

Zeitschrift: Neujahrsblatt der Naturforschenden Gesellschaft Schaffhausen
Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft Schaffhausen
Band: 39 (1987)

Anhang: Der Rheinflall

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 08.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Der Rheinfall



Herausgegeben von der Naturforschenden Gesellschaft Schaffhausen

Der Rheinfall

Steckbrief

Bezeichnung Rheinfall oder «Grosser Laufen» [= Wasserfall] im Gegensatz zum einstigen «Kleinen Laufen» [= «Lächen»] an der heutigen Stelle des Kraftwerks Schaffhausen.

Erste schriftliche Erwähnung in der Biographie des Bischofs Konrad I. von Konstanz, verfasst im 12. Jahrhundert.

Erste bildliche Darstellung 1544, in der «Cosmographia universalis» von Sebastian Münster.

Erste richtige erdgeschichtliche Interpretation 1871, durch Leopold Würtenberger (1846–1886) aus Dettighofen.

Alter ca. 15 000 Jahre

Wasserführung Minimum um ca. 95 m³/Sekunde
Maximum um ca. 1250 m³/Sekunde

Breite 150 Meter

Höhe 25 Meter

Nutzbarmachung der Wasserkraft seit der zweiten Hälfte des 11. Jahrh. Vergabung einer Mühle an das Kloster zu Allerheiligen durch Eberhard von Nellenburg.

Felssanierungen Winter 1879/80 (Kleiner Felszahn) und Winter 1984/85.

**Die vorliegende Kioskausgabe ist ein Auszug aus Neujahrsblatt
Nr. 39/1987 «Der Rheinfall», herausgegeben von der Naturfor-
schenden Gesellschaft Schaffhausen.**

Redaktion:

Karl Isler, Lehrer, Pünt 207, 8211 Dörflingen

Textautoren:

Dr. Rudolf Schlatter, Konservator, Tannenstrasse 14, 8200 Schaffhausen

Dr. Franz Hofmann, Geologe, Rosenbergstrasse 103, 8212 Neuhausen

Jakob Deppe, Bau-Ing. HTL, Im Stemmerli 17, 8200 Schaffhausen

Bildautoren:

Frau B. Rast, Schaffhausen: Abb. 1

Archiv NG SH: Abb. 2, 3, 5

Stadtbibliothek Schaffhausen: Abb. 4

Dr. F. Stierlin, Schaffhausen: Abb. 6

C. Koch, Schaffhausen: Abb. 7

Max Baumann, Schaffhausen: Abb. 8–21

Druckerei Karl Augustin AG, Thayngen-Schaffhausen, 1986

Auflage: 5000 Stück

Der Rheinfall

1817.

Züricher

Den 15. Augustmonat.



N^o. 33.

Freitag's-Beitung.

Von und bey David Bürkli.

Besonders wichtig für den löblichen Kanton Schaffhausen mag folgende Anzeige seyn:

„Unterzeichneter erbietet sich, den Rheinfall durch einen unterirdischen Kanal binnen zwey Jahren mit einem Kosten-Aufwand von ungefähr 3 bis 4000 Gulden rheinisch gänzlich zu vernichten und denselben für Rhein-Schiffe aufwärts und abwärts fahrbar zu machen.“

Kupferberg, bey Culmbach, in Franken, den 10. August 1817.

J. I. I. g, Königlich-Bairischer Bergrath.

Herausgegeben von der
Naturforschenden Gesellschaft Schaffhausen

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Steckbrief	1
Aus der naturwissenschaftlichen Erforschungsgeschichte	5
Geologie und Entstehungsgeschichte des Rheinfalls	10
Sanierung der Rheinfallfelsen	21

Aus der naturwissenschaftlichen Erforschungsgeschichte

Dr. Rudolf Schlatter

Der früheste bekannte Hinweis auf das Rheinfallgebiet ist zugleich mit einer naturkundlichen Beobachtung verbunden. In der Biographie des Konstanzer Bischofs KONRAD I. (tätig 935–976) wird das Spiel zweier Wasservögel über bewegtem Wasser beim Schloss «Löfen» zum Symbol der Seelenwaschung; der Rheinfall bleibt unerwähnt. Die Natur erscheint dem Betrachter des Mittelalters nur dort, wo deren Symbolgehalt eine Verbindung mit dem Religiösen möglich macht.

Der «Cataractae Rheni» gilt dem Menschen bis ins späte 16. Jahrhundert als bedrohlich, unberechenbar und für die Schiffe unüberwindbar.

Im 17. Jahrhundert ist die Rheinfallandschaft Bestandteil des umfassenden topographischen Werks von MATTHÄUS MERIAN. Die geographische Dokumentation Europas in Ansichten von Städten und Landschaften erreicht in dieser Zeit einen Höhepunkt. Es ist daher nicht verwunderlich, dass in diese Periode topographischen Schaffens die ersten Projekte zur Schiffbarmachung des Hochrheins fallen. In einer 1662 in Konstanz veröffentlichten Chronik berichtet GABRIEL BUCELINUS, Pater im Kloster Weingarten, vom Angebot niederländischer Handelsleute, die Rheinfallfelsen zu sprengen. Konstanz sollte zu einem zweiten Amsterdam werden.

In dem 1699 veröffentlichten «Einladungsbrief zur Erforschung natürlicher Wundern so sich im Schweizerland befinden» richtet der Zürcher Stadtarzt JOHANN JAKOB SCHEUCHZER 186 Fragen an den naturkundlich Interessierten; diese Schrift kommt einer Aufforderung gleich, die Natur zu beobachten und deren Erscheinungen zu erklären. Bei den Wasserfällen heisst es:

«In was vor Höhe die Wasser sich von den Felsen oder Bergen herabstürzen oder wie hoch seien die Wasserfähl?»

In JOHANN GEORG KEYSSLERS Reisebericht aus dem Jahre 1740 ist zu lesen:

«...Die Felsen, so den Rhein in drey Haupttheile absondern, sind mit Fichten und andern grünen Bäumen bewachsen...»

Seine Schilderung gehört zu den frühesten Zeugnissen intensiver naturkundlicher Betrachtung am Rheinfall.

Erste Ansätze zu einer naturwissenschaftlichen Interpretation des Wasserfalls enthält ein Reisebrief aus dem Jahr 1776 von WILLIAM COX. Die Vorstellung geologischer Zeiträume fehlt gänzlich.

«...Einige Schreiber haben behauptet, dass der Rheinfall sich (...) in einem einzigen Guss über den Felsen herabstürzte (...) von einer steilen Höhe von 100 Fuss. Früher mag solches wahr gewesen sein. Sehr wahrscheinlich war die Strecke zwischen beiden Ufern einst eine gerade Felsmauer, bedeutend höher als der jetzige Fall. Der Fluss hat wohl unvermerkt diese Teile, gegen die er sich mit der grössten Kraft warf, unterhöhlt. Einige alte Leute in der Stadt können sich noch erinnern, dass einst ein grosser Felsblock heruntergefallen sei, was das Aussehen des Falles stark verändert habe. Ich bin überzeugt, dass die Steilheit des Falles sich jedes Jahr vermindert, wegen der fortwährenden Reibung eines grossen und schnellen Wasserkörpers...»

In der inhaltlichen Vielfalt der unzähligen Darstellungen und Beschreibungen des Rheinfalls im 18. Jahrhundert hat die naturwissenschaftliche Beschäftigung mit dem Wasserfall wenig Platz gefunden. Das «Zurück zur Natur» JEAN-JACQUES ROUSSEAUS durchwirkt das «Erlebnis Rheinfall» gänzlich. Das Phänomen des Wasserfalls wird zum Gleichnis innerster menschlicher Regungen.

Erst im 19. Jahrhundert vollzieht sich der entscheidende Schritt zur naturwissenschaftlichen Fragestellung.

Die erste richtige Interpretation der geologischen Vorgänge, die zur Entstehung des Rheinfalls führten, geht auf LEOPOLD WÜRTEMBERGER (1846–1886) zurück (vgl. Abb. 1, Fig. 1). Sein 100. Todestag hat den Anlass zum vorliegenden Neujahrsblatt gegeben. Über Leopold Würtenbergers Leben ist wenig bekannt.

- 1846 Am 2. September wird Leopold Würtenberger als Sohn des Franz Joseph Würtenberger in Dettighofen (Badischer Klettgau) geboren. Nach der Grundschule Eintritt ins Karlsruher Polytechnikum und Studium der Geologie, Mineralogie, Chemie und Mathematik.
- 1866/67 Assistent am Mineralogischen Institut in Karlsruhe
- 1871 «Über die Entstehung des Schaffhauser Rheinfall» erscheint im Neuen Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, Stuttgart.
- 1874 Tätigkeit als Münzkontrolleur bei der Karlsruher Münzverwaltung
- 1876 Wechsel in den Fachbereich für landwirtschaftliche Lehrmittel, Geräte und Maschinen. – Noch im gleichen Jahr muss er krankheitshalber seine Tätigkeit aufgeben. In einem ärztlichen Attest ist von «nervöser Überreizung in Folge anhaltender geistiger Thätigkeit» zu lesen. – In die Zeit von 1872–1881 fällt ein bemerkenswerter Briefwechsel mit den Zoologen Charles Darwin in Kent und Ernst Haeckel in Jena. Leopold Würtenberger hofft, mit seinen darwinistischen Schriften (Entwick-

lungsgeschichte der Ammoniten) eine hauptberufliche Tätigkeit an einer Hochschule zu erhalten. Leider bleibt ihm dies trotz mannigfacher Bemühungen versagt.

1882 Assistent an der Karlsruher Meteorologischen Centralstation

1886 Am 15. Oktober stirbt er in Karlsruhe.

Kurz nach Erscheinen der Rheinfallstudie richtet LEOPOLD WÜRTEMBERGER ein Schreiben an den Geologen Arnold Escher von der Linth und bittet ihn um sein Urteil (*Fig. 2*):

«Dettighofen (Amt Jestetten, Gr. Baden) d. 13. September 1871

Geehrtester Herr Professor!

In letzter Zeit hatte ich Gelegenheit, geologische Studien am Rheinfall zu machen u. wurde dadurch bereits zu einer Schrift über die Entstehung desselben geführt. Ich habe einen kurzen Bericht über diese Verhältnisse für Leonhards Jahrbuch geschrieben und erlaube mir nun, Ihnen einen Abdruck davon unter Kreuzband zuzusenden. Da Sie die umfassendsten Kenntnisse von den erratischen Gebilden der Schweiz besitzen, so wäre es mir sehr erwünscht, Ihr Urteil über meine Rheinfalltheorie zu vernehmen. Vielleicht haben Sie die Gefälligkeit, mir gelegentlich einige Zeilen hierüber zuzusenden.

Mit vorzüglicher Hochachtung

Ihr ergebenster
L.[eopold] Würtenberger

Mein Vater, F.[ranz] J.[oseph] Würtenberger, den Sie sicher kennen, lässt Sie freundl. grüssen.»

Die Forschungsergebnisse von Leopold Würtenberger kann ALBERT HEIM (1849–1937), Professor für Geologie beider Zürcher Hochschulen, in seiner 1931 veröffentlichten «Geologie des Rheinfalls» vollumfänglich übernehmen. In engster Zusammenarbeit mit JAKOB HÜBSCHER (1883–1957) aus Neuhausen entsteht eine reichdokumentierte Abhandlung mit einer detaillierten geologischen Karte des Rheinfallgebietes (*Abb. 2/3*). Wer sich mit den erdgeschichtlichen Vorgängen am Rheinfall beschäftigt, sich für die Beschaffenheit des Felsuntergrundes oder für die Wirkung des Algenpolsters gegen die Erosion interessiert, findet in diesem Standardwerk erschöpfende Auskunft.

Die Besonderheit der Pflanzenwelt in der Umgebung des Rheinfalls beruht auf der Vielgestaltigkeit der Wasserflora und der Trockenflora der Uferpartien. Zur Kenntnis der Rheinfallflora haben hauptsächlich OTTO JAAG (1900–1978)

Leithypothese (auch fast allen, Gw. Leiden) d. 13. September
1871.

