

Posten 11: Lindenhof**Moräne inmitten der Stadt**

An diesem Posten begeben Sie sich zurück in die kalte Vergangenheit vor über 10'000 Jahren.

Wir werden uns mit folgenden Fragen beschäftigen:

- Was ist eine Moräne, wie entsteht sie?
- Wieso eine Moräne inmitten der Stadt?
- Wie sah die Landschaft damals aus?

Mitten in der Stadt befindet sich ein isolierter Hügel, der Lindenhof. Der erste Gedanke könnte sein: Ist es der Rest eines grossen Felsens, der da hervorragt? Vielleicht sogar von kaltzeitlichen Gletschern rundgeschliffen? Immerhin liegt der Üetliberg in nicht allzugrosser Entfernung, und dieser besteht aus Sandstein und Mergel. Beide Gesteine sind zwar nur wenig erosionsresistent, aber vielleicht haben sie dem Gletscher trotzdem widerstehen können? Weder noch, der Lindenhof-Hügel besteht aus Lockergestein und wird als Moräne verstanden.



Abb. 1: Der Lindenhof: Städtischer Erholungsraum und Touristenmagnet

**Welche Geschichten erzählen uns Moränen?**

Moränen sind Zeugen heutiger oder vergangener Vergletscherungen. Sie bestehen aus wild durcheinander gemischten Gesteinsblöcken, Geröll, Kies, Sand, Silt und Ton (Tab. 1), die unter, seitlich, an der Front oder inmitten von Gletschern abgelagert werden. Man spricht in diesem Fall von schlechter Sortierung (Abb. 2), dies im Gegensatz zu verhältnismässig gut nach Korngrössen sortierten und deutlich geschichteten Flussablagerungen (Abb. 3). Durch ihre schlechte Sortierung sind selbst jene Moränen noch gut als solche zu erkennen, die schon vor langer Zeit entstanden sind und die ihre typische langgezogene Form mit scharfem Kamm (Abb. 4, 5) durch Erosion schon längst wieder verloren haben. Dies setzt aber voraus, dass die Moränen entweder nicht von Vegetation bewachsen sind oder dass auf andere Weise ein Blick in ihr Inneres möglich wird, z. B. durch künstliche Einschnitte für Strassen oder Eisenbahnschienen, wie dies in Zürich z. B. 1910 am Gabler (Abb. 6, heute Gablerstrasse) beim Rieterpark möglich war.

Eiszeit oder Kaltzeit?

Die Erde befindet sich seit 2.58 Mio. Jahren im sogenannten **Quartären Eiszeitalter**. Dabei wechseln sich längere Kaltzeiten (Glaziale) mit kürzeren Warmzeiten (Interglaziale) ab. Was umgangssprachlich als «Eis-

Blöcke	>200 mm
Geröll	63 - 200 mm
Kies	2 - 63 mm
Sand	0,063 - 2 mm
Silt/Schluff ¹	0,002 - 0,063 mm
Ton	< 0.002 mm

Tab. 1: Korngrössen



Abb. 2: Moräne mit Blöcken bis 1.5 m (Visperterminen, VS)

