion Schaffhausen-oberer Klettgau

Seit PENCK & BRÜCKNER (2005) haben sich zahlreiche Forscher mit dem Raum Schaffhausen-Klettgau auseinandergesetzt und versucht, die von den Eiszeiten geprägte geologische Geschichte zu rekonstruieren (Abb. 10). PENCK (2005) hat die markante Talverbauung am Eingang zum

Klettgau mit den Altmoränen und der Hochterrasse in die Risseiszeit gestellt. In Erkenntnis, dass noch ausserhalb dieses Gebiets Vergletscherungsspuren vorhanden sind, hat ERB (1934) versucht einen Zusammenhang mit dem Raum Messkirch in Oberschwaben herzustellen. Er kam zu einer Zweiteilung von Riss, wobei er die äussersten Zeugen bei Schleithem und auf dem Rand einer Riss-I-Ver eisung zuschrieb und die Klettgau-Terrassen mit der Verbauung der Engi bei Schaffhausen in ein Riss-II einfügte. Noch in hohem Alter beschäftigte sich PENCK (1939) mit der „Klettgau-Pforte“, indem er sich ihrer ausserordentlichen Bedeutung als kontrollierender Ausgang des gesamten Bodenseeraums bewusst war. SCHREINER (1974) ging bei seinen Untersuchungen zum Jungquartär im Hegau auch im Raum Schaffhausen von einer Risseiszeit aus. Später (1992: Abb. 100) stufte er die äussersten Zeugen nördlich des Klettgaus in die Mindeleiszeit ein.

Vor allem SCHINDLER (1985), HOFMANN (1981, 1994, 1996), GRAF & HOFMANN (2000) sowie GRAF (2002) machten die Region Schaffhausen-oberer Klettgau zum zentralen Gegenstand ihrer Untersuchungen. Es ist bemerkenswert, dass bereits Schindler für den Zeitraum nach den Tieferen Deckenschottern zum Nachweis von drei Vereisungen kam, indem er die „Riss“-Eiszeit in ein „Riss 1“ und ein „Riss 2“ aufteilte. Für Graf hingegen ist Möhlin der älteste seiner mittelpleistozänen Eisvorstösse. Schon Hofmann und in der Folge Graf

# Schematisches Profil der quartären Bildungen im Raum Koblenz

Unterlagen:  
 Bousch et al. 1989  
 Matousek et al.: Geol. Karte Zurzach 2000  
 Graf in Bitterli et al. 2000  
 Graf 2002

Chronologische Abfolge der  
 Erosion und Akkumulation

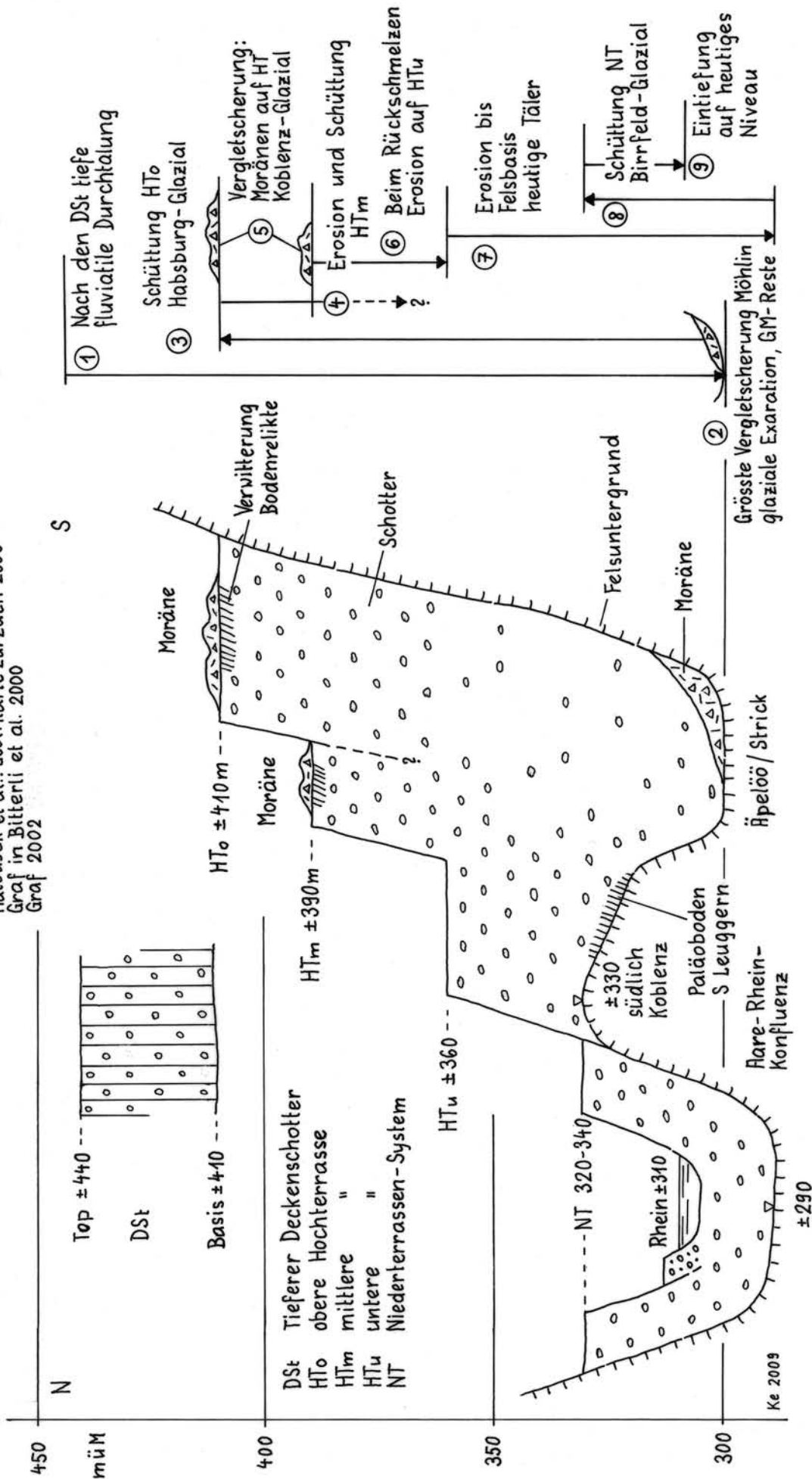


Abb. 9: Schematisches Profil der quartären Bildungen im Raum Koblenz. (Referenzen siehe Abb.).  
 Fig. 9: Schematic profile of the quaternary formations in the Koblenz area. (References see Fig.).

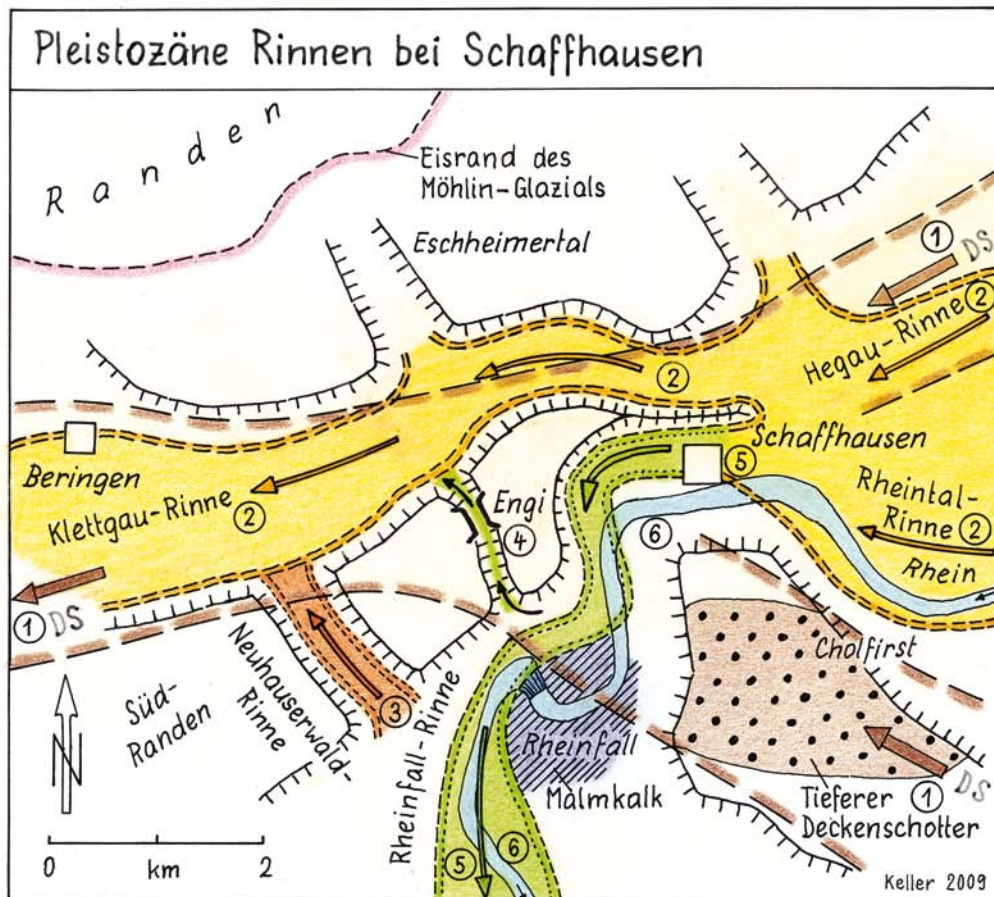


Abb. 10: Pleistozäne Rinnen bei Schaffhausen. Im Malmkalk der „Klettgau-Pforte“ (PENCK 1939) sind sechs Durchbruchsrinnen nachzuweisen.

Fig. 10: Pleistocene channels near Schaffhausen. In the Malm limestone of the “Klettgau-Pforte” (PENCK 1939) six transverse valleys are proved.

- |                        |                           |
|------------------------|---------------------------|
| ① Hohe Klettgau-Rinne: | Tieferer Deckenschotter   |
| ② Klettgau-Rinne:      | Möhlin bis Habsburg       |
| ③ Neuhausertal-Rinne:  | Habsburg bis Koblenz      |
| ④ Engi-Rinne:          | Koblenz; Birrfeld-Maximum |
| ⑤ Rheinfall-Rinne:     | Spät-Koblenz bis Birrfeld |
| ⑥ heutige Rhein-Rinne: | seit Spät-Birrfeld        |

konnten die Schotter im Klettgau nicht nur mittels ihrer Höhenlage, sondern auch über Geröllanalysen und Verwitterungshorizonte den verschiedenen Glazialen zuordnen.

### Interpretation

Die Autoren stimmen der quartärhistorischen Übersicht von SCHINDLER (1985) grossenteils zu, allerdings unter dem Vorbehalt, dass die grösste Vergletscherung während Möhlin (GHV) und nicht während Koblenz („Riss“) stattgefunden hat. Unsere Interpretation gemäss Profil Klettgau-Schaffhausen (Abb. 11) generalisiert unter anderem die Befunde, die GRAF & HOFMANN (2000) und GRAF (2002) aufgrund detaillierter Untersuchungen vorlegen.

Zur Interpretation der pleistozänen Prozesse ist die Schlüsselregion Schaffhausen-Klettgau insofern von Bedeutung, als sich hier am Durchbruch des Rheins durch die Malmkalk-Formation sechs Felsrinnen unterschiedlichen Alters nachweisen lassen (Abb. 10).

### Prä-Möhlin (Prä-GHV)

Im Raum Schaffhausen-oberer Klettgau besteht ein relativ flachwelliges Relief, das mit regionalen Zuflüssen westwärts zur Aare entwässert. Nachdem sich der endgültige

Abfluss des Alpenrheins zur Aare durchgesetzt hat, kommt es im Interglazial Prä-Möhlin zu umfassender Erosion im Bodenseebecken (KELLER 2009). Die Klettgaurinne wird bei Schaffhausen bis auf eine Tiefe von 340 m ü. M. ausgeräumt (Abb. 10 und 11).

### Möhlin (GHV)

Nach dem Prä-Möhlin-Interglazial baut sich der helvetische Gletscher als riesiges Eisstromnetz auf bis zu einer Endlage um 700 m ü. M. auf dem südöstlichen Randen (Abb. 10) und um 600 m ü. M. über dem Hallauerberg. Dieser Vergletscherung wird die Ausweitung der grossen Täler und die Bildung vieler tiefer Rinnen und Becken im Nordschweizer Mittelland zugeschrieben.

### Habsburg (neu)

Als Vorstossschotter werden die unteren Klettgauschotter beim Engewald bis 490 m ü. M. (Abb. 11 und 17) abgelagert. Im Maximum dürfte der Rheingletscher nahe Schaffhausen gelegen haben. Beim Eisabbau erodieren die Schmelzwässer den höheren Teil der Rheinfallrinne sowie als deren Fortsetzung die Neuhausertal-Rinne in den Klettgau. Dort werden die unteren Klettgau-Schotter bis auf ein Talbodenniveau um 400 m ü. M. ausgeräumt. Im folgenden Interglazial

# Schematisches Profil Schaffhausen-Klettgau

Grundlagen: Schindler 1985, Krayss 1988, Frank & Rey 1996, Hofmann & Graf 2000, Graf 2002

## Akkumulation und Erosion im Klettgau

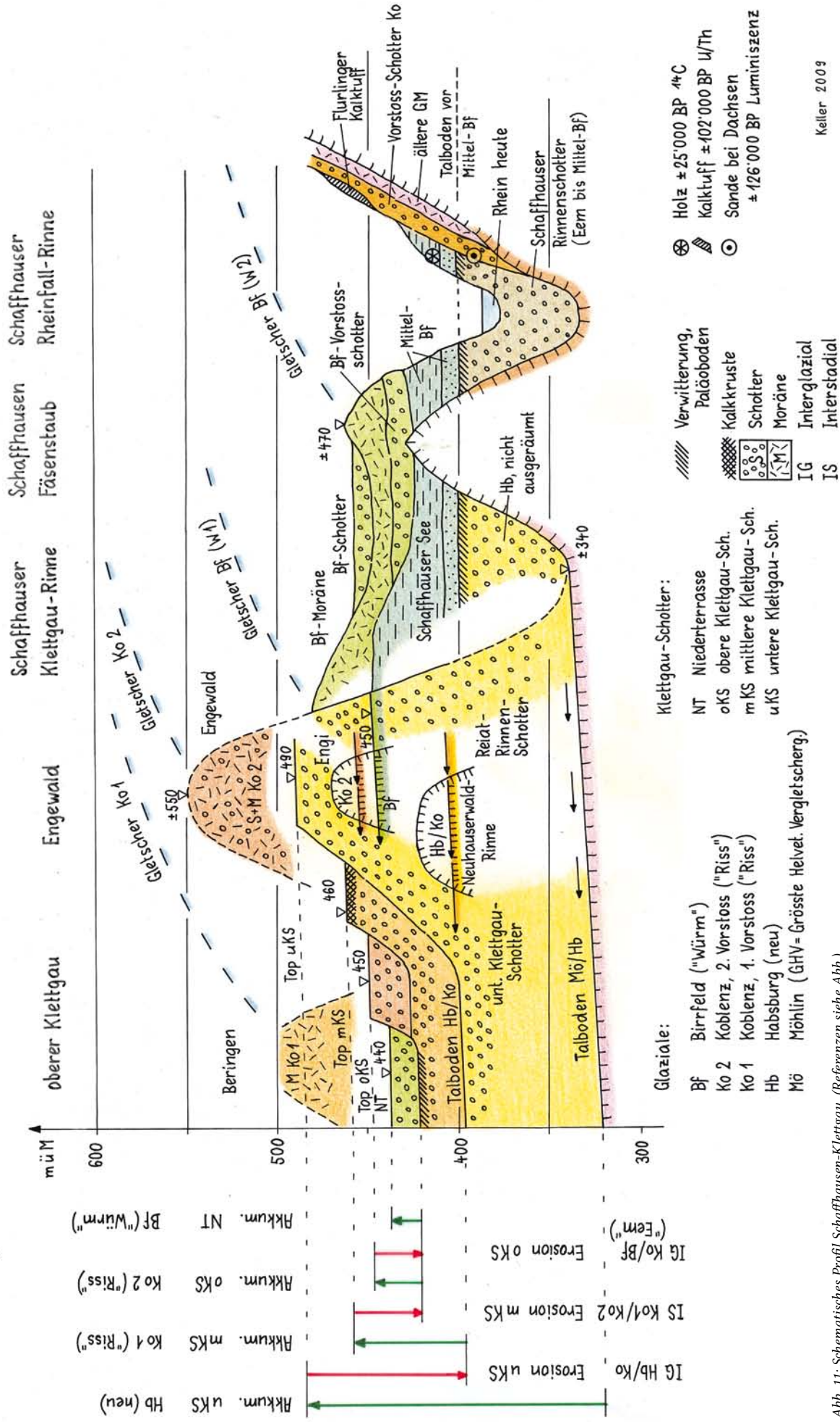


Abb. 11: Schematisches Profil Schaffhausen-Klettgau. (Referenzen siehe Abb.).