Großtesse Herr Professor!

In letzter Zeit hatte ich Gelegenheit, gewolligtes
Händchen am Rheinfall zu besuchen u. unsere Bekanntschaft
kurz zu einer Aussprache über die Entstehung des Falls
geleitet. Ich habe Ihnen kürzlich darüber Briefe
geschrieben für Leonhards Jahrbuch geschrieben und
wäre mir ein, Ihnen mein Bedauern darüber
kurz zu schreiben. Sie sind die in der neuesten
Ausgabe von dem berühmten Gelehrten der Physik
besitzend, so wäre es mir sehr erwünscht, Ihr Bedauern
über meine Rheinfallstudien zu erfahren. Willst du
haben Sie die Gelegenheit, mir gelegentlich einige Zeilen
schreiben zu schreiben.

Mit herzlichster Gruss

Ihr ergebener

L. Württemberg

Mein Vater, F. F. Württemberg, den Sie sehr kennen,
heißt Sie herzlichst grüßen.

Über die Entstehung des Schaffhauser Rheinfalles

von Leopold Württemberg

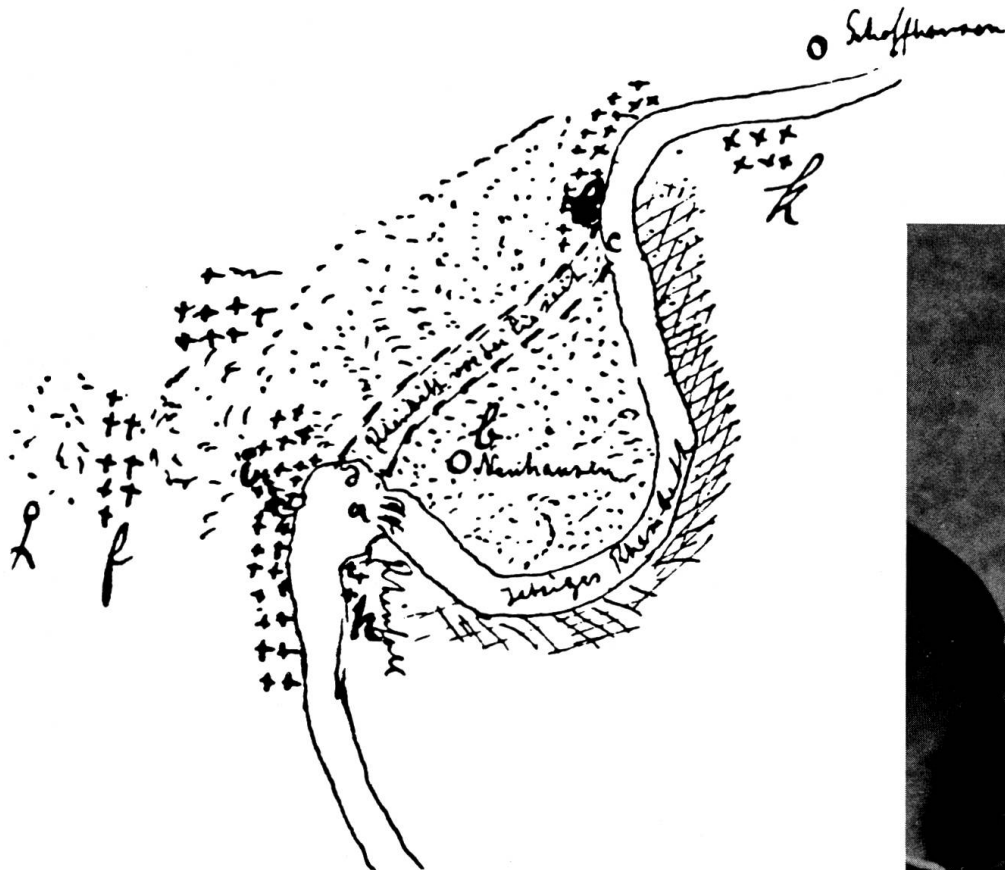


Fig. 1 Erste richtige erdgeschichtliche Interpretation der Entstehung im Jahre 1871



Abb. 1 Leopold Württemberg, 1846–1886

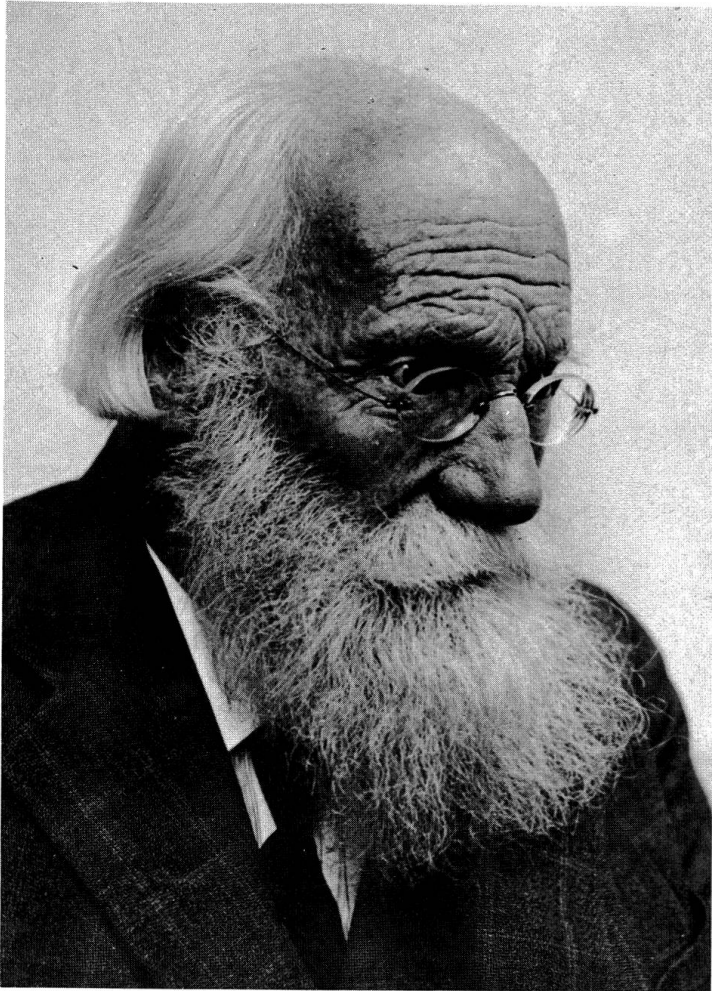


Abb. 2 Albert Heim, Geologe

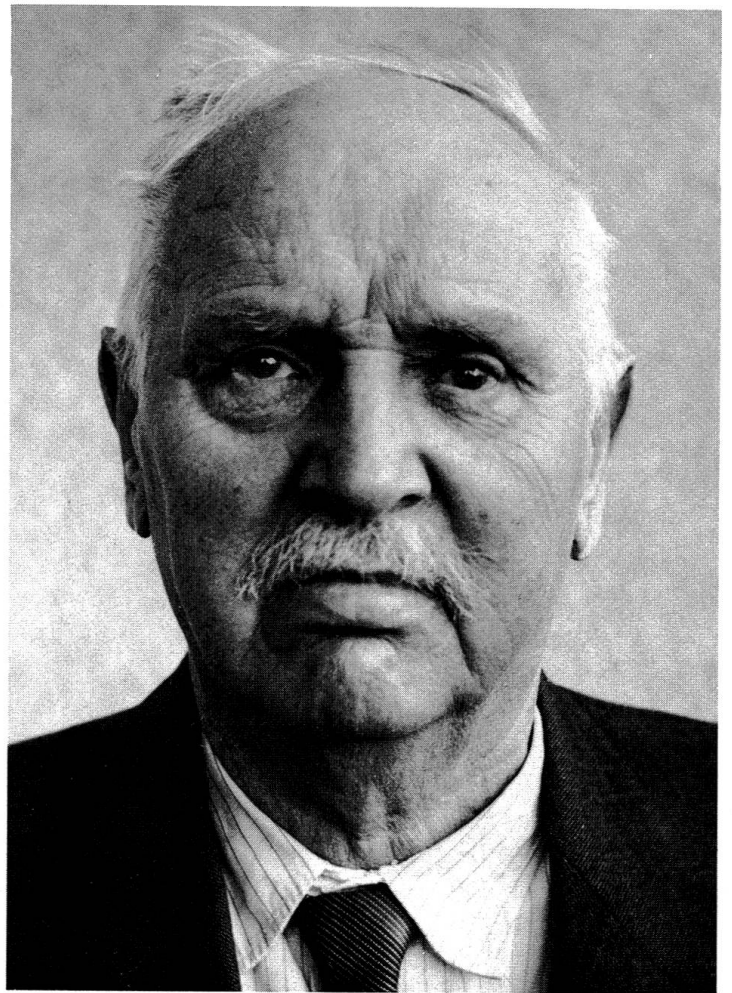
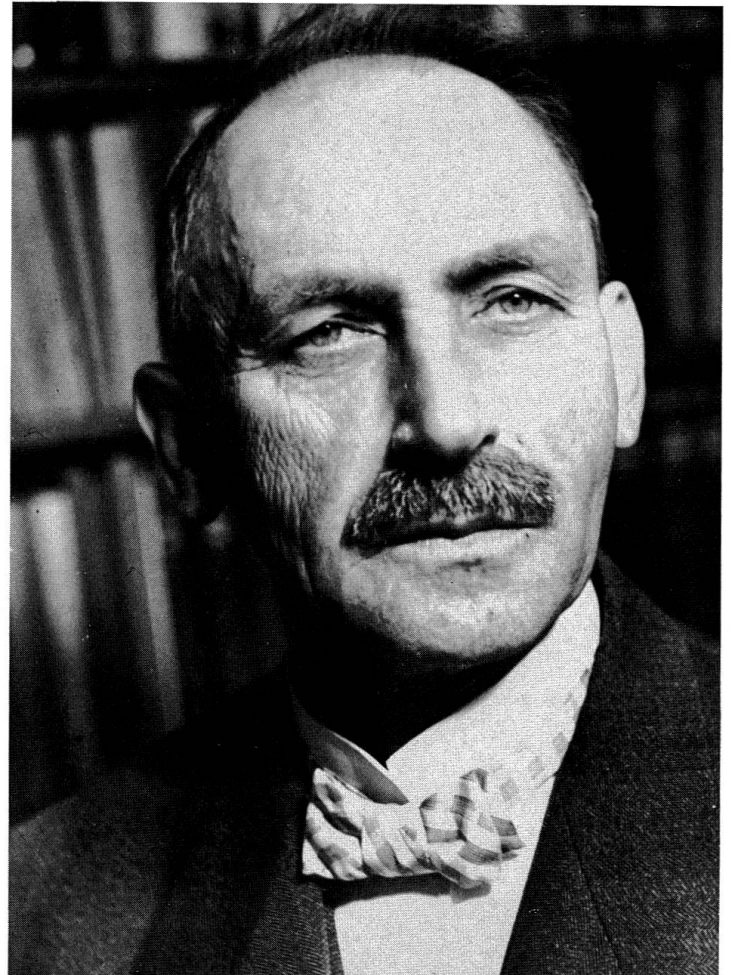


Abb. 3 Jakob Hübscher, Geologe

Abb. 4 Otto Jaag (niedere Pflanzen)



Abb. 5 Georg Kummer (höhere Pflanzen)



[niedere Pflanzen] und GEORG KUMMER (1885–1954) [höhere Pflanzen] beigetragen (Abb. 4/5). Zahlreiche botanische Einzelbeobachtungen gehen allerdings ins letzte Jahrhundert zurück. So entdeckte der Schaffhauser Apotheker JOHANN SCHALCH 1867 den überaus seltenen Efeu-Sommerwurz (*Orobanche hederæ*) am Mühlebachfelsen. Auf der Zürcher Seite botanisierte Anfang des Jahrhunderts OTTO NÄGELI. Seine Ergebnisse hat ERNST KELHOFER (1877–1917), ein weiterer Botaniker im Rheinfallgebiet, in seine «Pflanzengeographie des Kantons Schaffhausen» (1915) aufgenommen. Letzte Nachträge zur Flora finden sich in den botanischen Aufzeichnungen von KARL ISLER (1904–1984).