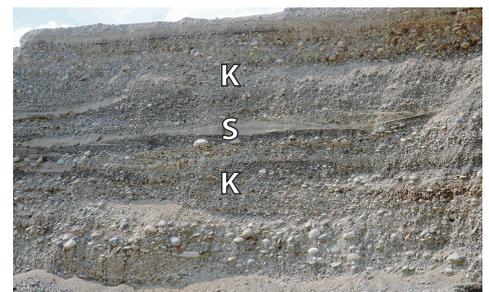


Abb. 3: Flussablagerungen (Birmenstorf, AG); K = Kies, S = Sand

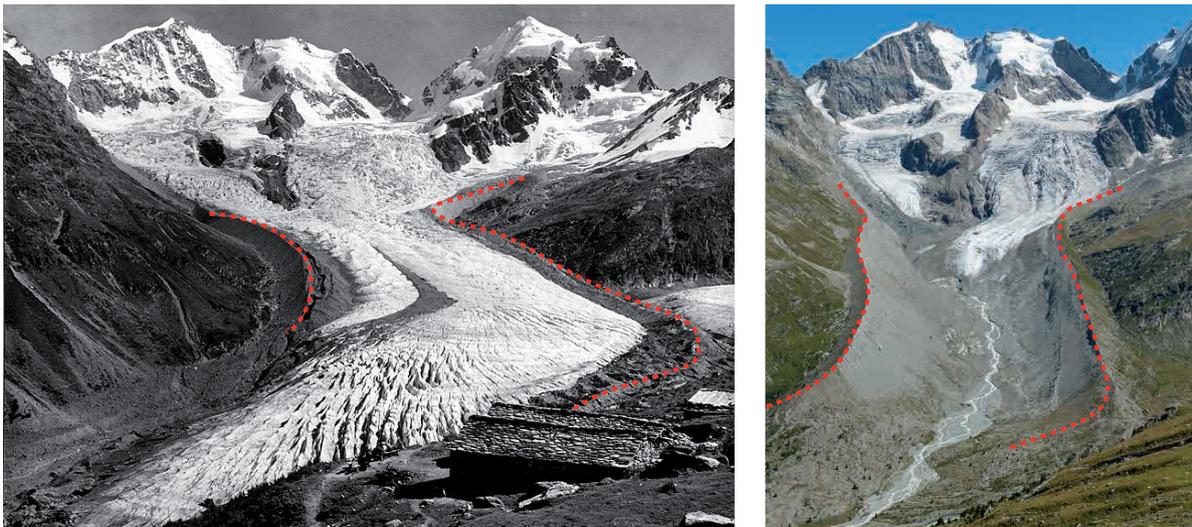


Abb. 4: Die Seitenmoränen des Tschervagletschers (rot) im Rosegatal (Kanton Graubünden), links ca. 1880, rechts 2013.

