

# Korrosionserscheinungen an Stahldrahtseilen

Autor(en): **Bukowiecki, A.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **76 (1958)**

Heft 30

PDF erstellt am: **25.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-64013>

## **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.

## Korrosionserscheinungen an Stahldrahtseilen

DK 669—427.4

Von Dr. A. Bukowiecki, Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt, Zürich \*)

### I. Einleitung

Dass den Korrosionserscheinungen an Stahldrahtseilen in der Praxis eine bedeutsame Rolle zukommt, ergibt sich bereits aus zahlreichen diesbezüglichen Hinweisen in der Fachliteratur. So ist einer in den USA durchgeführten statistischen Studie [1]\*\*) zu entnehmen, dass die Ursache der in den Jahren 1938—1949 bei 3000 Betrieben an insgesamt 35 Seilen festgestellten Brüche in mehr als der Hälfte der Fälle auf korrosive Einwirkungen zurückgeführt werden konnte, und zwar bei zehn Seilen auf starke Anfressungen und bei zwölf Seilen auf eine durch Korrosion verstärkte Ermüdung der Stahldrähte.

Näher beschrieben wurden charakteristische Korrosionserscheinungen an den Drähten eines in einer Goldgrube in Kanada durch chemische Einflüsse zerstörten Seiles [2]. In diesem Fall wiesen namentlich die äusseren Drähte starke Korrosionsanfressungen auf, was offenbar mit einer deutlich sauren Reaktion des Grubenwassers (*pH*-Wert etwa 3,5), einem erheblichen Gehalt dieses Wassers an aggressiven Schwermetallsulfaten und mit einer starken Kondenswasserbildung in den Grubenschächten in Zusammenhang stand. Kürzlich wurde über ähnliche Beobachtungen in einer deutschen Kupferschiefergrube berichtet [3]. Darnach mussten die Seile nach kurzer Zeit ausgedient werden, weil sie durch das stark chlorid- und sulfathaltige, sehr saure Tropfwasser stark angegriffen wurden.

In der Schweiz waren bis vor kurzem nur wenige Fälle einer ernsthaften Beschädigung der Stahldrahtseile durch Korrosion bekannt [4]. Neuerdings musste aber auch hierzulande eine grössere Anzahl von Seilen wegen gefährlicher Innenkorrosionen ersetzt werden, wobei im Gegensatz zu den erwähnten ausländischen Erfahrungen die stärksten Angriffe nicht durch von aussen her in die Seile eindringendes Wasser, sondern durch die in der Fasereinlage (Seilseele) als Verunreinigung enthaltenen, stark rostfördernd wirkenden Chloride verursacht worden waren [5, 6]. Interessanterweise wurden solche durch Chloride hervorgerufene Korrosionen auch in Deutschland beobachtet [7].

Als weitere mögliche Ursachen einer korrosiven Gefährdung von Drahtseilen sind bekannt: die Verwendung von aggressiven Säuren enthaltenden [8, 11] (oder infolge oxydativer Abbauprozesse derartige Säuren abspaltenden [2]) Schmiermitteln, und die Bildung metallangreifender Stoffe infolge einer durch biologische Einwirkungen bedingten Zersetzung der Faserseele [9, 10].

Das Gesagte belegt eindeutig, wie gefährlich sich Korrosionsangriffe bei Stahldrahtseilen auswirken und wie sehr solche Angriffe recht verschiedene Ursachen haben können.

\*) Stark erweiterte Fassung eines anlässlich des 219. Diskusstages des SVMT am 28. Jan. 1956 in der E. T. H., Zürich, gehaltenen Vortrages.

\*\*\*) Die Zahlen in den eckigen Klammern beziehen sich auf das Literaturverzeichnis am Schluss des Aufsatzes.

Da aber auch in den neuesten Monographien über Drahtseile [7, 8, 11, 12] das Korrosionsproblem nur gestreift wurde, ist es auch heute noch für den Nicht-Spezialisten schwierig, sich über die bei den Seilen bestehenden Möglichkeiten ihrer korrosiven Gefährdung und die geeigneten Abwehrmassnahmen derartiger Schäden ein zutreffendes Bild zu machen.

Um diese Lücke auszufüllen, sollen diese Fragen im folgenden einer zusammenfassenden Betrachtung unterzogen werden, wobei sowohl die uns zugänglichen Literaturangaben als vor allem selber gemachte Erfahrungen berücksichtigt werden mögen. Vorgängig wird eine kurze Beschreibung der bei der Herstellung und beim Betrieb der Seile verwendeten Werk- bzw. Betriebsstoffe gegeben, indem die Natur aller dieser Stoffe bei den zu besprechenden Korrosionserscheinungen eine entscheidende Rolle spielt.

### II. Werk- und Betriebsstoffe der Stahldrahtseile

Die Seile einfachster Bauart, nämlich die sog. *Spiralseile*, bestehen nur aus einer «*Litze*», d. h. aus in bestimmter Art um einen Kerndraht zusammengewundenen Stahldrähten. Die verbreiteteren *Litzenseile* sind bereits komplizierter aufgebaut, bestehen sie doch vorwiegend aus 6 bis 8 um eine Zentralachse angeordneten Litzen, wobei die Achse ebenfalls aus einer Litze besteht oder als *Fasereinlage* (Seele) ausgebildet wird. Manchmal enthalten auch die um eine zentrale Einlage gewundenen Litzen eine faserige Seele. Ueber einige sehr verbreitete Drahtseiltypen orientieren die Beispiele des Bildes 1.

Die Drähte der Seile müssen aus einem genügend festen und zugleich sehr gleichmässigen Werkstoff bestehen. Meistens verwendet man hierfür *unlegierte Stähle* mit 0,5 bis 1,0 % C-Gehalt [4]. Die Stahlblöcke werden zunächst zu Ringen warmgewalzt und einer besonderen Wärmebehandlung (der sog. Patentierung) unterzogen, um dem Stahl ein sorbitisches Gefüge zu verleihen. Diese Ringe werden nach Entfernung des Walzzunders und einer allfälligen Phosphatierung zu Drähten der gewünschten Stärke kaltgezogen [4].