Klimatologische Studien über den Einfluss des Rheinfalls auf das Klima seiner Umgebung hat RUDOLF FICHTER 1952 durchgeführt. Die Bezeichnungen «Rheinfallpilz» und «Rheinschlange» hat er für spezielle Wolken- bzw. Nebelbildungen definiert.

Die wissenschaftlichen Arbeiten über die Fischfauna beschränken sich fast ausschliesslich auf den Lachs, dessen Fang für die Nohlener und Dachsener Fischer lange Zeit eine grosse wirtschaftliche Bedeutung hatte. Die letzten Lachse wurden 1913 gefangen. «Die Ursachen des Rückganges der Lachsfischerei im Hochrhein» heisst eine 1926 publizierte Studie von WERNER FEHLMANN.

Im Vogelbestand nimmt der Rheinfall keine Sonderstellung ein. Die ornithologischen Verhältnisse lassen sich mit denjenigen des gesamten Hochrheingebietes vergleichen.

Es ist kein Zufall, dass die grundlegenden naturwissenschaftlichen Arbeiten in den dreissiger Jahren entstanden sind. Projekte der Hochrheinschifffahrt und Pläne für die optimale Ausnutzung der Wasserkraft zur Energiegewinnung standen in jener Zeit zur Diskussion – die Rheinlandschaft musste vor unüberlegten Eingriffen geschützt werden. Wohl am eindrücklichsten verbanden sich Naturwissenschaftler und Naturschützer in der Person des Geologen ALBERT HEIM. Sein eindringlicher Aufruf an die Jugend im Jahr 1932 schliesst mit den nachstehenden mahnenden Worten.

*Nützet die Natur,
aber nicht bis zur Zerstörung;
Schützt die Natur für uns Alle
und unsere Nachkommen!*

Albert Heim

«Nützet die Natur,
aber nicht bis zur Zerstörung;
Schützt die Natur für uns Alle
und unsere Nachkommen!»

Albert Heim

Geologie und Entstehungsgeschichte des Rheinfalls

Dr. Franz Hofmann

Der Rheinfall ist das Ergebnis einer weit zurückreichenden geologischen Vorgeschichte. An seiner Entstehung sind zwei erdgeschichtliche Hauptfaktoren beteiligt:

- Einerseits die Beschaffenheit und die Lagerungsverhältnisse der Gesteine des Felsuntergrundes der Landschaft im Grenzgebiet zwischen schweizerischem Mittelland und Tafeljura. Diese Gesteinsformationen sind unvergleichlich viel älter als der Rheinfall selbst.
- Andererseits die wesentlich jüngeren Vorgänge des Eiszeitalters, welche die Rheinfalllandschaft aus dem Felsuntergrund herauspräparierten und gestalteten und die zur Entstehung des eigentlichen Rheinfalls führten.

Der Felsuntergrund

Wie das geologische Profil durch das Rheinfallgebiet (*Fig. 3*) zeigt, tauchen in der Region Neuhausen–Schaffhausen die vorwiegend aus hellen Jurakalksteinen des Randengebietes und damit des Tafeljuras bestehenden Schichten mit schwacher Neigung gegen Südosten unter die aus weichen Sandsteinen und Mergeln bestehenden Molasseschichten des schweizerischen Mittellandes ein. Diese treten besonders an der Buchhalde am linksseitigen Prallhang des Rheins zutage, während der Rheinfall selbst und das Gebiet von Neuhausen vor allem Jurakalksteine als Felsuntergrund aufweisen, der allerdings an vielen Stellen durch eiszeitliche Schotter und Moränen überlagert ist (*Fig. 9*).

Juraschichten und Molasse bestehen aus Sedimentgesteinen, die aber auf sehr unterschiedliche Weise entstanden. Die Kalksteine des Juras und damit auch des Randengebietes, aus denen auch der Rheinfall selbst besteht, entstanden vor rund 140 Millionen Jahren als Ablagerungen im flachen, warmen Meer der Jurazeit des Erdmittelalters (Mesozoikum). Die Molasseschichten im Rheinfallgebiet hingegen wurden nicht im Meer abgelagert. Sie sind Teil der zwischen Alpen und Jura auftretenden Molasseformation und entstanden vor rund 20 bis 25 Millionen Jahren, also wesentlich später als die Juraschichten. Es handelt sich um Fluss- und Überschwemmungsablagerungen von Abtragungsschutt der Alpenfaltung, die sich besonders im jüngeren Tertiär abspielte.

Aus der zwischen Jura- und Tertiärzeit liegenden, wichtigen geologischen Epoche der Kreidezeit, deren Meeresablagerungen z. B. die ganze Sämtiskette aufbauen, fehlen in der Nordschweiz jegliche Sedimente, weil zu Ende der Jurazeit

das Meer durch Hebung trockengelegt wurde und sich die Meeresküste nach Süden verlagerte, worauf in unserer Gegend während rund 100 Millionen Jahren Festlandverhältnisse herrschten.

Über die wichtigsten Phasen der geologischen Vorgeschichte des Felsuntergrundes im Rheinfallgebiet gibt Fig. 5 Auskunft.

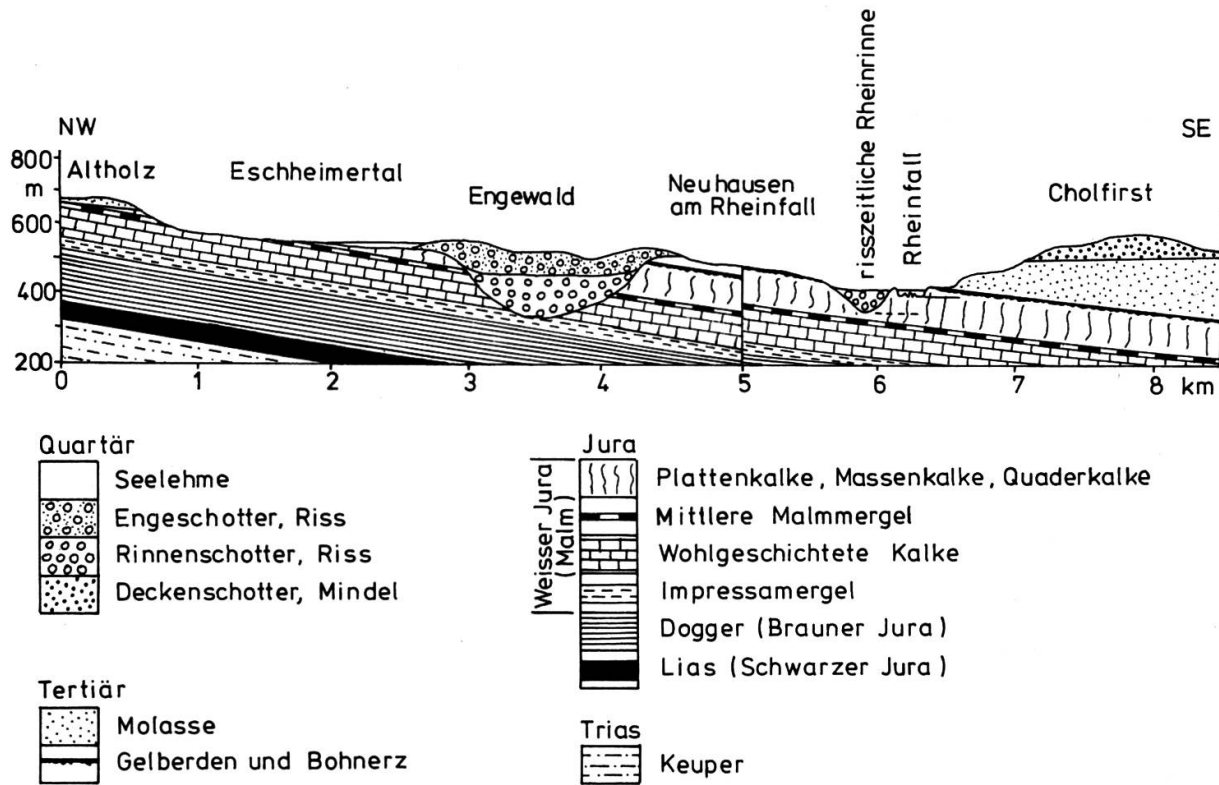


Fig. 3 Geologisches Querprofil durch das Rheinfallgebiet vom Randen zum Cholfirst. In der Umgebung des Rheinfalls treten von der Juraformation nur die höchsten Kalksteinlagen zu Tage. Das Profil zeigt, welche Schichten in der Tiefe zu erwarten sind. Eine am Rheinfall angesetzte Tiefbohrung würde unter den Jura- und Triasschichten in etwa 700 m Tiefe auf das sogenannte Grundgebirge stossen, wie es im Schwarzwald zum Vorschein kommt (vermutlich Gneis oder Granit).

Der Übergang zum Eiszeitalter

Nach dem Ende der Alpenfaltung und noch vor dem Vorstoss der ersten Gletscher ins Alpenvorland, d. h. im älteren Quartär (siehe Fig. 4/5), war das Gebiet von Schaffhausen landschaftlich noch immer sehr wenig gestaltet und hatte den Charakter einer auf rund 900 m gelegenen, gegen die Alpen leicht ansteigenden Hochebene, die allerdings von Verwerfungen durchsetzt war. Im Gefolge der Alpen- und Jura-faltung waren diese Ebene und im weiteren Zusammenhang auch der Schwarzwald um einige hundert Meter auf die genannte Höhe empor-

