Felsenfest verankert

Autor(en): **Eisenlohr, Thomas / Wittel, Andrea / Fischli-Boson, Patric**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Tec21**

Band (Jahr): **136 (2010)**

Heft 20: **Naturtheater**

PDF erstellt am: **19.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-109609

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

FELSENFEST VERANKERT

Dank einem Lift und einem neuen Steg ist das Naturschauspiel des Rheinfalls einfacher zu erreichen. Die Bauingenieure von Ernst Basler + Partner fügten die Tragkonstruktionen geschickt in die anspruchsvolle Kulisse ein. Doch weil diese bröckelt, mussten sie in Zusammenarbeit mit dem Geologen der Dr. Heinrich Jäckli AG zuerst den Fels stabilisieren.

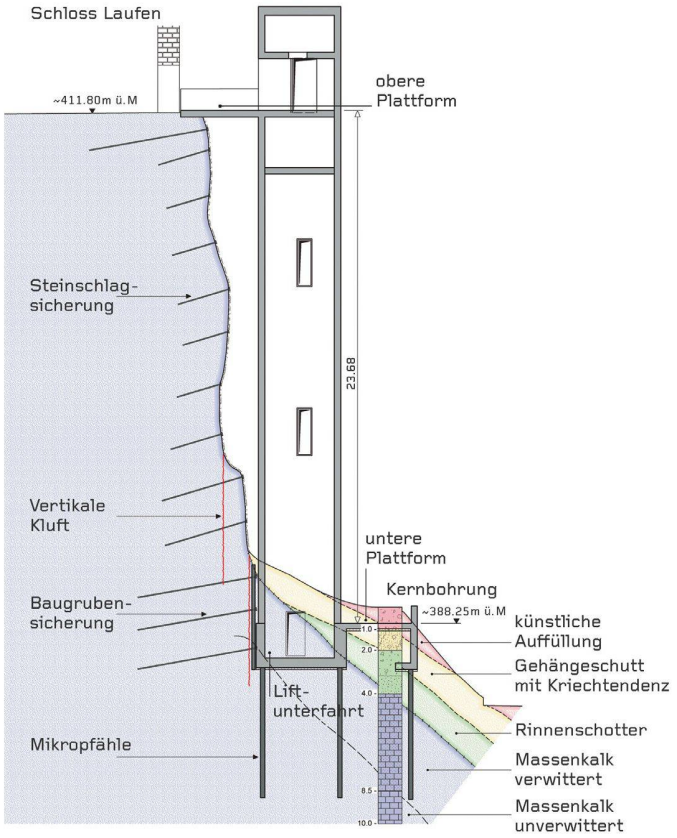
Die grössten Eingriffe am Felsen unter dem Schloss Laufen waren der Neubau des Belvederestegs und des Liftturms (vgl. S. 18ff.). Der gestalterische Entwurf und das Tragwerkskonzept mussten sich stark mit den geologischen und topografischen Gegebenheiten auseinandersetzen. Besonders deutlich wurde dies beim Grundriss und den Fundationen des Steges sowie bei der Platzierung des Turmes.