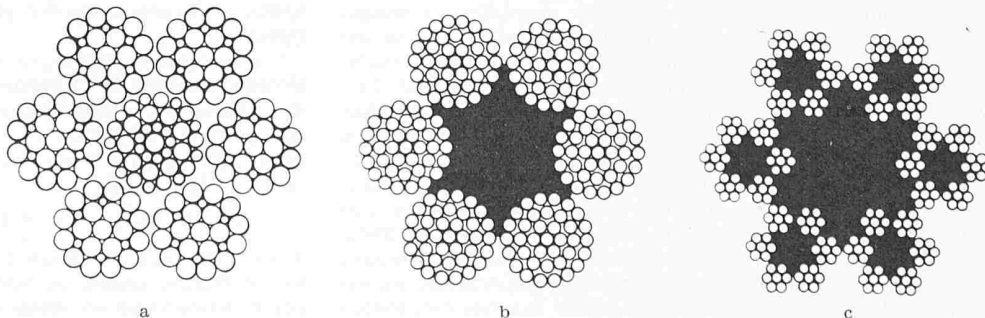
Die *Fasereinlage* stellt man meistens aus besonderen, hanfartigen *Hartfasern* her. Hierzu benützt man wegen ihrer zu geringen Festigkeit nur selten Bastfasern der europäischen Hanfpflanze, sondern vor allem die wesentlich härteren tropischen Blattfasern des *Manila*- und des *Sisalhanjes* [4, 8, 11, 12]. Diese Hartfasern werden aus den betreffenden Pflanzen (*Musa textilis* bzw. *Agave rigida*) am Ernteort gewonnen, gereinigt und in lufttrockenem Zustand zum Versand gebracht [13, 14]. Sie bestehen grösstenteils aus *Zellulose* (eines polymeren Kohlenhydrates von Bruttoformel  $(C_6H_{10}O_5)_n$ ), welche chemisch sehr beständig ist und den eigentlichen Träger der Faserfestigkeit darstellt. Daneben enthalten die Fasern in geringen Mengen Verbindungen niedrigeren Polymerisationsgrades (z. B. Pektine), welche unter gewissen Bedingungen einem durch Bakterien verursachten Fäulnisprozess anheimfallen können, wobei als Produkte des Stoffwechsels der Mikroorganismen metallangreifende orga-

Bild 1. Querschnitte einiger Litzenseile

a) Seil mit einer Stahldrahtseele (ohne Fasereinlage)

b) Seil mit einer Faserseele

c) Seil mit mehreren Faserseelen (eine Zentralseele und sechs Litzenseelen)



nische Säuren entstehen. Aber auch Zellulose und verwandte hochpolymere Verbindungen können, — wenn auch wesentlich langsamer —, durch biologische Einwirkungen abgebaut werden, so vor allem unter der Mitwirkung *holzerstörender Pilze* (Hymenomyzeten), deren Enzyme einen Abbau der Zellulose und ähnlicher Stoffe bewirken. Bei diesen, durch Pilze verursachten Zerstörungen bilden sich ebenfalls organische Säuren. Optimale Bedingungen für solche Abbauprozesse durch Pilze bestehen, wenn sich die Fasern in einer feuchtigkeitsgesättigten Atmosphäre befinden.

Vor solchen schädlichen Einwirkungen werden die Faserstoffe durch *Imprägnieren* mit verschiedenen öl- oder fettartigen Produkten geschützt. Eine erste Imprägnierung erhalten die Fasern bereits beim Verspinnen zu Schnüren, und zwar in Form sog. *Batschmittel*, also von Oelen, Fetten oder Emulsionen verschiedener Art, welche dem sehr steifen Fasermaterial eine gewisse Geschmeidigkeit verleihen sollen. Die in den Fasern verbleibenden Batschmittelmengen sind meistens sehr gering, so dass die Fasereinlagen der Seile während der Seilherstellung mit einem besondern *Imprägnierungsmittel* durchtränkt werden. Die Art dieses wichtigen Betriebsmittels ändert sich je nach dem Land und dem Industrieort in weiten Grenzen. In der Schweiz und in Deutschland werden hierfür meist *Vaseline* verwendet, wobei die für die Herstellung der Fasereinlage vorgesehenen Hanfschnüre während mehrerer Stunden in die geschmolzenen Tränkungsmitel eingelegt werden [6, 11]. In den USA dienen diesem Zweck meist wesentlich zähere Gemische von Rohvaselin (Petrolatum) mit *Asphaltbitumen*, denen vielfach noch *Wollfett* [16, 17] beigegeben wird.

In Russland wurden mit *Kolophonium* und *Kupferseifen* versteifte Maschinenöle oder sehr zähe Gemische aus Mineralöl mit neutralisiertem *Holztee* (Kieferntee) als besonders geeignet befunden, indem diese Produkte auch chemisch wirksame Mittel gegen Fäulnisprozesse darstellen [8]. Demgegenüber hemmen Vaseline die Fäulnis nur auf rein physikalischem Wege durch eine blosser Verzögerung der Feuchtigkeitsaufnahme der Fasern [15]. Es ist noch erwähnenswert, dass die russischen Tränkungsmitel mit ihrem hohen Tropfpunkt (85 bis 120 °C) wesentlich temperaturbeständiger sind als die im günstigsten Fall bei etwa 60 °C schmelzenden Vaseline. Die den Imprägnierungsmitteln beigegebenen Teere müssen unbedingt neutralisiert sein, da sie sonst merklich korrosionsfördernd wirken [8, 11].

Eine Imprägnierung der Hanfseele hat in erster Linie die Aufgabe, die Seele vor einer biologisch bedingten Zerstörung und allmählichen Austrocknung zu schützen. Da die vom Hanf an die Stahldrähte gelangenden Imprägnierungsmittelmengen zu gering sind, um den mechanischen Verschleiss und die Korrosion der Stahloberfläche zu verringern, erhalten die *Drähte* bei der Seilherstellung vielfach noch einen besonderen *Schutzüberzug*. Dazu wird in den USA [16, 17, 18], neuerdings auch in der Schweiz [19], ein zähes *Bitumenfett* bevorzugt, das während der Seilherstellung in geschmolzenem Zustand (mit über 100 °C) auf die Drähte gesprüht wird, um nach dem Erkalten auf der Stahloberfläche eine nahezu feste, abrieb- und rosthemmende Schicht zu bilden. Bei einer zweckmässigen Wahl der Fette sind solche Ueberzüge in einem recht breiten Temperaturbereich brauchbar, indem sie auch bei den höchsten Erwärmungen im Betrieb nicht erweichen und auch bei recht tiefen Temperaturen noch nicht verspröden [16, 17, 19, 20].