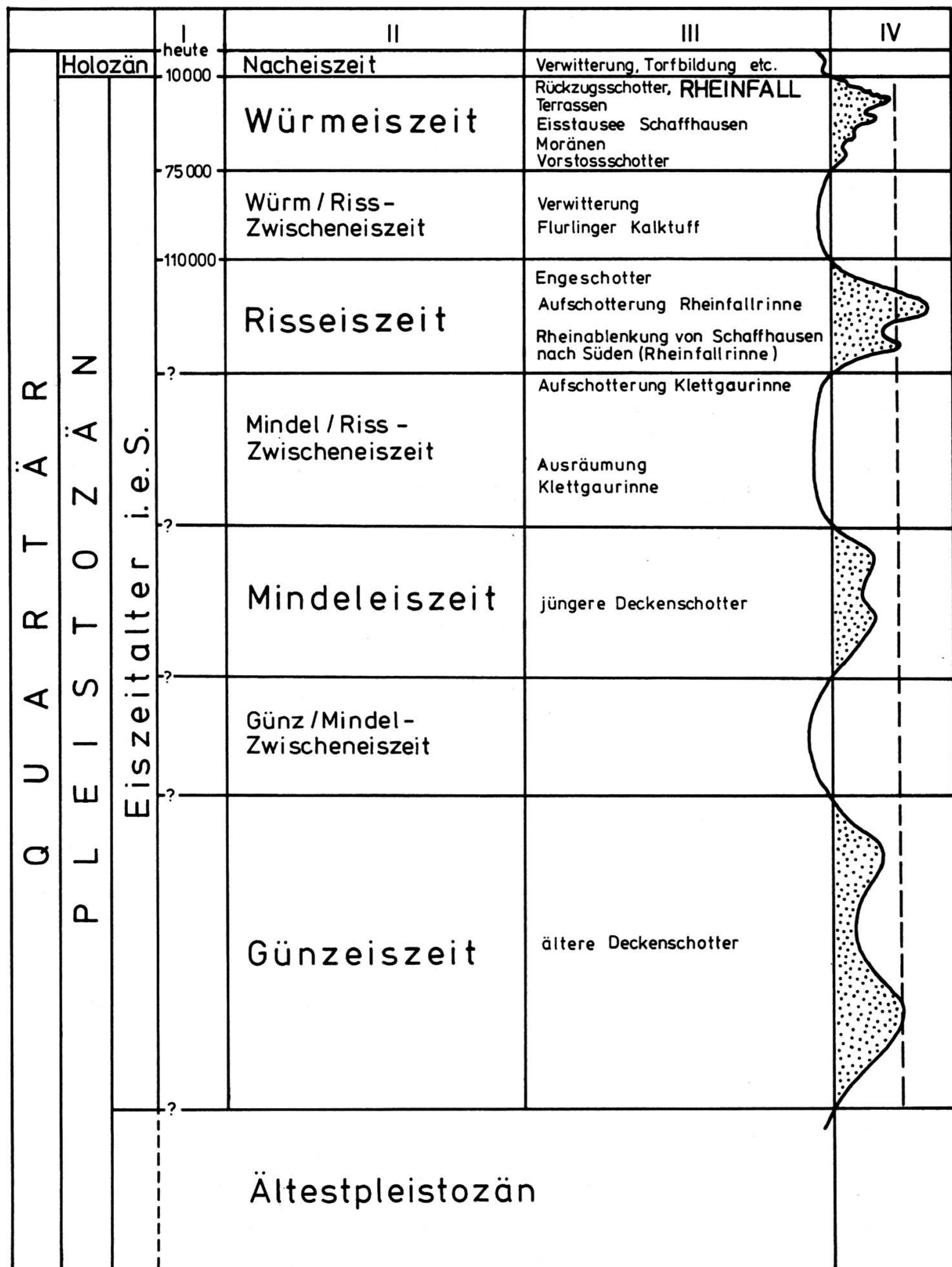


Fig. 4 Wichtige Vorgänge, die während des Eiszeitalters zur Entstehung des Rheinfalls führten. (Darstellung teilweise nach A. SCHREINER 1970).

Zeit- alter	Periode	Epoche	Für das Rheinflallgebiet wichtige Vorgänge	Zeit Mio. Jahre vor heute
KÄNOZOIKUM	QUARTÄR	Pliozän	EISZEITALTER	2,5
		Miozän		
	TERTIÄR	Oligozän	Jura- und Alpen- faltung Molasse- zeit Gelberden Bohnerz erste alpine Krustenbewegungen	65
		Eozän		
		Paleozän		
MESOZOIKUM (Erdmittelalter)	KREIDE	obere	Festland keine Ablagerungen im nördlichen Juragebiet	133
		mittlere		
		untere		
	JURA	Malm	Verlandung des Meeres im nördlichen Juragebiet Entstehung der Kalkstein- schichten des Rheinflalls im Jurameer	190
		Dogger		
		Lias		
	TRIAS	Keuper	Meer und Festland	225
		Muschelkalk		
		Buntsandst.		

Fig. 5 Wichtige Vorgänge im Rheinflallgebiet im Rahmen der erdgeschichtlichen Epochen und deren Altersstellung seit der Triaszeit.

gehoben worden. Damit wurde ein viele Millionen Jahre zurückreichender Zeitraum der Ablagerung mannigfacher Sedimentschichten (Erdmittelalter, Molassezeit) beendet, und an ihre Stelle trat seit dem Ende der Tertiärzeit die Erosion und Durchtalung der Landschaft durch Flüsse, vor allem des sich entwickelnden Rheinsystems, später auch des Donau- und Wutachsens. Über die Vorgänge zu dieser Zeit ist wenig bekannt. Erst das jüngste, in *Fig. 4* dargestellte Kapitel der Quartärzeit, das von R. HANTKE (1978, 1980) umfassend beschriebene *Eiszeitalter* hinterliess im Alpenvorland markante Spuren der vorstossenden Gletscher, gestaltete die Landschaft im Detail und führte in seiner letzten Phase zur Entstehung des heutigen Rheinfalls.

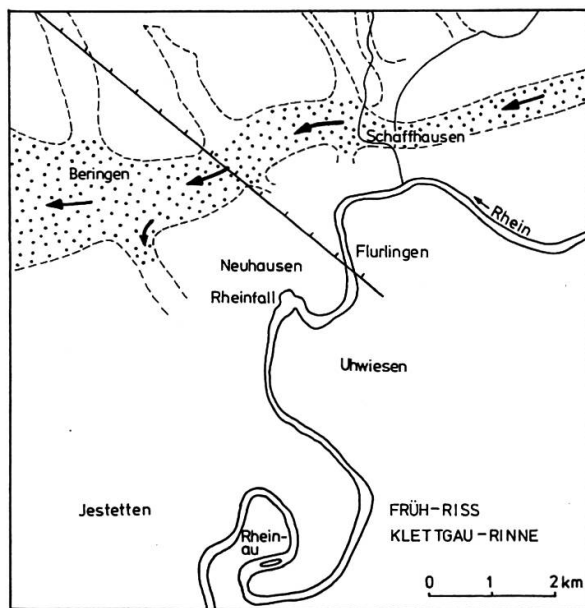
Die entscheidenden Vorgänge im Eiszeitalter

Vor mindestens etwa 500 000 Jahren begannen als Folge einer allgemeinen Temperatursenkung die ersten im schweizerischen Mittelland nachweisbaren Gletschervorstösse aus den Alpen (*Fig. 4*). Von den älteren, bekannten Vergletscherungsperioden (Günz, Mindel) sind fast nur Schotter erhalten geblieben. Der *Günzeiszeit* werden die älteren Deckenschotter zugeschrieben, zu denen nebst jenen des Irchel auch jene des Neuhauserwaldes gezählt werden, die auf eine erste Anlage des Klettgautales mit noch hochgelegener Talsohle deuten.

Ein deutliches Tal war im Klettgau jedoch sicher zur *Mindeleiszeit* vorhanden: Damals lag der Felsboden des Tales im Gebiet von Schaffhausen aber noch auf etwa 490 m Höhe, im Unterklettgau auf 460 m. Zu den damals abgelagerten, jüngeren Deckenschottern gehören nicht nur jene von Neunkirch, Wilchingen und Osterfingen, sondern auch jene auf dem Cholfirst und auf der Hohfluh.

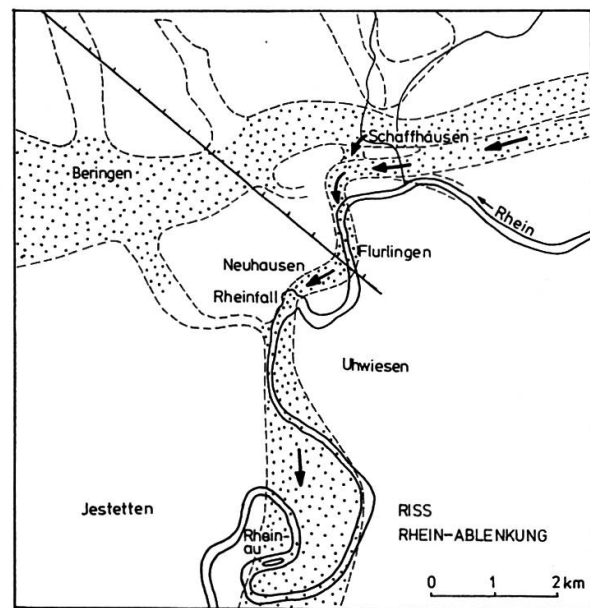
Aus dem damaligen Talboden wurden *zwischen Mindel- und Rissvereisung* eine weitere, bis 90 m unter die heutige Talsohle reichende, breite Rinne ausgeräumt. Sie ist als Tal des damaligen Rheins vom Bodensee her über Radolfzell, Singen, Gottmadingen und Schaffhausen zu verfolgen und setzte sich durch den Klettgau nach Westen fort (*Fig. 6*). Der damalige Rheinlauf entsprach also nicht dem heutigen Verlauf des Rheins. Bis etwa zu Beginn der Rissvereisung wurde dieses tief erodierte, frühere Rheintal bis auf die heutige Höhe der Klettgauebene wieder mit Alpenrheinschottern aufgefüllt. In diese Schotterfüllung bieten die grossen Kiesgruben im Klettgau Einblick. Die starke Aufschotterung im Klettgau muss zusammen mit einem risszeitlichen Eisvorstoss in den Oberklettgau dazu geführt haben, dass der Weg des Rheins durch den Klettgau nach Westen verstopft wurde. Der Fluss wurde von Schaffhausen nach Süden abgelenkt und erreichte im Gebiet Rüdlingen–Rafzerfeld ein zum Klettgau parallel verlaufendes Thurtal, in dem er sich wieder nach Westen wenden konnte.

Die Rheinablenkung nach Süden (Fig. 7) war zunächst mit der Ausräumung einer bemerkenswert tiefen Schlucht im Felsuntergrund von Schaffhausen–Neuhausen verbunden, deren Anlagen allerdings möglicherweise in noch frühere Zeiten zurückreichen. Auch diese erheblich unter das heutige Rheinniveau untertiefte Rinne (Herrenacker–Urwerf–Neuhausen–Rheinfall–Rheinau) wurde nach ihrer Erosion ebenfalls vollständig mit Schottern des vom Bodensee her über Singen und Schaffhausen fließenden Rheins ausgefüllt, ein Vorgang, der im wesentlichen noch in der Risseiszeit stattgefunden haben dürfte.



← Klettgau-Rhein
 [Dotted Box] Klettgau-Rinnenschotter
 — Verwerfung

Fig. 6 In der Zwischeneiszeit zwischen Mindel- und Rissvergletscherung floss der Rhein von Schaffhausen durch den Klettgau nach Westen.



← Nach Süden abgelenkter Rhein
 [Dotted Box] Rinnen-Schotter
 — Verwerfung

Fig. 7 Während der Risseiszeit wurde der Rhein von Schaffhausen nach Süden abgelenkt. Der Klettgau wurde trockengelegt, nachdem sein Tal mit Schottern aufgefüllt worden war.

Die Endphase der Entstehung des Rheinfalls am Ende der letzten Vereisung

In der Warmzeit zwischen Riss- und Würmvereisung floss der Rhein auf seiner aufgeschotterten Rinne (Fig. 8) auf einer Höhe von knapp 400 m.

Mit dem letzten Gletschervorstoss, jenem der Würmvereisung (Fig. 4), wurde die Gegend von Schaffhausen mitsamt dem Tal des Rheins wieder von Eis bedeckt. Es umfloss den Cholfirst von Osten und von Süden her in Richtung Schaffhausen, wobei sich zwischen den beiden Eislappen zwischen Schaffhausen

und Neuhausen kurzfristig ein See bildete, der beträchtliche Ablagerungen in Form von Seelehmen hinterliess, die vor allem bei Sondierungen für den Bau des N4-Tunnels zum Vorschein kamen (C. SCHINDLER 1982/85).

Das Eis bedeckte in der Folge das ganze Gebiet zwischen Schaffhausen und Neuhausen, und der Eisrand verlief von Herblingen her über die Breite (Schaffhausen) und etwa längs der Rosenbergstrasse und Hofstetten in Richtung Jestetten. Schmelzwasser floss durch die Enge in den Klettgau und weiter westlich durch das Wangental. Mit dem Zurückschmelzen des Eises bildete sich wieder ein neuer Rhein, der zunächst vom Fulachtal her über Neuhausen floss, später aber vom Untersee her, wobei er sich mehr und mehr seinem heutigen Verlauf näherte.

Das Eis zwischen Schaffhausen und Neuhausen schmolz langsam weg, und der Rheinlauf senkte sich etappenweise und bei gleichzeitiger Verlagerung gegen Süden ab, erodierte vorhandene Schotter und Moränen und schuf sukzessive tiefer gelegene Schotterterrassen.