EIN STANDORT FÜR DEN LIFTTURM

Als Standort für den Turm wurde eine Stelle direkt unterhalb eines Durchlasses in der denkmalgeschützten Schlossmauer gewählt, der bislang zu einem kleinen Aussichtsbalkon führte. Hier fällt der Fels am steilsten ab, sodass der Turm nahe an die natürliche Felswand gebaut werden konnte, sich so besser in die Gesamterscheinung des Berges einfügt und die Verbindungsplattform zwischen Schlosshof und Turm relativ kurz werden konnte. Ein weiterer Vorteil war, dass am Fuss dieser steilen Felswand die Felsobergrenze deutlich flacher wird und nur wenige Meter unter der Terrainoberfläche verläuft. So reduzieren sich die Probleme, die der hier vorhandene Rutschhang verursacht, auf die untere Plattform. Der Turm ist als eingespannter Kragarm konzipiert. Der Schaft, der die beiden Liftkabinen trägt, ist als schiefwinkliges Trapez ausgebildet, was die vorteilhafte Ausrichtung der Kabinen ermöglicht und statisch einen idealen Querschnitt für den Abtrag der horizontalen Lasten (Wind, Erdbeben) und der asymmetrischen Belastungen aus den beiden Kabinen darstellt. Die Einspannung des Turmes wird über die parallel zum Hang angeordneten Wände der Liftunterfahrten erreicht. Über diese trägerartigen Wandscheiben wird das Einspannmoment in ein Kräftepaar aufgeteilt, das über Mikropfähle in den unverwitterten Fels eingeleitet wird. Die untere Plattform schliesst an der Liftunterfahrt an. Deren talseitig abschliessende Wand wird ebenfalls auf Mikropfählen im Fels gelagert, damit die im Rutschhang entstehenden Bewegungen nicht zu Schäden führen können (Abb. 1). Die obere Plattform, die die Verbindung zum Schlosshof bildet, ist als tragender U-Querschnitt ausgebildet und am Turm eingespannt. An der Schlossmauer ist sie auf einem natürlichen Felsvorsprung horizontal verschieblich aufgelagert, der mit ungespannten Ankern gesichert wurde.

DIE STAHLKONSTRUKTION DES STEGES

Der sensiblen Umgebung und nicht zuletzt der schwierigen Randbedingungen für die Montage des Steges wegen wurde hier eine Stahlkonstruktion gewählt. Das Tragwerk ist grundsätzlich als sechsfeldriger Durchlaufträger konzipiert, der an beiden Enden schwimmend gelagert ist. Stabilisiert wird der Steg durch die Einspannungen an den Stützenköpfen und die geometrische Steifigkeit, die aus dem geknickten Grundriss resultiert. Der Stegquerschnitt besteht in der Regel aus zwei an den Rändern angeordneten Hohlkastenträgern, die durch «radial» angeordnete Träger in den Knicken miteinander verbunden werden. Zum Turm hin ergeben sich zwei relativ grosse Spannweiten, die in der Schwingungsanalyse Frequenzen zeigten, die durch Fussgänger angeregt werden könnten. Hier ist jeweils ein zusätzlicher Träger in der Mitte des Steges angeordnet, der die Steifigkeit der Brücke so beeinflusst, dass nun die Frequenzen ausserhalb des kritischen Bereiches liegen.