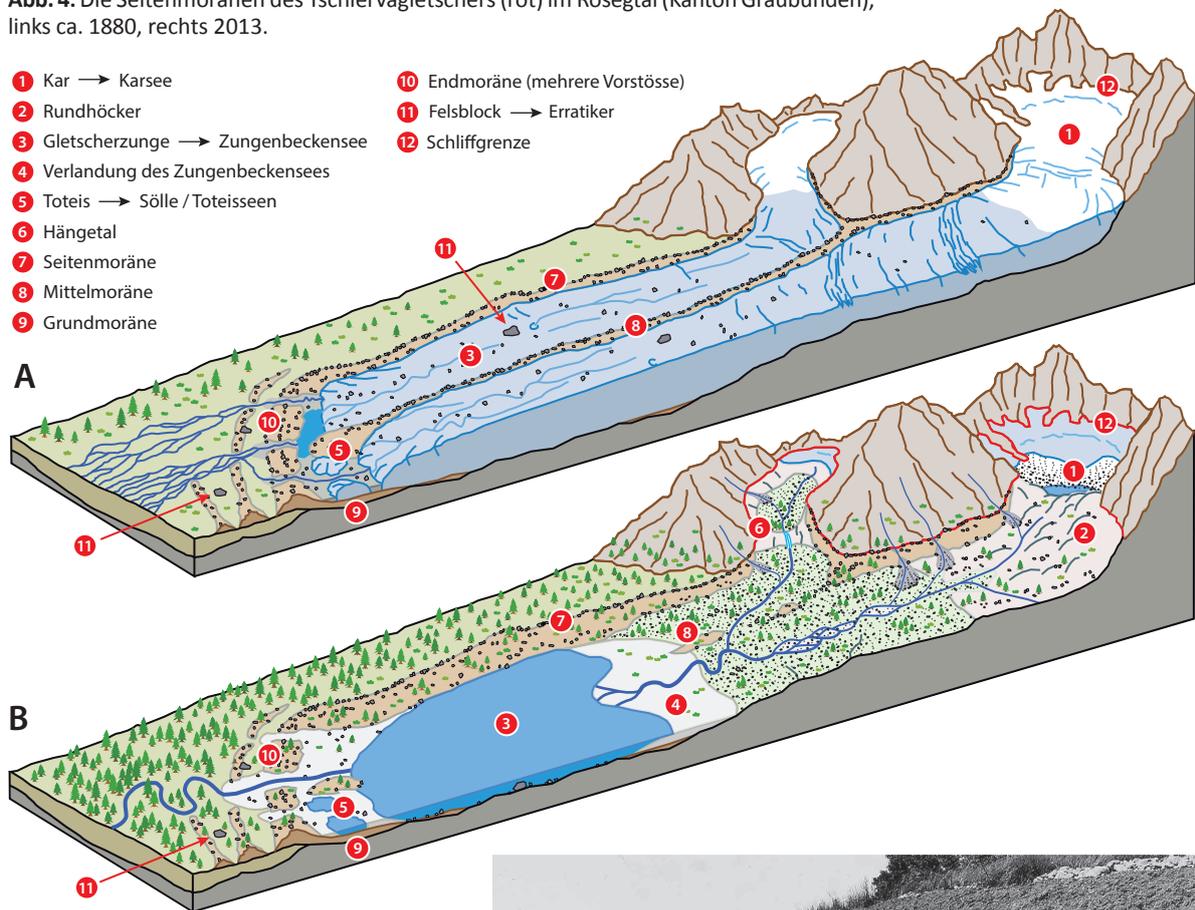


Abb. 5: Morphologische Elemente eines typischen Alpengletschers vor (A) und nach (B) dem Abschmelzen der Gletscherzunge. Kaltzeitliche Gletscher muss man sich um ein Vielfaches länger vorstellen.

Abb. 6: Historische Fotografie des Geologen Leo Wehrli von 1910 eines Bahn-Einschnittes bei der heutigen Gablerstrasse, einem anderen Überrest einer Moräne in Zürich (Hügel des Rieterparks in der Enge) mit grossen Blöcken in feinerem Material.



zeit» bezeichnet wird, ist in der wissenschaftlichen Sprache eine Kaltzeit. Gletscher stossen in Kaltzeiten vor und schmelzen in Warmzeiten wieder zurück. Auch innerhalb einzelner Kaltzeiten kommt es durch Schwankungen von Temperatur und Niederschlägen zu unzähligen, je nach Länge der Gletscher mehr oder weniger stark verzögerten Gletschervorstössen und -rückgängen. Ebenso kann warmzeitliches Abschmelzen von Vorstössen unterbrochen werden². Abb. 7 zeigt die Eisbedeckung der Schweiz vor ungefähr 19'000 Jahren.

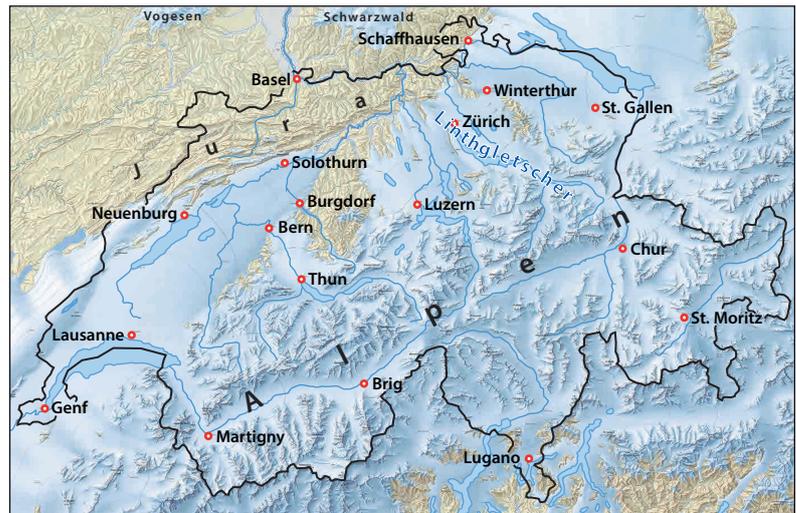


Abb. 7: Eisbedeckung der Schweiz während der letzten Kaltzeit vor etwa 19'000 Jahren⁴

Wie entstehen Moränen?