Während des Betriebes der Seilanlagen muss ihre Schmirung *periodisch ergänzt* bzw. *erneuert* werden, weil das Imprägnierungsmittel der Hanfseele nach und nach weggequetscht wird und verloren geht, dazu aber auch der allfällige Schutzbelag auf den Drähten mechanisch geschwächt und durch Staub oder andere Fremdkörper von teilweise ausgesprochen abrasivem Charakter verunreinigt wird. Die in der Regel nach einer vorgängigen *Reinigung* der Seiloberfläche erfolgende *Betriebschmirung* wird je nach Art und Verwendungszweck der Seile mit Schmiermitteln recht verschiedener Qualität und Konsistenz vorgenommen. In der Schweiz werden für diesen Zweck u. a. verschiedene *Fette* auf *Kalkseifenbasis* (Tropfpunkt etwa 100 °C), ferner zähe *Asphaltfette* ohne Seifenkörper, daneben aber auch *Mineralöle* eingesetzt [21]. Da die korrosionshemmende Wirkung der Fette besser ist als jene der Oele (s. unten), werden die ersteren bevorzugt, sobald merkliche korrosive Einwirkungen zu erwarten sind. Bei Staubentwicklung bilden sich aus den Fetten

und Staubkörnchen jedoch abrasiv wirkende Massen, so dass in diesem Fall ungeachtet der Korrosionsgefahr die Verwendung leichter ersetzbarer Oele vorzuziehen ist [16], zumal sich im Handel auch mit korrosionshemmenden Zusätzen versehene Seilöle befinden.

Besonders wichtig ist bei jeder Betriebsschmirung der Seile, ob das Schmiermittel gleichfalls an die Oberfläche der inneren Drahtlagen gelangt und in die Faserseele eindringt. Zähere Produkte müssen zur Erhöhung ihrer Penetrationskraft stark erwärmt oder unter Verdünnung mit einem geeigneten Lösungsmittel verwendet werden, wobei den rascher erweichenden und ohne Zerstörung des Fettgefüges verdünnbaren, *asphaltischen Fetten* der Vorzug gegeben wird [17]. Neuerdings wird eine kombinierte Behandlung der Seile mit zwei Produkten empfohlen: einem öligen Produkt zur Verbesserung der Imprägnierung der Seele und einem zweiten zähen Produkt zur Abdichtung der Seiloberfläche gegen aggressive Fremdstoffe.

### III. Korrosive Gefährdung der Seildrähte durch äussere Einflüsse

An allen jenen Stellen der Drahtoberfläche, wo der korrosionshemmende Schmiermittelbelag ungenügend ist oder bei Betrieb verletzt wird, können die Drähte gleich wie blanke Stahlgegenstände korrodieren.

Die bekannteste Korrosionsart ergibt sich, wenn sich auf der Stahloberfläche Ansammlungen von *flüssigem Wasser* in Form von Regentropfen, schmelzendem Schnee und Eis oder wässriger Kondensate bilden. In diesem Fall kommt es zwischen der Eisenoberfläche und dem Wasser unter Mitwirkung von Luftsauerstoff zur chemischen Reaktion, wobei als Endprodukt braunes Ferrohydroxyd FeOOH, der Rost, entsteht (näheres über den Mechanismus der Rostbildung siehe [22]), und zwar nach der Gleichung



Eine solche Rostbildung erfolgt verhältnismässig rasch, weil der Luftsauerstoff die dünnen Flüssigkeitsschichten sehr rasch zu durchdringen vermag. Die Rostkruste ist in der Regel recht porös und daher nicht in der Lage, den weiteren Angriff durch sauerstoffhaltiges Wasser zu verzögern. Umgekehrt ist jedoch eine solche korrosive Einwirkung durch Regentropfen und Kondenswasserbeläge glücklicherweise zeitlich begrenzt, da beim Aufhören des Regens und Wiedererwärmung der Luft die Tropfen und Wasserfilme verdunsten. Gefährlicher als Regen sind schmelzender Schnee und Eis wie auch Reif, da sie unter Umständen längere Zeit auf der Seiloberfläche verbleiben und korrodierend wirken. Starke Rostbildungen können auch auftreten, wenn — wie es in vielen Gruben und Stollen der Fall ist — auf die Seile regelmässige Tropfen des Untergrundwassers fallen.

*Salzhaltige Wässer* sind gefährlicher als reines Regen- oder Kondenswasser, weil viele Salze *hygroskopisch* wirken und daher je nach dem Salz ein vollständiges Austrocknen dünner Flüssigkeitsschichten bis zu einer relativen Feuchtigkeit von etwa 60—80 % verhindern [23], so dass die Korrosion auch unter scheinbar trockenen Rostbelägen weiter schreitet. Natürlich fördern auch jene wasserlöslichen Salze, die mit dem *Staub* auf die Oberfläche der Seile gelangen, ebenfalls die Korrosion. Unweit der Meeresküste werden intensive Korrosionen durch das in der Atmosphäre enthaltene hygroskopische Natriumchlorid verursacht. In der Nähe von Autostrassen ist es wiederum möglich, dass im Winter zur Glattebekämpfung als *Tausalze* verwendetes Natriumchlorid und Kalziumchlorid [24] an die Stahldrathseile gelangen. Letztgenanntes Salz kann auch bei seiner Verwendung als bekanntes *Staubbindemittel* ernstliche Korrosionen zur Folge haben.