01



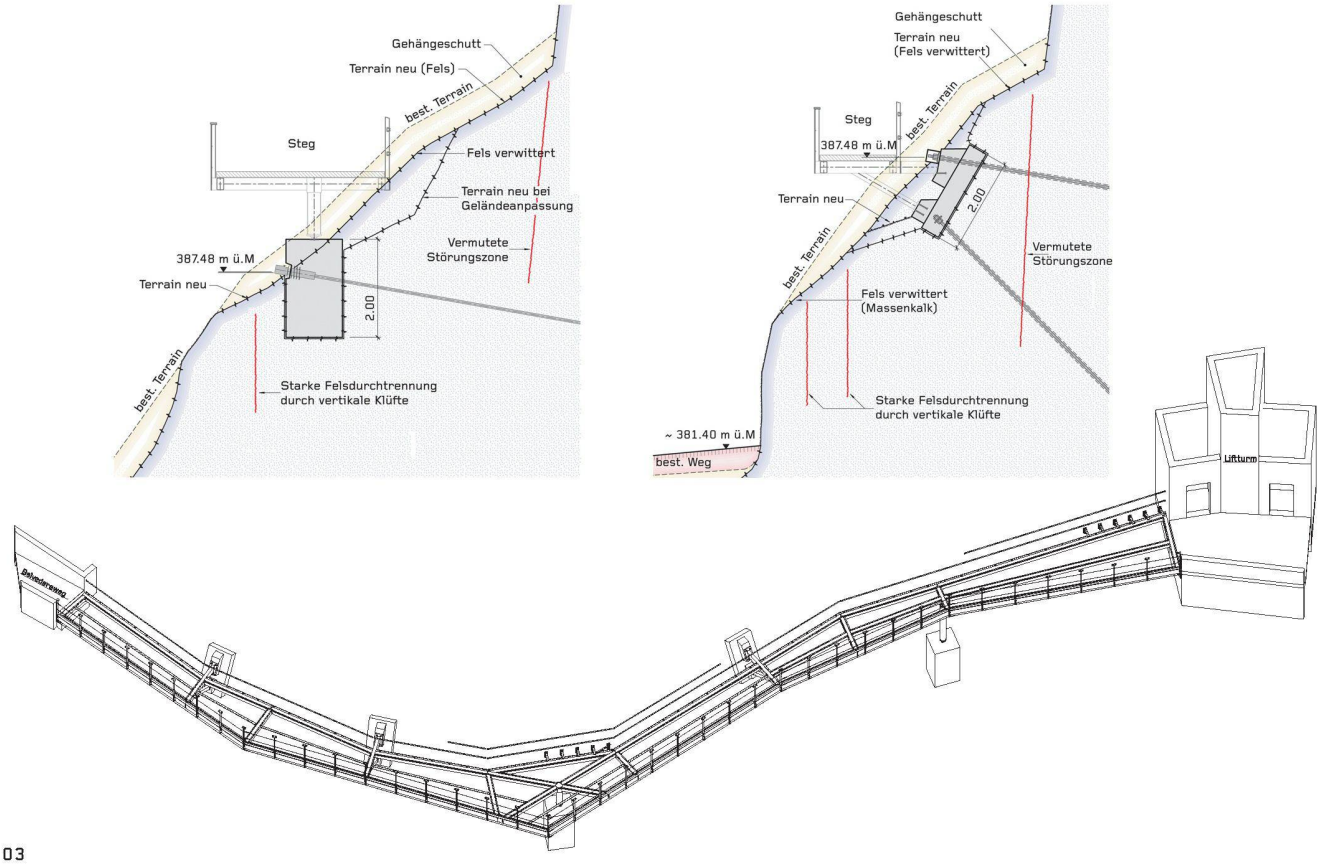
02

Die unterschiedlichen Breiten des Steges sowie die Knicke führen zu Torsionsbeanspruchungen im Stegquerschnitt. Um diese zu minimieren, wurden die Stützen – wo möglich – direkt in den Knicken positioniert. Die aus statischer Sicht zu bevorzugenden vertikalen Stützen können aufgrund des durch tektonische Störzonen und Verwitterungsprozesse stark aufgelockerten Felsverbandes nur an zwei Stellen ausgebildet werden. An den anderen drei Auflagerpunkten werden konsolartige Auflager ausgebildet (Abb. 3). Alle Fundamente sind mit vorgespannten Ankern und zum Teil zusätzlichen Nägeln in den Fels verankert. Diese Anker sichern gleichzeitig den Fels, indem sie durch Störzonen abgetrennte Bereiche mit dem gesunden Fels verbinden. Zum Rheinfall hin endet der Steg an einem weiteren Stützbauwerk, das zwischen bestehenden Wegen in den Hang einschneidet. Es wurde auf dem gut tragfähigen Fels fundiert. Aufgrund der steil abfallenden Felsoberfläche waren dazu talseits bis zu 2.5 m tiefe Betonriegel erforderlich.

STABILITÄT FÜR DIE TOURISTISCHE INSZENIERUNG PRÜFEN

Der am Südrand des Rheinfalls exponiert emporragende Felskopf des Belvedere (Oberes Känzeli) wird durch mehrere Störungszonen in einzelne Felspakete durchtrennt. Im Winter 1963/64 ereignete sich an der Felswand unterhalb des Belvederes ein Felsabbruch. In der Folge wurde der Felskopf mit 7 rund 20 m langen Felsankern gesichert. Seit etwa 1986 wird der Felskopf des Belvederes durch periodische Kluftsiegel-Kontrollen und geodätische Messungen überwacht. Dabei wurden bisher keine Anzeichen auf Bewegungen festgestellt. Die zu erwartenden Versagensmechanismen können jedoch sehr spröde erfolgen und müssen sich daher nicht zwingend in Form von Verschiebungen ankündigen. Eine reine Beobachtungsmassnahme bringt deshalb nicht die gewünschte Sicherheit.
Im Rahmen der touristischen Inszenierung wurden die Stabilitätsverhältnisse neu überprüft. Dafür wurde am hängenden Seil eine Felskontrolle und Trennflächenanalyse durchgeführt.