Die älteste, höchstgelegene Terrasse ist die Breite-Terrasse (auf rund 460 m Höhe), der in Neuhausen Kiesterrassen auf der Höhe der Beckenburgstrasse, der Alusuisse, der Rhenania und des Otternstalls entsprechen. Die Schotterterrasse des Munots ist in Neuhausen durch das Schotterfeld repräsentiert, auf dem der Dorfkern von Neuhausen liegt und das sich bis gegen die Scheidegg erstreckt. Zu dieser Zeit floss der Rhein noch auf einer Meereshöhe von 420 m quer über Neuhausen hinweg zum Rundbuck mit seiner schönen, trockengelegten Flussschlinge aus jener Zeit und von dort nach Süden. Erst mit der Schotterterrasse von Laufen erreichte der Rhein die Höhe der Jurakalkschwelle des heutigen Rheinfalls.

Das Rheinfallbecken wie auch der gesamte risszeitliche Rheinlauf waren aber damals noch mit Schottern gefüllt und teilweise mit Moränen bedeckt, und von der darunter liegenden alten Schluchtlandschaft war nichts zu erkennen.

Im Rahmen seiner etappenweisen Absenkung wurde der Verlauf des Rheins vor allem oberhalb des Rheinfalls stark durch eine vom Beringer Randen her über den Engewald und Neuhausen nach Flurlingen ziehende Verwerfung bestimmt (*Fig. 8/9*). Nordöstlich dieser Linie sind die Felsschichten etwas tiefer versetzt. Zusammen mit der leichten Schichtneigung gegen Südosten ergab diese Verwerfung eine ebenfalls gegen Südosten abfallende Felsbarriere aus Jurakalken, die den Rhein – wie offensichtlich schon zu früherer Zeit (*Rinne Fig. 8*) – bei ihrer Freilegung aus dem abschmelzenden Eis und zusätzlicher Erosion stark gegen Süden drängte, in Richtung auf die Buchhalde, wo sich ein Prallhang in den relativ weichen, leicht erodierbaren Molasseschichten bildete. Hier umfloss der Rhein den abtauchenden Felsriegel und konnte sich wieder nach Westen wenden, wobei er – nach Eintiefung auf einer Höhe von 400 m auf Jurakalk fliessend – im Gebiet

des heutigen Rheinfallbeckens den Rand der risszeitlichen, mit Schotter gefüllten Talrinne erreichte (*Fig. 8/9*). Dies führte sehr rasch zur Ausräumung dieser Lockergesteine vom Rheinfall an südwärts und drängte den Rhein gleichzeitig rechtwinklig nach links ab. Mit fortschreitender Ausräumung des alten Cañons stürzte der Rhein auch immer tiefer über dessen linksseitige Kalksteinflanke, die zunehmend freigelegt wurde, aber der Erosion weit stärkeren Widerstand leistete als die alte Schotterfüllung.

So entstand mit der Zeit der Rheinfall, ein Vorgang, der vor mindestens etwa 15 000 Jahren begonnen haben dürfte.

Die Gestalt des Rheinfalls und das heutige geologische Geschehen

Unmittelbar nach der Freilegung der Rinne vom Rheinfallbecken an südwärts muss die Flanke des alten Cañons noch sehr steil gewesen sein, was die Felszähne im Rheinfall als deren Überreste andeuten. Die Geröllführung des Rheins über den Rheinfall dürfte anfänglich noch beträchtlich gewesen sein und zu mechanischer Erosion und damit zur Abschrägung des Rheinfalls geführt haben. Mit der Zeit klang sie aber ab, und die Erosion im Rheinfall wurde zunehmend geringer.

Weil der Rhein oberhalb des Rheinfalls schon wegen der Staustufe des Kraftwerks Schaffhausen (vorher Moserdamm), aber auch wegen der Rückhaltewirkung des Bodensees heute kaum mehr Gerölle transportiert, ist eine damit verbundene, rein mechanische Erosion im Rheinfall selbst praktisch nicht mehr vorhanden, was der dicke Quellmoosbewuchs auf den unter Wasser liegenden Felsen zeigt. Die Abtragungsvorgänge am Felsgerüst des Falles sind heute vorwiegend chemischer Natur (Auflösung des Kalks durch das kohlensäurehaltige Wasser), unterstützt durch Frostsprengung im Winter bei Niederwasser.

Der Rheinfall zeigt damit auch die für Kalksteingebiete typischen Verkarstungserscheinungen, wozu die Massenkalk der Juraformation besonders neigen. Dazu gehören bis zu einem gewissen Grade die Felszähne, besonders aber auch die bei Niederwasser sichtbaren Karren und Strudellöcher wie auch eine am 3. April 1921 sichtbar gewordene Höhle (*Abb. 7*). Damals führte der Rhein extrem wenig Wasser, und zusätzlich wurde durch Manipulation am Moserdamm das Wasser für eine halbe Stunde fast völlig zurückgehalten, was einen sonst kaum je möglichen Einblick in die Felsformationen des Rheinfalls gewährte. Auch die Kalksteinfelsen des Rheinfalls quer durchziehenden Klüfte (Risse bis kleine Verwerfungen als Ausdruck von Gebirgsbewegungen) konnten damals gut beobachtet werden (*Abb. 6*), doch hatten sie keine Bedeutung für die Entstehung des Falles.

Geologische Beobachtungen im engeren Rheinfallgebiet

Fig. 9 gibt eine skizzenhafte Übersicht über die geologischen Verhältnisse im Rheinfallgebiet, das schon 1931 in einer sehr schönen geologischen Karte von ALB. HEIM und J. HÜBSCHER dargestellt wurde, wozu ALB. HEIM einen ausführlichen Kommentar verfasste.

Die Felsen des Rheinfalls und insbesondere seine Felszähne bestehen aus sogenanntem Massenkalk, einem ungeschichteten, eben massigen Kalkstein des oberen Weissen Juras (Malm). Die Massenkalken werden als Schwamm- oder auch Algenkalk-Riffbildungen im wenig tiefen Jurameer betrachtet. Sie sind sehr arm an Versteinerungen und gehen seitlich oft in gebankte Kalksteine über, in denen eher Fossilien, z. B. Ammoniten, als Zeugen des Jurameers zu finden sind. Bankige Ausbildung der Kalksteine findet man z. B. schon in der Gegend der SBB-Brücke oberhalb des Rheinfalls.

Die Jurakalkfelsen trifft man auch auf der Seite des Schlösschens Wörth an. Dazwischen aber, unmittelbar rechts des Rheinfalls, fehlen sie, und an ihrer Stelle stösst man auf die Schotterfüllung der älteren, eiszeitlichen Rheinschlucht, durch die der Rhein vor der letzten Vergletscherung floss und die er wieder mit seinem Geröll auffüllte. Man sieht diese Schotter, wenn man vom Rheinfallquai den Haldenweg hinaufwandert. Die gleichen Schotter reichen aber tief unter das Niveau des heutigen Rheins und sind ein bedeutender Grundwasserträger. Die 1980/81 am Rheinfallquai neu angelegte Wassergewinnungsanlage mit Horizontalfilterbrunnen erreichte unter den wasserführenden Kiesen in 29 m Tiefe Jurakalkstein und damit den Felsboden der alten Rheinrinne. Die gleichen Rinnenschotter findet man vom Rheinfallbecken an auch flussabwärts beidseits des Rheins (*vgl. Fig. 8*).

Von den Stromschnellen unterhalb von Flurlingen (Lächen) bis zum Rheinfall fliesst der Rhein auf Jurakalken, die stellenweise von Kiesbänken bedeckt sind. Wandert man vom Schloss Laufen auf dem linksufrigen Weg der Buchhalde entlang flussaufwärts, so begegnet man Mergeln und grünlichgrauen, weichen Sandsteinen der Unteren Süsswassermolasse, die über den Juraschichten liegt. Auf der rechten Seite des Rheins, im Gebiet von Neuhausen, wurden sie aber von den eiszeitlichen Erosionsvorgängen bereits weitgehend abgetragen, nahmen aber an sich schon vorher in Richtung Nordwest zunehmend an Mächtigkeit ab und keilten gegen den Rand hin aus.

Die auf der geologischen Kartenskizze *Fig. 9* eingetragenen Gelberden und Böhnerzbildungen sind nur wenige Meter mächtig, nur an wenigen Stellen (gelegentlich in Baugruben) sichtbar und wenig auffällig. Sie entstanden im älteren Tertiär als Festlandrückstände (Bodenbildungen), die unmittelbar den Jurakalken aufliegen und insbesondere in Karstvertiefungen der Kalksteinschichten vor-

kommen. Die Bohnerzformation ist dabei meist durch ockerfarbene Tone vertreten, die nur stellenweise Eisenerzbohnen enthalten. Schöne Bohnerze kamen beispielsweise in der Baugrube der Kläranlage Röti zum Vorschein.

Die während der ersten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts im Hochofen auf der Neuhauser Seite des Rheinfalls verhütteten Bohnerze stammten jedoch vom Südranden (vgl. C. BIRCHMEIER 1986).

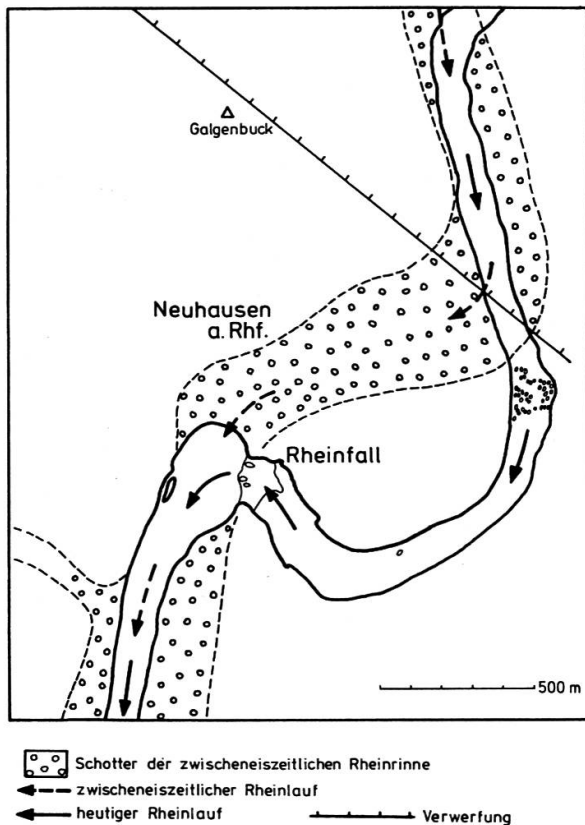


Fig. 8 Verlauf der risszeitlich entstandenen Schotterrinne des ehemaligen Rheinlaufs, die Anlass zur Entstehung des Rheinfalls gab: der Rhein stürzt von Osten her über die Felswand der ehemaligen Schlucht in sein altes Tal, aus dem er vom Rheinfallbecken an flussabwärts die Schotter ausräumte.

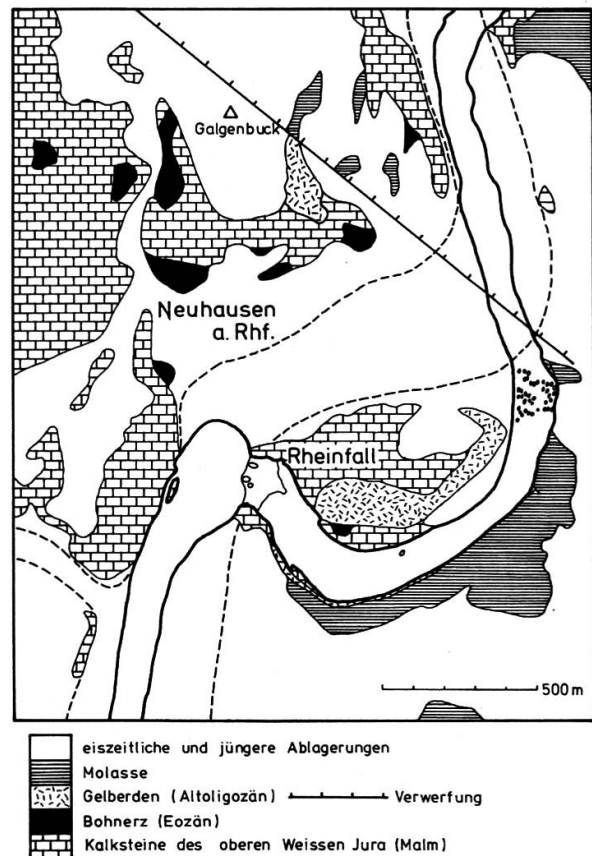


Fig. 9 Geologische Kartenskizze des heutigen Rheinfallgebietes.