Fig. 11: Schematic profile „Schaffhausen-Klettgau“. (References see Fig.).

Keller 2009

fließt der Rhein weiterhin auf diesem Weg über den Klettgau zur Aare.

### Koblenz („Riss“)

Die Vorstössschotter erfüllen beim Eisaufbau zunächst die höhere Rheinfalldrinne südwärts, greifen dann aber auch als mittlere Klettgauschotter über die Schwelle von Engi in den Klettgau hinüber. Ein erster Vorstoss des Rheingletschers erreicht als so genannter Beringer-Vorstoss (GRAF 2002) den Raum Neunkirch. Ein zweiter baut im Engewald-Vorstoss den mächtigen Endwall der Engischotter und Moränen bis 550 m ü. M. auf (Abb. 11), während der Linthgletscher aus dem Glatttal vorstossend in der Neuhauserwald-Rinne den Lusbüel-Komplex aufschüttet. Der Schmelzwasserabfluss erfolgt diesmal bis auf ein Schwellenniveau um 460 m ü. M. über die Engi. Dieser Periode wird auch der mittlere, mehr fluviatil geprägte Teil der „glazialakustrischen Serie“ (GRAF 1996, 2002) zugewiesen. Der zugehörige Stausee ist bedingt durch die Aare-Linth-Gletscherzunge, die nördlich Koblenz im untersten Wutachtal die den See stauende Barriere bildet. Damit ist eine direkte Korrelation zur Koblenz-Vergletscherung des Rheingletschers gegeben (Abb. 4c). Anschliessend bleibt der Klettgau bis zum Maximum der Birrfeld- Eiszeit ohne Zufluss vom Rhein her.

Im Spätglazial wird die Rheinfalldrinne im Fels bis auf 340 m ü. M. ausgeräumt (Abb. 11). Dieser Tiefwert ist bedingt durch die Jurakalkschwelle rheinabwärts bei Kaiserstuhl um 320 m ü. M. Im Klettgau deuten Paläobodenreste im Liegenden der Niederterrasse das Eem-Interglazial an.

### Birrfeld („Würm“)

Die Schaffhauser Rinnenschotter (Abb. 11), die sich bis zum Untersee zurück verfolgen lassen (SCHREINER 1974, 1983), enthalten in ihrem Dach Verwitterungsspuren und humosen Hangschutt (SCHINDLER 1985, FRANK & REY 1996), die auf interstadiale Verhältnisse hinweisen. Die Schotter werden deshalb von KELLER & KRAYSS (1998) dem Untersee-Gletschervorstoss, der sich im Früh-Birrfeld (Frühwürm) abzeichnet, zugeschrieben. Die Datierung Dachsen (PREUSSER & GRAF 2002) lässt aufgrund der Fehlerbreite diese Deutung zu.

Wie SCHINDLER (1985) darlegt, wird der Raum Schaffhausen noch vor dem Eintreffen des Vorstössschotters von einem durch den Thurtal-Sander oder -Gletscher aufgestauten Schaffhausersee erfüllt (Abb. 11). Später kommt es zur regulären Abfolge von Schotter und Grundmoräne und im Maximum dieser Eiszeit wieder zum Überlauf von Schmelzwasser über die Engi in den Klettgau, wo die Niederterrassenschotter akkumuliert werden. Die Engi funktioniert jedoch während dem Eisabbau wiederum als Sperre. Der Klettgau wird trocken gelegt, der Rhein entwässert über die Rheinfalldrinne nach Süden.

Im Rückschmelz-Stage Stein am Rhein/Singen verfehlt der Rhein im Schotterfeld zwischen Neuhausen und Flurlingen seine alte Rheinfalldrinne, sodass sich ein neuer Rheinlauf mit Absturz über den Malmkalk ins Rheinfalldrinne bildet (Abb. 10).

## 3.5 Schlüsselregion Baden

Die grossenteils verschütteten alten Rinnen im Raum Ba-

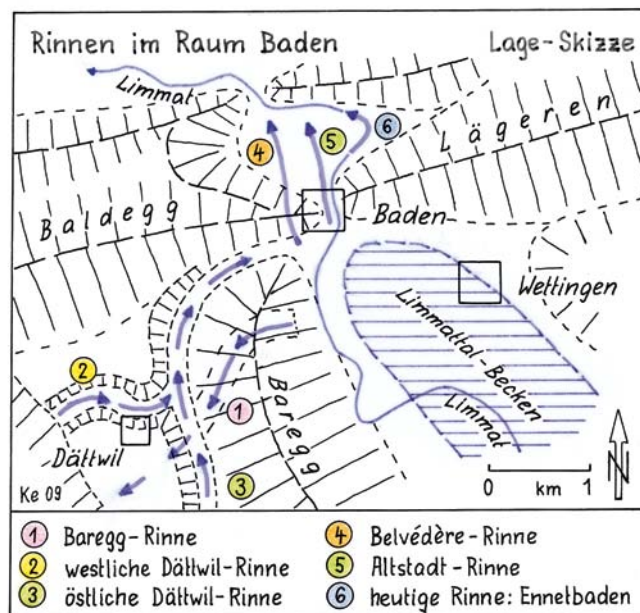


Abb. 12: Pleistozäne Rinnen im Raum Baden.

Fig. 12: Pleistocene channels in the region of Baden.

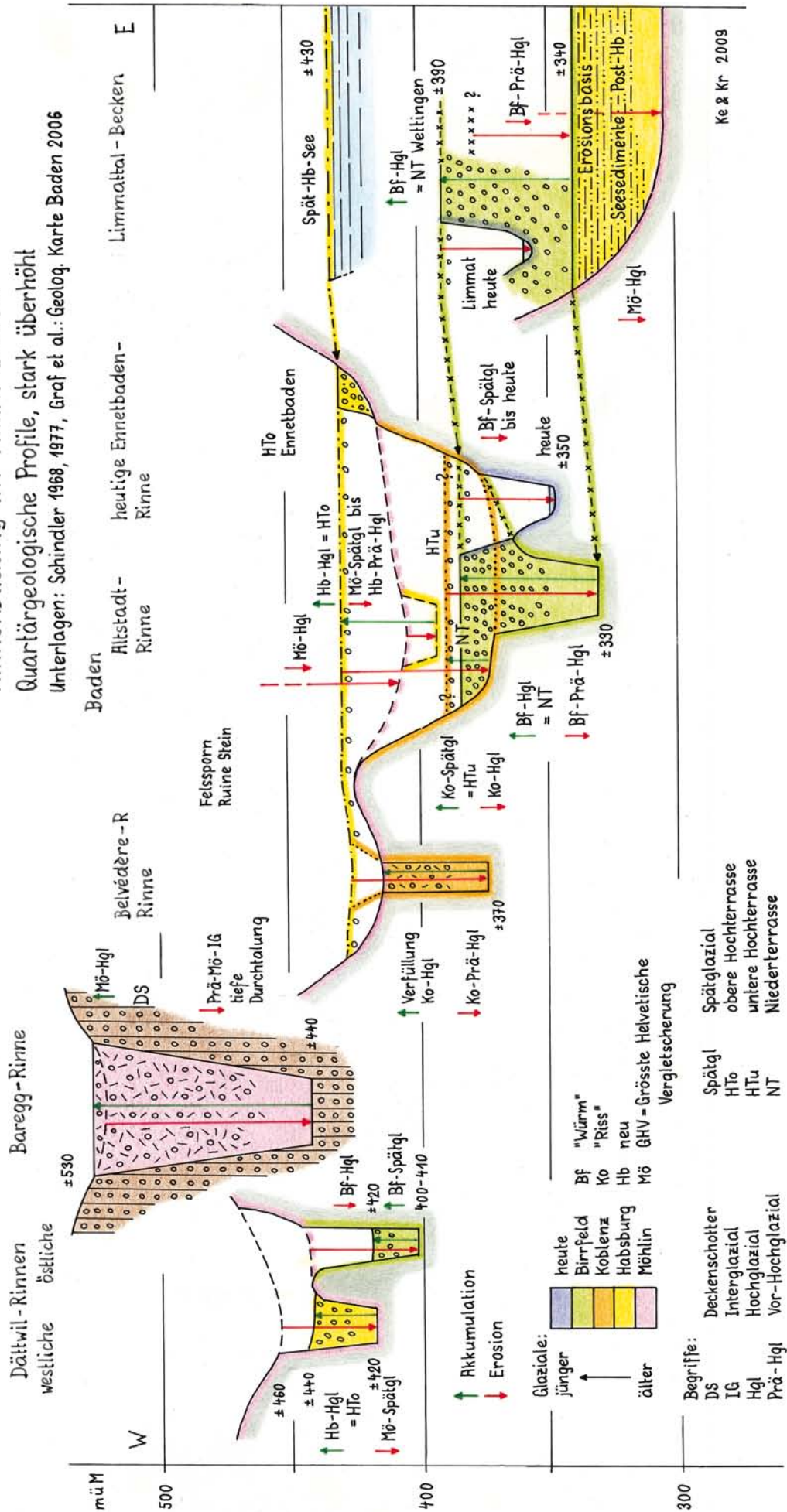
den (Abb. 12) waren bis in die 1960er Jahre kaum bekannt. Immerhin erwähnt SUTER (1944) bereits die Rinne unter der Altstadt Baden, zu der er eine Sohlenhöhe von 330 m ü. M. angibt. Erst neuere Bohrungen im Bereich der Stadt Baden und für den Autobahnbau N1 (heute A1) zwischen 1962 und 1967 brachten zahlreiche Einsichten in die Untergrundverhältnisse. Detaillierte Auswertungen in glazialgeologischer Hinsicht hat SCHINDLER (1968, 1977) publiziert. Aufgrund der Sedimentabfolgen und der Höhenlagen der aufgefundenen Rinnen stellt er in einem „Versuch einer zusammenfassenden Deutung“ (1968) die glazialen Ereignisse chronologisch zusammen. Demnach floss die Limmat zur Zeit der tieferen Deckenschotter zuerst durch die Baregg-, später durch die Dättwil-Rinne, der Lägeren ausweichend, ins Reusstal ab. In der frühen Risseiszeit mit einem Linthgletscher-Vorstoss bis gegen Baden blockiert der Reussgletscher die Dättwil-Rinne, weshalb die Limmat bei Baden nach Norden durchbricht. Zeitgleich erwähnt er einen hoch liegenden See im Limmattal oberhalb Baden. Erst darnach wäre der Hauptvorstoss der Risseiszeit erfolgt. In der frühen Würmeiszeit kommt es zur Verlagerung der Limmat in die Altstadt-Rinne.

In den Erläuterungen zur Geologischen Karte Baden 1:25.000 geht GRAF (2007) nicht auf die Rinnenbildung im Raum Baden ein. Hingegen kann aus der Tafel II der Erläuterungen aufgrund der Felsisohypsen Lage und Tiefe der Rinnen erkannt werden. In der Karte selbst vermerkt GRAF (2006) Hochterrassenreste bei Dättwil und Ennetbaden. Wettingen und Baden breiten sich auf Niederterrassenschottern aus.

### Interpretation

Die Autoren gehen grossenteils mit SCHINDLER (1968, 1977) einig, ausser dass die Dättwil-Rinnen nicht alte Limmatwege sein können. Dafür sind sie zu eng und weisen ein Gefälle gegen das Limmattal auf. Es sind Schmelzwasser-rinnen des stets höher als der Linthgletscher stehenden Reussgletschers.

# Rinnenbildung im Raum Baden Quartärgeologische Profile, stark überhöht Unterlagen: Schindler 1988, 1977, Graf et al.: Geolog. Karte Baden 2006



Ke & Kr 2009

Abb. 13: Rinnenbildung im Raum Baden: Quartärgeologische Profile. (Referenzen siehe Abb.).  
Fig. 13: Origin of the channels of Baden: Quaternary geological profile. (References see Fig.).



In der Schlüsselregion Baden stehen nicht Sedimentabfolgen und die Deutung ihrer glazialchronologischen Entwicklung im Vordergrund, sondern fluviale Erosions- und Akkumulationsprozesse, für die versucht wird, sie in die Eiszeiten-Abfolge einzuordnen. Im Raum Baden häufen sich teilweise erhaltene und verschüttete, einstige Entwässerungswege. Das Limmattal trifft bei Baden quer auf die Jurafalte der Lägeren (Abb.12). Die entwässernde Limmat war deshalb gezwungen entweder seitlich um die Lägeren herum abzufliessen oder sie querend durch Einscheiden einen Weg zu finden. Talverschüttungen, respektive epigenetische Flusslauf-Verlegungen ereignen sich fast ausschliesslich im Zusammenhang mit Gletschereinwirkungen. Die folgenden Interpretationen sind unter diesen Voraussetzungen zu sehen.

#### **Prä-Möhlin (Prä-GHV)**

Gemäss GRAF (1993) zeigen die tieferen Deckenschotter der Baregg (Abb. 12 und 13) eine Schüttungsrichtung gegen Südwesten, was den durch die Lägeren-Barriere bedingten Abfluss ins Reuss-Aaretal andeutet. Die auf die Deckenschotterzeit folgende Durchtalung greift in der Baregg-Rinne durch die Deckenschotter hindurch und weist auf den Limmatabfluss nach Südwesten hin.

#### **Möhlin (GHV)**

In dieser grössten Vergletscherung überfährt das Linth-Reuss-Eis die Baregg und die Lägerenkette, im Raum Baden mit einer Eismächtigkeit von wenigstens 200 m. Dabei wird die Baregg-Rinne verschüttet, während bei Baden die von Bruchstrukturen durchsetzte Lägeren bis wohl gegen 400 m ü. M. hinunter erodiert wird (Abb. 13 Mitte), was auch SCHINDLER (1968) annimmt. Im Limmattal kommt es oberhalb Baden im Bereich der weniger resistenten Oberen Meeremolasse zur Auskolkung des Limmattal-Bekens (Abb. 13 rechts). Im Zuge des Rückschmelzens legen Schmelzwässer des Reussgletschers, der höher steht als der Linthgletscher, neben der verbauten Baregg-Rinne neu die westliche Dättwil-Rinne an (Abb. 12 und 13 links), mit Abfluss nach Nordosten ins Limmattal. Die Limmat selbst findet über die erniedrigte Schwelle von Baden den Weg nach Norden und beginnt sich einzuschneiden (Abb. 13 Mitte).

#### **Habsburg (neu)**

Diesmal stösst der Reussgletscher bis zur Endlage Habsburg vor, wo sich Schotter und Moräne verzahnen (SCHINDLER 1985, GRAF 2002). Von hier aus wird Aaretal-abwärts die obere Hochterrasse geschüttet mit einem Niveau beim Ansatz um etwa 440 m ü. M. Etwas weniger weit vorrückend erreicht die Limmatzunge des Linthgletschers Baden mit einer Fronthöhe von ebenfalls um 440 m ü. M. Der Schmelzwasserstrom, die Limmat, fliesst durch eine nicht genauer lokalisierbare Rinne in der Lägeren-Einsattelung bei Baden direkt nach Norden (Abb. 13 Mitte), um dann gegen Westen zur Aare abzuschwenken. Als seitlicher Schmelzwasserabfluss des Reussgletschers wird die westliche Dättwil-Rinne benutzt.

