

Bentonitvorkommen in der Oberen Süsswassermolasse des Kantons Zürich und damit zusammenhängende Probleme

Autor(en): **Pavoni, Nazario / Schindler, Conrad**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **74 (1981)**

Heft 1

PDF erstellt am: **11.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-165090>

Nutzungsbedingungen

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

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

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

Haftungsausschluss

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

Bentonitvorkommen in der Oberen Süsswassermolasse des Kantons Zürich und damit zusammenhängende Probleme

Von NAZARIO PAVONI¹⁾ und CONRAD SCHINDLER²⁾

ZUSAMMENFASSUNG

Bentonite dienen als stratigraphische Leithorizonte in der Oberen Süsswassermolasse. Die Untersuchungen in der Zürcher Molasse lassen mit Sicherheit drei verschiedenaltige Bentonitlagen erkennen, nämlich von unten nach oben den Horizont von Urdorf-Uetikon, jenen von Küsnacht und jenen von Leimbach. Es ergibt sich daraus eine wesentliche Vereinfachung der Tektonik im Raume von Zürich. Der Bentonit weist niedrige Winkel innerer Reibung auf, dies besonders dort, wo bereits alte, meist tektonisch angelegte Gleitflächen vorliegen. Dies kann in den Talflanken zur tiefgreifenden Auflockerung der darüber liegenden Gesteinsmassen und zu geotechnischen Schwierigkeiten führen, wie das anhand von einigen Beispielen gezeigt wird. Die Zerspaltung und die Verwitterung des Felsens können teils auf rezente, teils auf fossile Entspannungserscheinungen zurückgeführt werden.

I. Bentonitvorkommen im Gebiet von Zürich und Umgebung

1. Die Bentonitvorkommen von Urdorf und Uetikon

Im Zusammenhang mit detaillierten Profilaufnahmen in der Oberen Süsswassermolasse (OSM) konnte 1951 im unteren Reppischtal südöstlich des Weilers Unter Reppischtal, Gemeinde Urdorf, am Talhang südlich Pt.481 eine Tonschicht von 6 cm Mächtigkeit gefunden werden. Das Vorkommen liegt auf Kote 470 m (Koord. 673.82/247.20). Die späteren Untersuchungen ergaben, dass es sich bei diesem grauen Ton um Bentonit handelt (PAVONI 1959). Der Bentonit von Urdorf liegt stratigraphisch 50-60 m über dem Meilener Kalk (Niveau des «Appenzeller Granites») im Gebiet des Dietiker Honeret.

1967 wurde im Gebiet zwischen Zürich-Oerlikon und Zürich-Schwamendingen am Rietgrabenweg (Koord. 684.51/251.16) auf Kote 386.5 m eine Bentonitschicht von 10 cm Mächtigkeit erbohrt, welche im Zusammenhang mit den gut bekannten stratigraphischen Verhältnissen im Gebiet Milchbuck als stratigraphisch eindeutig unter dem Küsnachter Bentonit liegend eingestuft werden muss.

Spätere Bohrungen im Gebiet Käferberg-Hönggerberg (Fig. 1) und die Ausführung des Wasserstollens Hardhof-Strickhof (s. unten, Fig.3) erbrachten den Nachweis desselben tiefen Bentonit-Horizonts, welcher hier stratigraphisch zirka 90 m unter dem Küsnachter Bentonit liegt. Er liegt damit in stratigraphisch sehr ähnlicher

¹⁾ Institut für Geophysik der ETHZ, Hönggerberg, 8093 Zürich, Mitteilung Nr.325.

²⁾ Dr. von Moos AG, Bachofnerstrasse 5, 8037 Zürich.