Rheingold

Erst in neuester Zeit erwies sich auch der Hochrhein der Region Schaffhausen als goldführend (F. HOFMANN 1979, 1986) wie schon seit langem seine Fortsetzung von der Aaremündung an über Basel in die Oberrheinische Tiefebene.

Gold tritt in Fluss- und Bachschottern (soweit überhaupt vorhanden) in Form kleiner Plättchen oder Flitter auf, die im Hochrhein nur selten grösser als 1 mm sind. Der goldführende Sand muss zuerst vom groben Kies abgesiebt werden, worauf das schwere Gold (spezifisches Gewicht um 16 g/cm^3) mit der Waschkanne aus dem leichten Sand abgetrennt werden kann.

Gold ist im Rhein zwischen Untersee und Schaffhausen selten. Erst von Flurlingen an wird es unvermittelt relativ häufig. In der Kiesbank bei der Steril Catgut unterhalb der Lächen wurden bis zu 1000 Flitter im Kubikmeter Schotter gefunden, wenn auch nur in einem schmalen, ufernahen Streifen. Diese Flitterzahl entspricht nur etwa 40 Milligramm Gold pro Kubikmeter. Um ein Gramm Gold zu gewinnen, müsste man somit etwa 25 Kubikmeter Schotter verarbeiten. In den Gewässern der übrigen Ostschweiz sind die Gehalte in der Regel noch wesentlich geringer, im Napfgebiet und im Kanton Genf hingegen erheblich höher.

Bei extrem niedrigem Wasserstand, also in der Regel im Winter, kann man auch aus Strudel- und Kolklöchern im Rheinfall selbst Goldflitter gewinnen. Deutlich goldführend sind auch die Rheinschotter unterhalb des Rheinfalls bis nach Zuzach. Auch sie sind aber nur bei Niedrigwasser zugänglich, und zudem heute wegen der grossen Staustufen nur noch an wenigen Stellen.

Das Gold im Hochrhein stammt nachweisbar aus den ebenfalls Gold enthaltenden Rinnenschottern der Rissvereisung, aus denen der heutige Rhein im Zusammenhang mit der Entstehung des Rheinfalls das Gold umlagerte und weiter anreicherte. Da der heutige Rhein erst zwischen Schaffhausen und Neuhausen auf diese alte Schotterrinne stösst (*Fig. 8/9*), findet sich Gold auch erst von dieser Stelle an in deutlichen Mengen im Rheinkies. Auf die Herkunft aus dieser Rinne deuten auch die bei den Waschversuchen anfallenden auffallend grossen Mengen an Granat und Magnetit (dieser aus vulkanischen Tuffen des Hegaus), weil die Rinnenschotter seinerzeit vom Bodensee her über Radolfzell–Singen–Schaffhausen transportiert wurden und beträchtliche Mengen an Vulkangesteinen des Hegaus erodierten und aufnahmen.

Das Rheingold im Hochrhein stammt somit aus Ablagerungen des Rheingletschers, vor allem aus der Zeit der Riss- und der Würmvereisung. Der Gletscher schliff damals im Vorder- und Hinterrheingebiet Gold von heute noch teilweise bekannten alpinen Berggoldvorkommen ab und transportierte es mit seinen Moränen ins weitere Bodensee- und über Sargans–Walensee auch ins Linthgletschergebiet. Aus den Moränen wurde das Gold durch eiszeitliche und heutige Flüsse und Bäche freigelegt und weiter angereichert, wenn auch nie in Mengen, die auch nur im entferntesten an eine lukrative Gewinnung denken liessen.



Abb. 6 Nord-Süd verlaufende Klüfte im Rheinfall

Abb. 7 Karsthöhle im Rheinfall



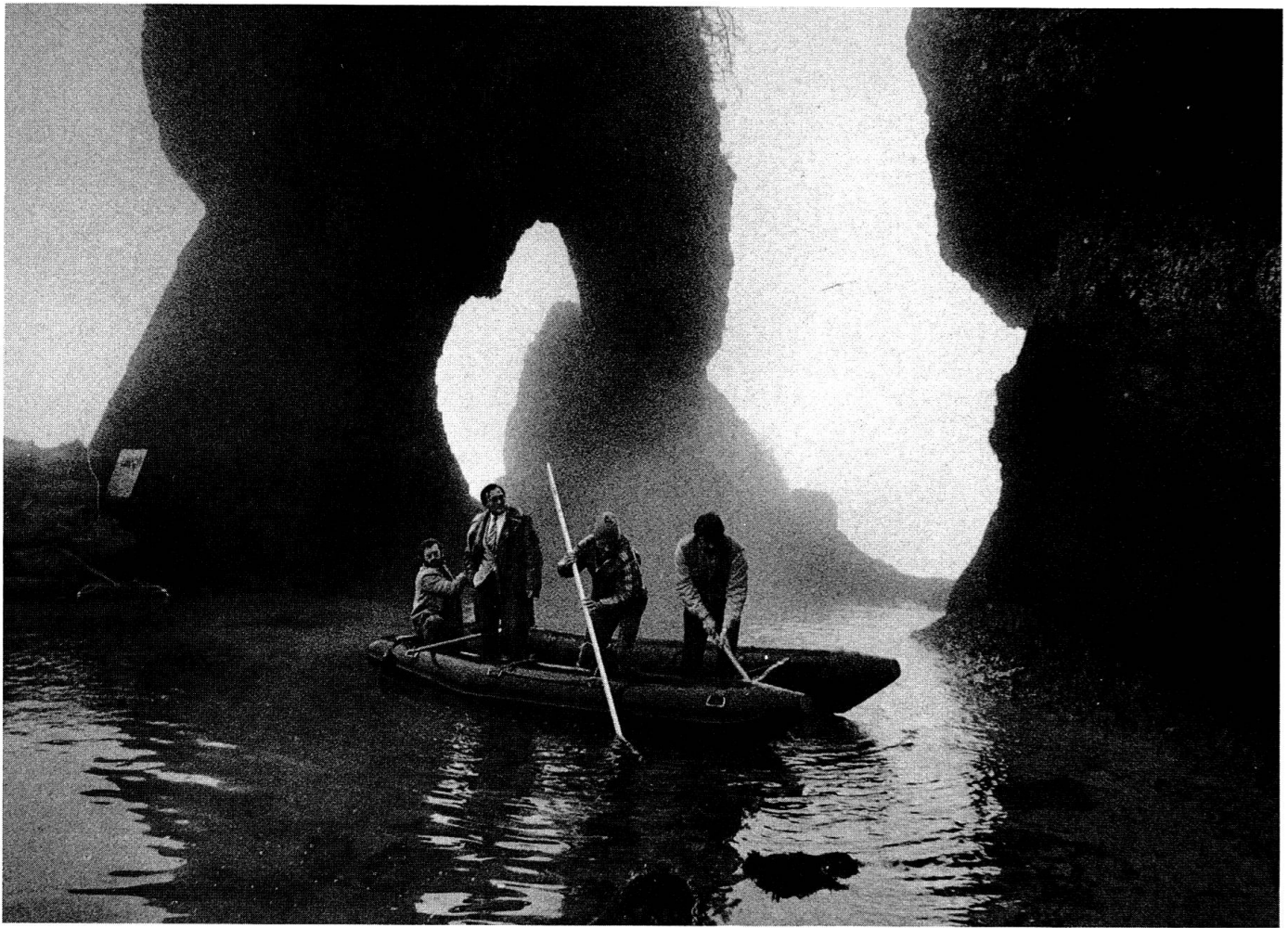


Abb. 8 Fachleute untersuchen das Verhalten des Falles

Abb. 9 Eiserner Schutzschild als Wellenbrecher



Sanierung der Rheinfallfelsen

Jakob Deppe

«Rheinfallfelsen in Gefahr!» meldete die Schweizer Presse vor einigen Jahren. Ein geologisches Gutachten hatte ergeben, dass die berühmte Aussichtskanzel auf dem mittleren Rheinfallfelsen gefährdet ist, da sie zahlreiche kleine und grosse Risse aufwies. Zwar war der Befund der Geologen nicht alarmierend und zeigte auch nicht eine unmittelbare Einsturzgefahr an, doch hielten sie die Sanierung des Felszahns für notwendig. Erosions- und Verwitterungsvorgänge gefährdeten langfristig die Stabilität der Felszähne. Der kleine Felszahn mit seiner bizarren Form, mit der wasserdurchfluteten Öffnung (er wurde vor etwa 100 Jahren mit einer kräftigen Vormauerung gesichert) liess bedeutend ungünstigere Stabilitätsverhältnisse vermuten als der grosse Felsen daneben. Da der kleine Felsen aber nicht begehbar ist und durch allfälliges Abbrechen einzelner Felsteile keine Personen gefährdet werden, sollten für ihn keine Sanierungsmassnahmen ergriffen werden. Sowohl die Schaffhauser wie die Zürcher Regierung waren sich darin einig, dass aber die begehbare, unter Denkmalschutz stehende Aussichtswarte unter allen Umständen erhalten werden sollte.

Im Herbst 1983 wurden die Sanierungsarbeiten öffentlich ausgeschrieben. Das Sanierungsprojekt sah vor, die Felsoberfläche im gefährdeten Bereich mittels Sandstrahlen zu reinigen, die Klüfte mit Injektionen zu verfüllen und eine armierte Spritzbetonverkleidung aufzubringen, um die Erosion am Felsen zu stoppen. Dank der gespritzten Applikation lässt sich Spritzbeton ideal jeder Felsform anpassen und durch Einfärben dem Grundton der natürlichen Felsoberfläche angleichen.

Bauarbeiten im Rheinfall können nur bei Niederwasserperioden ausgeführt werden. Es war vorgesehen, mit den Arbeiten noch im Spätherbst 1983 zu beginnen, sobald die Rheinwasserführung $200 \text{ m}^3/\text{s}$ unterschritt. Trotz dem trockenen Jahrhundertsommer wollte die Wasserführung nicht auf das gewünschte Mass zurückgehen, und die Ausführung musste auf die nächste Niederwasserperiode verschoben werden.

Diese Verschiebung gab uns Bauleuten in ungewohnter Art Zeit, uns auf die kommenden Probleme einzustellen. Wir beobachteten und studierten das Verhalten des Falles bei verschiedensten Wasserständen (*Abb. 8*). Gleichzeitig suchten wir nach Hinweisen aus der Literatur über den Rheinfall. So lernten wir das faszinierende Wintergesicht des Falles mit seinen Schluchten, Höhlen und Strudellöchern bei Niederwasser kennen.