Ab dem Hochglazial setzt die Aufschotterung der Oberen Hochterrasse ein, die an ihrer Wurzel bei Baden aufgrund von Relikten südlich und nördlich Ennetbaden so-

wie im untersten Limmattal ein Niveau um 430 m ü. M. erreicht (Abb. 13 Mitte). Die westliche Dättwil-Rinne wird vom Reussgletscher her zugeschüttet (Abb. 13 links). Beim Zurückschmelzen des Linthgletschers bildet sich im Limmattal im Spät- und Postglazial ein hoch spiegelnder See auf etwa 430 m ü. M. (Abb. 12 und 13 rechts).

#### **Koblenz („Riss“)**

Im vorausgehenden Interglazial und während dem erneuten Vorrücken des Linthgletschers wird bei Baden die Obere Hochterrasse grossenteils abgetragen und epigenetisch die Belvédère-Rinne auf  $\pm 370$  m ü. M. schluchtartig eingeschnitten (Abb. 12 und 13 Mitte). Im Hochglazial überwindet der Gletscher einerseits die Lägeren-Schwelle und tieft sie über dem Kerngebiet von Baden durch Exaration weiter ein. Andererseits aber verfüllt er die Belvédère-Rinne mit lehmig-kiesigem und blockigem Material. Vermutlich wird beim Rückschmelzen eine untere Hochterrasse geschüttet, die aber als solche nicht erhalten ist.

#### **Birrfeld („Wülm“)**

In diesem Glazial erreicht der Linthgletscher Baden nicht, er endet talaufwärts bei Killwangen und oberhalb Wettingen. Schmelzwässer (die Limmat) erodieren die eventuell vorhandene untere Hochterrasse und legen neu die Altstadt-Rinne mit Basis auf  $\pm 330$  m ü. M. an (Abb. 13 Mitte). Im Gefolge werden die Sedimente im Limmattalsee, die das Gewässer seit dem Interglazial Habsburg/Koblenz (Meikirch) aufgefüllt haben, auf dieses Niveau abgetragen, was sich aus Bohrungen ableiten lässt: „alte Seesedimente“ (SCHINDLER 1968). Schmelzwässer des Reussgletschers erodieren im Birrfeld-Maximalstand die östliche Dättwil-Rinne, die ins Limmattal bei Baden hinunterführt (Abb. 12 und 13 links).

Ab dem Hochglazial wird über den Seesedimenten und im Durchlass von Baden die Niederterrasse akkumuliert, die in Baden selbst und im Raum Wettingen erhalten ist (Abb. 13 Mitte und rechts). Im Postglazial setzt die Tiefenerosion der Limmat in der Niederterrasse ein, wobei der Fluss die heutige Ennetbaden-Rinne eintieft und dabei in seiner Schleife ganz im Osten in den Jura-Felsuntergrund (Opalinuston und Gipskeuper) gerät (Abb. 13 Mitte).

### **3.6 Schlüsselregion Linthbecken**

Beim Bau der Ricken-Eisenbahnlinie entstanden zwischen Kaltbrunn und Uznach Aufschlüsse, die BROCKMANN-JEROSCH (1910) insbesondere auf die zahlreichen pflanzlichen Makroreste untersuchte. Eine erste umfassende Bearbeitung der Quartärbildungen des Linthbeckens geht auf JEANNET (1923) zurück, angeregt durch die vielerorts vorkommenden Schieferkohlen. Während BROCKMANN-JEROSCH alle Funde und damit auch die Sedimente in den Zeitraum der letzten Eiszeit und in die vorangehende Interglazialzeit stellte, kam JEANNET zu einer viel komplexeren Chronologie. Bemerkenswert ist vor allem, dass er bereits vier Eiszeiten ab der Beckenbildung postulierte, nämlich Mindel, Riss-1, Riss-2 und Wülm.

Weitere Untersuchungen verbunden mit ersten  $^{14}\text{C}$ -Datierungen unternahm KLÄY (1969), wobei zweifelhafte Werte resultierten. Rund ein Dutzend Bohrungen im Raum

Buechberg sowie Kaltbrunn-Uznach wertete WELTEN (1988) pollenanalytisch aus. Er fand gesamthaft nur gerade vier Pterocarya-Pollen, wovon zwei eindeutig umgelagert waren. Trotzdem schloss er auf Holstein 1 mit Pterocarya, womit relativ hoch gelegene Seesedimente ein hohes Alter erhielten.

In seiner umfangreichen Arbeit über das Quartär des Linthgebietes ging SCHINDLER (2004) sehr detailliert und minutiös auf die mächtigen Sedimente am Buechberg einerseits sowie bei Kaltbrunn-Uznach andererseits ein. Neben einigen grossen Kiesgruben-Aufschlüssen stand ihm eine bedeutende Anzahl Bohrungen zur Verfügung. In seiner zusammenfassenden Gesamtschau stellt er zur Altersgliederung zwei Varianten vor, die sich nur im oberen Bereich „Riss“ bis „Würm“ unterscheiden. Interessant dabei ist, dass er in beiden Varianten im „Riss“ zwei Glaziale „Riss 1“ und „Riss 2“ auseinander hält.

### Interpretation

Aus den zur Verfügung stehenden Unterlagen betreffend Aufbau der Sedimentkörper wurde versucht die Sedimentabfolge am Buechberg mit derjenigen von Kaltbrunn-Uznach in einem Sammelprofil (Abb. 14) zu kombinieren. Dies ist möglich, weil in beiden Gebieten nahezu bis ins Detail gleichartige Schichtkörper in entsprechender Abfolge vorkommen. Insbesondere sind die mächtigen „Seebodenlehme“ in gleicher Höhenlage massgebend. Im Wesentlichen kommen die Autoren bezüglich der Eiszeiten-Chronologie zu der gleichen Auffassung, die Schindler in seiner Variante 1 vertritt. Die im folgenden verwendeten Bezeichnungen für die Sediment-Einheiten sind SCHINDLER (2004) entnommen.

#### Prä-Möhlin (Prä-GHV)

Die das nordschweizerische Entwässerungsnetz umgestaltende tiefe fluviatile Durchtalung greift, wie überall, auch im Limmat-Linthgebiet bis an und in die Alpen zurück. Die Linth erhält dadurch, ausgehend von der Konfluenzregion von Rhein, Aare, Reuss und Limmat, im Raum des Linthbeckens ein um wohl 100 m abgesenktes Talniveau.

#### Möhlin (GHV)

In dieser grössten und ausgedehntesten aller Vergletscherungen vermag der Linthgletscher vor dem Alpenrand bei einer geschätzten Mächtigkeit von gegen 1000 m Eisbedeckung das in der Molasse gelegene Linthbecken grossräumig auszuschürfen. So liegt der Felsboden nahe am Buechberg (Erdölbohrung Tuggen 1925–28) auf Kote 171,5 m ü. M. Er dürfte deshalb in Beckenmitte auf 100 m ü. M. oder noch tiefer anstehen. Beim Rückschmelzen des Linthgletschers wird die „unterste Moräne“, die bei Kaltbrunn mehrfach nachgewiesen ist, abgelagert. Am Buechberg ist die „unterste Moräne“ offenbar durch spätere Gletscher erodiert worden.

Im anschliessenden Interglazial Mö/Hb („Holstein“) entsteht ein See, in den die warmzeitlichen „Deltaschotter von Günterstall“ (Abb. 14) bei Kaltbrunn von Seitenbächen eingeschüttet werden, was durch pflanzliche Makroreste belegt ist (BROCKMANN-JEROSCH 1910).

#### Habsburg (neu)

Wie die westlich Kaltbrunn bis 50 m mächtige „untere Moräne“ im Hangenden der Deltaschotter andeutet, stösst der

Linthgletscher im Habsburg-Glazial weit vor, wobei das Delta gekappt wird. Nachdem diese Moräne, durch Bohrungen belegt, nach unten bis 300 m ü. M. verfolgt ist, muss das Linthbecken bis in grosse Tiefen ausgeschürft worden sein.

Beim Abschmelzen der Eismassen bildet sich im eisfrei werdenden Linthbecken erneut ein ausgedehnter See. Die fein geschichteten, grauen „Seebodenlehme“ reichen bis mehr als 100 m unter die heutige Linthebene hinunter, respektive bis auf  $\pm 470$  m ü. M. hinauf (Abb. 14). Da sie zudem vom Buechberg über Kaltbrunn bis zum mittleren Walensee vorkommen, kann die grosse Ausdehnung und Tiefe dieses Gewässers abgeschätzt werden. Überguss-Schichten, die das Seeniveau ausweisen, lassen sich am Buechberg weithin feststellen. Es treten keine Eisberg-Sedimente auf, hingegen weisen die höheren Schichten bereits Pflanzenhäcksel und Pollen von Nadelhölzern und Erle auf (WELTEN 1988). Dieser See ist demzufolge ins Spät- bis Postglazial der Habsburg-Vergletscherung einzustufen, wobei er den Übergang zum folgenden Interglazial Hb/Ko („Meikirch“) markiert.

Konkordant folgt im Hangenden der „Schichtstoss mit Schieferkohle“, dessen Pollensequenzen überwiegend Nadelwald anzeigen (WELTEN 1988), das heisst ein kühl-gemässigt Interglazial.

#### Koblentz („Riss“)

Die „Bachtellen-Schotter“, die nach oben gröber werden und eisrandnahe Merkmale aufweisen, werden als Vorstossschotter der nächsten Vergletscherung aufgefasst. Dem vorrückenden Gletscher ist in der Folge die „verschürfte Serie“ anzulasten, indem er aus den liegenden Schichtkomplexen Sedimentpakete aufgreift. Anschliessend überfährt er das gesamte Linthgebiet und lagert eine Grundmoräne ab, die allerdings nicht durchgehend erhalten ist (Abb. 14).

Die darüber folgende Erosionsdiskordanz, die als markante Fuge auftritt, dürfte auf fehlende Ablagerungen des anschliessenden Interglazials Ko/Bf („Eem“) hinweisen.

#### Birrfeld („Würm“)

Über der erwähnten Erosionsdiskordanz folgen in Form der „Gublen-“ und „Oberluft-Schotter“ wieder nach oben gröber werdende, eisrandnahe Vorstossschotter (Abb. 14). Sie sind ihrerseits durch eine Erosionsdiskordanz gekappt, was möglicherweise ihre Einstufung in einen frühglazialen Gletschervorstoss der Birrfeld-Eiszeit zuliesse (KELLER & KRAYSS 1998).

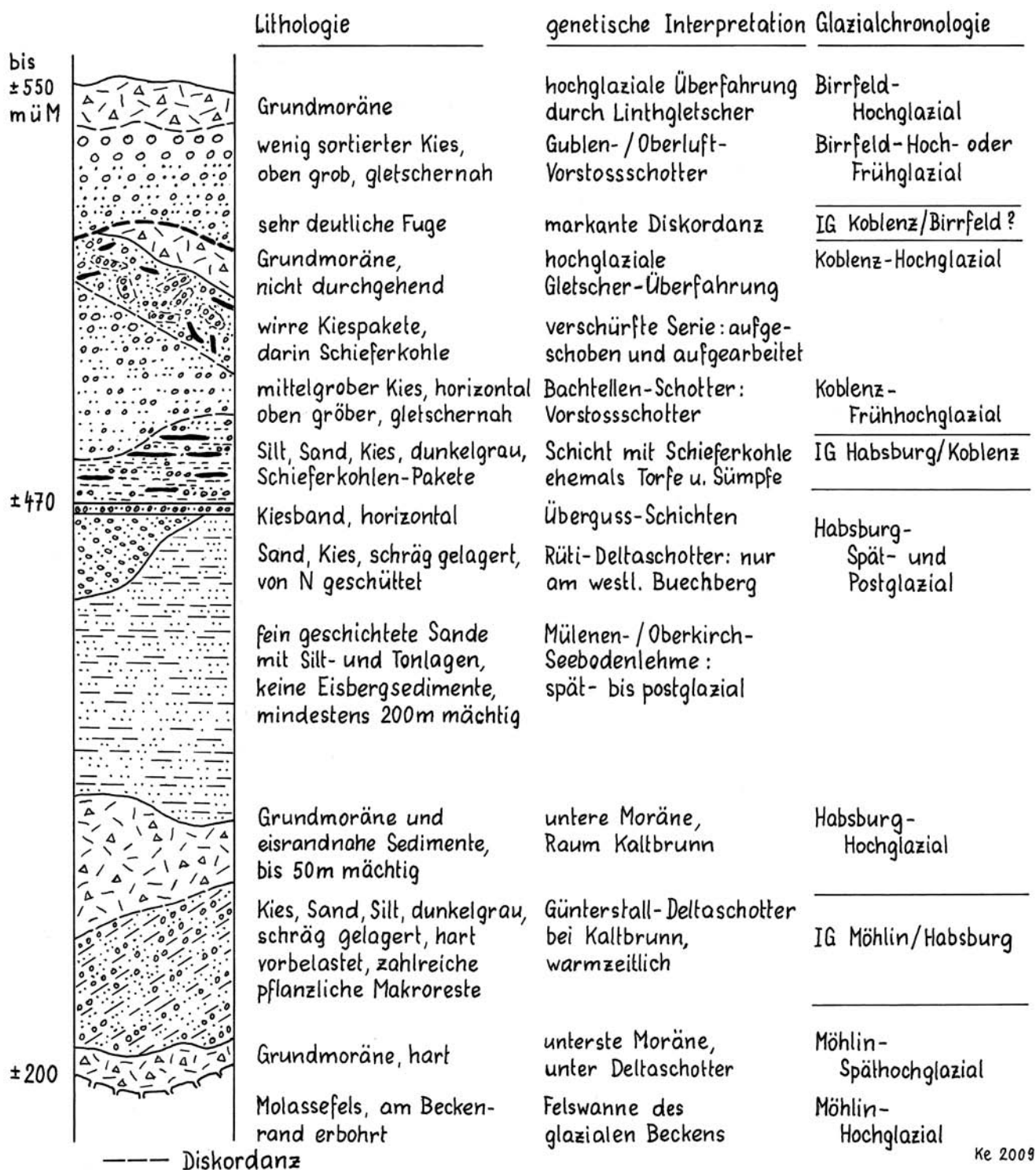
Fast durchwegs sind die Flanken und Inselberge des Linthbeckens von hochglazialer Grundmoräne bedeckt, die überall die oberste Sedimenteinheit darstellt und die demzufolge dem jüngsten Birrfeld-Glazial entspricht. Gegen Westen absteigende Wallmoränenrücken und Schmelzwasserrinnen lassen sich den Abschmelzphasen der letzten Eiszeit zuordnen (KELLER & KRAYSS 2005).

### 3.7 Schlüsselregion Menzingen-mittleres Sihltal

Schon seit längerem war bekannt, dass im Gebiet zwischen Sihl und Lorze mächtige Sedimente liegen, in die man aber nur in den tiefen Flusstälern sowie in etlichen Kiesgruben Einblick hatte. FREI (1912) erkannte, dass die Moränen und die teils verkitteten Schotter im Sihltal und Lorzetobel et-

# Quartärgeologisches Sammelprofil Linthbecken Buechberg und Gebiet Kaltbrunn

kombiniert aus Unterlagen von Schindler 2004



Ke 2009

Abb. 14: Quartärgeologisches Sammelprofil Linthbecken. (Referenzen siehe Abb.).