*Säurehaltige Flüssigkeiten*, wie z. B. die sauren Untergrundwässer vieler Grubenbetriebe, greifen im Vergleich zu den annähernd neutral reagierenden Wässern Eisen viel stärker an, weil die Säure mit erheblicher Geschwindigkeit auf Stahl einwirkt, im Falle von salzsäurehaltigen Wässern etwa nach der Gleichung:



Falls aber saure Flüssigkeiten lediglich als *Tropfen* auf der Seiloberfläche liegen, so verbraucht sich die Säure ziemlich rasch. Alsdann ist ein solcher Säureangriff unter Wasserstoff-



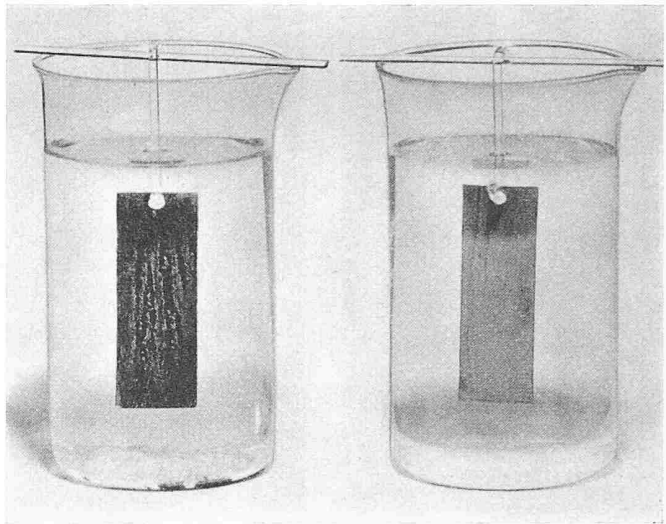
entwicklung am gesamten korrosiven Abtrag der Stahloberfläche nur wenig beteiligt. Die sich bei dieser ersten Korrosionsetappe bildenden *Eisensalze* (in konkretem Fall Ferrochlorid  $\text{FeCl}_2$ ) sind jedoch wiederum stark *hygroskopisch* und ergeben deshalb auch bei relativ niedrigen Feuchtigkeitsgraden der Luft eine nachhaltige Rostbildung. In ähnlichem Sinne wirken *Säuredämpfe*, mit welchen vor allem in der Nähe von chemischen und metallverarbeitenden Industrien gerechnet werden muss. Auch diese Dämpfe führen nämlich zur Bildung von Filmen wasseranziehender Eisensalze auf der Eisenoberfläche und begünstigen deshalb die Rostbildung.

Die zwischen die Drähte der Drahtseile eindringenden salz- und säurehaltigen Wasser wirken nach Ansicht von LaQue [2] in den tieferen Drahtlagen besonders stark korrodierend, indem sie bei ihrer erheblichen Leitfähigkeit die Bildung von sog. «Belüftungselementen» (vgl. [25]) ermöglichen. Bei solchen Korrosionselementen werden gerade die inneren, weniger belüfteten Partien der Stahldrahtoberfläche am intensivsten angegriffen, indem sie als Anoden wirken, während die dem Luftzutritt besser zugängliche Seiloberfläche zur Kathode wird. Infolgedessen enthalten die im Innern der Seile entstehenden Korrosionsprodukte vielfach weniger Sauerstoff als Rost auf der Seiloberfläche. LaQue hat bei der Prüfung eines durch Korrosion zerstörten Seiles tatsächlich festgestellt, dass die Korrosionsprodukte zwischen den Drähten zur Hauptsache aus schwarzem Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) und etwas Ferrohydroxyd  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  bestanden und nur ganz wenig  $\text{FeOOH}$  enthielten. Selbst geringfügige und auf der Drahtoberfläche nur örtlich auftretende Korrosionsangriffe können die *Ermüdungsfestigkeit* der Drähte recht gefährlich herabsetzen [4, 11, 12]. An Stelle der üblichen Ermüdung besteht dann eine eigentliche *Korrosionsermüdung* unter gleichzeitiger Einwirkung der Wechselbeanspruchung und des chemischen Angriffs in den Kerben der Seiloberfläche.

Infolgedessen ist die Frage eines wirksamen Korrosionsschutzes der Seildrähte von wesentlicher Bedeutung. Wohl lässt sich die Korrosionsbeständigkeit der Drähte durch dünne Metallüberzüge, zum Beispiel durch eine gute Verzinkung [11, 12], wesentlich erhöhen. Die blanken Drähte der üblichen Seile können indes vor einem Korrosionsangriff nur mit Hilfe von geeigneten Schmierstoffen geschützt werden.

Werden die Drähte mit einem lückenlosen Ueberzug aus Oel oder Fett versehen, so kann die Korrosion je nach der Natur des verwendeten Schmiermittels für eine kürzere oder längere Zeit verhindert werden, selbstverständlich stets unter der Voraussetzung, dass das Schmiermittel an und für sich keine metallangreifende Wirkung ausübt. Dabei gilt der Grundsatz, dass die rosthemmende Wirkung von noch deutlich beweglichen Oelen wesentlich schwächer ist als jene von sehr zähen, nicht mehr fließenden Fetten [26]. Die reinen, nicht zu viskosen Mineralöle sind als korrosionshemmende Ueberzüge für Stahldrahtseile ungeeignet, werden sie doch durch Wassertropfen in kurzer Zeit von der Stahloberfläche verdrängt, wodurch es zur Rostbildung kommt. Es ist deshalb notwendig, die als Rostschutzmittel vorgesehenen Oele mit geeigneten korrosionshemmenden Zusätzen (Inhibitoren) zu versehen, welche den Durchgang von flüssigem Wasser durch den Oelfilm nach der Stahloberfläche unterbinden. Dies geschieht u. a. dadurch, dass das Wasser vom Oel unter Bildung einer Emulsion aufgenommen wird oder die ausgesprochen polar gebauten Moleküle der antikorrosiven Zusatzstoffe an der Metalloberfläche haften, und zwar derart, dass die wasserabstossenden Moleküle nach aussen ragen und so der Stahloberfläche wasserabweisende Eigenschaften verleihen. Einzelne solcher *Rostschutzöle* sind sogar in stände, auf der Oberfläche der Drähte bereits anhaftende Wassertropfen aufzunehmen und dadurch unschädlich zu machen. Die korrosionshemmende Wirkung von Rostschutzölen versagt allerdings rasch, sobald es zu Regenfällen kommt, weil dann die Oelfilme zum Teil rein mechanisch zerstört und dazu die antikorrosiven Zusätze ausgewaschen werden. Demzufolge kann der Korrosionsschutz der Drahtseile durch Oele einzig bei Seilen, die vor atmosphärischen Niederschlägen geschützt sind, einen dauerhaften Erfolg versprechen. Aber auch im Falle einer mit Säuredämpfen verunreinigten Atmosphäre geht die korrosionshemmende Wirkung der Oelfilme meistens verhältnismässig bald verloren.