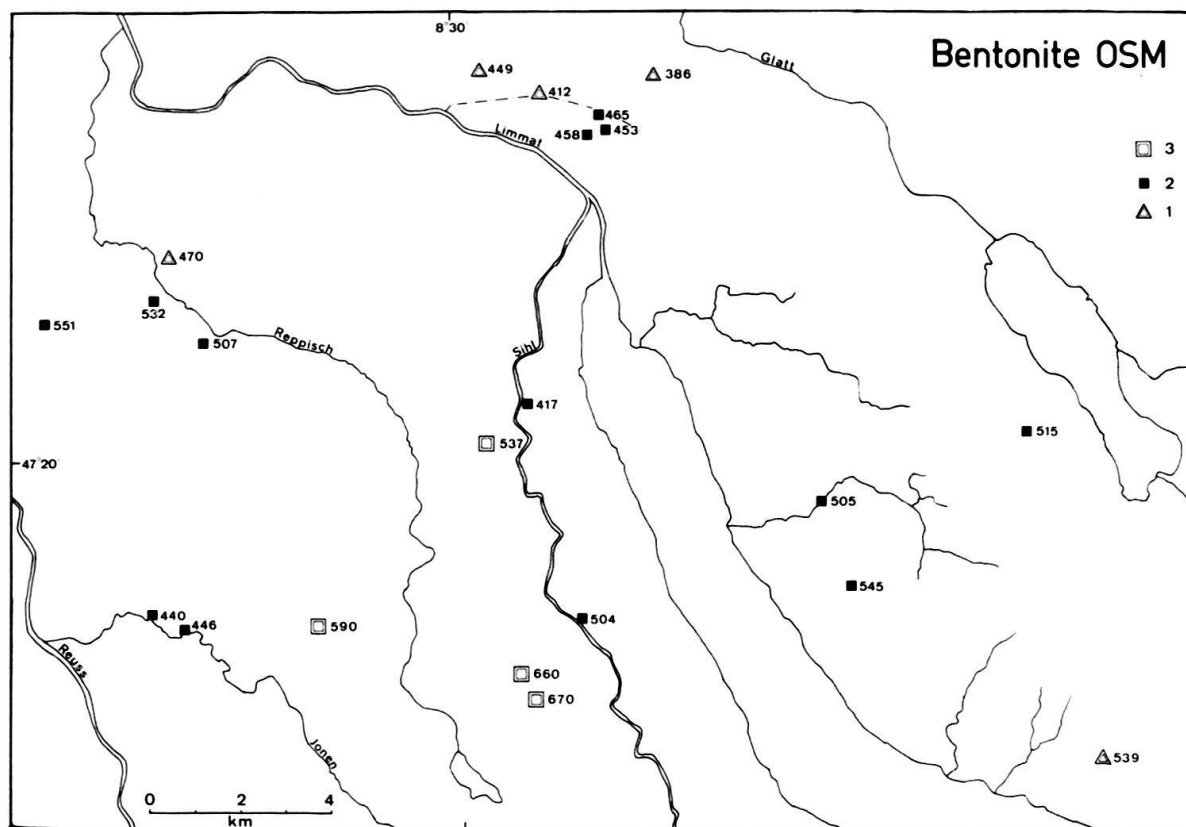


Fig. 1. Bentonitvorkommen in der weiteren Umgebung von Zürich.

1 = Horizont von Urdorf-Uetikon, 2 = Horizont von Küsnacht, 3 = Horizont von Leimbach. Strichpunktete Linie = Wasserstollen Hardhof-Strickhof. Zahlen = Höhen in Metern über Meer.

Position wie das Urdorfer Vorkommen, 50–60 m über dem Meilener Kalk. Wir betrachten diese Vorkommen als zum selben Horizont gehörend.

Im Zusammenhang mit Baugrunduntersuchungen konnte 1974 im Gebiet ob Uetikon auf Kote 539 m ein weiteres Bentonitvorkommen entdeckt werden, welches stratigraphisch 60–65 m über dem Meilener Kalk liegt. Wir betrachten es als gleichaltrig mit dem Urdorfer Bentonit-Horizont. In der Karte (Fig. 1) sind die Vorkommen dieses Horizonts mit Dreiecksignatur bezeichnet.

2. Der Küsnachter Bentonit-Horizont

Die meisten Vorkommen dieses Horizonts im Gebiet von Zürich und Umgebung wurden bereits früher beschrieben (BÜCHI 1956, 1957; PAVONI 1956, 1957, 1958, 1959, 1960). In der Karte (Fig. 1) sind sie durch ausgefüllte Quadrate dargestellt. Der Küsnachter Bentonit wurde 1971 im Schacht Strickhof auf Kote 451.2 m (s. Fig. 3) sowie beim Voreinschnitt zum Nordportal des Milchbucktunnels gefunden (JÄCKLI 1979; s. unten). Bemerkenswert ist ein Vorkommen des Küsnachter Bentonits an der Sihlhalden südlich Adliswil auf Kote 504 m (Koord. 682.78/239.41), welches 1972 anlässlich des Baus der Wasserleitung zum neuen Reservoir Kopfholz gefunden wurde. Der Küsnachter Bentonit-Horizont liegt im Gebiet des unteren Zürichseetals 130–150 m über dem Niveau des Meilener Kalks (Fig. 2).

3. Der Leimbacher Bentonit-Horizont

In der OSM des Rütshlibachtobels ob Zürich-Leimbach ist auf Kote 537 m eine Bentonitschicht von wenigen Zentimetern Mächtigkeit eingelagert (PAVONI 1963). Dieser Bentonit liegt stratigraphisch knapp 20 m über dem limnischen Niveau im Rütshlibachtobel. Letzteres zieht als guter Leithorizont an der Basis des Üetlibergs und des Albis durch und ist identisch mit den Kohlevorkommen von Rossweg, Adliswil, und Riedhof im oberen Reppischtal. Der Leimbacher Bentonit wurde 1962 in Sondierbohrungen für einen Üetlibergtunnel im Gebiet von Ris bei Mittel-Leimbach auf zirka Kote 540 m angetroffen (mdl. Mitteilung von Lorenz Wyssling, Zürich). Im Jahre 1976 konnte der Leimbacher Bentonit durch Herrn Thomas Gubler, Langnau am Albis, in einer kleinen Rutschung am Unteren Langnauer Berg auf Kote 670 m (Koord. 681.89/237.61) gefunden werden. Die Bentonitschicht ist hier zirka 25 cm mächtig.

Der Leimbacher Bentonit liegt bei Leimbach stratigraphisch rund 130 m über dem Küsnachter Bentonit (PAVONI 1963). Makroskopisch lässt er sich durch seine etwas andersartige Ausbildung vom Küsnachter Bentonit unterscheiden. Er ist andererseits jedoch sehr ähnlich dem Bentonit im Hedingertobel auf Kote 590 m (Koord. 677.12/239.18), dessen Lage sich zwanglos in den Verlauf des Leimba-

Bentonite der Zürcher Molasse

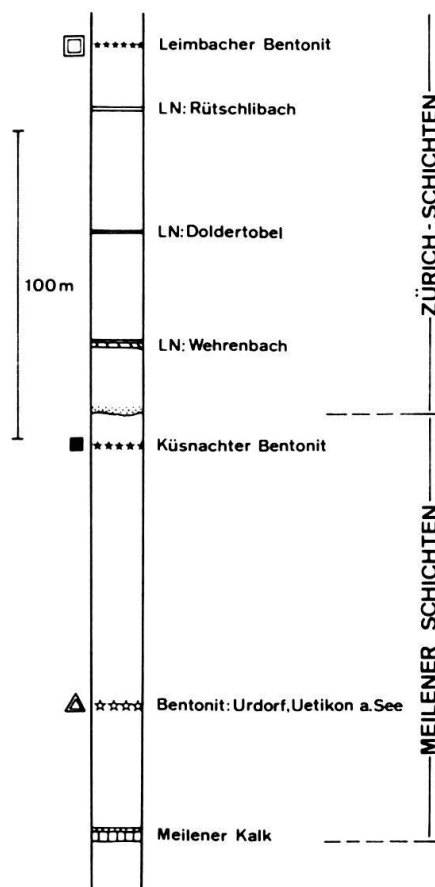


Fig. 2. Stratigraphische Stellung der drei Bentonit-Horizonte im Gebiet von Zürich.

cher Bentonit-Horizonts einordnet. Wir betrachten deshalb den Hedinger Bentonit als gleichaltrig mit dem Leimbacher Bentonit.