Fig. 14: Quaternary geological composite section „Linthbecken“. (References see Fig.).

was Altes sein mussten und stellte sie in die grösste Vergletscherung, die er nach den Deckenschottern annahm. In seiner Geologie des Sihltales kam SUTER (1956) zum Schluss, dass die Sihl zwischen Finstersee und Sihlsprung ältere Sedimente quer durchschneidet. Die Vermutung,

dass eine alte Rinne von Richterswil über Menzingen zum nördlichen Zugersee vorliege, konnte GASSMANN (1962) durch Schwereanomalie-Messungen bestätigen. Auf die jüngeren, oberflächennahen Sedimente und Reliefformen der letzten Eiszeit ging MÜLLER (1978) ein. Den mehrfachen

Wechsel der Ablagerungen versuchte HANTKE (1980) mit Oszillationen der Eisränder von Linth- und Reussgletscher während der letzten Eiszeit (Würm) zu erklären.

Klarheit über Umfang und Inhalt der quartären Sedimente zwischen Sihl und Lorze brachten über 30 Bohrungen im Zusammenhang mit Grundwasseruntersuchungen (WYSSLING, G. 2002). Demnach zieht ein tiefes Felstal mit einer Sohle um 300 m ü. M. von Richterswil am Zürichsee nach Westen bis Zug, wo es nach Nordwesten ins Reusstal abbiegt. Die Verfüllung ist komplex aufgebaut und wurde von Wyssling im Detail stratigraphisch untersucht. Aufgrund von Boden- und Verwitterungshorizonten sowie Wechsel von Moränen, Kiesen und Seesedimenten zeigte es sich, dass mehrere Vergletscherungen vorliegen. Er unterschied nach dem stratigraphischen Konzept von SCHLÜCHTER (1993) grösste Vergletscherung, grosse Vergletscherung, vorletzte Vergletscherung und letzte Vergletscherung (WYSSLING, G. 2002: Fig. 1).

### Interpretation

Den durch die Bohrungen gut dokumentierten Untersuchungen und Erkenntnissen von WYSSLING, G. (2002) können die Autoren zum grossen Teil beipflichten. Basierend auf seinen quartärgeologischen Profilen wurde ein Sammelprofil zusammengestellt, das sich auf die tiefste Bohrung im Zentrum der alten Rinne abstützt und das Profil der wichtigen Kiesgrube Chrüzhügel mit einbezieht (Abb. 15).

#### Prä-Möhlin (Prä-GHV)

Die Linth fliesst im Gefolge der tiefen Durchtalung der Nordschweiz nach der Deckenschotterzeit (KELLER 2009) von Rapperswil über den Raum Menzingen ins Reusstal. Das Zürichseebecken existiert vermutlich noch nicht und eine Molasseschwelle über dem mittleren heutigen Zürichsee, ähnlich derjenigen von Hombrechtikon, zwingt die Linth zwischen Höhrönen und Albis nach Westen zu entwässern. Diese Schwelle ist durch die Molasse-Antiklinale zwischen Männedorf und Horgen vorgegeben.

#### Möhlin (GHV)

Dem Gewässernetz folgend stösst der Linthgletscher während der grössten Vergletscherung vor allem nach Westen vor, überschreitet aber auch die Schwellen von Hombrechtikon ins Glatttal und von Männedorf-Horgen ins Limmat. Die Schwellen werden zwar erniedrigt, der Hauptgletscher aber erodiert die Sihl-Lorze-Rinne auf gegen 300 m ü. M. in die Tiefe. Da die Felsbarriere von Möhlin mit der Endlage des helvetischen Gletschers eine Höhe von 260 m ü. M. aufweist, kann die Sihl-Lorze-Rinne, die 80 km flussaufwärts (Rhein-Aare-Reuss-Linth) liegt, nicht fluvial entstanden sein. Dies gilt insbesondere, wenn noch eine seither erfolgte tektonische Hebung berücksichtigt wird. Sie ist nur mit Tiefenerosion durch Schmelzwasser auf dem Grund des Gletschers, das unter hohem hydrostatischem Druck steht, zu erklären. Gemäss Rekonstruktion beträgt die Eismächtigkeit im Sihl-Lorze-Gebiet mindestens 800 m. In der Rückschmelzphase dieser Vergletscherung werden in der tiefen Rinne glaziale Seesedimente und vor allem Grundmoräne abgelagert (Abb. 15, Profil 1).

Das darauf folgende Interglazial Mö/Hb („Holstein“) ist

nicht dokumentiert, könnte aber im Bereich der später glazial deformierten Sande zu suchen sein.

#### Habsburg (neu)

Über den glazial deformierten Sanden folgen mächtige Grundmoränen, die durch sandige Zwischenschichten unterteilt sind. Sie sind wohl Oszillationen des Linthgletschers, der durch den Reussgletscher am Vorrücken behindert wird, zuzuschreiben. Die abrupt ändernde Zusammensetzung im Gesteinsinhalt dieser mächtigen Moränen (WYSSLING, G. 2002) ist ein Hinweis auf den in dieser Eiszeit starken Gesteinsabtrag im Alpenraum, der auch in den umfangreichen Aufschüttungen der Hochterrassen zum Ausdruck kommt. Mit dem Abschmelzen bildet sich in der Sihl-Lorze-Rinne ein zuerst auf 570 m ü. M. spiegelnder proglazialer See (Abb. 15, Profil 1). Als Stauer wirken der Linth- und der Reussgletscher in einem Rückschmelz-Stage. Das hoch liegende Gewässer fügt sich zwanglos in das generell hoch liegende Entwässerungsnetz der Hochterrasse mit seinen Vorlandseen ein.

Der höhere und jüngere, über Deltaschottern auf 589 m ü. M. gelegene See bezeugt mit warmzeitlichen Pflanzenresten und Schieferkohlen das anschliessende Interglazial. WYSSLING, G. (2002) möchte darin „Holstein (mit *Pterocarya*)“ sehen. Demgegenüber kommt für SIDLER (1988) aufgrund des Polleninhaltes – wärmeliebende Florenelemente, aber keine *Pterocarya* – am ehesten „Eem“ in Frage. Für die Autoren ist daher „Holstein“ auszuschliessen, während nichts gegen „Meikirch“ (IG Hb/Ko) spricht.

#### Koblentz („Riss“)

Der aus dem Linthbecken vorrückende Linthgletscher muss am östlichen Eingang der bereits hoch verfüllten Sihl-Lorze-Rinne die Höhenkote 600 m erreichen, bis er sich hier stauend auswirkt. Daher überfährt er die tiefer liegende Schwelle von Hombrechtikon und ebenso diejenige von Männedorf-Horgen mit grosser Eismächtigkeit, sodass jetzt die Exaration und die Ausräumung des mittleren Zürichseebeckens einsetzt. In der Sihl-Lorze-Rinne werden die „Sihl-Schotter“ und nordwestlich Zug die „Blickensdorfer-Schotter“ als Vorstössschotter akkumuliert. Ihre stratigraphische Lage über mächtigen Seesedimenten, ihr unvermitteltes Einsetzen und ihr besonderer Habitus sind auffallend vergleichbar mit den „Aathal-Schottern“ im Glatttal und den „Bachtellen-Schottern“ im Linthbecken. Die hangende Grundmoräne ist Zeichen der hochglazialen Eisüberföhrung. Während dem Abschmelzen werden gebietsweise fluvio-glaziale Schotter abgelagert.

Ein in etlichen Bohrungen nachgewiesener, teils mehrere Meter mächtiger Verwitterungshorizont und Paläoboden findet sich auch in der sedimentstratigraphisch wichtigen Kiesgrube Chrüzhügel (Abb. 15, Profil 2). Er wird von WYSSLING, G. (2002) als „Meikirch“ betrachtet, von den Autoren aber als „Eem“ (IG Ko/Bf) eingestuft. Dies aufgrund der tiefen Verwitterung, der weiten Verbreitung und der Datierungen von Schieferkohlen in den hangenden Ablagerungen.

#### Birrfeld („Würm“)

Über die prä-hochglaziale Periode der letzten Eiszeit geben vor allem die differenzierten Schichtabfolgen in der Kiesgru-

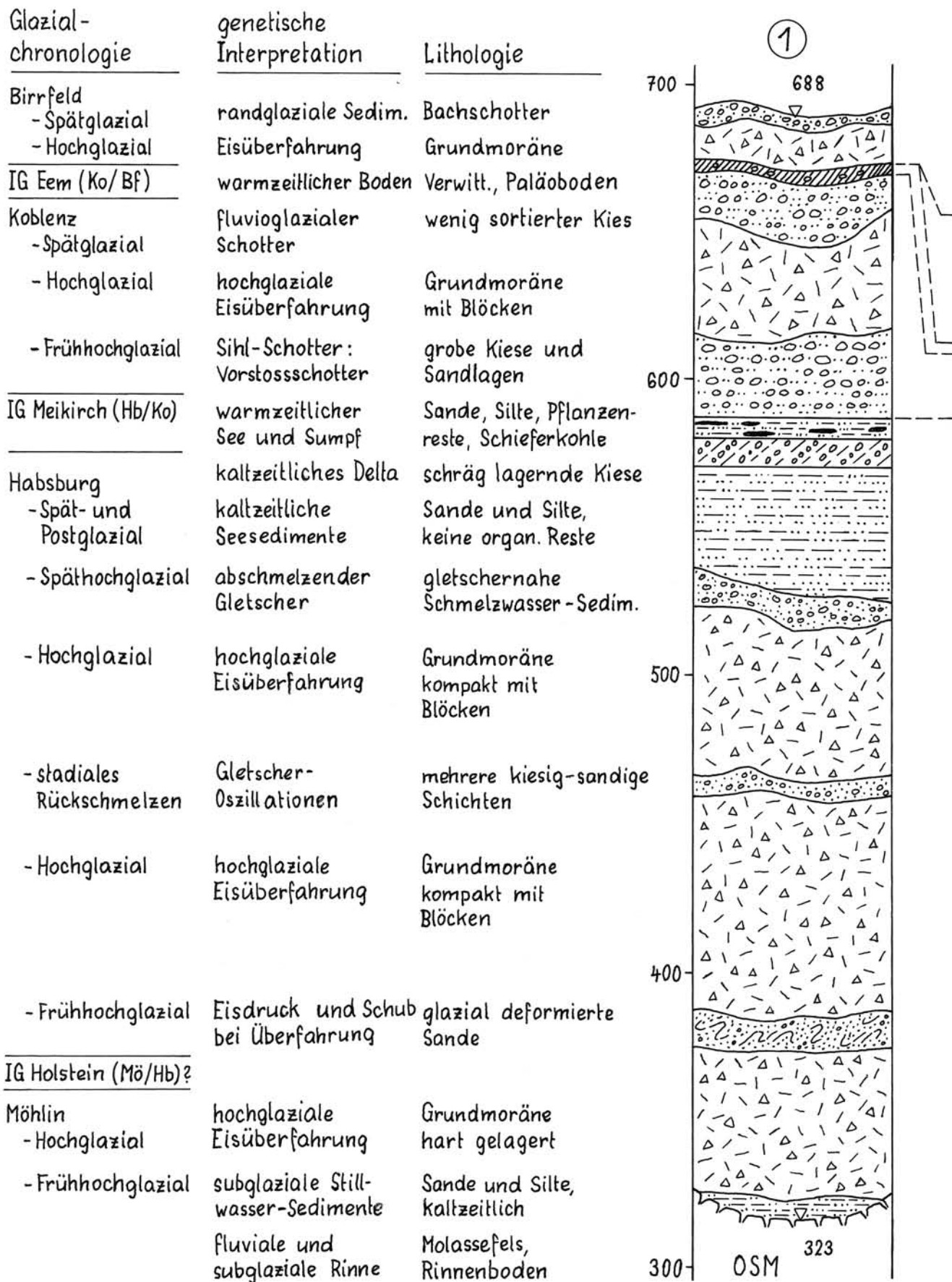
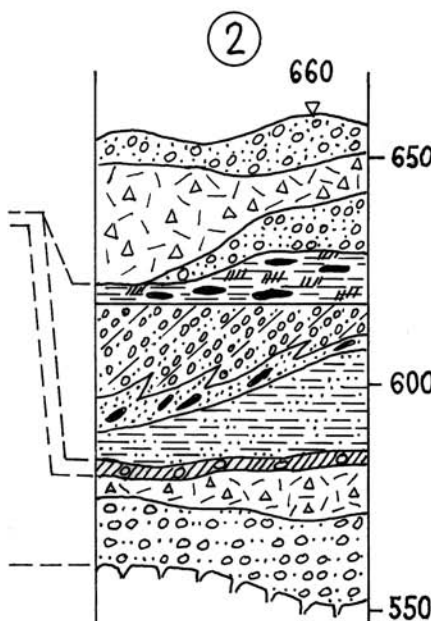


Abb. 15: Quartärgeologisches Sammelprofil im Raum Menzingen-Sihltal. (Referenzen siehe Abb.). – Abb. 15/1: Bohrung Neuzuben KB 109 im Bereich der tiefen Felsrinne.

Fig. 15: Quaternary geological composite section "Menzingen-Sihltal" (References see Fig.). – Fig. 15/1: Drill core "Neuzuben KB 109" in the area of the deep rock channel.



Lithologie	genetische Interpretation	Glazial-chronologie
randglaziale Schotter	glaziale Sedimente	Birrfeld-Hochglazial
Grundmoräne	Eisüberfahung	
eisrandnahe Kiese	Vorstossschotter	
Silte, organ. Material, Schieferkohle	warmzeitliche Seesedimente	Bf- Interstadial
schräg gelag. Kiese	kaltzeitliches Delta	- Stadial
Sande, Schieferkohle	warmzeitl. Seesed.	- Interstadial
Sande, Silte	kaltzeitl. Seesed.	- Stadial (Früh-Bf)
starke Verwitterung	warmzeitl. Boden	IG Eem (Ko/Bf)
Grundmoräne	Eisüberfahung	Koblenz-Hochglazial
grobe Kiese, Sande	Sihl-Schotter : Vorstossschotter	- Frühhochglazial

Keller 2009

## Quartärgeologische Sammelprofile Raum Menzingen-Sihltal

zusammengestellt nach Unterlagen von Wyssling, G. (2002)

- ① Bohrung Neuzuben KB 109  
im Bereich der tiefen Felsrinne
- ② Kiesgrube Chrüzhügel süd. Sihlbrugg

be Chrüzhügel Auskunft (Abb. 15, Profil 2). Die Sande mit eingelagerten Schieferkohlepaketen, aber bei fehlenden Bodenbildungen, widerspiegeln kaum ein Interglazial (gemäss WYSSLING, G. „Eem“), sondern ein kürzeres Ereignis. Die <sup>14</sup>C-Datierung mit „deutlich älter als 56.000 Jahre“ dürfte ein frühes Interstadial („Frühwürm“) repräsentieren. Nach der Deutung von WYSSLING, G. müssten dann die liegenden, geringmächtigen, kaltzeitlichen Seesedimente in ±600 m ü. M. das gesamte vorletzte Glazial „Koblenz“ umfassen. Insbesondere würde auch die zu erwartende Grundmoräne fehlen.

Ähnliches gilt für „organisches Material und Schieferkohle“ in den Überschwemmungssedimenten über dem Delta, indem die Datierung mit „jünger als 58.000 Jahre“ das Mittel-Birrfeld-Interstadial („Mittelwürm“) ausweist, was auch WYSSLING, G. feststellt. Das Birrfeld-Hochglazial ist durch weitverbreitete Grundmoränen und Horizonte von randglazialen Schottern belegt. Zahlreiche Rinnensysteme um Menzingen lassen das etappenweise Abschmelzen im Späthochglazial erkennen (KELLER & KRAYSS 2005: Abb. 5).

### 3.8 Schlüsselregion Glatttal

Unter Glatttal wird diejenige Talung verstanden, die sich über 40 km von der Molasse-Schwelle von Hombrechtikon (nördlich Rapperswil) über Kloten und Bülach bis an den Rhein hinzieht. Westlich ist sie durch den Pfannenstiel und die Lägeren begrenzt, östlich durch das Hörnli-Bergland

Abb. 15: Quartärgeologisches Sammelprofil im Raum Menzingen-Sihltal. (Referenzen siehe Abb.). – Abb. 15/2: Kiesgrube Chrüzhügel südlich Sihlbrugg.