Einen wesentlich besseren Korrosionsschutz als Oele gewähren allgemein *Fette*, worunter in der Praxis sehr zähe,



Mit ungenügend rosthemmendem Seilöl überzogenes, durch Wasser angegriffenes Stahlplättchen

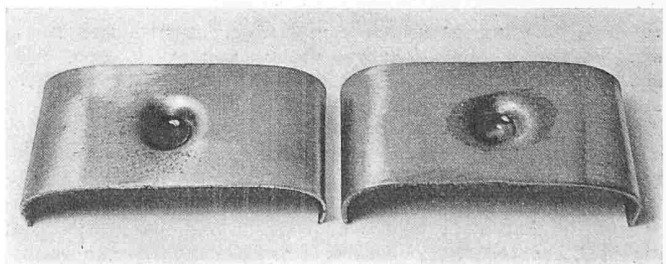
Mit wirksam rosthemmendem Seilöl überzogenes, daher nicht angegriffenes Stahlplättchen

Bild 2. Korrosionsverhalten mit dünnen Oelfilmen überzogener Stahlplättchen (C-Gehalt: etwa 0,08 %) beim Eintauchversuch in destilliertem Wasser. Aussehen nach einer Woche bei Zimmertemperatur

salben- oder teigartige Produkte verschiedener chemischer Zusammensetzung verstanden werden (Vaseline, Asphaltfette, mit Seifenkörpern versteifte Maschinenfette, Wollfett u. a.). Erstens lassen sich nur ausgesprochen wasserempfindliche Fette (z. B. gewisse Natronseifenfette) mit Wasser ausspülen, zweitens kann man solche Produkte auch in verhältnismässig dicken, den Durchgang von Wasser und Gasen erheblich verzögernden Schichten auf die Metalloberfläche auftragen. Demzufolge sind gute Fettüberzüge auch dann brauchbar, wenn die Seile nicht nur den atmosphärischen Einflüssen, sondern auch einer allerdings nicht allzu langen Einwirkung säure- und salzhaltiger Wässer ausgesetzt werden oder wenn die umgehende Luft mit Säuredämpfen verunreinigt ist.

Da die als Rostschutzmittel empfohlenen Oele und Fette recht verschiedener Qualität sein können, empfiehlt es sich, ihre Eigenschaften durch geeignete *Korrosionsversuche* zu kontrollieren. Im korrosionschemischen Laboratorium der EMPA werden zur Beurteilung der Wirksamkeit der zum Schutze von Stahldrahtseilen bestimmten Rostschutzöle folgende Prüfversuche durchgeführt: Blankgebürstete Plättchen aus weichem Stahl mit 0,08 % C-Gehalt werden durch kurzes Eintauchen bzw. Bestreichen unter Anwendung eines sauberen Lappens mit dünnen Oel- bzw. Fettfilmen versehen und in getrennten Versuchsreihen folgenden korrosiven Beanspruchungen unterworfen (dabei entspricht die Dicke der Fettüberzüge jener der dicken Oelfilme und beträgt einheitlich nur rund  $15 \text{ g/m}^2$ ):

1. einer einwöchigen Lagerung in destilliertem Wasser bei Zimmertemperatur;



Eisenangreifendes Oel. Die Oelansammlung ist dunkelbraun geworden; die Stahloberfläche unter dem Oel deutlich angeätzt

Oel, das keinen Korrosionsangriff auf Stahl verursacht

Bild 3. Mit zwei verschiedenen Oelmustern beschickte «Tischchen-Proben» aus Stahl (mit etwa 0,08 % C) zum Nachweis eisenangreifender Oele. Aussehen nach vierwöchigen Versuchen bei Zimmertemperatur und 100 % relativer Luftfeuchtigkeit

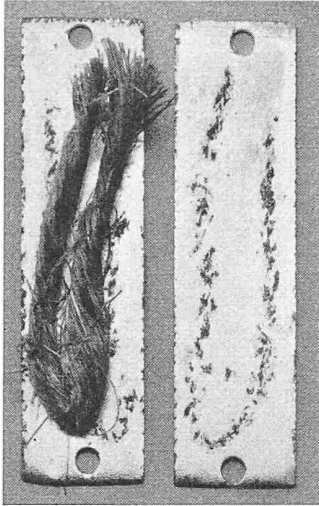


Bild 4.

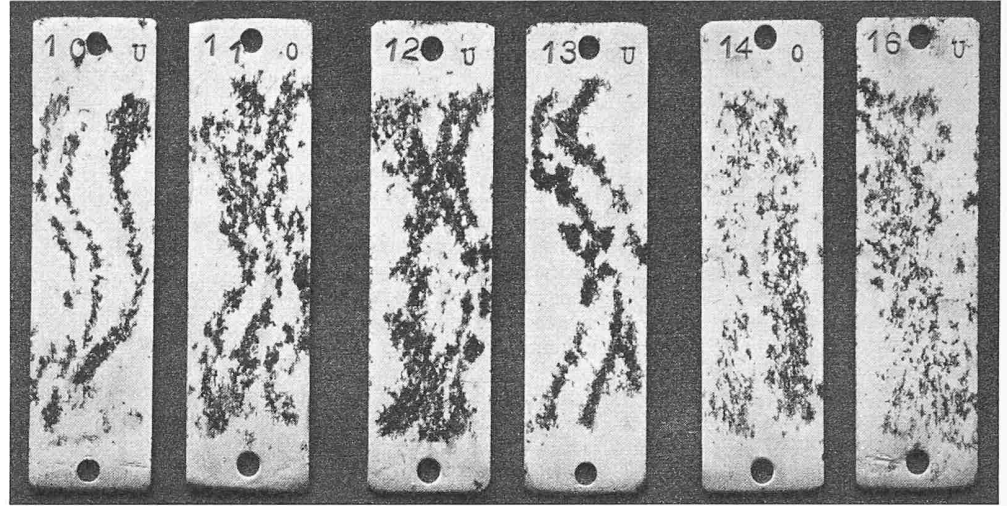


Bild 5a

Bild 5b

Bild 5c

Bild 4. Aus zwei Stahlplättchen bestehender Probekörper zur Prüfung von Hanfschnüren auf ihre eisenangreifende Wirkung. Versuchsplättchen nach dem Versuch