II. Zur Stratigraphie und Tektonik

Die in den letzten Jahren bekanntgewordenen neuen Fundorte von Bentoniten haben die Auffassung bestätigt, dass in der OSM von Zürich und Umgebung mehrere, verschiedenaltige Bentonit-Horizonte vorhanden sind. In der Zürcher Molasse lassen sich auf stratigraphischem Wege mindestens drei verschiedene Bentonit-Horizonte nachweisen (Fig. 2). Es sind dies von unten nach oben:

1. *Der Bentonit-Horizont von Urdorf-Uetikon.* Er liegt bei Zürich stratigraphisch 50–60 m über dem Niveau des Meilener Kalks.
2. *Der Küssnacher Bentonit-Horizont.* Er liegt stratigraphisch 130–150 m über dem Niveau des Meilener Kalks.
3. *Der Leimbacher Bentonit-Horizont.* Er liegt stratigraphisch zirka 130 m über dem Küssnacher Bentonit und somit 260–280 m über dem Niveau des Meilener Kalks.

Der Nachweis dreier verschiedenaltiger Bentonit-Horizonte sowie einer vermehrten Anzahl limnischer Niveaus in der Zürcher Molasse erlaubt eine beträchtliche Vereinfachung des bisherigen tektonischen Bildes im Gebiet zwischen Zürichseetal und Reusstal, indem mehrere postulierte Verwerfungen, wie z. B. die Störung Bonstetten–Birmensdorf–Dietikon, die Bruchzone Waldegg–Albisrieden (BÜCHI 1958), die Albisverwerfung im unteren zürcherischen Sihltal und die Störung von Unter Reppischtal (PAVONI 1957, 1959), nicht mehr notwendigerweise angenommen werden müssen.

Für die ausserhalb der Karte von Figur 1 liegenden Bentonitvorkommen südwestlich Attikon bei Winterthur und beim Ankenfelsen westlich Kollbrunn im Tössstal (Koord. 699.83/257.56, etwa Kote 500 m) sowie für das im folgenden Kapitel beschriebene Vorkommen bei Wolhusen im Entlebuch ist die stratigraphische Zuordnung zu den Bentonit-Horizonten der Zürcher Molasse nicht gesichert.

Es stellt sich in diesem Zusammenhang die Frage, ob die von BÜCHI & HOFMANN (1945) und HOFMANN (1952, 1956) beschriebenen Bentonitvorkommen der Nordostschweiz, welche von diesen Autoren alle als gleichaltrig betrachtet werden (HOFMANN et al. 1975), nicht ebenfalls mehreren, verschiedenaltigen Horizonten angehören. Eine gegenseitige stratigraphische Zuordnung der Bentonite der Zürcher Molasse und der Nordostschweiz bedarf jedenfalls weiterer, eingehender Untersuchungen.

III. Geotechnische Probleme, Entspannungserscheinungen

Die Bentonitvorkommen bieten nicht nur stratigraphische und tektonische Probleme, sondern bringen auch dem Baugeologen Schwierigkeiten aller Art. Dies beginnt schon bei der Erkennung des Materials und seiner Eigenschaften. Neben charakteristischen, im Felde gut erkennbaren Bentoniten treten auch zweifelhafte, leicht verschwemmte Vorkommen oder weissliche bis grünliche, sehr tonige Mergel auf. Die im folgenden Text beschriebenen Bentonite sind alle in verdankenswerter

Weise durch Herrn F. Hofmann untersucht und für echt befunden worden. Interessanterweise soll der Mineralgehalt der verschiedenen Horizonte nahezu identisch sein (mdl. Mitteilung).

Erosions- und Umlagerungsvorgänge haben die dünnen Bentonitschichten häufig kurz nach der Sedimentation wieder verschwinden lassen, sie erscheinen deshalb nur sprunghaft. In Bohrungen wird das sehr wasserempfindliche Material häufig zerstört und erscheint dann nicht im Bohrkern.

Die üblichen bodenmechanischen Untersuchungsmethoden zeigen zum Teil zu günstige Scheinergebnisse. So erreicht beim normalen Schlämmverfahren die sogenannte Tonfraktion mit Durchmesser unter $2\ \mu$ nur 18–20% des Gesamtgewichtes. Dieser Wert kann durch Beschallung auf 70–75% korrigiert werden, während die Tonmineralienanalyse durch T. Peters am Bentonit von Wolhusen 96% Tonmineralien ergab, davon 90% Montmorillonit – es ergeben sich hier Widersprüche, ähnlich wie dies bei feinkörnigen, karbonathaltigen Seeablagerungen der Fall ist (GYGER et al. 1976).