Fig. 15: Quaternary geological composite section “Menzingen-Sihltal” (References see Fig.). – Fig 15/2: Gravel pit “Chrüzhügel” south of Sihlbrugg.

und seine nordwestlichen Ausläufer. Im gesamten Glatttal kommen oberflächlich ausser einigen Molassekuppen nahezu nur letzteiszeitliche und jüngere Bildungen vor. Eine wichtige Ausnahme sind die teils stark verkitteten Aathal-Schotter östlich Uster und sporadisch weiter nordwärts. WEBER (1901) hat diese erstmals untersucht, die Bezeichnung eingeführt und sie der „Riss“-Eiszeit zugeordnet. JUNG (1969) hat die Morphogenese der Region Greifensee-Pfäffikersee seit der letzten Eiszeit aufgrund der Reliefformen und der oberflächennahen Sedimente bearbeitet.

An mehreren Lokalitäten vorkommende Schieferkohlenflöze (Dürnten, Gossau ZH usw.) gaben schon früh Anlass zur Erkenntnis einer älteren Eiszeit, überlagert von Warmphasen mit Schieferkohle und überfahren durch die Gletscher der letzten Eiszeit (HEER 1865). Jüngere pollenanalytische Untersuchungen und <sup>14</sup>C-Datierungen bestätigten in den Grundzügen dieses Bild (WELTEN 1982, SCHLÜCHTER ET AL. 1987). Die eisrandnahen Schüttungen im Liegenden der Schieferkohlen von Gossau zeigen in einem Modell in KELLER & KRAYSS (1998: Abb. 4), dass ein Vorstoss des Linthgletschers im „Frühwürm“ die Schwelle von Hombrechtikon erreichte, diese aber nicht überschritt.

Erst die zahlreichen Bohrungen in der 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts brachten Aufschluss über die quartären Beckenfüllungen. Das Glatttal erweist sich als typisches übertieftes Vorlandbecken mit Felskoten zwischen 200 und 300 m ü. M. im östlichen Hauptast und um 350 m ü. M.

im westlichen Nebenast. Bemerkenswert ist, dass vorwiegend über dem Hauptast zwischen Greifen- und Pfäffikersee eine Zone mit bedeutenden Hügelkuppen verläuft. Hier sind ältere, das Becken füllende Sedimente erhalten geblieben (HALDIMANN 1978, WYSSLING, L. & WYSSLING, G. 1978, KEMPF 1986, WYSSLING, G. 2008). Die Beckenbildung des Hauptastes sieht HALDIMANN (1978) aufgrund der komplexen Sedimentabfolge in der „Riss“-Eiszeit, diejenige des Greifenseebeckens im „Würm“. Hingegen stellt WYSSLING, G. (2008) das tiefere und grössere Becken von Uster in die Zeit des von SCHLÜCHTER (1993) postulierten morphogenetisch-tektonischen Ereignisses im Alpenvorland, das heisst in den Zeitraum nach der Ablagerung der Deckenschotter. Die fossilreichen, warmzeitlichen Seesedimente im Greifenseebecken, untermauert durch Pollenanalyse (WELTEN 1982), werden als Eem-zeitlich angesprochen. Das Becken selbst muss deshalb nach WYSSLING, G. (2008) älter sein und wird als Zungenbecken der vorletzten Eiszeit betrachtet. Ein Moränenvorkommen im Liegenden der Aathal-Schotter südlich Kloten nimmt GRAF (2002) zum Anlass, eine eigenständige Vergletscherung zu postulieren, die er als Hagenholz-Vorstoss anspricht.

## Interpretation

### Möhlin (GHV)

Die Eisströme der grössten Vergletscherung im Nordalpen-Vorland der Schweiz schürften entlang der fluviatil einerozierten grossen Flusstäler tiefe Becken aus, so vermutlich auch das östliche Hauptbecken im Glatttal mit einer Länge von mehr als 30 km.

### Habsburg (neu)

Im Glatttal stösst der Linthgletscher bis nördlich Bülach vor. Die Eisfront ist durch die Wurzeln der Hochterrasse gegeben, deren Schüttung hier gemäss den Relikten einsetzt. Alpenwärts fehlen im Glatttal generell Hochterrasse (Abb. 4b). Das Glatttalbecken wird durch die vorrückenden Eismassen vertieft. Basale Grundmoränenreste zeugen von diesem Gletscher, wobei auch einige Rückschmelzschotter zum Absatz kommen (Abb. 16).

Später entsteht vor der zurückschmelzenden Eisfront ein das ganze Glatttal erfüllender Zungenbeckenensee mit hoch liegendem Spiegel auf 440 m ü. M. im Norden und um 500 m im Süden sowie mit Tiefen bis 200 m. Dieser See ist durch die mächtigen, kaltzeitlichen Seesedimente belegt, die sich im gesamten Hauptbecken nachweisen lassen. Das auffallend hohe Niveau dieses Sees ist bedingt durch den ebenso hoch liegenden Ansatz der Hochterrasse, deren Top die Abflusshöhe steuert (Abb. 4b). Eine tektonische Anhebung im Süden, die den scheinbar südwärts ansteigenden Seespiegel verursacht hätte, ist zusätzlich noch in Betracht zu ziehen.

### Koblentz („Riss“)

Der Beginn des nächsten glazialen Zyklus ist nicht direkt durch interglaziale Bildungen belegt. Hingegen kommen in den basalen Schichten der Aathal-Schotter aufgegriffene Pflanzenhäcksel und Schneckenresten vor als Hinweis auf das Interglazial Hb/Ko („Meikirch“).

Die Aathal-Schotter werden vor der vorrückenden Front

des Linthgletschers, der wiederum die Schwelle von Hombrechtikon überwunden hat, als Vorstossschotter zwischen Gossau ZH und Kloten abgelagert. Sie sind horizontweise gut verkittet und enthalten in den oberen Serien bereits moränenartige Einlagerungen. Im Hochglazial überfährt der Gletscher die Aathal-Schotter und lagert auf ihnen Moräne ab. Auf der westlichen Seite des Glatttals jedoch kommt es zur völligen Ausräumung und zur Exaration des Nebenbeckens unter dem Greifensee, welches zum Teil noch mit Moräne ausgekleistert wird (Abb. 16).

Im Hügelgebiet südlich Kloten (Hagenholz-Hard) ist zwischen den alten Seesedimenten und den Aathal-Schottern ein Moränenpaket (HALDIMANN 1978, LONGO 1978, KEMPF 1986) eingeschoben. Es markiert einen Eisvorstoss, der noch vor oder zusammen mit der Schüttung der Aathal-Schotter erfolgt ist. Anzeichen für eine durch Warmzeiten abgetrennte, eigenständige Vergletscherung (GRAF 2002) sind hier jedoch nicht zu erkennen.

### Birrfeld („Würm“)

Während dem auf Koblenz folgenden Interglazial Ko/Bf („Eem“) wird das eisfrei gewordene Greifenseebecken von einem Ur-Greifensee mit Spiegelhöhe um 450 m ü. M. erfüllt. Basale, fossilreiche Seesedimente und Pollen belegen das Eem. Ein mit 46.900 J. v. h. datierter Holzfund in den oberen Seesedimenten (WYSSLING, L. & WYSSLING, G. 1978) ist ins mittlere Birrfeld-Glazial („Mittelwürm“) zu stellen (Abb. 16). Zusammen mit den liegenden Deltaschottern von Gossau ZH belegen sie Eisfreiheit im Glatttal im Frühglazial (KELLER & KRAYSS 1998: Abb. 4).

Im Hochglazial überfuhr der Linthgletscher das gesamte Glatttal und hinterliess über den Aathal-Schottern und der älteren Moräne sowie über den Greifensee-Seesedimenten eine ausgedehnte Moränendecke (Abb. 16). Markante aufsitzende Wallmoränenzüge zeigen das etappenweise Zurückschmelzen des Linthgletschers im Späthochglazial (KELLER & KRAYSS 2005; WYSSLING, G. 2008).

## 3.9 Zusammenfassung Schlüsselregionen

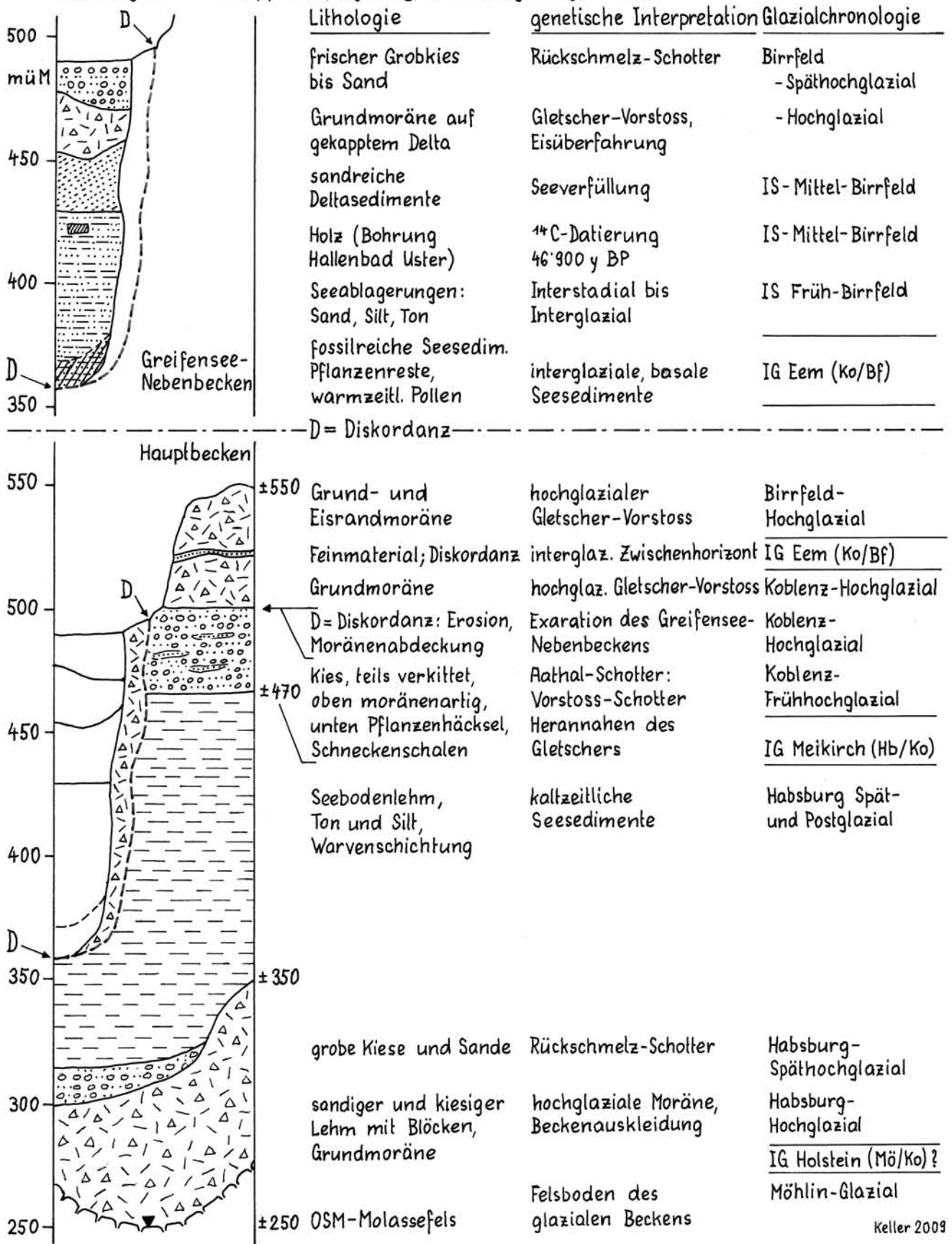
Die Befunde aus den sieben Schlüsselregionen zeigen, dass sich sowohl unter den Aspekten der Morphologie als auch der Sedimentologie eine plausible Gliederung in vier Grossvergletscherungen gemäss dem Modell der vier Grossglaziale durchführen lässt. Die ganze Abfolge beginnt am Ende der „Grossen Ausräumungsphase“ im Bodenseeraum, die sich dem „Komplex der Tieferen Deckenschotter“ anschliesst. Es ist somit davon auszugehen, dass in der Nordschweiz die mittel- und spätpleistozäne Eiszeitenfolge gegenüber dem Penck'schen Schema um die Glaziale Möhlin und Habsburg zu erweitern ist.

Mit drei Darstellungen werden im Folgenden die Resultate der detaillierten Untersuchungen in 3.2 bis 3.8 zusammengefasst und kommentiert.

Ein **generalisiertes Profil** vom Linthbecken über das Glatttal ins Hochrheintal (Abb. 17, Profilsur in Abb. 5) zeigt die Auswirkungen der glazialen Prozesse am Alpenrand, im zentralen Mittelland sowie im Bereich der grossen Sammelrinnen vom Bodensee zur Aare. Zwei Haupttypen eiszeitlicher Relikte treten in Erscheinung: Einerseits Sedimentstapel in tiefen Becken als Archive glazialer Ablage-

# Quartärgeologisches Sammelprofil Glatttal Raum Uster

Unterlagen: Kempf 1986, Wyssling, L. 1994, Wyssling, G. 2008



Keller 2009

Abb. 16: Quartärgeologisches Sammelprofil Glatttal Raum Uster. (Referenzen siehe Abb.).

Fig. 16: Quaternary geological composite section „Glatttal region of Uster“. (References see Fig.).



rungsverhältnisse, andererseits Talrinnen und Schotterstränge als Zeugen eisrandlicher und proglazialer Morphogenese. Einfallende Eisoberflächen markieren die Frontlagen der vier Grossvergletscherungen. In den Beckensequenzen weisen Signaturen für Holstein, Meikirch und Eem auf die trennenden Warmzeiten hin.

Zur **Entwicklung des Reliefs** während den letzten Grossvergletscherungen gibt eine West-Ost-Projektion im Abschnitt des Hochrheins zwischen Schaffhausen und Möhlin (Abb. 18) einen Überblick. Eine tiefe Felsrinne (Basis HTo) markiert den Abschluss der Erosionsprozesse, die seit dem Ende der Deckenschotterzeit, der Umlenkung des Alpenrheins und noch während der Möhlin-Eiszeit dominiert hatten. Über dieser Basis bauten sich die Habsburg-Schotter mit einer Mächtigkeit von 70–140 m bis zur Toplage HTo der Hochterrasse auf. Unsicher ist die Höhenlage der Schotterbasis der anschliessenden Koblenz-Vergletscherung (Basis HTu). Sie verläuft in den nicht ausgeräumten Habsburg-Schottern 40–50 m über deren Basis (Basis HTo). Besser nachzuweisen ist jedoch die Abflusslinie des Koblenz-Maximalstandes HTu vom Sander bei Schaffhausen bis nach Möhlin. Während des nachfolgenden Interglazials wird die Felssohle, zum Teil in neuen Rinnen, noch etwas tiefer eingeschnitten (Basis NT). Sie bildet die Basis der Niederterrassenschotter, deren maximale Abflusslinie vom Rafzerfeld ausgeht.

Die Abb. 19 zeigt eine **Synopsis zur Morphogenese und Sedimentation**: Horizontal geordnet nach Schlüsselregionen, vertikal nach der Abfolge der vier Grossvergletscherungen. Dargestellt sind die glazialen Prozesse in der jeweiligen Schlüsselregion. Die vertikalen Pfeile beziehen sich auf Akkumulation oder Erosion der Sedimente in Rinnen und Becken. Schotter sind gelb eingefärbt, Moränen grün, Seeablagerungen blau. Rot verweist auf die Felssohlen am Anfang oder Ende des betreffenden Glazials. Für Details wird auf die Profile in den Abschnitten 3.2 bis 3.8 verwiesen.