Gletscher wirken auf zwei Arten als

Transportmechanismen: Jeder Stein – vom Sandkorn bis zum Block von vielen Metern Umfang –, der von der Talflanke auf einen Gletscher stürzt, wird vom Eis, das langsam zu Tal fliesst³, bis zu jener Stelle mitgetragen, wo das Eis schmilzt (siehe auch Posten 4, Abb. 12). Bei heutigen, meist kurzen Gletschern können das ein paar hundert Meter bis zu einigen Kilometern sein, bei eiszeitlichen Gletschern bis zu viele hundert Kilometer. Der Gletscher wirkt dadurch wie ein Förderband für Partikel aller Grösse, die bis zu seiner Abschmelzfront transportiert, dort «abgeladen» und angehäuft werden.



Abb. 8: Seiten- (S) und Mittelmoränen (M1-3) des Grossen Aletschgletschers (Wallis)

Da Gletscher auch zur Seite fließen, häufen sie auch seitliche Wälle an. Zusätzlich zu dieser Förderband-Funktion wirken die Eismassen der Gletscher aber auch wie ein Pflug, der alles Lockermaterial, das in seinem Weg liegt, seitlich und an der Front wegschiebt. Dies ist besonders bei sehr schnellen Vorstössen mit geringen Abschmelzraten zu beobachten. Feines Material wie Silt und Ton entsteht durch die schleifende Wirkung von Steinen, die im Eis eingefroren sind und feinste Partikel vom Felsuntergrund wegkratzen, wobei dieser rund geschliffen wird. Diese Partikel werden als Schwebestoffe von den Gletscherbächen wegtransportiert, weshalb diese getrübt sind.

Durch eine Kombination dieser Mechanismen entstehen Seiten-, End- und Mittelmoränen (Abb. 5). Begraben Gletscher Moränenmaterial unter sich, entstehen zusätzlich Grundmoränen. Mittelmoränen bilden sich, wenn Gletscher zusammenfliessen, ihre Seitenmoränen sich vereinen und zwischen den Eisströmen eingeklemmt werden (Abb. 5, 8).

1. Wie viele kleinere Gletscher sind im Fall des Grossen Aletschgletschers zu einem grossen Gletscher zusammengeflossen (Abb. 8)?
2. Welche Bedingungen müssen gegeben sein, damit besonders grosse Moränen entstehen können?

Lange anhaltende Gletschervorstösse hinterlassen markante Moränen, weil über lange Zeiträume auch viel Material an die Gletscherfront transportiert wird. Die gleiche Wirkung zeigen auch Abschmelzfronten, die lange Zeit an derselben Stelle verharren, wodurch das Material immer an derselben Stelle deponiert wird. Bei schnellen Vorstössen schliesslich wird Moränenmaterial vom Eis wie von einem Pflug zu grossen Haufen geschoben. Moränen zeigen demnach an, wo sich die Enden der Gletscherzungen bei grossen Vorstössen und meist über einen längeren Zeitraum befunden haben.

Moränen in Zürich?

Aus Abb. 7 geht hervor, dass der Linthgletscher⁵, der den Zürichsee als sog. Zungenbecken, sowie zahlreiche Moränen im Raum Zürich hinterlassen hat, weit über Zürich hinaus vorsties. Davon zeugen Moränenwälle in Würenlos und Killwangen. Wie ist es also möglich, dass er auch Moränen viel weiter talaufwärts in Zürich hinterlassen hat? Die maximale Ausdehnung – den sogenannten Höchststand – erreichten die Gletscher der letzten Kaltzeit vor ca. 32'000 bis 23'000 Jahren. Während einiger tausend Jahre lag die Front des Linthgletschers mit Oszillationen von vermutlich nur einigen hundert Metern im Bereich von Würenlos-Killwangen, weshalb der Höchststand **Killwangen-Stadium** genannt wird. Danach folgten ein geringer Rückgang und ein erneuter Vorstoss vor ca. 21'000 Jahren, der Moränen in der Gegend von Schlieren hinterliess. Anschliessend zog sich der Linthgletscher bis hinter den Walensee zurück, um vor ca. 17'000 Jahren erneut vorzustossen, diesmal bis nach Zürich (**Zürich-Stadium**), wo er die Landschaft so formte, wie wir sie heute kennen – mit den markanten Moränenhügeln des Lindenhofs und des Rieterparks links der Limmat sowie, auf der gegenüberliegenden Seite, jenem der Hohen Promenade (Abb. 11).