Im Triaxialapparat lassen sich Reibungswinkel Φ zwischen 19° und 22° bestimmen. Werte, welche stark tonigen Mergeln entsprechen. Der Einsturz einer Baugrube nahe Attikon im Nordosten von Winterthur (Koord. 265.400/701.650) liess dagegen auf viel tiefere Winkel schliessen (SCHINDLER & KELLER 1970). Es ist möglich, dass in jenem Falle bereits ältere, ungefähr schichtparallele Gleitflächen bestanden, wie sie selbst in sehr wenig gestörter Molasse recht häufig entlang besonders tonigen Horizonten zu beobachten sind. Neben dieser tektonisch bedingten Entstehung käme auch eine leichte Verschiebung durch den vorstossenden eiszeitlichen Gletscher in Frage. Norwegische Versuche mit reinem Montmorillonit (KENNEY 1967) ergaben Rest-Scherspannungen (entlang bereits angelegten Gleitflächen), welche bis auf 6° absinken konnten.

Welchen Einfluss hat dieses sonderbare, koboldhaft auftretende, schwer fassbare Material auf seine natürliche Umgebung und auf menschliche Eingriffe? Hiefür seien einige typische Beispiele geschildert, wobei gleichzeitig die Situation des Fundes näher erläutert wird.

1. Wasserstollen Hardhof-Strickhof in Zürich: Bentonit im Tunnel

Dieser 1975 fertiggestellte, 4470 m lange, maschinell gebohrte Stollen weist einen Durchmesser von 2.56 m auf und verbindet, grob gesagt, das Gebiet der Europabrücke mit dem Nordwestfuss des Zürichbergs, wo er auf den N-S gerichteten Fernheizstollen stösst (Fig. 1). Die sorgfältige Aufnahme des Stollens sowie der Vertikalschächte Höngg und Strickhof zeigte, dass der Gesteinsverband praktisch ungestört durchzieht und keine bemerkenswerte Klüftung aufweist, dies mit Ausnahme des portalnahen Bereichs beim Hardhof (Fig. 3). Selbst dort bleibt unsicher, ob die WNW-ESE laufenden steilen Klüfte, Schichtversetzungen und flachen Rutschharnische tektonisch entstanden oder aber durch die Einwirkung des eiszeitlichen Gletschers bedingt sind.

Es zeigte sich, dass ungefähr 90 m unter dem Küssnacher Horizont ein zweiter Bentonit auftritt (gefunden durch V. Longo), welchem der Stollen auf längere Strecke folgt (siehe S. 53).

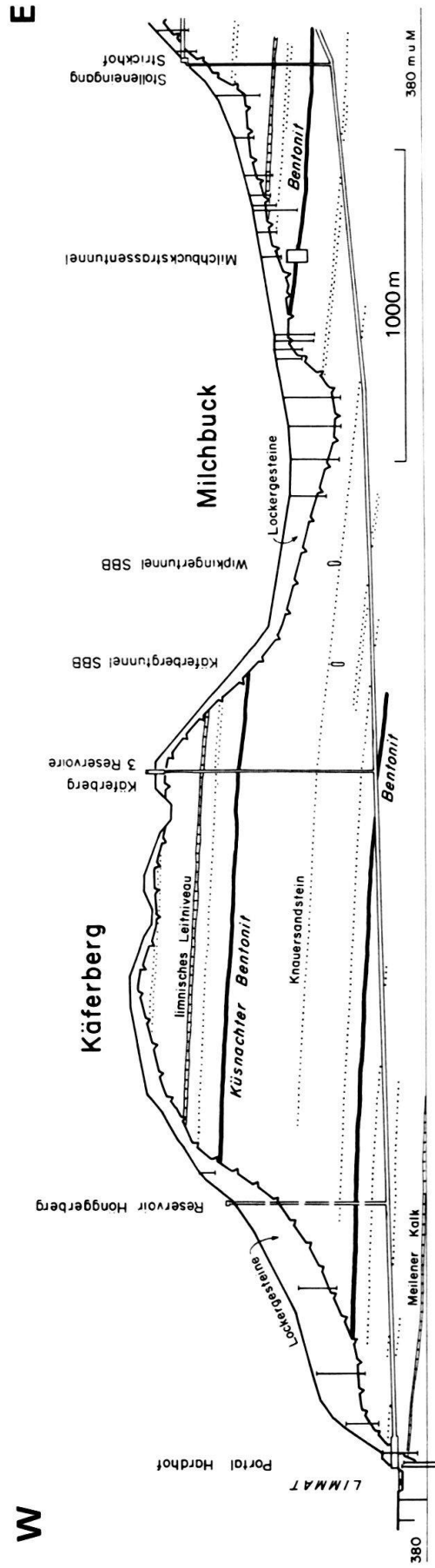


Fig. 3. Profil des Wasserstollens Hardhof-Strickhof, 5ml überhöht.



Fig.4. Bentonit von Urdorf-Uetikon im Wasserstollen Hardhof-Strickhof, Stollenmeter 2150. Der Bentonit quillt stark hervor. Photo V. Longo.

Im Stollen quoll der 10–15 cm mächtige Bentonit bei 130–140 m Überlagerung ungewöhnlich stark hervor, bot im übrigen aber keine besonders grossen Probleme (Fig.4). Es ist allerdings anzunehmen, dass bei einem Tunnel von grösserem Durchmesser bedeutende Niederbrüche entstünden, falls der Bentonit nahe der Kalotte liegt. Zudem sind Quellprobleme zu erwarten.

2. Bentonite von Uetikon und Wolhusen: Postglaziale Auflockerung

Ein zur Überbauung vorgesehenes, mässig steiles Gelände ob Uetikon (Koord. 694.170/236.340) zeigte Rutschmorphologie, obwohl die Umgebung offensichtlich stabil war. Rammsondierungen und zwei Bohrungen ergaben keine besonderen Hinweise, erst zwei Baggerschlitze liessen erkennen, dass an der Basis des unruhigen Bereichs eine 10 cm mächtige Bentonitschicht lag. Der darüber liegende Gesteinskomplex war von steilen, hangparallelen Klüften durchsetzt, etwas versetzt und tiefgründig angewittert. Wie der spätere Aushub zeigte, folgte die basale Gleitlinie dem Bentonit, obwohl dieser talwärts mit etwa 2° aufsteigt. Dabei entstand eine Art überdimensionierte, geöffnete Talklüftung, welche bergseits dadurch gestoppt wurde, dass der Bentonit dort primär auskeilt.