Für das **Möhlin-Glazial** sind die sedimentologischen Relikte eher spärlich vertreten. Auch über die Höhenlagen der Felssohlen in den Rinnen und Becken ist wenig bekannt. Demgemäss sind Aussagen über den Anteil der fluviatilen oder glazialen Ausräumung der Nordschweiz und des Bodenseebeckens seit der Deckenschotterzeit zum Teil noch spekulativ. Aus der Sicht der Autoren ist jedoch die erosive Auswirkung des von der Donau zur Aare umgelenkten Alpenrheins von massgebender Bedeutung (KELLER 2009).

Zwei Hauptelemente stehen sich in der Zeile des **Habsburg-Glazials** gegenüber: 1. die akkumulativen Prozesse in den Tälern der Aare und des Rheins, die zur markanten Aufsotterung bis auf das Niveau der oberen Hochterrasse HTo führen (vergl. Abb. 4b). 2. die in den tiefen, gletscherinternen Becken weiter schreitende glaziale Ausschürfung, belegt durch voluminöse Depots von Grundmoräne an deren Basis, sowie die Überlagerung durch mächtige Seesedimente. An dieser Zweifachheit zeigt sich klar die morphogenetische Wirkung einer Vorlandvergletscherung. Für das Spätglazial ist es bedeutungsvoll, dass die hoch reichenden Sander und Endmoränen am Aussenrand der Becken ausgedehnte Seen aufstauten. In den Schlüsselregionen Linthbecken und Sihltal-Menzingen zeichnet sich der Übergang ins folgende Interglazial mit Deltaschottern und Schieferkohlen ab.

Im **Koblenz-Glazial** kommt es in sämtlichen Schlüsselregionen zur Ablagerung von Moränenmaterial, wobei das Vorkommen bei Möhlin dem Wehragletscher aus dem Schwarzwald zugeschrieben wird. Nachdem in den Rinnen die interglaziale Eintiefung die Felssohle nirgends erreichte, ist die Aufsotterung eher gering. Eine Ausnahme liegt allerdings bei Schaffhausen vor, wo sich ein hoch reichender Sander entwickelt haben muss (Abb. 18). Im Linthbecken ist in den Schottern eine markante Diskontinuität festzustellen und im Glatttal eine vermutlich spätglaziale Beckenbildung. Die schematische Darstellung in dieser Zeile darf nicht darüber hinwegtäuschen, dass zum Eisaufbau und zum Hochglazial verschiedene Fragen noch ungelöst sind. So postuliert etwa GRAF (2002) für diesen Zeitraum einen Hagenholz-Vorstoss.

Für das **Birrfeld-Glazial** sind Geometrie und Morphogenese des Reuss-, Linth- und Rheingletschers für die Stände des Maximums und des anschliessenden Eisabbaus gut belegt und die Gletscher rekonstruierbar. Über die Vorgänge im Früh- und Mittel-Birrfeld („Früh- und Mittelwürm“) sowie während dem hochglazialen Eisaufbau besteht aber noch immer nicht wünschenswerte Klarheit. Bei Möhlin und an der Aare-Rhein-Konfluenz lässt sich in zum Teil neuen Rinnen der für einen grossglazialen Zyklus typische Aufbau von Vorstossschottern und die Wiedererosion bis auf die Felssohle erkennen. Komplizierter ist die Sedimentabfolge in Schaffhausen, wo über Basisschottern interstadiale Kiese und im Hangenden Seesedimente auftreten. Eine Sequenz interstadialer Sedimente ist im Sihltal-Menzingen unter der hochglazialen Moräne nachgewiesen, ebenso im Glatttal. Es weisen somit verschiedene Befunde auf einen „frühwürmzeitlichen“ Gletschervorstoss hin, der in KELLER & KRAYSS (1998) einem **Untersee-Stadial** zugewiesen wurde. Die Autoren sehen jedoch davon ab, diesem Eisvorstoss den Rang eines Grossglazials beizumessen.

Knapp gefasst soll noch auf die Interglaziale, die die Grossglaziale trennen, eingegangen werden.

Das älteste **Interglazial Möhlin/Habsburg** (IG Mö/Hb) zeichnet sich im Linthbecken (Abb. 14) durch pflanzliche Makroreste in den Günterstall-Deltaschottern ab. Ein entsprechendes IG Mö/Hb könnte allenfalls im Profil Menzingen (Abb. 15/1) an der Basis deformierter Sande zu lokalisieren sein.

Hinweise auf ein **Interglazial Habsburg/Koblenz** (IG Hb/Ko) finden sich in allen Schlüsselregionen. In Möhlin (Abb. 7) wird es durch einen Paläoboden über Habsburg-Rheintalschottern angedeutet, an der Konfluenz Aare-Rhein (Abb. 9) durch Bodenrelikte und verwitterte Hochterrassenschotter unter Koblenz-Moräne. Auf interglaziale Erosion verweisen bei Schaffhausen (Abb. 10 und 11) die neu angelegte Neuhauserwald-Rinne, bei Baden (Abb. 12 und 13) die Belvédère-Rinne. Belege für das IG Hb/Ko liegen im Linthbecken (Abb. 14) sowie bei Menzingen (Abb. 15/1) in Form von Schieferkohlen-Horizonten und Pflanzenresten vor. Im Glatttal schliesslich lässt sich dieses IG aufgrund von Pflanzenhäcksel und Schneckenschalen vermuten, die in die hangenden Koblenz-Schotter eingearbeitet worden sind (Abb. 16).

Wie im süddeutschen Alpenvorland sind in der Nordschweiz eindeutige Relikte des **Eem-Interglazials**, das hier als **Interglazial Koblenz/Birrfeld** (IG Ko/Bf) bezeichnet

# Generalisiertes Profil Hochrhein – Linthbecken (Profilspur siehe Abb. 5)

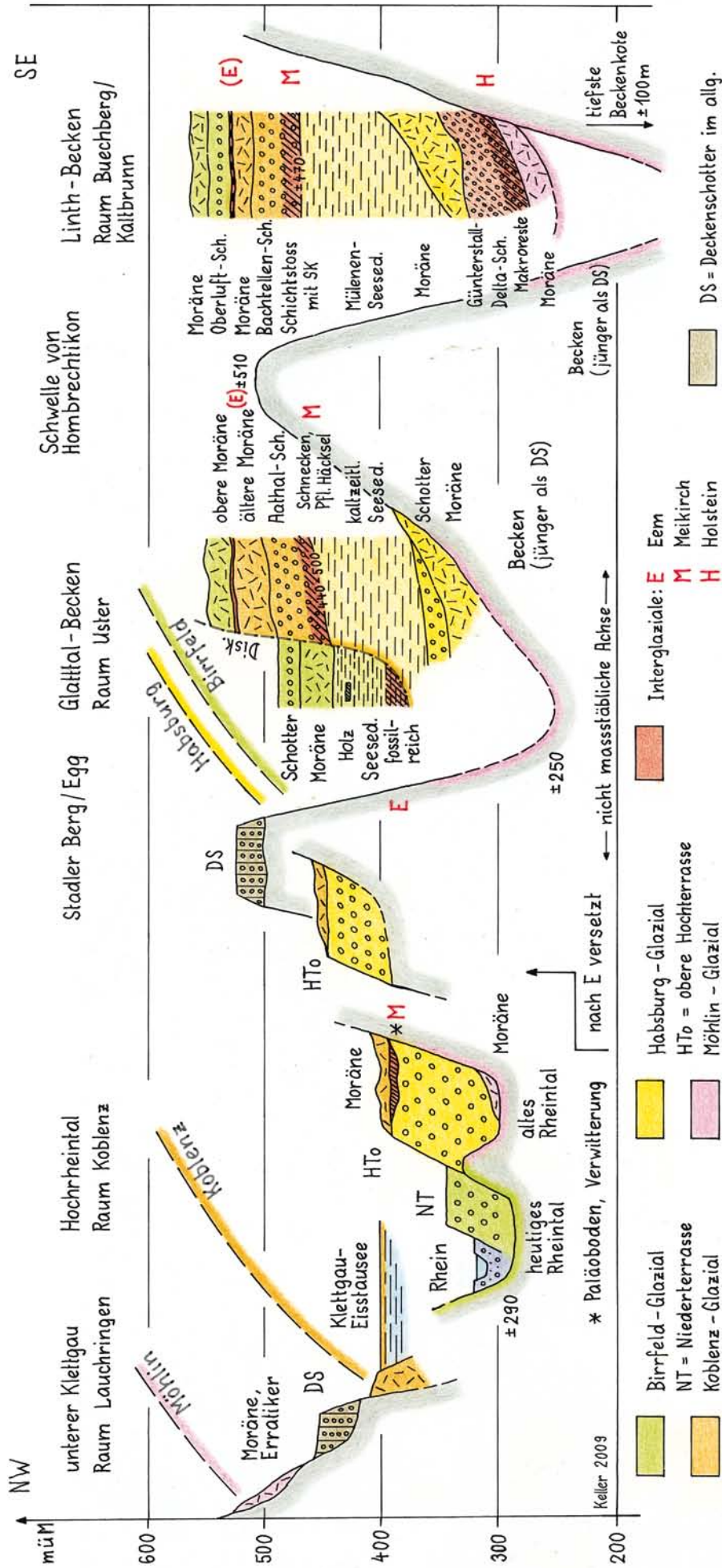


Abb. 17: Generalisiertes Profil Hochrhein-Linthbecken. Es zeigt für Becken typische Sedimentstapel (rechts) gegenüber den Zeugen der Morphogenese in Talrinnen (links).  
 Fig. 17: Generalized profile „High Rhine-Linthbecken“. It shows typical sequences of glacial sediments in basins (right) in contrast to relics of morphogenesis in incised valleys (left).

wird, nicht häufig zu beobachten. Bei Schaffhausen sind es die Flurlinger Kalktuffe (Abb. 11), denen aufgrund einer U/Th-Datierung ein späteemzeitliches Alter von 102.000 y BP beigemessen wird (GRAF 2002). Im Glattal wurden warmzeitliche fossilreiche Seesedimente in stratigraphischer Prä-Birrfeld-Lage (Abb. 16) erhöht. Im Raum Menzingen weisen gemäss den Abb. 15/1 und 15/2 verwitterte Paläoböden auf das IG Ko/Bf hin, ein Befund, der auch für das Sammelpprofil Möhliner Feld (Abb. 7) gelten kann. Morphologisch wird das IG Ko/Bf durch die Eintiefung neuer Rinnen bis auf die Felssohle bei Koblenz (Abb. 8 und 9), Schaffhausen (Abb. 10 und 11) und Baden (Abb. 12 und 13) angedeutet.

#### 4 Chronostratigraphie

Gemäss den Untersuchungen und Auswertungen zur Sedimentstratigraphie und zur Morphostratigraphie mit Schwergewicht Schlüsselregionen sind für das mittlere und späte Pleistozän der Nordschweiz vier Grossglaziale nachweisbar. Ausstehend ist eine Chronostratigraphie, das heisst eine zeitlich fixierte Einstufung der Eiszeiten. Im Fol-

genden wird dazu ein Versuch unternommen und in einer Grafik dargestellt (Abb. 20).

Die in den Schlüsselregionen im Kapitel 3 mehrfach genannten Interglaziale Möhlin/Habsburg, Habsburg/Koblenz und Koblenz/Birrfeld finden ihre Entsprechungen im Thalgut (WELTEN 1988, SCHLÜCHTER 1989), Meikirch (PREUSSER ET AL. 2005) und Gondiswil (WEGMÜLLER 1992). Alle drei Interglaziale sind für die Nordschweiz massgebend und können in den Schlüsselregionen aufgrund der Sedimentabfolgen wahrscheinlich gemacht werden. Für Thalgut wird aufgrund des bedeutenden Pterocarya-Vorkommens Zeitgleichheit mit Holstein angenommen. Für den Meikirch-Komplex liegen direkte Datierungen vor (PREUSSER ET AL. 2005) und für Gondiswil ist gemäss der pollenanalytischen Untersuchungen von WEGMÜLLER (1992) eindeutig auf Eem zu schliessen.

Wenn sich das 3. Kapitel ausschliesslich mit Befunden aus den Schlüsselregionen der Nordschweiz befasst, so ist es doch zur Erstellung einer regionalen Chronostratigraphie unumgänglich, die Grundlagen dazu nicht nur im alpinen, sondern auch im kontinentalen Zusammenhang zu suchen. Für die Nordschweiz ist ein solcher im umfassenden

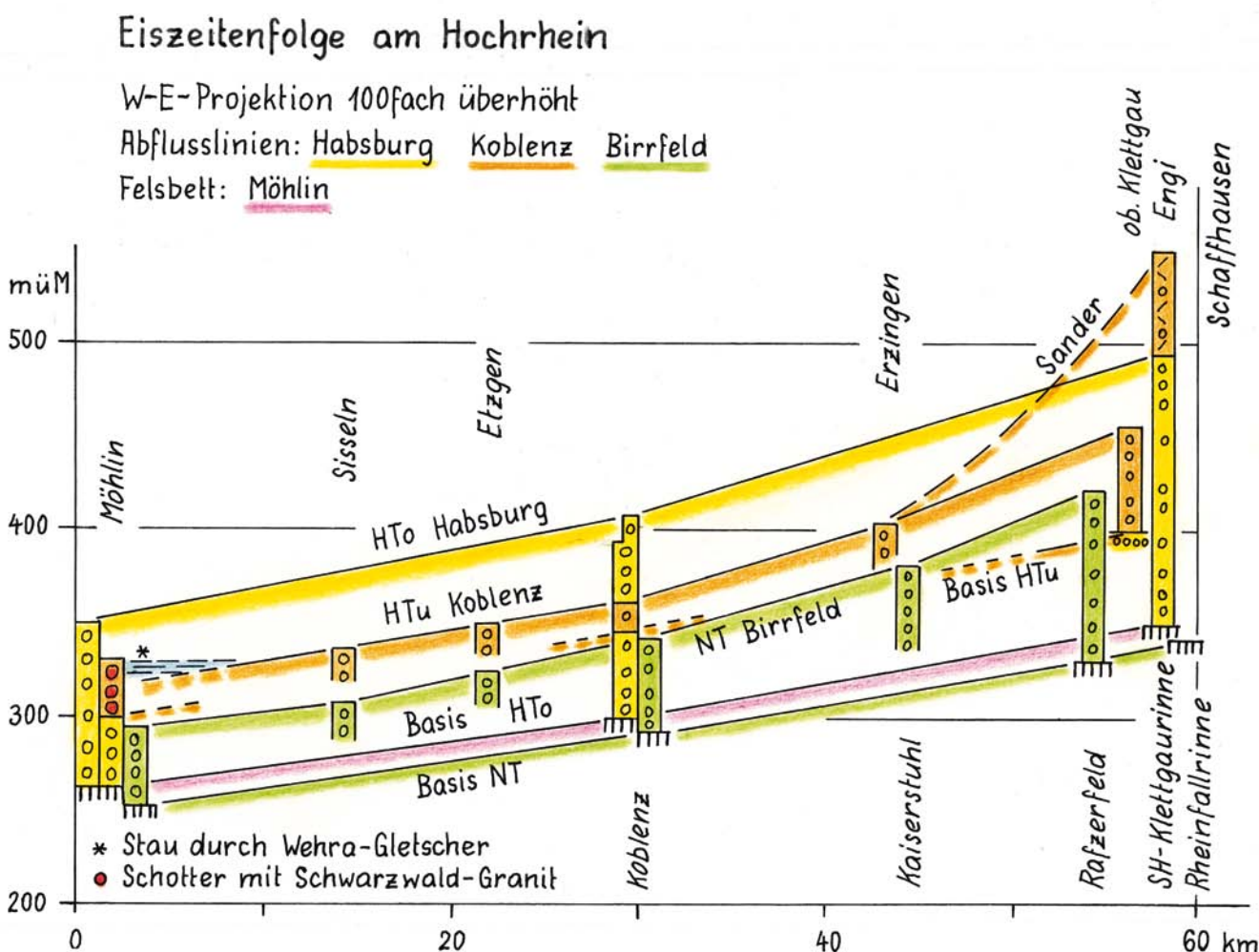


Abb. 18: Eiszeitenfolge am Hochrhein. W-E-Projektion Möhlin-Schaffhausen. Die Abfolge obere Hochterrasse (HTo) – untere Hochterrasse (HTu) – Niederterrasse (NT) dokumentiert eine normale Einschachtelung der Terrassen sensu Penck. Demgegenüber liegen die Felssohlen für HTo und NT „regelmässig“ auf angenähert gleichem Niveau.