Niedrige Wasserstände bedeuten am Rheinfall Wasserführungen unter $200 \text{ m}^3/\text{s}$, mittlere 300 bis $400 \text{ m}^3/\text{s}$ und Hochwasser ungefähr $1000 \text{ m}^3/\text{s}$. Die je erreichten Extremwasserstände werden mit min. $95 \text{ m}^3/\text{s}$ und max. $1250 \text{ m}^3/\text{s}$

angegeben. Diese Werte können aber heute nicht mehr erreicht werden. Die grossen Wasserkraftwerke in den Alpen bewirken einen Ausgleich: Im Sommer wird in den Speicherseen Wasser zurückgehalten, im Winter aber abgegeben. So sind heute noch Wasserführungen von 150 m³/s bis 1100 m³/s möglich. Niederwasser tritt fast regelmässig am Ende des Winters ein, wenn lange Regenfälle ausbleiben und die Schneeschmelze in den Alpen noch nicht eingesetzt hat. Niedrigste Wasserstände, über die hier berichtet werden soll, kommen in jedem Jahrhundert höchstens zwei- bis dreimal vor, so selten, dass in früheren Zeiten die Chronisten davon Kenntnis nahmen. Am tiefsten in die Erinnerung der Schaffhauser eingeprägt hat sich das Trockenjahr 1540, von dem es in der Chronik heisst, dass die grosse Hitze im März begann und ununterbrochen bis Weihnachten andauerte. Ende Dezember wurde im Rhein noch allgemein gebadet. Die Brunnen waren ausgetrocknet, und es war streng verboten, das Wasser zum Waschen zu verwenden. Ein Chronist schrieb: «Der Häwmonat war so haiss, dass die Iser und Escher im Rhein an Land schwummen, kalt Wasser zu suchen, und eh sie wieder recht ins Wasser kommen mochten, fielen sie für grosser Hitz uf den Ruggen, dass die Fischer sie in grosser Menge mit den Händen fiengen, waren faisst und gut.» Der niedrigste Wasserstand im 17. Jahrhundert war 1672. Der Chronist: «Im Januar und Februar war der Rhein so klein, dass man im Laufen (Laufen = Wasserfall/Stromschnelle) bloss ein Brett über zwei hervorragende Steine oben im Rheinfall in der Mitte des Strombettes zu legen brauchte, um trockenen Fusses von einem Ufer zum Anderen zu gelangen.» Die Schaffhauser Handwerker leisteten sich den Spass, auf den Lächenfelsen ihre Butiken zu errichten. Zum Gaudium der Bevölkerung wurde dort im Februar ein sechzehnsäumiges Fass erstellt, eingeweiht und im Klosterkeller deponiert. Das Jahrhundertwunder wiederholte sich 1733, als man das Felsenbett des Rheinfalls über die Mitte hinaus durchqueren konnte. Zum Vorschein kam ein grosses Bohnerznest, das geleert und in der nahen Eisenhütte eingeschmolzen wurde. Den niedrigsten Wasserstand im letzten Jahrhundert erreichte der Rheinfall im Winter 1879/80. Damals stellte man fest, dass der kleine Felszahn bedenklich angenagt und unterhöhlt war, so dass ein Absturz befürchtet werden musste. So wurde die erste Sanierung am Rheinfall angeordnet. An der Kante flussabwärts wurde ihm der heute noch deutlich sichtbare Mauerwerkuntersatz in der Form eines Brückenpfeilers gegeben. Eine Menge Leute besuchte in jenen Tagen den Rheinfall, der einen selbst den Schaffhausern ungewohnten Anblick bot. Daran erinnert die Eisentafel mit der Jahreszahl 1880 auf einem Felsbuckel zwischen dem Schaffhauser und dem Zürcher Fall. Einem Chronisten erschien die Stille geradezu unheimlich, denn die in die Tiefe von Furchen, Rissen und Schluchten niederrinnenden Wasser hatten ihre Donnerstimme eingebüsst. «Der zerrissene Kalkfelsgrund erscheint völlig blossgelegt in graubrauner, toter Nacktheit als ein zerklüfteter ausgehöhlter und aus-

genagter Felsenrücken über welchen die Zacken der gewöhnlich aus dem Absturz emporragenden Felsklippen grotesk in die Lüfte steigen.» Weiter berichtet er von neuen Entdeckungen. Am Fusse des Zürcher Falles kam eine hohlkugelförmige Grotte von ungefähr 5 m Durchmesser zum Vorschein, über die bei normalem Wasserstand ein ungeheurer Wasserstrahl wie von einem Sprungbrett herausschiesst (*Abb. 7*). Sie war nur mit einem Boot zu erreichen, doch liess es sich eine Gesellschaft von übermütigen jungen Leuten nicht nehmen, in der von den Wassergeistern verlassenen Höhle ein fröhliches Gelage zu veranstalten. An die 200 ausgebildete oder unvollständig ausgemahlene Strudellöcher, Wassermühlen und Töpfe in allen Grössen und Formen wurden gezählt.

Ein besonders denkwürdiger Tag war der 3. 6. 1921 in der Geschichte des Rheinfalls. Ein natürlicher Niederwasserstand von etwa $100 \text{ m}^3/\text{s}$ wurde versuchsweise noch künstlich auf 45 bis $50 \text{ m}^3/\text{s}$ durch Manipulation des Kraftwerkes Schaffhausen abgesenkt. (Natürlich noch mit dem alten, von Moser erbauten.) Diese «Abstellung des Rheinfall» war auf etwa 2 Uhr nachmittags angesetzt und dauerte eine halbe Stunde. Von der Vorstellung fasziniert, den Rheinfall abzustellen, wenn auch nur für sehr kurze Zeit und für Sanierungsarbeiten viel zuwenig lang, versuchten wir abzuklären, ob eine Wiederholung dieser Übung möglich wäre. Wir haben aber sofort einsehen müssen, dass heute nicht mehr alles machbar ist, was unsere Väter noch konnten. Der Weg durch die Instanzen ist lang und beschwerlich, dauert Monate.

Nach diesem Exkurs in die weitere Vergangenheit zurück zu unseren Arbeiten. Auf Grund unserer Beobachtungen gelangten wir zum Schluss, dass mit dem Stegbau und den Dämmungsarbeiten ohne zusätzliches Risiko bei einer grösseren Rheinwasserführung als den vertraglich festgelegten $200 \text{ m}^3/\text{s}$ begonnen werden konnte (*Fig. 10/11*). Nur eine Sache war ungewiss, und alle Hilfsberechnungen nützten nichts: Können Dämme aus Sandsäcken mit 800 kg Inhalt den Wasserkraften widerstehen? Rutschen die Säcke auf dem mit Algen und Moos bewachsenen Felsgrund nicht einfach ab? Um dieses Problem zu klären, wurden am 16. November 1984 bei einer Wasserführung von $261 \text{ m}^3/\text{s}$ 10 Sandsäcke versuchsweise an einer ausgewählten Stelle im Rheinfall mit einem Helikopter abgesetzt. Nun wussten wir, dass die Säcke mit dem Heli auf etwa 20 cm genau plaziert werden konnten, dass die Luftturbulenzen über dem Fall für den Heli unbedeutend waren und die Säcke tatsächlich den in sie gestellten Anforderungen genügten.

Die Rheinwassermenge nahm immer mehr ab, und am 27. November 1984 bei $156 \text{ m}^3/\text{s}$ war es soweit. Der Steg wurde bis zur grossen Rinne im Schaffhauser Fall gebaut. Die 800 kg leichte Aluminiumbrücke mit einer Spannweite von 16 m sollte eingeflogen werden. Zunächst wollte der Wettergott aber nicht mitmachen. Dichter Nebel lag über der ganzen Region, und der Pilot hatte keine Möglichkeit,