Analoge Erscheinungen in viel grösserem Maßstab ergaben sich über dem Bentonitvorkommen von Wolhusen, 18 km westlich von Luzern (gefunden durch M. Freimoser in zwei Bohrungen bei Vorder Ämsere, 600 m südlich der Kirche Wolhusen, Koord. 211.330/648.000, Höhe 571 m). Der östliche Hangfuss wurde durch die Emme dort bis nahe an den Bentonit erodiert und dann mit Schottern überdeckt. Wie mehrere Bohrungen und die Morphologie zeigen, wurde der über diesem Horizont liegende Gesteinskomplex wiederum hangparallel steil zerspalten und aufgelockert, dies bis zu einer Schichtmächtigkeit von 50 m. Sein oberer Teil zerfiel zu Schutt, während darunter die stratigraphische Schichtfolge erhalten blieb, der Fels aber zerspalten und angewittert ist.

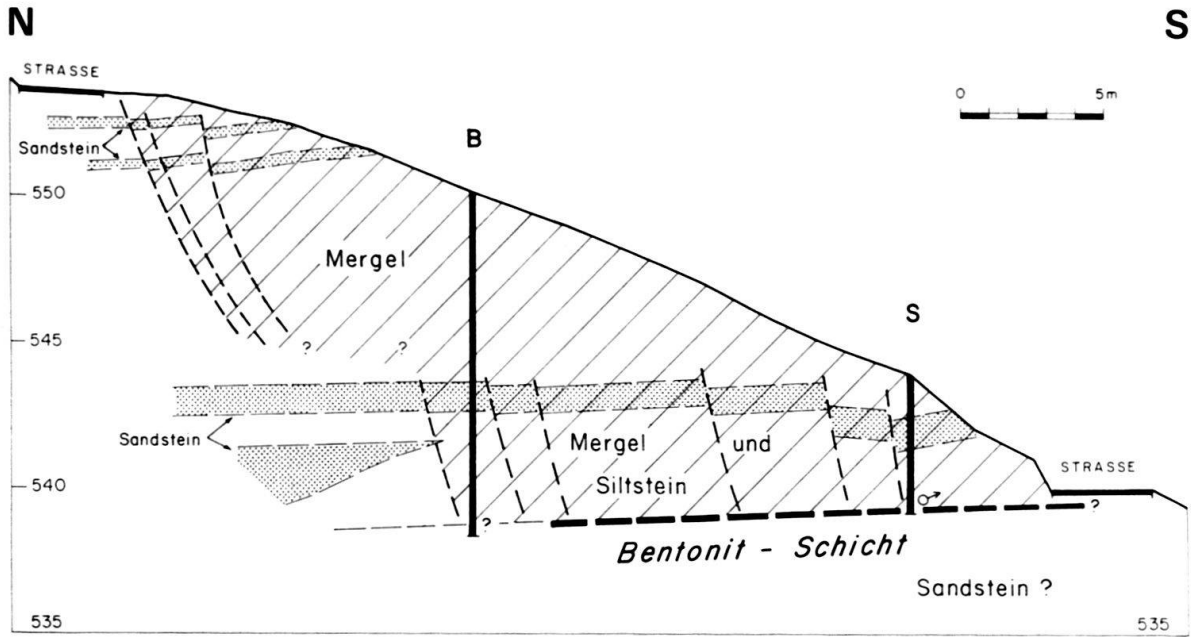


Fig.5. Bentonitvorkommen von Uetikon, Profil nicht überhöht. Schraffierte Zone: starke Zerklüftung und Verwitterung. B = Bohrung, S = Baggerschlitz.