Fig. 18: Succession of glacials along the High Rhine. W-E-projection „Möhlin-Schaffhausen“. The sequence Upper High Terrace (HTo) – Lower High Terrace (HTu) – Low Terrace (NT) is a record of normal deepening of terraces sensu Penck. On the other hand, irregularly, the rockfloors of HTo and NT show the same level nearly.

# Sediment-Sequenzen und Prozesse

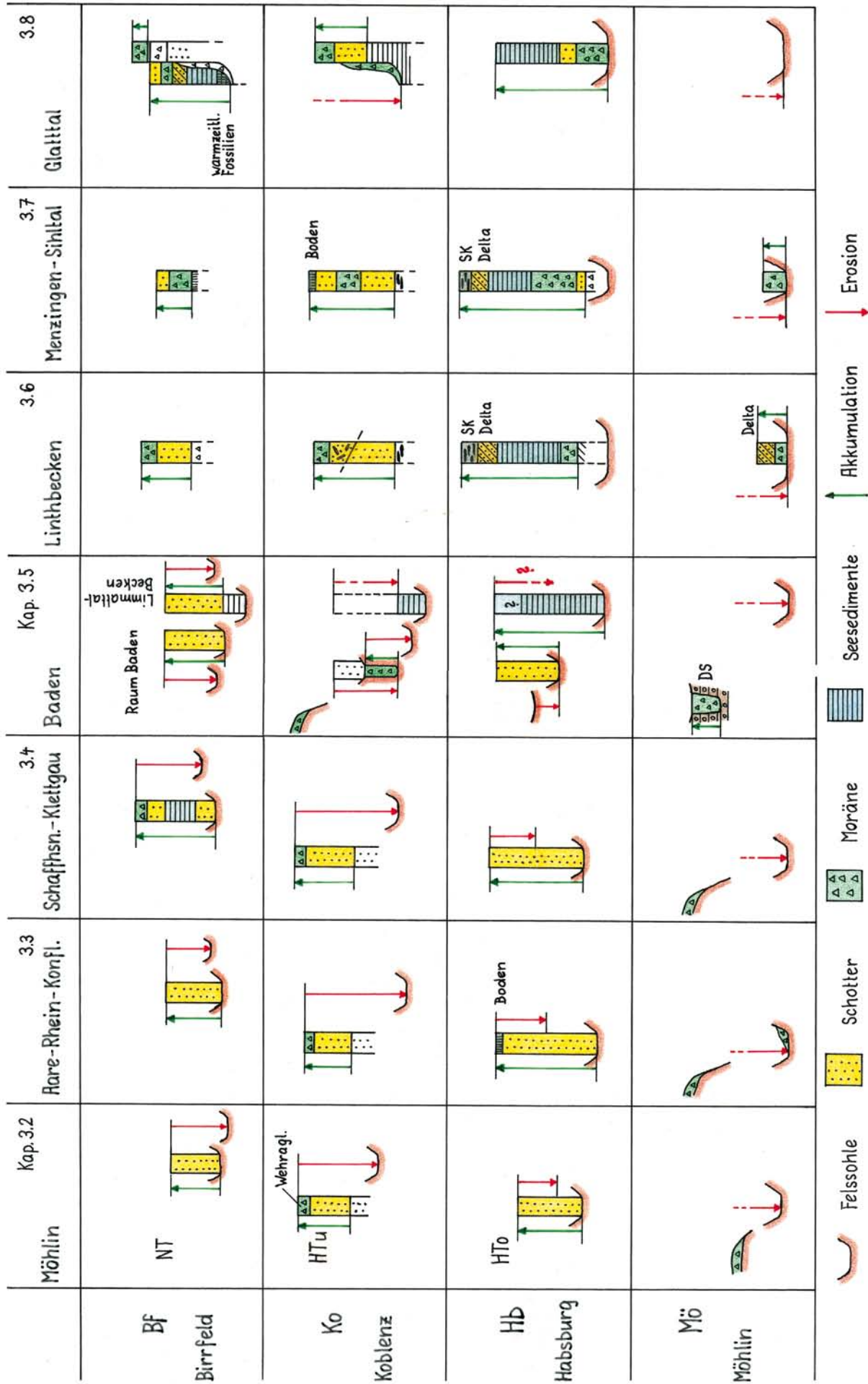
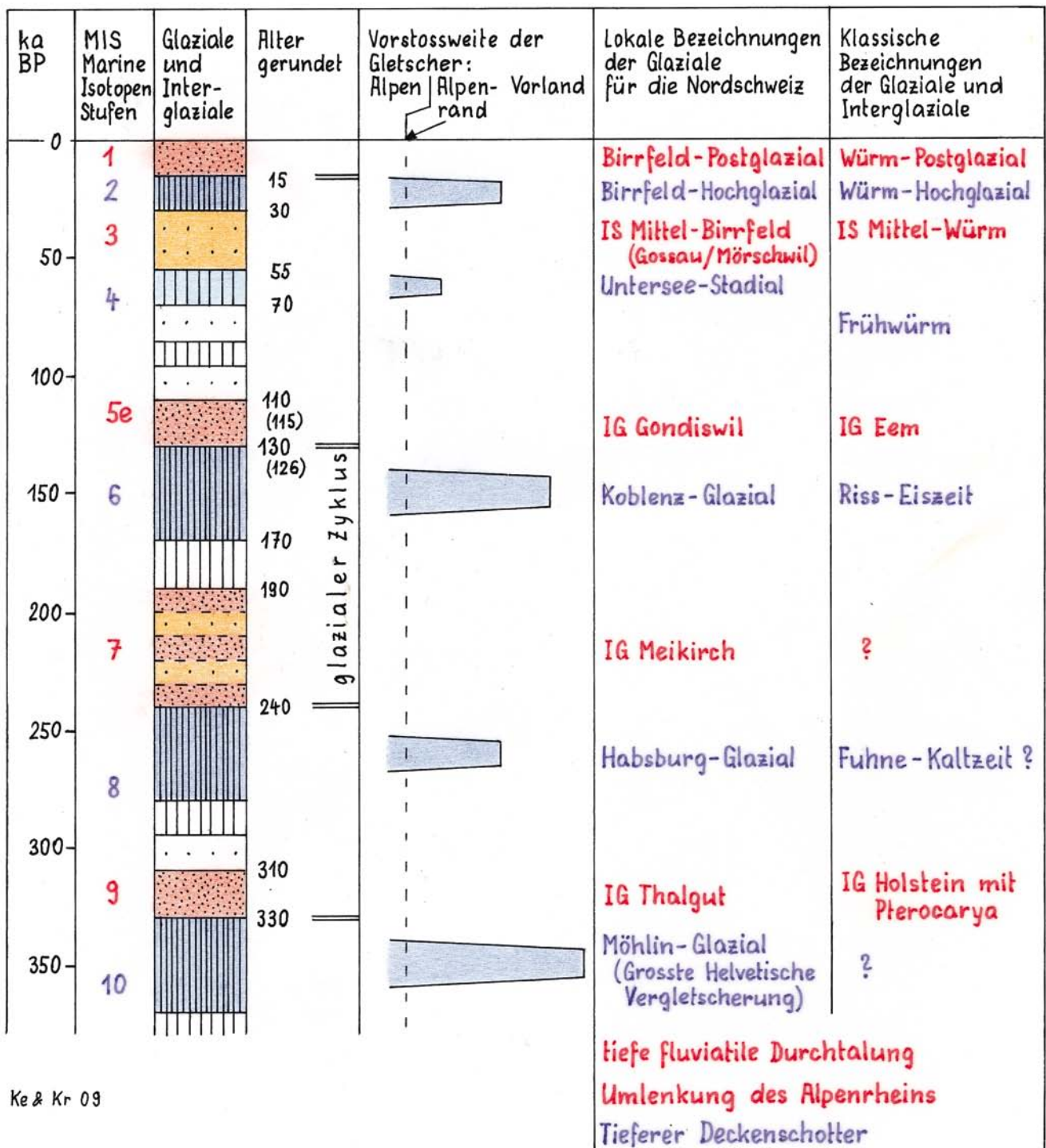


Abb. 19: Zusammenfassung der Sediment-Sequenzen und morphogenetischen Prozesse in den Schlüsselregionen der Nordschweiz. Erläuterungen am Schluss des Kap. 3.9.  
 Fig. 19: Synopsis of sediment sequences and morphogenetic processes in the key regions of Northern Switzerland. Explanations at the end of chapter 3.9.

# Chronostratigraphie des Mittel- und Oberpleistozäns für die Nordschweiz



Ke & Kr 09

Abb. 20: Chronostratigraphie des Mittel- und Spätpleistozäns für die Nordschweiz. Zeitmarken und marine Isotopenstufen nach Litt et al. (2007) sowie PREUSSER (2010).

Fig. 20: Chronostratigraphy of the Middle and the Late Pleistocene of Northern Switzerland. Time marks and marine isotope stages after Litt et al. (2007) and PREUSSER (2010).

Sinne mit den skandinavischen Inlandvergletscherungen gegeben, wobei das norddeutsche Vereisungsgebiet in erster Priorität interessieren muss. Der Stand der diesbezüglichen Quartärforschung liegt seit kurzem in den Publikationen von LITT ET AL. (2005) sowie in LITT ET AL. (2007) vor. Diesem Umstand folgend wird in der chronostratigraphi-

sehen Übersicht (Abb. 20) sowohl auf Altersdaten aus Norddeutschland als auch aus dem Schweizer Mittelland zurückgegriffen. So finden sich bei LITT ET AL. (2007) Zeitmarken und Marine Isotopenstufen von 320–310 ka BP, MIS 9 für das Holstein-Interglazial sowie 126–110 ka BP, MIS 5e für das Eem. Zur Alterstellung des interglazialen Meikirch-Kom-

## Mögliche Korrelation der Warmzeiten und Eisvorstösse

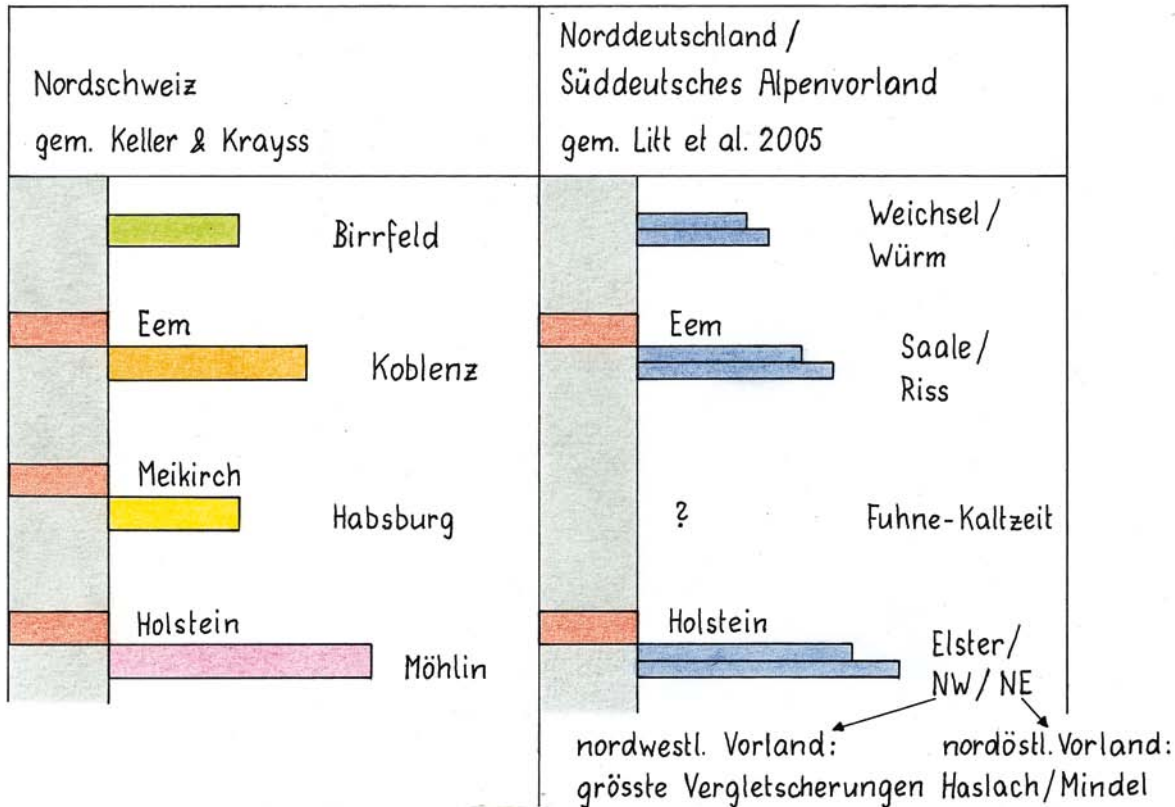


Abb. 21: Mögliche Korrelation der Warmzeiten und Eisvorstösse in der Nordschweiz gegenüber der Abfolge in Nord- und Süddeutschland.

Fig. 21: Possible correlation of the interglacials and glaciations in Northern Switzerland compared with the succession in Northern and Southern Germany.

plexes wird in PREUSSER (2010: Abb. 1) auf den Zeitraum 240–185 ka BP verwiesen. Die Nordschweizer Grossglaziale fügen sich dementsprechend dazwischen ein: Möhlin MIS 10, Habsburg MIS 8, Koblenz MIS 6 und Birrfeld-Hochglazial MIS 2.

Eine generalisierende Darstellung der nord- und süddeutschen Vergletscherungen und der zugehörigen Warmzeiten findet sich in LITT ET AL. (2005: Taf. XV); sie wird in der Abb. 21 übernommen. Aufgrund der im Kapitel 3 vorgestellten Erkenntnisse zur Eiszeitenfolge ist eine Korrelation der nordschweizerischen Grossvergletscherungen Möhlin, Koblenz und Birrfeld mit den norddeutschen Glazialen Elster, Saale und Weichsel durchaus vertretbar. Dies gilt auch für die Übernahme der Begriffe Holstein und Eem. Als Entsprechung zu Habsburg käme für Norddeutschland die Fuhne-Kaltzeit in Betracht, für die in LITT ET AL. (2007) eine Korrelation mit MIS 8 als wahrscheinlich angenommen wird. Offen bleibt die Frage, in welcher Weise sich das neu eingeführte Habsburg-Glazial sowie das Meikirch-Interglazial im süddeutschen Alpenvorland nachweisen lassen. Damit ist auch das Thema für weitere Untersuchungen und Diskussionen gegeben.

### Literaturverzeichnis

- BAUSCH, W., GEYER, O. F., SCHÖBER, T. & SCHREINER, A. (1989): Zur Geologie des badischen Klettgaus. – Jahresberichte und Mitteilungen des Oberrheinischen Geologischen Vereins, NF 71: 199–224.
- BLÖSCH, E. (1911): Die grosse Eiszeit in der Nordschweiz. – Beiträge zur Geologischen Karte der Schweiz, NF 31/2.