Bild 5. Korrodierende Wirkung von chloridhaltigen und chloridfreien Hanfschnüren auf Stahl (mit etwa 0,08 % C); Chloridgehalt des Hanfes etwa 0,03 %. Aussehen von im Kontakt mit Hanf gestandenen Plättchen nach vierwöchigen Versuchen in feuchtigkeitsgesättigter Luft (Bild 5a). Noch mit dem Imprägnierungsfett durchtränkter, chloridhaltiger Hanf. Bild 5b. Durch Extraktion mit siedendem Benzol entfetteter Hanf (noch chloridhaltig). Bild 5c. Mit siedendem Benzol entfetteter, dann mit destilliertem Wasser chloridfrei gewaschener und anschliessend bei 40 °C getrockneter Hanf

2. einer einwöchigen Lagerung in den Dämpfen einer Salzsäurelösung bei Zimmertemperatur, die 5 Gew.-% HCl enthält;

3. einer Wetterprüfung von mindestens einem Monat Dauer (hat es in der Prüfperiode nur wenig geregnet bzw. geschneit, so wird die Prüfung verlängert).

Von den Rostschutzölen für den Korrosionsschutz von Seilen, die sich in Innenräumen mit starker bzw. häufiger Kondenswasserbildung befinden, ist zu verlangen, dass sie unter den angegebenen Bedingungen eine korrodierende Wirkung von ruhendem Wasser auf Stahl (Test 1) gänzlich unterbinden. Erwünscht, aber nicht unbedingt notwendig ist sodann, dass auch die durch Säuredämpfe hervorgerufene Rostbildung durch die Oelfilme merklich geschwächt und die Korrosion im Freien verzögert wird. Gute fettartige Produkte sollten indes imstande sein, bei allen drei Versuchen die Rostbildung auf den Stahlplättchen zu unterbinden.

Die vorstehenden Anforderungen wurden durch die der EMPA zur Begutachtung unterbreiteten Schmiermittel für Stahldrahtseile nicht immer erfüllt. So zeigten einige ausdrücklich als «Seilöle» bezeichnete, ölige Produkte selbst beim milden Eintauchversuch in destilliertem Wasser praktisch keinen Korrosionsschutz, indem die Oelfilme schon innert wenigen Stunden durch Wasser verdrängt wurden und die Rostbildung einsetzte (siehe Bild 2). Verschiedene fettartige Produkte verloren wiederum ihre rosthemmende Wirkung relativ rasch bei der kurzzeitigen Wetterprüfung. Daraus ist ersichtlich, welche wichtige Schlüsse für die Praxis bereits auf Grund von sehr einfachen Korrosionsprüfungen möglich sind. Selbstverständlich werden durch die beschriebenen Prüfungen nicht alle bei Drahtseilen möglichen Korrosionseinflüsse erfasst und es sind in Sonderfällen auch andere Tests, zum Beispiel solche unter Anwendung von säure- bzw. salzhaltigen Wässern oder Salzsprühnebeln, erforderlich. Im übrigen gilt auch hier wie bei allen Laboratoriumsversuchen dieser Art, dass ein negativer Befund die Tauglichkeit eines Produkts mit Bestimmtheit ausschliesst, ein positives Ergebnis für die Bewährung in der Praxis ohne Zweifel notwendig, indes dafür noch nicht hinreichend ist.

In der Literatur finden sich nur wenige Angaben über die Wirksamkeit verschiedener Rostschutzmittel für Stahldrahtseile. Nach *Mayne* [27] schützen solche Mittel die Stahldrähte um so besser vor einer aggressiven Wirkung von Salztropfen und zugleich auch vor einer mechanischen Abnutzung, je zäher sie sind. Bei den von diesem Autor beschriebenen Versuchen mit einer Vorrichtung, in der die geschmierten Drähte gleichzeitig bewegt, zusammengedrückt und dazu von Kochsalznebeln berührt wurden, waren die Metallverluste infolge dieser gleichzeitig mechanischen und

chemischen Einwirkung bei Verwendung eines relativ viskosen Zylinderöles am stärksten und nahmen in der Reihenfolge Zylinderöl, versetzt mit 2 % Oelsäure, Wollfett, Petrolatum, Asphaltöl (vom Typus eines schweren Heizöles) ab; als sehr wirksam erwies sich ein sehr zähes Asphaltöl (Asphaltfett). Nach *LaQue* [2] ist unter den in Gruben mit sauer reagierendem Untergrundwasser herrschenden Bedingungen bisher kein Rostschutzmittel imstande, die damit behandelten Seile dauernd von Rosterscheinungen zu bewahren. Bei den von diesem Autor beschriebenen praktischen Versuchen von acht bis zwölf Monaten Dauer verhielten sich die sehr zähen schwarzen Ueberzüge von offenbar asphaltischer Natur am besten. Auch in der Schweiz werden *Asphaltfette* als Korrosionsschutz für Stahldrahtseile mit Erfolg verwendet.

#### IV. Korrosionsfördernde Schmiermittel und Fasereinlagen

Manchmal kann es vorkommen, dass bestimmte Arten von Schmiermitteln, die als Rostschutzmittel eingesetzt werden, selber eine Korrosion der Seile verursachen. Eine derartige korrosionsfördernde Wirkung besteht vor allem bei bestimmten Glyceriden, also Oelen und Fetten tierischer oder pflanzlicher Herkunft, da diese vielfach eine ausgesprochene Neigung zu oxydativen oder hydrolytischen Zersetzungsercheinungen aufweisen, wobei sich beträchtliche Mengen an sehr aggressiven niedermolekularen Fettsäuren wie Ameisen- oder Essigsäure bilden.