01 Schnitt durch den Liftturm mit anstehendem Gelände. Das Einspannmoment wird in ein Kräftepaar aufgeteilt und dieses über Mikropfähle in den unverwitterten Fels eingeleitet (Fotos und Pläne: Autoren)
02 An den Liftturm schliesst schwimmend gelagert der Steg an, eine mit Holz beplankte Stahlkonstruktion



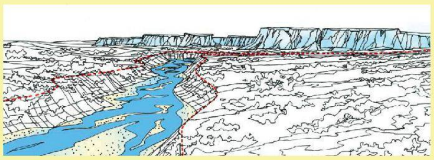
03

DIE ENTSTEHUNG DES RHEINFALLS

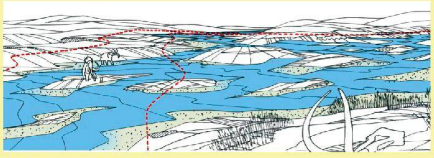
Der Rheinfall ist, geologisch betrachtet, relativ jung. Er verdankt seine Entstehung in erster Linie den Schmelzwasserflüssen der Gletscher, die während der vergangenen Eiszeiten mehrfach bis in den Raum Schaffhausen vorgestossen sind. Durch Gletschereis und Schmelzwasser wurde die Landschaft tief greifend umgestaltet.

Während langer Zeit flossen die Schmelzwässer des Bodensee-Rhein-Gletschers durch das Tal des Klettgaus in Richtung Westen ab. Zur Zeit der grössten Vergletscherungen versperrten Eismassen, Schotter und Moränenablagerungen diese Abflussmöglichkeit. Das Wasser musste sich im Gebiet von Neuhausen eine neue Entwässerungsrinne gegen Süden schaffen und erodierte hier einen rund 100–200 m breiten und 50–100 m tiefen Canyon in den Felsuntergrund (Abb. 4). In den folgenden Eiszeiten änderten sich die Entwässerungsverhältnisse erneut, und die Schlucht von Neuhausen wurde wieder vollständig mit sandig-kiesigen Schotterablagerungen und Seesedimenten verfüllt. Vor etwa 20 000 Jahren, als der Bodensee-Rhein-Gletscher der letzten Eiszeit seinen Rückzug aus dem Raum Schaffhausen begann, flossen die Schmelzwässer auf dem höher liegenden Niveau der heutigen Stadt Neuhausen durch eine hügelige Moränenlandschaft (Abb. 5). Der Rhein besass damals eine grosse Erosionskraft und tiefte sein Bett immer mehr in den Untergrund ein. Er folgte dabei über weite Strecken seinem älteren Flussbett. Im Gebiet von Neuhausen-Flurlingen verliess er sein ehemaliges Bett und folgte weicheren Schichten zuerst gegen Süden, bevor er durch den Felsriegel beim Schloss Laufen wieder gegen Nordwesten in sein altes Flussbett gedrängt wurde. Die Lockergesteinsfüllung der ehemaligen Schlucht von Neuhausen wurde durch den Fluss rasch wieder abgetragen. Im Gegensatz dazu leistete der harte Kalkstein des ehemaligen Canyon-Randes der Erosion Widerstand, sodass sich die Rheinfallstufe ausbilden konnte (Abb. 6).