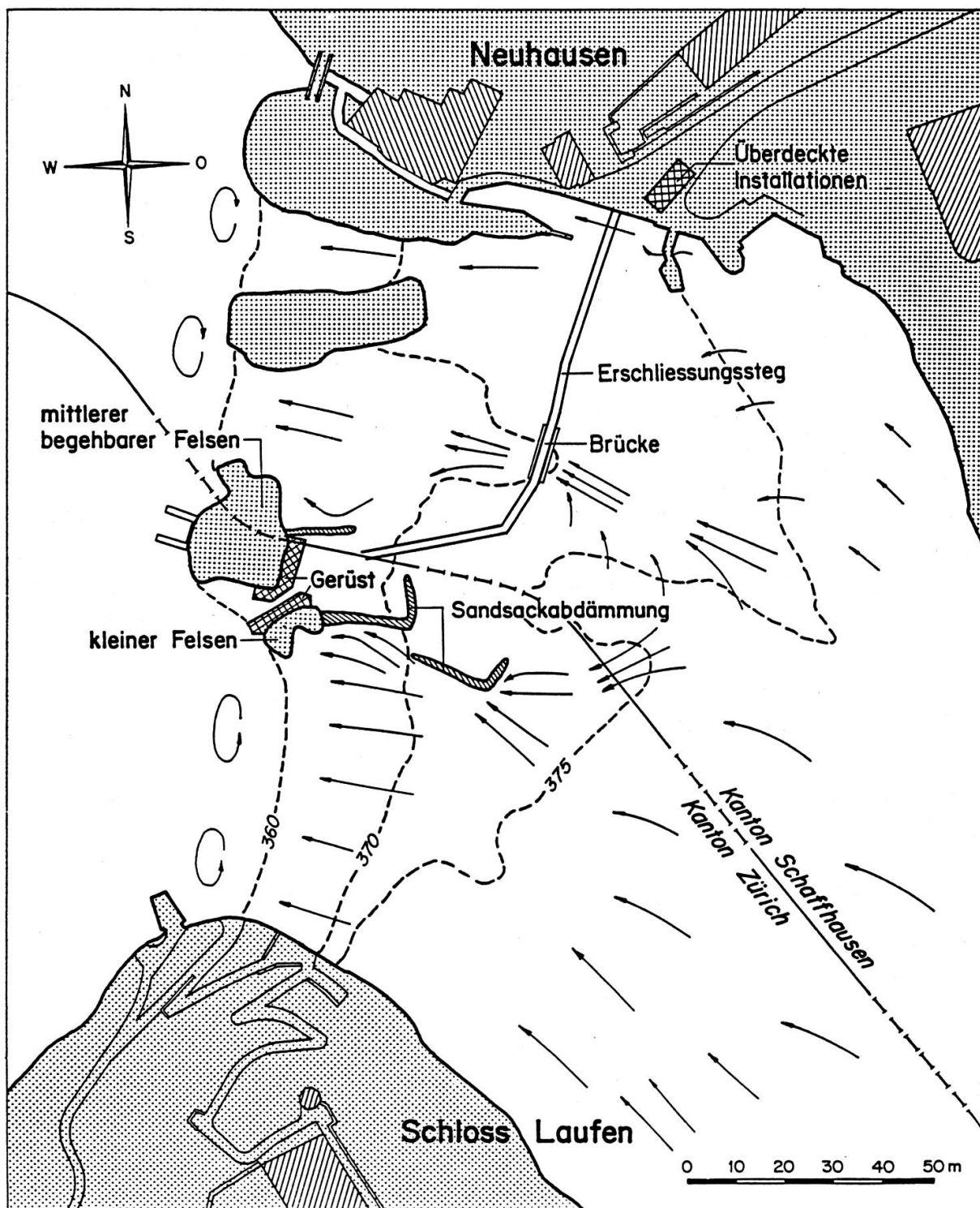


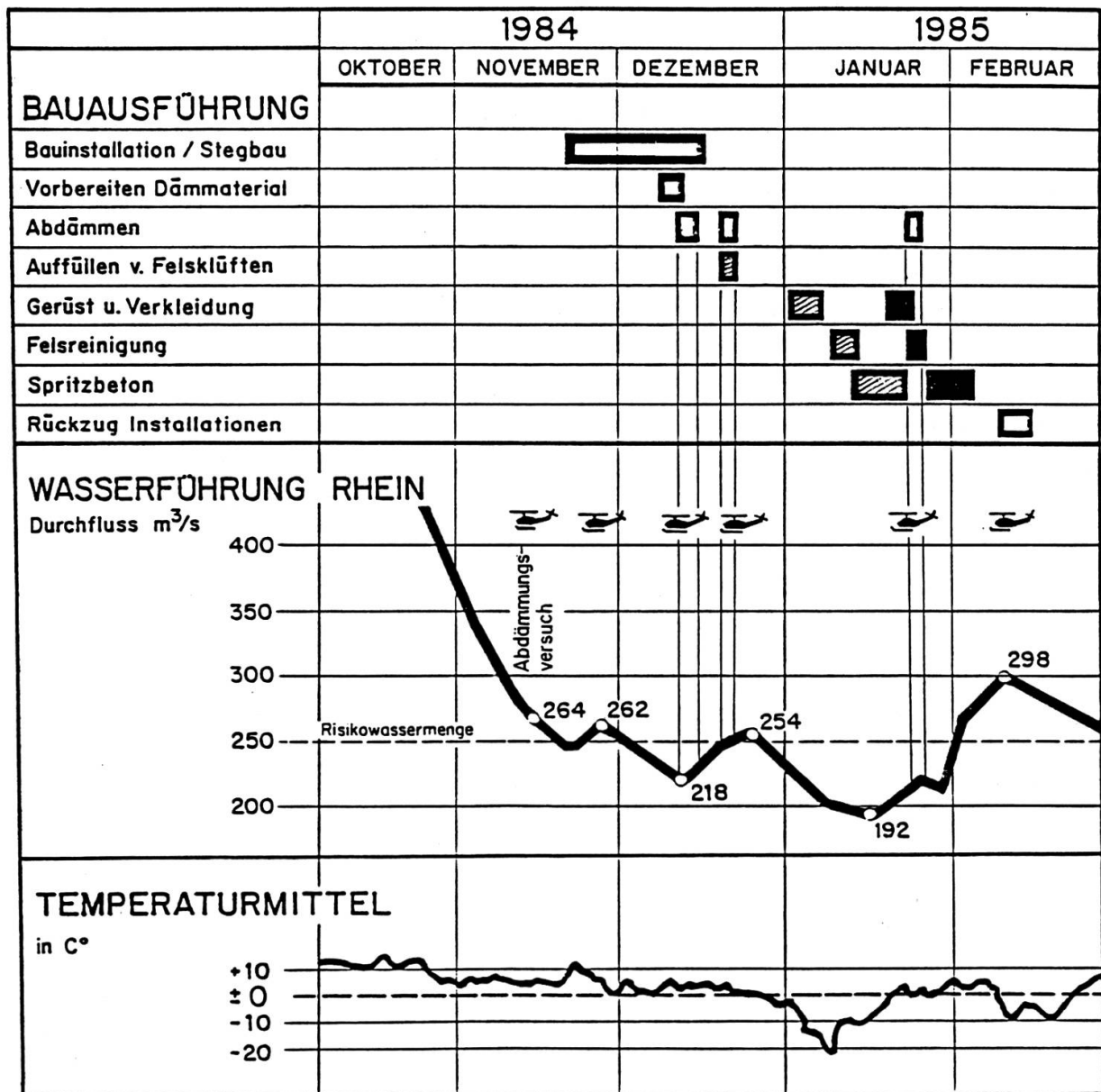
Fig. 10 Installationen für die Erosionsschutzmassnahmen.

den Rheinfall überhaupt zu finden. Am Samstag, dem 1. Dezember 1984, war aber plötzlich schönsten Wetter. Sofort wurde der Helikopter abgerufen und unsere auf Pikett gestellten Leute aufgebeten. Der Einsatz klappte vorzüglich, und am Montag konnte der Stegbau fortgesetzt werden (*Abb. 10*). Am 13. Dezember bei 221 m³/s erfolgte dann die heikelste Arbeit: das Erstellen der Dämme. Während 1½ Tagen wurden 220 Säcke à 800 kg und 500 Säcke à 40 kg sowie Material für die Arbeitsgerüste unter den Augen unzähliger Zuschauer mitten im Rheinfall abgesetzt. Eine Woche später wurden zusätzlich nochmals 80 grosse Säcke als Verstärkung vom Heli eingeflogen. Diese Aktionen waren natürlich sehr spektakulär und lockten viele Zuschauer zu einer ungewohnten Zeit an den Rheinfall, während sich die eigentlichen Sanierungsarbeiten sozusagen unter Ausschluss der Öffentlichkeit in geheizten Arbeitszelten abspielten. Der Dammbau gelang nach Wunsch, und die vor dem grossen Felsen Zahn entstandene Lagune wurde leergepumpt. Dabei kamen grosse, bis zu 4 m tiefe Strudellöcher zum Vorschein. Niemand wusste von deren Existenz. In einer Blitzaktion wurden diese Löcher am letzten Arbeitstag 1984 mit 48 m³ Unterwasserbeton verfüllt. Über die Festtage ruhten die Arbeiten. Es kam die grosse Januarkälte. Der Rheinfall veränderte sein Gesicht, es bildeten sich pittoreske Eisplastiken (*Abb. 11*). Trotz klirrender Kälte wurde am 3. Januar 1985 die Arbeit wiederaufgenommen. Der grosse Felsen Zahn wurde eingerüstet und mit Isolationsmatten eingepackt. Der Arbeitsraum wurde auf 12 bis 20 Grad Celsius aufgeheizt (*Abb. 12*).

Im Januar erhielten wir zusätzlich den Auftrag, auch den kleinen Felsen Zahn zu sanieren. Es hatte sich gezeigt, dass der Zustand des kleinen Felsens bedeutend schlechter war als angenommen und ein Einsturz in den nächsten Jahren zu befürchten war. So wurde auch der kleine Felsen eingepackt und mit Spritzbeton saniert.

Mittlerweile zerstörten die Wassermassen teilweise die Dämme, d. h., eine stattliche Zahl der Säcke wurde aufgerissen oder weggespült. So mussten die Dämme am 25. Januar bei 208 m³/s mit weiteren 70 grossen und 350 kleinen Säcken verstärkt werden (*Abb. 13–15*). Als zusätzlicher Schutz wurde ein Wellenbrecher aus Stahlprofilen erstellt (*Abb. 9*). Am 24. Januar wurde die letzte Spritzbetonschicht am grossen Felsen aufgebracht, beim kleinen Felsen geschah dies am 5. Februar (*Abb. 16–19*). Um eine möglichst grosse Festigkeit des Spritzbetons zu erreichen, wollten wir die Arbeitszelte noch jeweils 3 Wochen stehenlassen und beheizen. Beim grossen Felsen gelang dies, nicht aber beim kleinen. Das Wetter wurde wärmer, und es begann zu regnen. Das Tauwetter und der Regen bewirkten einen markanten Anstieg der Rheinwassermenge. So mussten wir zwei Wochen früher als vorgesehen am 11. Februar bei 298 m³/s zum Rückzug blasen (*Abb. 20/21*). Die Gerüste sowie der Steg bis zur grossen Rinne wurden demonitiert, und der Wellenbrecher wurde abgebrochen. Die Sandsäcke konnten sich

selbst überlassen werden. Man wählte bewusst Säcke aus Jute. Dieses Material verrottet im Wasser relativ schnell. Bereits eine halbe Stunde nachdem der Wellenbrecher entfernt war, zerstörten die Wassermassen die Sandsackdämme. Mit dem Ausfliegen des Aluminiumsteges am 14. Februar kreiste der Helikopter ein letztes Mal über dem Rheinfall. Die Wasser umströmten nun wieder wie seit Urzeiten die Felsen. Wo bis vor kurzem noch gearbeitet wurde, war wieder ein reissender Strom mit seiner Gischt. Die Rheinfallgeister liessen sich nicht lange unterdrücken.



Legende: grosser Felsen kleiner Felsen

Fig. 11 Schematisches Protokoll der Bauausführung.



Abb. 10 Bau von Steg und Arbeitsgerüst

Abb. 13 2. Helikoptereinsatz zur Verstärkung der Sandsackdämme



Abb. 11 Arbeitssteg, Januar 1985

Abb. 12 Gerüstzelt

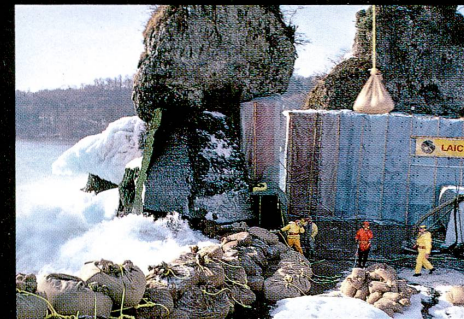


Abb. 14 Blick gegen Westen

Abb. 15 und Fall aufwärts





Abb. 16 Spritzbetontransportleitung vom Neuhauser Ufer aus

Abb. 20 100jährige Vormauerung am kleinen, Sanierung 1985 am grossen Felsen

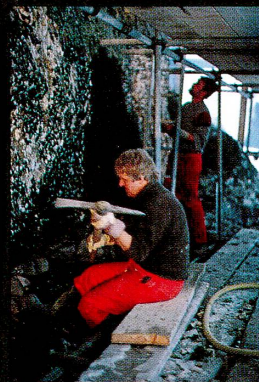


Abb. 17 Manuelle Säuberung von losem Gestein und Algen

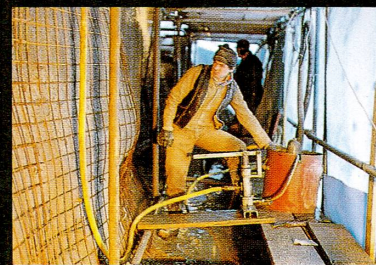


Abb. 18 Verfüllen der Klüfte mittels Injektionen

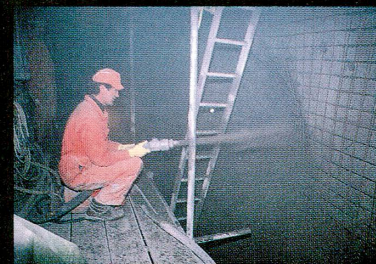
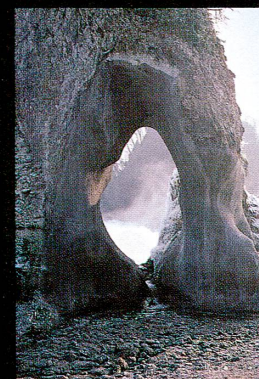


Abb. 19 Auftrag Spritzbeton

Abb. 21 Saniertes Felsentor



The first of these is the fact that the system is not a simple one. It is a complex system, and as such, it is not possible to understand it by looking at its parts in isolation. The system is a whole, and it is only by looking at the whole that we can understand it. This is the first principle of systems thinking: the whole is greater than the sum of its parts.

The second principle is that the system is dynamic. It is not a static system, but a system that changes over time. The system is a process, and it is only by looking at the process that we can understand it. This is the second principle of systems thinking: the system is a process.

The third principle is that the system is interconnected. The system is not a collection of separate parts, but a collection of parts that are interconnected. The system is a network, and it is only by looking at the network that we can understand it. This is the third principle of systems thinking: the system is a network.

The fourth principle is that the system is self-organizing. The system is not a system that is imposed from the outside, but a system that organizes itself from the inside. The system is a self-organizing system, and it is only by looking at the self-organizing process that we can understand it. This is the fourth principle of systems thinking: the system is a self-organizing system.

The fifth principle is that the system is resilient. The system is not a system that is fragile, but a system that is resilient. The system is a resilient system, and it is only by looking at the resilient process that we can understand it. This is the fifth principle of systems thinking: the system is a resilient system.

The sixth principle is that the system is sustainable. The system is not a system that is unsustainable, but a system that is sustainable. The system is a sustainable system, and it is only by looking at the sustainable process that we can understand it. This is the sixth principle of systems thinking: the system is a sustainable system.

The seventh principle is that the system is adaptable. The system is not a system that is inflexible, but a system that is adaptable. The system is an adaptable system, and it is only by looking at the adaptable process that we can understand it. This is the seventh principle of systems thinking: the system is an adaptable system.

The eighth principle is that the system is innovative. The system is not a system that is conservative, but a system that is innovative. The system is an innovative system, and it is only by looking at the innovative process that we can understand it. This is the eighth principle of systems thinking: the system is an innovative system.

The ninth principle is that the system is collaborative. The system is not a system that is competitive, but a system that is collaborative. The system is a collaborative system, and it is only by looking at the collaborative process that we can understand it. This is the ninth principle of systems thinking: the system is a collaborative system.

The tenth principle is that the system is inclusive. The system is not a system that is exclusive, but a system that is inclusive. The system is an inclusive system, and it is only by looking at the inclusive process that we can understand it. This is the tenth principle of systems thinking: the system is an inclusive system.