Ein weiteres Stadium im allgemeinen Verlauf des, durch die einsetzende Warmzeit bedingten, nun immer endgültiger zugange tretenden Abschmelzens des kaltzeitlichen Gletschers⁶ ist jenes von **Hurden**, das nach einem neuerlichen kurzen Vorstoss jene mächtige Moräne im See hinterliess, die 1820 den Bau des Seedamms nach Rapperswil ermöglichte. Es muss dabei immer berücksichtigt werden, dass die kaltzeitlichen Moränen, so wie wir sie heute sehen, nach dem Abschmelzen der Gletscher während vielen tausend Jahren der Erosion ausgesetzt waren und dadurch an Volumen und Höhe einbüssten.

End- oder Mittelmoränen?

Wie wurden die Moränen in Zürich abgelagert? Sind es Endmoränen, die – wie in in Abb. 5A dargestellt – in Form eines geschlossenen Kranzes zusammengeschobenen Schutts um die Gletscherfront angeordnet waren und später – wie in in Abb. 5B – durch die enormen Wassermassen der Gletscherschmelze teilweise weggespült wurden, sodass nur einzelne Erhebungen übrig blieben? Diese Vorstellung ist zunächst naheliegend, denn dazu passt – auch analog zu Abb. 5 – die langgezogene Mulde des Zürichsees als Überbleibsel übertiefer Erosion durch den Gletscher. Der See hätte hinter dem Moränenwall als «Staumauer» jedoch einen markant höheren Wasserspiegel erreichen müssen als heute, wofür keine Anhaltspunkte zu finden sind.

Die Isolierte Lage der Moränenhügel und vor allem die Tatsache, dass es auf Stadtgebiet und sogar im Seebecken vor dem Bellevue unter dem Wasserspiegel weitere, wenn auch kleinere, isolierte Moränenhügel gibt (Abb. 11), die teilweise wie auf imaginären Linien in Fließrichtung des Gletschers angeordnet