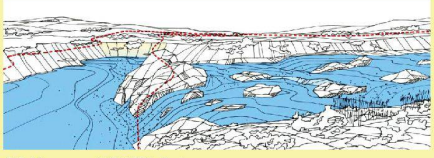
Seit dem vollständigen Rückzug der Gletscher lädt der Rhein seine als «Schleifmittel» wirkende Geschiebefracht im Bodensee ab. Dadurch hat er viel von seiner Erosionskraft verloren. Trotzdem nagen die Wassermassen auch heute noch am felsigen Untergrund. Vor allem entlang von tektonischen Schwächezonen und weicheren Mergellagen im Kalk erodiert der Untergrund weiterhin, und der Rheinfall wandert langsam flussaufwärts (Abb. 7). Dabei werden härtere Gesteinspartien als markante Felszähne freigelegt und unterspült.



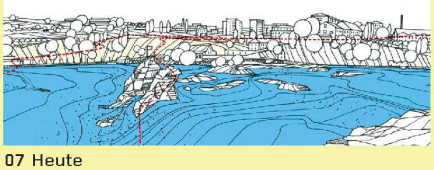
04 Vor ca. 200 000 Jahren (Bilder: Autoren)



05 Vor ca. 20 000 Jahren



06 Vor ca. 10 000 Jahren



07 Heute

Auch an den seitlichen Hängen wird durch Verwitterungs- und Erosionsprozesse wie Verkarstung, Frost- und Wurzelsprengung, Abschwemmung, Rutschungen und Steinschlag laufend Material abgetragen. Diese natürlichen Prozesse würden ohne Schutzmassnahmen die Besucherwege am Rheinfall gefährden.

SCHLOSS LAUFEN

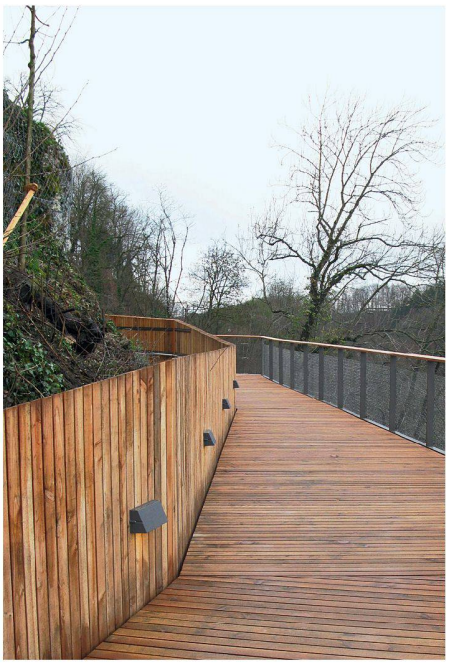
Das Schloss Laufen steht auf einer Felsrippe, die sich über den Rheinfall zum schaffhausischen Ufer fortsetzt. Es handelt sich dabei um sogenannte Massenkalke aus der Malm-Zeit (vor ca. 150 Mio. Jahren). Die Schichtung ist grösstenteils kaum ausgeprägt, nur an einzelnen zurückwitternden Mergelbänken ist das flache Schichteinfallen mit wenigen Grad gegen Süden bis Südosten erkennbar. Die Kalke sind von grösseren, vielfach steil stehenden Klüften und tektonischen Störungszonen durchzogen und weisen eine Kleinklüftung im Handstückbereich auf. Eisenhaltige Überzüge auf Kluft- und Karsthohlräumen zeigen, dass die Kalke bereits in geologischer Vergangenheit stark verwitterten; auch entlang der heutigen Terrainoberfläche ist dies der Fall. Vor allem in Runsen und an weniger steilen Hangpartien ist der Felsuntergrund von Gehängeschutt aus Kalksteinbruchstücken, feinkörnigen Verwitterungsprodukten sowie aus Bodenbildungen überdeckt. Rheinabwärts im Bereich der SBB-Station taucht die Felsoberfläche steil ab. Die darüber liegenden, teilweise verkitteten Rinnenschotter bilden hier ein Steilbord zum Rheinufer. Oberflächlich werden die Rinnenschotter ebenfalls von mehrheitlich feinkörnigem Gehängeschutt bedeckt, der eine Kriechtendenz hat und bei starken Niederschlägen oberflächlich rutschen kann. Im Hinblick auf die touristische Erschliessung wurden der Projektbereich geologisch im Massstab 1:200 kartiert, eine Trennflächenanalyse durchgeführt sowie im Liftbereich Kernbohrungen abgeteuft.