So wurde bei den eigenen Untersuchungen [26] beobachtet, dass verschiedene Muster von Rüböl, Spermöl, Knochenfett und Rindertalg in der relativ kurzen Zeit von ein bis vier Wochen auf den Stahlproben deutliche Korrosionen hervorriefen, wenn sie bei einer hohen Luftfeuchtigkeit in relativ dicker Schicht aufgetragen wurden. Dabei wurde allerdings festgestellt, dass zwischen der Tendenz der untersuchten Oele und Fette zum Angriff auf Stahl und ihrem Säuregehalt kein Zusammenhang besteht. Es genügt also nicht, von einem Schmiermittel zu verlangen, dass es «säurefrei» ist, sondern es muss unbedingt durch geeignete Korrosionsversuche nachgewiesen werden, dass tatsächlich kein Korrosionsangriff auf Stahl besteht, weil sich die aggressiven Säuren erst mit der Zeit nach und nach bilden. Eine Forderung nach «Säurefreiheit» lässt sich heute in vielen Fällen nicht erfüllen, nachdem den modernen Schmiermitteln absichtlich hochmolekulare Säuren zugeführt werden, welche nicht nur keine metallangreifenden Eigenschaften aufweisen, sondern zugleich gute Rostschutzmittel darstellen.

Eine Prüfung auf eisenangreifende Wirkung kann im Falle von öligen Produkten unter Anwendung von «Tischchen»-Proben der EMPA erfolgen. Dabei werden in mit einer



halbkugeligen Vertiefung von 1 cm Durchmesser versehene, aus weichem Stahl mit etwa 0,08 % C angefertigte, blank gebürstete Probekörper (vgl. Bild 3) in der Vertiefung mit einigen Tropfen des Versuchsöls beschickt und mindestens vier Wochen lang bei Zimmertemperatur und 95–100 % relativer Luftfeuchtigkeit gelagert. Nach vier Versuchswochen dürfen in der Vertiefung der Probe keine Korrosionserscheinungen unter der Oelschicht nachweisbar sein. Die fettartigen Produkte werden für die Prüfung auf eine allfällige eisenangreifende Wirkung in einer Schicht von etwa 0,5 bis 1 mm Dicke<sup>1)</sup> auf die Oberfläche von Stahlplättchen möglichst gleichmässig aufgetragen und die derart eingefetteten Plättchen während vier Wochen bei Zimmertemperatur und 100 % relativer Feuchtigkeit aufbewahrt. Ein unter diesen Bedingungen zu merklicher Korrosion führendes Fett darf nicht zum Schmieren von Drahtseilen verwendet werden.

Auch gewisse Hochdruckzusätze, hauptsächlich organische Chlorverbindungen, wie sie vor allem bei vielen Automobilgetriebeölen und Schneideölen verwendet werden, können unter bestimmten Bedingungen zu starken Korrosionsangriffen auf Stahl führen [26, 28]. Solche Zusätze sollten daher Drahtseilkonservierungsmitteln nicht beigegeben werden.

Wie in neuerer Zeit öfters beobachtet, kann auch der Hanf der Faserseele zu starken Korrosionen an den inneren Drahtlagen der Seile führen. Die Hanffasern sind, wie sich durch eine Prüfung ihrer wässrigen Extrakte belegen lässt, immer schwach säurehaltig und führen im Falle eines unmittelbaren Kontaktes mit der Stahloberfläche zu leichten Korrosionsangriffen.

Eine grössere Gefahr besteht, wenn die Fasern von säurebildenden Mikroorganismen befallen werden, was zum Beispiel bei ungenügender Imprägnierung im Falle einer Durchnäsung der Fasern ohne weiteres möglich ist [29]. Hierbei sind Korrosionsangriffe auf Stahl sogar in Abwesenheit von Sauerstoff möglich [9, 10]. Auch vereinzelte bei der Fabrikation der Schnüre verwendete *Batschmittel* wirken korrosionsfördernd [11], falls es sich hierbei um stark zu Zerfall neigende Glyceride handelt.

Besonders intensive Korrosionen ergeben sich gemäss neueren Erfahrungen vor allem, wenn die Hanffasern erhebliche *Chloridmengen* enthalten [5, 6, 7]. Diese Salze, welche zum Teil schon im Saft des Manila- und Sisalhanfes vorkommen oder während des Meertransportes in die Fasern gelangen, wirken, wie in Abschnitt III erörtert, deshalb korrosionsfördernd, weil sie infolge ihrer erheblichen Hygroskopizität immer in Form flüssiger wässriger Lösungen in den Fasern auftreten. Zudem sind sie imstande, die rosthemmende Wirkung dünner Oel- und Fettilme auf der Stahloberfläche stark zu beeinträchtigen [26].

Verschiedene, an der EMPA durchgeführte Korrosionsversuche haben gezeigt, dass die einen Korrosionsangriff verstärkende Wirkung der Chloride sich bereits bei einem Salzgehalt des Fasermaterials von einigen Hundertstel Proz. Cl recht deutlich bemerkbar macht. Die betreffenden Versuche wurden derart vorgenommen, dass zwischen je zwei blankgebürstete Stahlplättchen (sehr weicher Stahl mit etwa 0,08 % C) kleine Stücke von Hanfschnüren gelegt und die Plättchen mit

1) Ein sicherer Nachweis eisenangreifender Oele und Fette gelingt nur, wenn sie in einer genügend dicken Schicht auf die Stahloberfläche aufgetragen werden. Sehr dünne Oel- und Fettilme wirken kaum merklich korrodierend, weil die bei den Zersetzungsprozessen sich bildenden organischen Säuren dann nur in ganz geringen Mengen entstehen und relativ rasch entweichen.