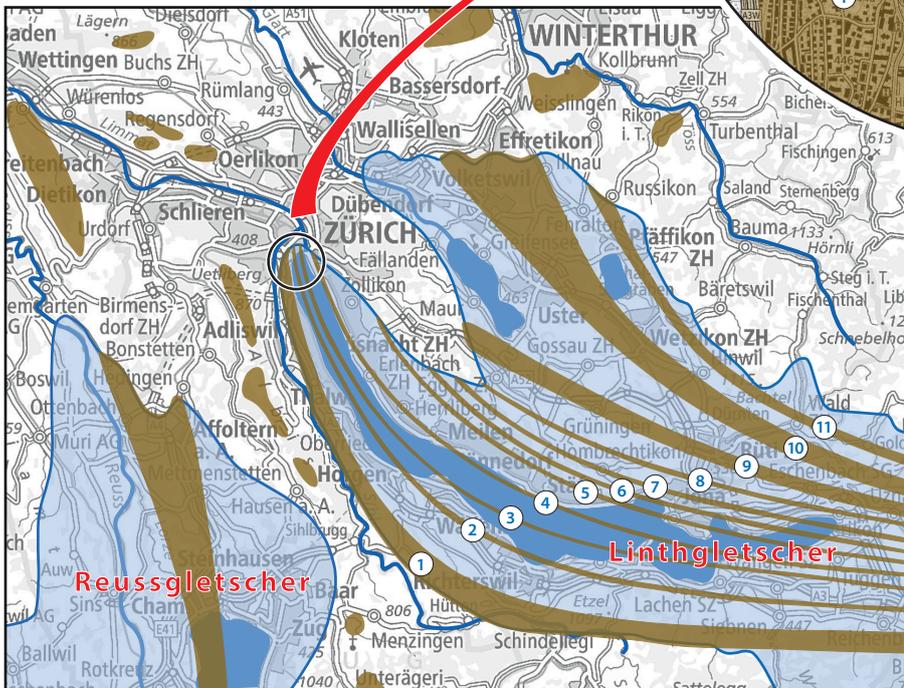
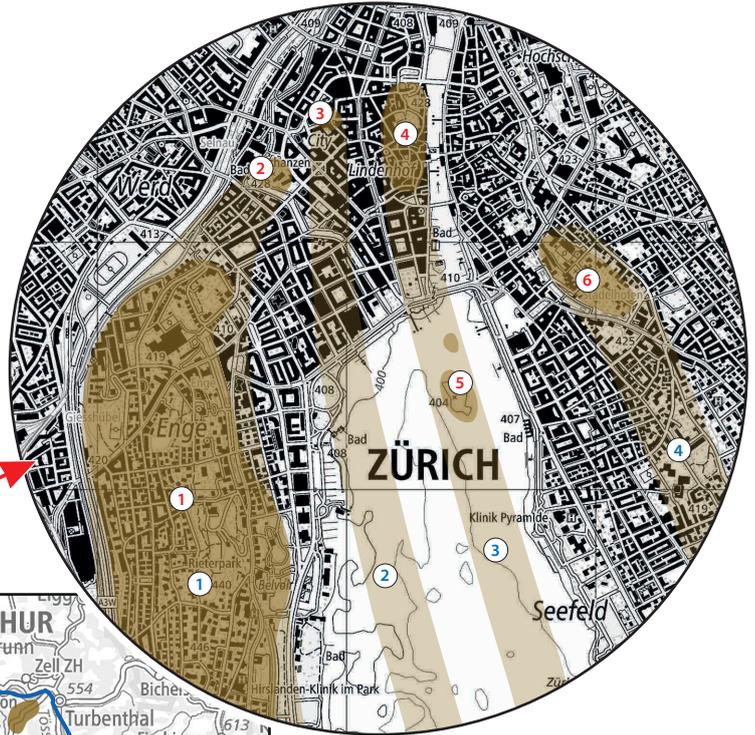
Abb. 9: Die eiszeitliche Alpenvergletscherung kann man sich ähnlich vorstellen wie die heutige Vergletscherung der Antarktis, wobei nur die höchsten Berge als sog. Nunataks aus dem Eis ragen.



Abb. 10: Das Schweizer Mittelland könnte ausgesehen haben, wie sich das Ernst Hodel (1927, Museum Gletschergarten in Luzern) vorstellte. Die Gletscherarme waren von Mittelmoränen begrenzt.

Lage der Mittelmoränen des Linthgletschers

- ① Hirzel - Zürich Enge
- ② St. Anna - Hügel
- ③ Lindenhof / Hafner
- ④ Hohe Promenade
- ⑤ Itschnach
- ⑥ Wetzwil
- ⑦ Toggwil
- ⑧ Buechholz
- ⑨ Forch
- ⑩ Glattal
- ⑪ Russikon



Moränenhügel in Zürich

- ① Enge (Rieterpark und Umgebung)
- ② Katz (Alter Botanischer Garten)
- ③ St. Anna - Hügel, 1909 abgetragen
- ④ Lindenhof
- ⑤ Hafner (im See)
- ⑥ Hohe Promenade

Abb. 11: Mittelmoränen des Linthgletschers und ihre Endaufschüttungen in Zürich. Lage der Mittelmoränen nach Gerhart Wagner, 2014⁷.

sind, begünstigt jedoch eine andere Erklärung: Die Hügel könnten durch Mittelmoränen aufgeschüttet worden sein, die ihr Material an der Gletscherfront abladen. Solche Mittelmoränen lagen zwischen den riesigen Armen der Alpengletscher, die aus verschiedenen Tälern zusammenflossen (Abb. 10). Dabei wurde der Schutt aus den Alpentälern durch das ganze Mittelland bis an die Gletscherfonten transportiert, wo er schliesslich «abgeladen» wurde. Da die Mittelmoränen meist auf die Gletscheroberfläche beschränkt und nicht sehr mächtig sind, enthalten sie nur begrenzte Mengen an Schutt (Abb. 12), sodass am Ende jeder Mit-