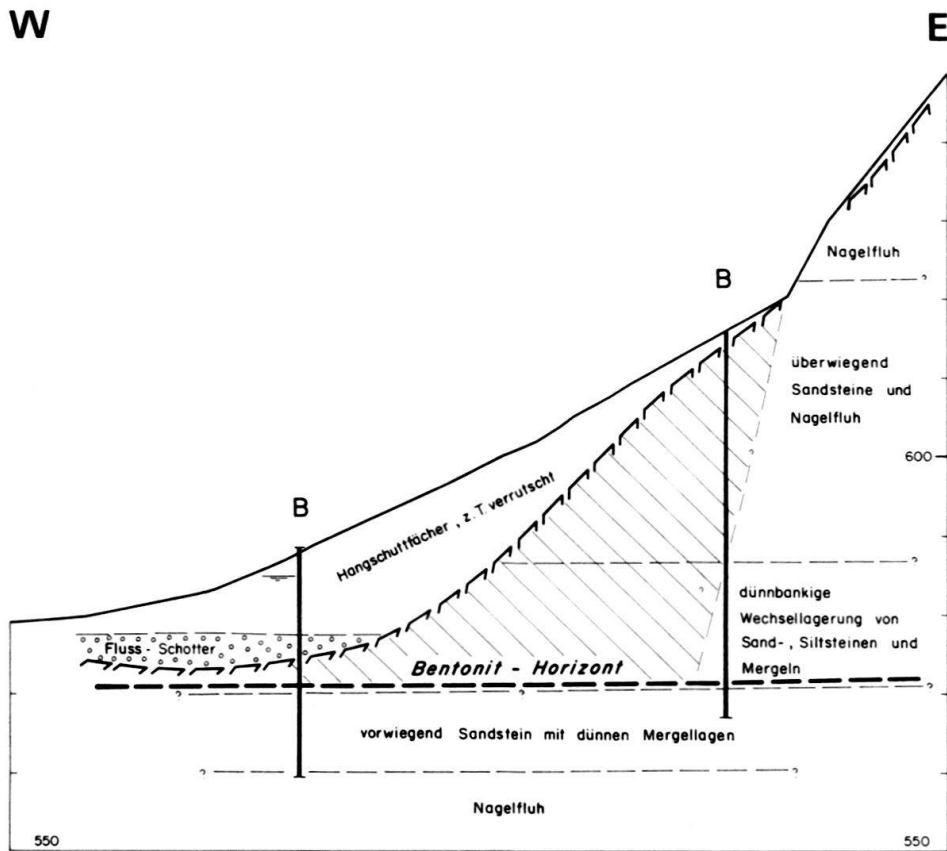
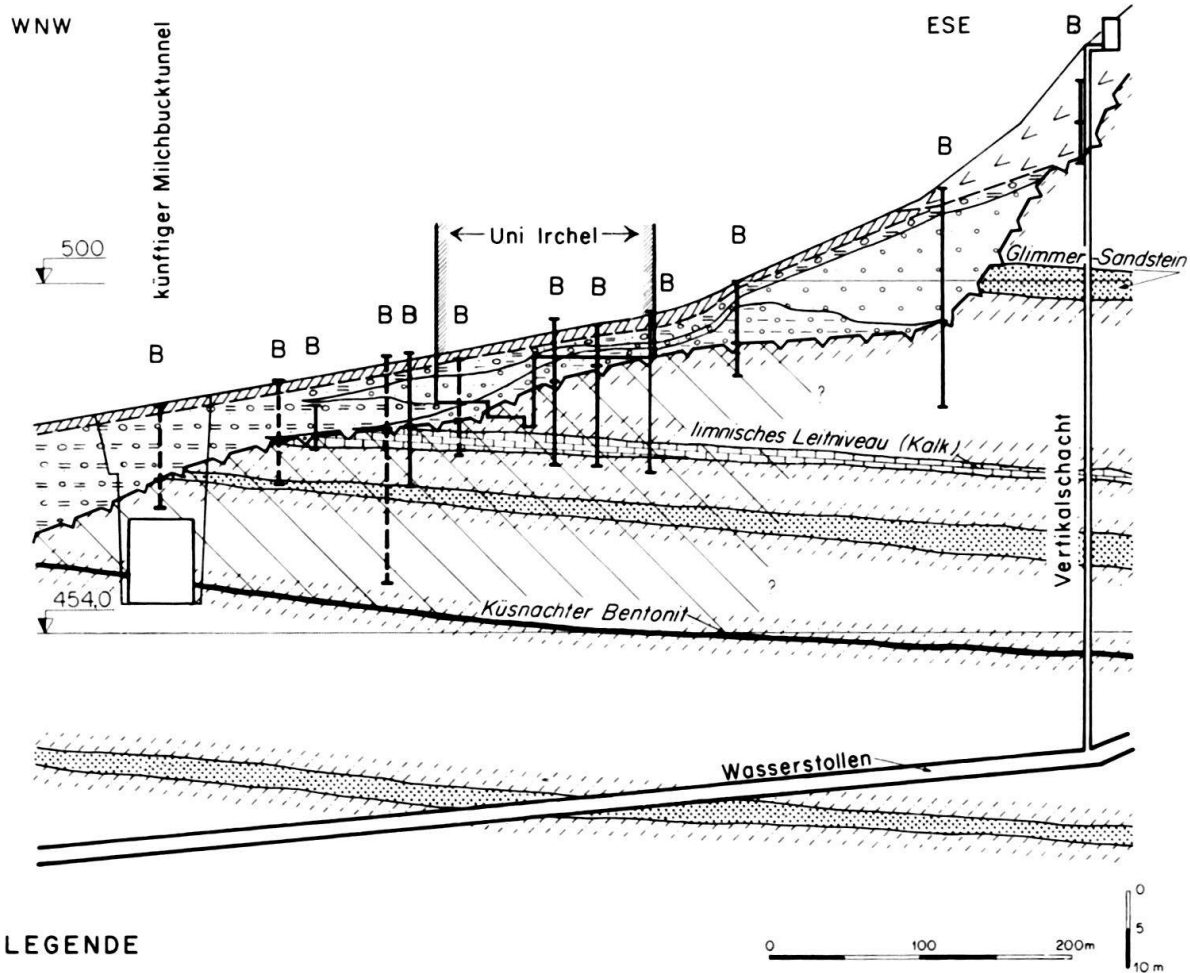


Fig.6. Bentonitvorkommen von Wolhusen, Profil nicht überhöht. Schraffierte Zone: starke Zerklüftung und Verwitterung. B = Bohrung.

3. Gebiet Milchbuck- Uni Irchel in Zürich: Auflockerung vor dem Hochwürm

Beim 280 m langen und bis zu 30 m tiefen nördlichen Voreinschnitt des Milchbucktunnels wurde nahe der Sohle der hier 5-15 cm mächtige Küssnacher Bentonit erreicht (JÄCKLI 1979). Wie von KUHN (1979) dargelegt, war die darüber liegende Molasse von steilen, NNE-SSW streichenden, ungefähr hangparallelen Klüften



LEGENDE

a) Allgemeines

- B Bohrung
- | | | |
|--|---------------|------------------------------|
| | Lockergestein | 1 kaum oder wenig projiziert |
| | Fels | 2 stark projiziert |
- 1 2
- geologische Grenze
- ungefähre Lage der Felsoberfläche

b) Nacheiszeitliche Lockergesteine, nicht vorbelastet

- Rutschmasse
- Gehängeschutt, Gehängelehm und künstliche Auffüllung

c) Eiszeitliche Lockergesteine, vorbelastet

- Moräne im Allgemeinen, z.T. mit Einschaltungen von Schmelzwasserablagerungen sowie glazial verschleppter Fels
- kiesig-sandige oder sandige Schmelzwasserablagerungen
- Gemisch aus Moräne und glazial verschlepptem Fels