08



09



10

Diese zeigte, dass auch ausserhalb des durch die bestehenden Anker gesicherten Bereiches absturzgefährdete Felspartien vorhanden sind. Da zudem die Anker von 1963/64 nicht mehr den heutigen Anforderungen an permanente Anker genügen, bestand unabhängig vom Erschliessungsprojekt ein zwingender Handlungsbedarf. In einer ersten Phase wurden die möglichen Gefährdungsbilder mit geologischen Modellen ermittelt. Das Modell wurde anhand eines 3-D-Geländemodell entwickelt, die Kluftflächen wurden eingezeichnet, miteinander verschnitten und die gesuchten Bruchkörper so gefunden. Diese Modelle sind naturgemäss keine exakten Abbildungen der Wirklichkeit, die Unsicherheiten der Modellbildungen wurden mittels Sensitivitätsanalyse minimiert. Die Bruchkörperanalyse ist die Grundlage für die statischen Berechnungen, in denen an den einzelnen Bruchkörpern die Gleit- und Kippnachweise geführt und damit die massgebenden Ankerkräfte ermittelt wurden. Aus der Bruchkörperanalyse wurden die nötigen Massnahmen zur Sicherung der Aussichtsplattform abgeleitet. Das gewählte Sicherungskonzept resultiert schliesslich aus mehreren Varianten, die in einem interdisziplinären Projektteam diskutiert wurden.

KOSTÜMIERUNG DER ANKERKÖPFE

Der Rheinfall ist im Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung (BLN) aufgeführt. Daher wurde das Projekt eng von der Eidgenössischen Natur- und Heimatschutzkommission (ENHK) begleitet und auf Übereinstimmung mit dem Umweltschutzrecht geprüft und bewilligt. Die Sanierungsmassnahmen beinhalten 31 vorgespannte Anker, die bis zu 20 m in den Fels gebohrt wurden, sowie 53 ungespannte Anker, lokale armierte Spritzbetonplomben und ein Steinschlagnetz. Da der hydrostatische Druck in wasserführenden Klüften eine für die Stabilität massgebende Grösse darstellt, wurden zur Verminderung respektive zur Limitierung des maximalen Wasserdruckes im unteren Bereich der Felswand Drainagebohrungen angeordnet. Damit der Eingriff in die Natur so unsichtbar wie möglich ausfällt, wurden die Ankerköpfe dem anstehenden Fels so gut wie möglich angepasst. Ihre Oberflächen wurden gar durch einen Steinmetz bearbeitet und der Beton mit Pigmenten versehen, damit er farblich dem Fels ähnelt.

03 Der Steg ist an beiden Enden schwimmend gelagert und dazwischen an fünf Punkten aufgelagert, zweimal mit vertikalen Stützen, dreimal auf Konsolen (Schnitte: Autoren; Axonometrie: Gysin Stahl- und Apparatebau AG)
08–10 Für die Montage des Steges wurde eine zusätzliche rund 2 m breite Plattform unterhalb des Stegs aufgebaut. Der Holzbelag aus Schweizer Douglasie wurde von unten an die Stahlkonstruktion verschraubt (vgl. S. 28 ff.)
(Fotos: F. Strässle; dd/Red.; F. Barras)

Thomas Eisenlohr, Dr. Sc. Nat. ETH, Geologe, Dr. Heinrich Jäckli AG, Zürich; eisenlohr@jaeckli.ch
Andrea Wittel, dipl. Bauingenieurin, Ernst Basler + Partner AG, Zürich; andrea.wittel@ebp.ch
Patric Fischli-Boson, dipl. Bauingenieur, Ernst Basler + Partner AG, Zürich; patric.fischli-boson@ebp.ch