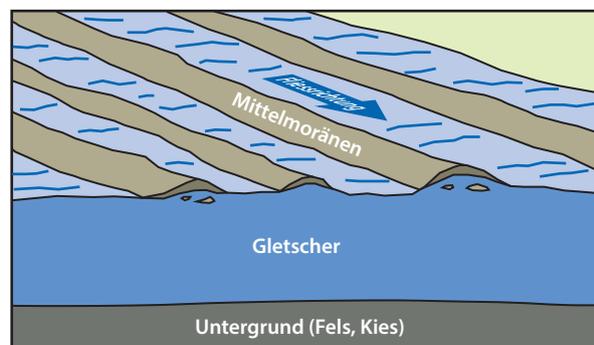


Abb. 12: Querschnitt durch einen Gletscher mit Mittelmoränen. Diese bilden Hügel, da das Eis darunter vor Sonneneinstrahlung geschützt ist und langsamer schmilzt.

telmoräne trotz der gigantischen Dimensionen der kaltzeitlichen Gletscher nur verhältnismässig kleine, isolierte Moränenhügel entstehen konnten. Schmolzen die Gletscher ab, lagerten die Mittelmoränen in der Richtung des Abschmelzens immer wieder neue solche Hügel ab, die heute wie auf Schnüren aufgereiht erscheinen, in Zürich z. B. der Lindenhof und unter Wasser im See der Hafner, die beide mutmasslich von derselben Mittelmoräne (Nr. 3 in Abb. 11) aufgeschüttet wurden. Auf diese Weise können die Zürcher Moränen auch als Endaufschüttungen von Mittelmoränen verstanden werden.

- 3.** Stellen Sie die beiden Möglichkeiten, wie der Lindenhof und andere Moränenhügel in der Stadt Zürich entstanden sein könnten, einander gegenüber und diskutieren Sie jeweils Pro und Kontra.

Beachten Sie auf dem Weg zu Posten 12 die stark verwitterten Sandsteinmauern am Weg hinunter zur Fortunagasse (Abb. 13) und in der Fortunagasse selbst und lesen Sie dazu Ergänzung 2 zu Posten 11.



Abb. 13: Stark verwitterter Sandstein am Lindenhof und in der Fortunagasse

¹ Silt: englischer Begriff, in der Geologie üblich; Schluff: deutscher Begriff, in der Bodenkunde verwendet.

² Einen guten Eindruck von der Gletscherdynamik der letzten 150'000 Jahre vermittelt das Video *115'000 Jahre Eiszeit in zwei Minuten* (<https://ethz.ch/de/news-und-veranstaltungen/eth-news/news/2018/11/eiszeitensimulation-macht-gletscherausdehnung-sichtbar.html>).

³ Die Fliessgeschwindigkeit beträgt heute in den Alpen 20-200 m /Jahr

⁴ Die Kaltzeiten werden in Deutschland traditionell nach jenen Flüssen benannt, die in der Nähe der Maximalstände der Gletscher lagen. Die letzte Kaltzeit wird demnach als Würm-Kaltzeit bezeichnet. Diese Nomenklatur hat auch die Schweiz übernommen. Mit fortschreitender Forschung zeigt sich jedoch immer deutlicher, dass die Eiszeiten in Deutschland, die vor allem von den Skandinavischen Gletschern dominiert wurden, zeitlich nicht immer mit jenen in den Alpen zusammenfallen, weshalb diese Nomenklatur in Frage gestellt wird.

⁵ Da der Linthgletscher auch Teile des Rheingletschers enthielt, wird er auch Linth-Rheingletscher genannt.

⁶ Man spricht in all diesen Fällen von «Rückzugsstadien», sowohl sich Gletscher nicht aktiv zurückziehen, sondern passiv abschmelzen.

⁷ Gerhard Wagner, Mittelmoränen heute und in der Eiszeit, Haupt Verlag, 2014