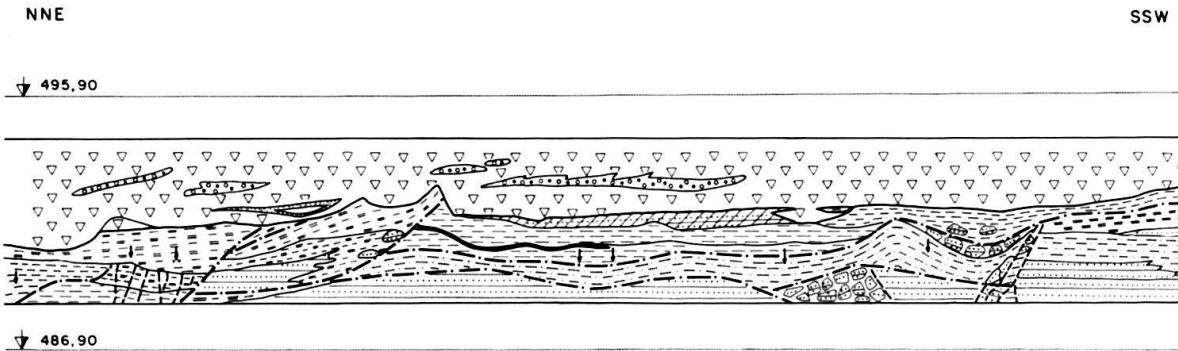
d) Fels, Obere Süsswassermolasse

- Wechsellagerung von Sandsteinen, Siltsteinen und Mergeln
- Sandstein
- Kalk
- Bentonit

Fig.7. Geologisches Profil im Gebiet der Universität Zürich-Irchel, 5mal überhöht. Schraffierte Zone: starke Zerklüftung und Verwitterung.

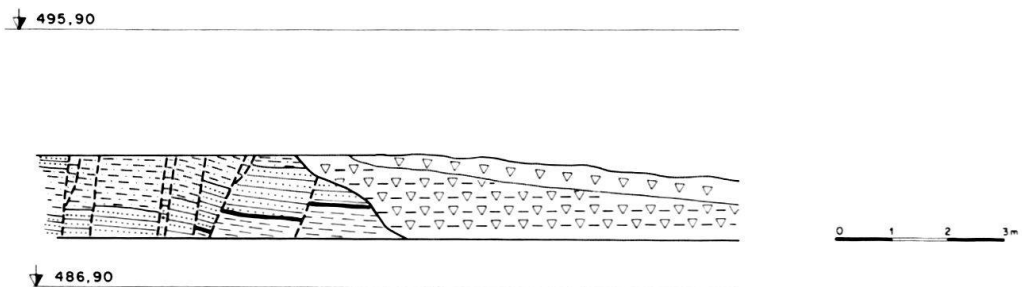
durchsetzt. Schon 7 m bevor der Aushub den Bentonit erreichte, begannen sich beide Flanken des Einschnitts gegen die Baugrube hin zu verschieben. Daraufhin wurden Klinometer in Bohrungen versetzt (Slope Indicators), welche zeigten, dass während des weiteren Aushubs und auch einige Zeit danach Horizontalbewegungen stattfanden, dies zum kleineren Teil entlang einem bituminösen Mergel, hauptsäch-

Profil 2



Profil 3

ESE WNW



LEGENDE

Eiszeitliche Lockergesteine, vorbelastet

- Moräne im Allgemeinen
- Gemisch aus Moränenmaterial und glazial verschlepptem Fels

Schmelzwasserablagerungen, meist glazial aufgeschürft

- Kies - Sand
- Sand

Zerrütteter oder glazial verschleppter Fels,

Obere Süßwassermolasse

- Sandstein, wenig zementiert
- Sandstein, mässig - stark zementiert
- Sandsteinrümmer
- toniger Sandstein - mergeliger Siltstein
- Siltstein
- mergeliger Siltstein
- Mergel
- verlehmtmer mergeliger Siltstein
- bituminöse Mergel
- Klüfte, Risse, Gleitflächen
- Niederbrüche

Fig.8. Aufnahme von Baugrubenaufschlüssen in der zweiten Bauetappe der Universität Zürich-Irchel (V. Longo).

lich aber im Bentonit. Erstaunlicherweise waren sie trotz leicht bergwärts fallender Schichtlage auch im Osten des Einschnitts festzustellen, erreichten dort einen geschätzten Totalbetrag von 20 cm und waren noch in 75 m Entfernung eindeutig im Bentonit festzustellen. Es ist dabei insbesondere an eine Öffnung der bereits bestehenden Klüftung zu denken.

In diesem Zusammenhang besonders interessant sind die Beobachtungen vor und während des Baus der Universität Zürich-Irchel (LONGO 1979), deren Gelände ja nahe bergseits dieses Einschnitts liegt. Wie die Bohrungen und Baugrubenaufschlüsse zeigten, ist die Molasse auch hier von NNE-SSW streichenden, hangparallelen Klüften durchsetzt und tiefgreifend angewittert. Trotzdem konnte die Kalkbank des limnischen Leitniveaus ohne wesentliche Störung verfolgt werden und liess sich in dem etwa 140 m unter dem Gelände durchziehenden Wasserstollen Hardhof-Strickhof keine Störung oder bedeutende Klüftung erkennen. Eine tektonische Deutung dieser Erscheinung ist somit auszuschliessen (Fig. 7).