- BLUDAU, W., GROSCHOFF, R. & SCHREINER, A. (1994): Ein Riss-Interstadial bei Riedmatt am Hochrhein. – Jahresberichte und Mitteilungen des Oberrheinischen Geologischen Vereins, NF 76: 295–323.
- BROCKMANN-JEROSCH, H. (1910): Die fossilen Pflanzenreste des glazialen Deltas bei Kaltbrunn (bei Uznach, Kanton St. Gallen) und deren Bedeutung für die Auffassung des Wesens der Eiszeit. – Jahrbuch St. Gallische Naturwissenschaftliche Gesellschaft. Habilitationsschrift Universität Zürich.
- BUGMANN, E. (1961): Beiträge zur Gliederung der risszeitlichen Bildungen in der Nordschweiz. – Mitteilungen der Aargauischen Naturforschenden Gesellschaft, 26: 105–119.
- DICK, K. A., GRAF, H. R., MÜLLER, B. U., HARTMANN, P. & SCHLÜCHTER, C. (1996): Das nordalpine Wasserschloss und seine eiszeitgeologische Umgebung. – *Eclogae geologicae Helvetiae* 89/1: 635–645.
- ERB, L. (1934): Zur Stratigraphie des mittleren und jüngeren Diluviums in Südwestdeutschland und dem schweizerischen Grenzgebiet. – Mitteilungen der Badischen geologischen Landesanstalt, 11/4: 207–220.
- FRANK, S. & REY, R. (1996): N4 Flurlingen: Durch Tunnelbau beschleunigte Kriechbewegungen und deren Konsequenzen für die Bauausführung. – In: Instabile Hänge und andere risikorelevante natürliche Prozesse; Monte Verità, Basel.
- FREI, R. (1912): Monographie des Schweizerischen Deckenschotter. – Beiträge zur Geologischen Karte der Schweiz, NF 37.
- GASSMANN, F. (1962): Schweremessungen in der Umgebung von Zürich. – Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geophysik 3. – 70 S.; ETH, 8092 Zürich.
- GRAF, H. R. (1996): Zur Entstehung der obersten Lage der Klettgau-Rinnenschotter und ihrer Deckschichten. – Jahresberichte und Mitteilungen des Oberrheinischen Geologischen Vereins, NF 78: 399–416.
- GRAF, H. R. (2000): In: BITTERLI, T., GRAF, H. R., MATOUSEK, F. & WANNER, M.: Blatt 1050 Zurzach. Geologischer Atlas der Schweiz, Erläuterungen 102. – Bundesamt für Landestopografie swisstopo; 3084 Wabern.
- GRAF, H. R. (2002): Stratigraphie von Mittel- und Oberpleistozän in der Nordschweiz. Das Typoskript stand den Autoren zur Verfügung. Die Arbeit erschien unter GRAF 2009b.

- GRAF, H. R. (2006): In: GRAF, H. R., BITTERLI-DREHER, P., BURGER, H., BITTERLI, T., DIEBOLD, P. & NAEF, H.: Blatt 1070 Baden. Geologischer Atlas der Schweiz, Karte 120. – Bundesamt für Landestopografie swisstopo; 3084 Wabern.
- GRAF, H. R. (2007): In: BITTERLI-DREHER, P., GRAF, H. R., NAEF, H., DIEBOLD, P., MATOUSEK, F., BURGER, H. & PAULI-GABI, T.: Blatt 1070 Baden. Geologischer Atlas der Schweiz, Erläuterungen 120. – Bundesamt für Landestopografie swisstopo; 3084 Wabern.
- GRAF, H. R. (2009a): Stratigraphie und Morphogenese von frühpleistozänen Ablagerungen zwischen Bodensee und Klettgau. – *E&G, Quaternary Science Journal*, 58/1: 12–53.
- GRAF, H. R. (2009b): Stratigraphie von Mittel- und Spätpleistozän in der Nordschweiz. Beiträge zur Geologischen Karte der Schweiz, 168. – Bundesamt für Landestopografie swisstopo; 3084 Wabern.
- GRAF, H. R. & HOFMANN, F. (2000): Zur Eiszeitgeologie des oberen Klettgau (Kanton Schaffhausen, Schweiz). – Jahresberichte und Mitteilungen des Oberrheinischen Geologischen Vereins, NF 82: 279–315.
- GUTZWILLER, A. (1894): Die Diluvialbildungen in der Umgebung von Basel. – Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft Basel, 10/3.
- HALDIMANN, P. A. (1978): Quartärgeologische Entwicklung des mittleren Glattals (Kt. Zürich). – *Eclogae geologicae Helveticae*, 71/2: 347–355.
- HANTKE, R. (1978): Eiszeitalter. Die jüngste Erdgeschichte der Schweiz und ihrer Nachbargebiete, Bd. 1. – 468 S.; Thun (Ott Verlag).
- HANTKE, R. (1980): Eiszeitalter. Die jüngste Erdgeschichte der Schweiz und ihrer Nachbargebiete, Bd. 2. – 703 S.; Thun (Ott Verlag).
- HEER, O. (1865): Die Urwelt der Schweiz; 2. Auflage 1879; – Zürich.
- HOFMANN, F. (1981): Blatt 1031 Neunkirch. Geologischer Atlas der Schweiz, Karte und Erläuterungen 74. – Bundesamt für Landestopografie swisstopo; 3084 Wabern.
- HOFMANN, F. (1994): Beobachtungen zur Quartärgeologie des Schaffhauser Klettgaus (Schweiz). – *Eclogae geologicae Helveticae*, 87/1: 241–263.
- HOFMANN, F. (1996): Zur plio-pleistozänen Landschaftsgeschichte im Gebiet Hochrhein-Wutach-Randen-Donau: Geomorphologische Überlegungen und sedimentpetrographische Befunde. – *Eclogae geologicae Helveticae*, 89/3: 1023–1041.
- JÄCKLI, H. & KEMPF, T. (1972): Erläuterungen zur Hydrogeologischen Karte der Schweiz 1 : 100.000, Blatt Bözberg-Beromünster. – Schweizerische geotechnische Kommission; ETH Zürich.
- JEANNET, A. (1923): Les charbons feuilletés de la vallée de la Linth entre les lacs de Zurich et de Walenstadt. – In: BAUMBERGER, E., GERBER, E., JEANNET, A. & WEBER, J.: Die diluvialen Schieferkohlen der Schweiz. – Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie VIII: 106–370.
- JUNG, G. P. (1969): Beiträge zur Morphogenese des Zürcher Oberlandes im Spät- und Postglazial. – Vierteljahresschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich, 114/3: 293–406.
- KELLER, O. (2009): Als der Alpenrhein sich von der Donau zum Oberrhein wandte. – Schriften des Vereins für Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung, 127: 193–208.
- KELLER, O. & KRAYSS, E. (1998): Datenlage und Modell einer Rhein-Linth-Vorlandvergletscherung zwischen Eem-Interglazial und Hochwürm. – *GeoArcheoRhein*, 2: 121–138.
- KELLER, O. & KRAYSS, E. (1999): Quartär und Landschaftsgeschichte. – Erläuterungen zur Geologischen Übersichtskarte des Kantons Thurgau. – Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft, 55:39–67.
- KELLER, O. & KRAYSS, E. (2005): Der Rhein-Linth-Gletscher im letzten Hochglazial. – Vierteljahresschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich, 150/1–2: 19–32 und 150/3–4:69–85.
- KEMPF, T. (1986): In: Direktion der öffentlichen Bauten des Kantons Zürich: Die Grundwasservorkommen im Kanton Zürich, Erläuterungen zur Grundwasserkarte des Kantons Zürich 1 : 25.000, 211 S. – Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechnische Serie 69; ETH 8092 Zürich.
- KLÄY, J. R. (1969): Quartärgeologische Untersuchung am Unteren Buchberg. – Diplomarbeit ETH Zürich 53.
- KRAYSS, E. (1988): Zur riss-würmzeitlichen Quartärgeologie im westlichen Rheingletschergebiet. – Zeitschrift für Geomorphologie, NF, Suppl. Bd. 70: 1–12.
- LITT, T., ELLWANGER, D., VILLINGER, E. & WANSA, S. (2005): Das Quartär in der Stratigraphischen Tabelle von Deutschland 2002. – *Newsletters on Stratigraphy*, 41: 385–399.
- LITT, T., BEHRE, K. E., MEYER, K. D., STEPHAN, H. J. & WANSA, S. (2007): Stratigraphische Begriffe für das Quartär des norddeutschen Vereinigungsgebietes. – *Eiszeitalter und Gegenwart*, 56/1–2: 7–65.
- LONGO, W. (1978): Geologie des Hagenholztunnels bei Kloten. – *Eclogae geologicae Helveticae*, 71/1: 175–182.
- MATOUSEK, F., WANNER, M., GRAF, H. R., NÜESCH, R. & BITTERLI, T. (2000): Blatt 1050 Zurzach. Geologischer Atlas der Schweiz, Karte 102. – Bundesamt für Landestopografie swisstopo; 3084 Wabern.
- MÜHLBERG, F. (1896): Der Boden von Aarau. – Festschrift zur Einweihung des Kantonsschulgebäudes; Aarau.
- MÜLLER, B. U. & SCHLÜCHTER, C. (1997): Zur Stellung der Zeller Schotter in der Alpenin Eiszeiten-Chronologie und ihre stratigraphische Beziehung zu den Schieferkohlen von Gondiswil. – *Eclogae geologicae Helveticae*, 90/2: 211–227.
- MÜLLER-DICK, K. A. (2000): Möhliner Feld im Hochrheintal. In: KELLY, M., LINDEN, U. & SCHLÜCHTER, C. (Hrsg.): Exkursionsführer, Exkursion A1 (S. 10–13). – DEUQUA, 6.-8.9.2000; Bern.
- MÜLLER, E. (1978): Aufbau und Zerfall des würmeiszeitlichen Linth- und Reussgletschers im Raum zwischen Zürich- und Zugersee. – *Eclogae geologicae Helveticae* 71/1.
- PENCK, A. (1939): Klettgauer Pforte und Bodensee. – Schriften des Vereins für Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung, 66: 117–139.
- PENCK, A. & BRÜCKNER, E. (1909): Die Alpen im Eiszeitalter, 1999 S. – Leipzig (Tauchnitz).
- PREUSSER, F. (2010): Stratigraphische Gliederung des Eiszeitalters in der Schweiz (Exkursion E am 8. April 2010). – Jahresberichte und Mitteilungen des Oberrheinischen Geologischen Vereins, NF 92: 83–98.
- PREUSSER, F. & GRAF, H. R. (2002): Erste Ergebnisse von Luminiszenzdatierungen eiszeitlicher Ablagerungen der Nordschweiz. – Jahresberichte und Mitteilungen des Oberrheinischen Geologischen Vereins, NF 84: 419–438.
- PREUSSER, F., DRESCHER-SCHNEIDER, R., FIEBIG, M. & SCHLÜCHTER, C. (2005): Re-interpretation of the Meikirch pollen record, Swiss Alpine Foreland, and implications for Middle Pleistocene chronostratigraphy. – *Journal of Quaternary Science*, 20: 607–620.
- SCHINDLER, C. (1968): Zur Quartärgeologie zwischen dem untersten Zürichsee und Baden. – *Eclogae geologicae Helveticae*, 61/2:395–433.
- SCHINDLER, C. (1977): Zur Geologie von Baden und seiner Umgebung. – Beiträge zur Geologie der Schweiz, Kleinere Mitteilungen, 67. – 160 S.; ETH 8092 Zürich.
- SCHINDLER, C. (1985): Geologisch-geotechnische Verhältnisse in Schaffhausen und Umgebung. – Beiträge zur Geologie der Schweiz, Kleinere Mitteilungen, 74. – 119 S.; ETH 8092 Zürich.
- SCHINDLER, C. (2004): Zum Quartär des Linthgebietes zwischen Luchsingen, dem Walensee und dem Zürcher Obersee. – Beiträge zur Geologischen Karte der Schweiz, 159 S. – Bundesamt für Landestopografie swisstopo; 3084 Wabern.
- SCHLÜCHTER, C. (1989): Thalgut: Ein umfassendes eiszeitstratigraphisches Referenzprofil im nördlichen Alpenvorland. – *Eclogae geologicae Helveticae*, 82: 277–284.
- SCHLÜCHTER, C. (1993): Geologie. In: Die Schweiz vom Paläolithikum bis zum frühen Mittelalter. – Verlag Schweizerische Gesellschaft für Ur- und Frühgeschichte; Basel.
- SCHLÜCHTER, C., MAISCH, M., SUTER, J., FITZE, P., KELLER, W. A., BURGA, C. A. & WYNISTORF, E. (1987): Das Schieferkohlenprofil von Gossau (Kanton Zürich) und seine stratigraphische Stellung innerhalb der letzten Eiszeit. – Vierteljahresschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich, 132/3: 135–174.
- SCHREINER, A. (1974): Erläuterungen zur Geologischen Karte des Landkreises Konstanz mit Umgebung, 286 S. – Geologisches Landesamt Baden-Württemberg; Freiburg i. Br.
- SCHREINER, A. (1983): Erläuterungen zu Blatt 8218 Gottmadingen. – Geologische Karte 1 : 25.000 von Baden-Württemberg, 124 S.
- Schreiner, A. (1992): Einführung in die Quartärgeologie, 257 S. – Stuttgart.
- SIDLER, C. (1988): Signification de la palynologie appliquée aux sédiments détritiques et organogènes du Pleistocène supérieur: Eem-tardiglaciaire würmien et de l'Holocène entre Zoug, Zurich et Baden (Suisse). – Dissertation ETH Zürich, Nr. 280.
- SUTER, H. (1944): Glaziologische Studien im Gebiet zwischen Limmat, Glatt und Rhein. – *Eclogae geologicae Helveticae*, 97/1; Basel.
- SUTER, H. (1956): Geologie des Sihltales. – Blätter der Vereinigung des Sihltales, 6; Zürich.
- VERDERBER, R. (1992): Quartärgeologische Untersuchungen im Hochrheingebiet zwischen Schaffhausen und Basel. – Dissertation Universität Freiburg i. Br., Nr. 1695.
- WEBER, J. (1901): Beiträge zur Geologie der Umgebung des Pfäffikersees. – Mitteilungen der Naturwissenschaftlichen Gesellschaft Winterthur, Heft 3.
- WEGMÜLLER, S. (1992): Vegetationsgeschichtliche und stratigraphische Untersuchungen an Schieferkohlen des nördlichen Alpenvorlandes. – Denkschriften der Schweizerischen Akademie für Naturwissenschaften 102: 82 S.; Basel (Birkhäuser).

- WELTEN, M. (1982): Pollenanalytische Untersuchungen im Jüngeren Quartär des nördlichen Alpenvorlandes der Schweiz. – Beiträge zur Geologischen Karte der Schweiz, 156: 1–174. – Bundesamt für Landestopografie swisstopo; 3084 Wabern.
- WELTEN, M. (1988): Neue pollenanalytische Ergebnisse über das Jüngere Quartär des nördlichen Alpenvorlandes der Schweiz (Mittel- und Jungpleistozän). – Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz, 162:38 S. – Bundesamt für Landestopografie swisstopo; 3084 Wabern.
- WYSSLING, L. & WYSSLING, G. (1978): Interglaziale Seeablagerungen in einer Bohrung bei Uster (Kt. Zürich). – *Eclogae geologicae Helvetiae*, 71/2: 357–375.
- WYSSLING, G. (2002): Die Ur-Sihl floss einst ins Reusstal. – Vereinigung Pro Sihltal, Jahrbuch 52. 14 S.
- WYSSLING, G. (2007): Blatt 1092 Uster. Geologischer Atlas der Schweiz, Karte 128. – Bundesamt für Landestopografie swisstopo; 3084 Wabern.
- WYSSLING, G. (2008): Blatt 1092 Uster. Geologischer Atlas der Schweiz, Erläuterungen 128. – Bundesamt für Landestopografie swisstopo; 3084 Wabern.
- ZINK, F. (1941): Zur diluvialen Geschichte des Hochrheins und zur Altersstellung der paläolithischen Station „Murg“. – *Mitteilungen der Reichsstelle für Bodenforschung*, 1. 51 S.