Die obersten Felspartien waren lokal entlang flachliegenden Gleitflächen überschoben - zum Teil auf Moräne -, darunter waren sie meist verkippt und gegeneinander versetzt (Fig. 8), doch nahmen die Störungen gegen die Tiefe hin rasch ab. Wie Detailaufnahmen zeigten, gehen diese Erscheinungen eindeutig auf den hochwürmeiszeitlichen Gletscher zurück, welcher dieses Gebiet überfuhr, es infolge seiner geschützten Lage im Druckschatten des Zürichbergs aber offenbar nicht wesentlich erodierte. Das Gestein muss aber bereits *vorgängig* tiefgründig zerspalten, aufgelockert und angewittert gewesen sein. Der Gletscher hinterliess eine mächtige Decke von Lockergestein, welche weitere Verschiebungen blockierte, so dass hier eine fossile Erscheinung vorliegt.

Leider stösst keine Sondierung wesentlich über das limnische Leitniveau hinunter vor. Die Gesteinszerrüttung greift eindeutig bis nahe an diese Kalkbank, über welcher ein bituminöser Mergel mit flachen Gleitharnischen zu finden ist. Sollte hier der Hauptverschiebungshorizont liegen, so griffe das erfasste Felspaket 320 m weit gegen den Berg und würde bis zu 25 m mächtig. Mit den Beobachtungen weiter talseits besser zu vereinigen ist aber die Annahme, die wichtigere Bewegungsfläche sei 25 m tiefer im Küssnacher Bentonit zu suchen; die aufgespaltene Felsmasse würde damit 500 m bergseits greifen und bis zu 50 m mächtig werden.

Im Vergleich mit den Beispielen von Uetikon und Wolhusen erstaunt die ungemein grossflächige, flache Ausbreitung der Auflockerungserscheinungen, was aber wohl dadurch zu erklären ist, dass ihnen hier eine sehr viel längere Zeit zur Bildung verfügbar war (vom Frühwürm oder Spätriss bis ins Hochwürm). Abschliessend sei betont, dass Bentonit solche Erscheinungen besonders begünstigt, dass sie in kleinerem Mass aber auch bei sehr tonigen oder bituminösen Mergeln auftreten können.

LITERATURVERZEICHNIS

- BÜCHI, U. P. (1956): *Über ein Vorkommen von Montmorillonit in der zürcherisch-aargauischen Molasse.* - Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing. 22/63, 19-22.
 — (1958): *Geologie der Oberen Süsswassermolasse (OSM) zwischen Reuss und Glatt.* - Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing. 23/68, 5-24.
 BÜCHI, U. P., & HOFMANN, F. (1945): *Spuren vulkanischer Tätigkeit im Tortonien der Ostschweiz.* - Eclogae geol. Helv. 38/2.

- GYGER, M., MÜLLER-VONMOOS, M., & SCHINDLER, C. (1976): *Untersuchungen zur Klassifikation spät- und nacheiszeitlicher Sedimente aus dem Zürichsee*. – Schweiz. mineral. petrogr. Mitt. 56.
- HOFMANN, F. (1952): *Zur Stratigraphie und Tektonik des st.gallisch-thurgauischen Miozäns (Obere Süsswassermolasse) und zur Bodenseegeologie*. – Ber. st.gall. natw. Ges. 74, 1–87.
- (1956): *Sedimentpetrographische und tonmineralogische Untersuchungen an Bentoniten der Schweiz und Südwestdeutschlands. Tonmineralogischer Beitrag von R. Iberg*. – Eclogae geol. Helv. 49/1, 113–133.
- HOFMANN, F., BÜCHI, U., IBERG, R., & PETERS, T.J. (1975): *Vorkommen, petrographische, tonmineralogische und technologische Eigenschaften von Bentoniten im schweizerischen Molassebecken*. – Beitr. geol. Karte Schweiz, geotech. Ser. 54.
- JÄCKLI, H. (1979): *Geologische Verhältnisse im Abschnitt Platzspitz bis Schwamendingen der N1.4.3 und N1.4.4*. – Mitt. schweiz. Ges. Boden- u. Felsmech. 100.
- KENNEY, T.C. (1967): *The influence of Mineral Composition on the Residual Strength of Natural Soils*. – Proc. int. Geotech. Conf. Oslo.
- KUHN, B. (1979): *Der Voreinschnitt Nord zum Milchbucktunnel – Sicherung und Verhalten der Baugruben*. – Mitt. schweiz. Ges. Boden- u. Felsmech. 100.
- LONGO, V. (1979): *Geologische Verhältnisse im Bereich der Universität Zürich-Irchel*. – Schweiz. Ing. u. Arch. 44/79.
- PAVONI, N. (1956): *Zürcher Molasse und Obere Süsswassermolasse der Ostschweiz, ein stratigraphischer Vergleich*. – Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing. 22/63, 25–32.
- (1957): *Geologie der Zürcher Molasse zwischen Albiskamm und Pfannenstiel*. – Vjschr. natf. Ges. Zürich 102/5, 117–315.
- (1958): *Neue Bentonitvorkommen in der Zürcher Molasse*. – Eclogae geol. Helv. 51/2, 299–304.
- (1959): *Zur Gliederung der Oberen Süsswassermolasse (OSM) im Bereich des Hörnlischutfächers*. – Eclogae geol. Helv. 52/2, 477–487.
- (1960): *Zur Entdeckung des Küssnachter Bentonithorizontes im unteren zürcherischen Sihltal*. – Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing. 26/71, 37–40.
- (1963): *Zur Geologie der Molasse zwischen Zürichsee und Pfannenstiel*. – Heimatbuch Meilen, p. 115–138.
- SCHINDLER, C., & KELLER, M. (1970): *Sicherungsmassnahmen bei einem Anschnitt an der N1 nahe Winterthur*. – Strasse u. Verkehr 12.