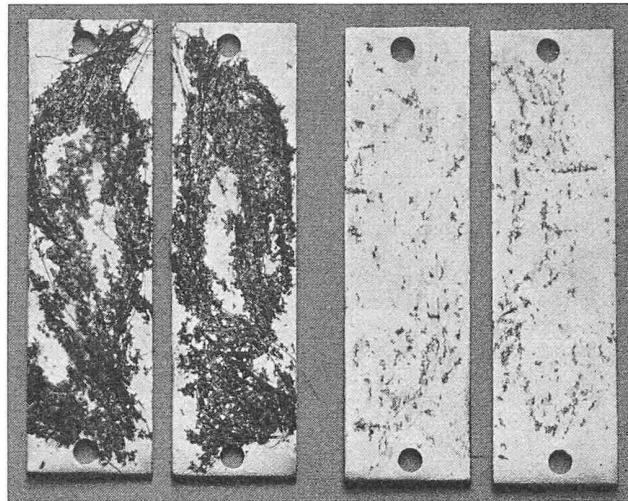


Bild 6a

Bild 6b

Bild 6. Korrodierende Wirkung von ungewöhnlich viel Chloride enthaltenden Hanfschnüren auf Stahl (mit etwa 0,08 % C); Chloridgehalt des Hanfes: 0,22 %. Aussehen von im Kontakt mit Hanf gestandenen Plättchen nach einem einwöchigen Versuch in feuchtigkeitsgesättigter Luft

Bild 6a. Durch Extraktion mit siedendem Benzol entfetteter Hanf (noch chloridhaltig)

Bild 6b. Mit siedendem Benzol entfetteter, dann mit destilliertem Wasser chloridfrei gewaschener und anschliessend bei 40 ° C getrockneter Hanf

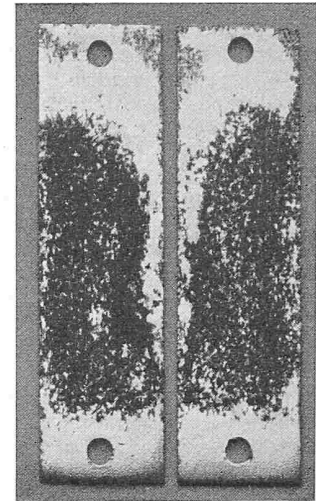


Bild 7. Korrodierende Wirkung von ungewöhnlich viel organische Säuren und wasserlösliche Eisensalze enthaltenden, aber chloridfreien Hanfschnüren auf Stahl (mit etwa 0,08 % C) nach einwöchigen Versuch in feuchtigkeitsgesättigter Luft.

Schrauben satt zusammengepresst werden, worauf diese Versuchskörper im Dampfraum eines am Boden mit destilliertem Wasser beschickten Exsikkators, d. h. bei einer 100 %igen Luftfeuchtigkeit bei Zimmertemperatur gelagert werden (vgl. Bild 4).

Das Aussehen einiger Stahlplättchen, die unter solchen Versuchsbedingungen während vier Wochen mit den einem stark korrodierten Drahtseil entnommenen, chloridhaltigen Hanfstücken in Berührung gestanden haben, ist aus Bild 5 ersichtlich. Man erkennt daraus, dass die korrosive Wirkung salzhaltiger Fasern wesentlich intensiver ist als jene der chloridfrei gewaschenen Fasern und das zur Imprägnierung der betreffenden Hanfseele verwendete Vaselinefett die korrosionsfördernde Wirkung des Salzes nur teilweise zu kompensieren vermochte. In der untersuchten Hanfprobe liessen sich an wasserlöslichen Salzen nur Chloride und zwar rund 0,03 % Cl nachweisen. Die durch die mit Wasser gewaschenen Schnüre verursachte, allerdings nur schwache Korrosion geht ihrerseits auf die Wirkung von im Hanf enthaltenen organischen Säuren zurück, weil sich diese Säuren beim Waschprozess nur unvollständig entfernen lassen bzw. relativ rasch neu bilden. Der pH-Wert des ersten Waschwassers betrug 5,5 (dabei wurden 5 g Hanf mit 100 cm<sup>3</sup> destillierten Wassers extrahiert).

Nach der gleichen Methode wurden an der EMPA grössere Untersuchungen im Auftrag der Technischen Kommission des Verbandes Schweizerischer Seilbahnen vorgenommen. Den Resultaten, welche bereits 1956 bekanntgegeben wurden [6], ist zu entnehmen, dass sich nichtimprägnierter Sisalhanf mit 0,03 % Cl noch als merklich korrosionsfördernd erwies, während ein Muster Manilahanf mit nur 0,006 % Cl keinen verstärkten Korrosionsangriff an Stahl bewirkte. Gestützt darauf wurde der vom Standpunkt der Korrosionsgefahr noch zulässige Gehalt an Chloriden zu 0,01 % Cl (10 mg Cl pro 100 g Hanf) festgesetzt. Die gleiche Grenze wurde unabhängig von uns auch in Deutschland vorgeschlagen [7]. Bezüglich eines höchstzulässigen Gehaltes an anderen wasserlöslichen Salzen (wie Sulfate und Nitrate) wurden bisher keine Vorschläge gemacht, sind doch diese Salze nach schweizerischen und auch deutschen Erfahrungen in den Hanffasern höchstens in Spuren vorhanden.

Bei den im Auftrag der Schweizerischen Seilbahnen durchgeführten experimentellen Studien wurde ausserdem festgestellt, dass die einzelnen Imprägnierungsfette für Hanfseelen in ihrem Korrosionsschutzvermögen beträchtliche Unterschiede zeigen und diese wichtige Eigenschaft nur durch geeignete Korrosionsversuche beurteilt werden kann. Bei chlorid-

frei gewaschenen Hanfschnüren ist es möglich, deren dann nur noch schwache korrosive Wirkung durch geeignete Fette während zwölf Monaten vollständig zu unterbinden.

Umgekehrt wurden bei mehreren, durch die EMPA an korrodierten Stahldrahtseilen durchgeführten Untersuchungen Chloride eindeutig als Ursache des Korrosionsangriffs nachgewiesen. Bild 6 (rechts) zeigt einen sehr intensiven Angriff, welcher bei unseren Laboratoriumsversuchen schon nach einer Woche durch die in diesem Fall ungewöhnlich viel Chloride enthaltenden Hanfschnüre der Faserseele (Chloridgehalt: 0,22 % Cl) an Stahlplättchen bewirkt wurde.

In einem Sonderfall enthielt die von uns untersuchte Hanfseele eines merklich korrodierten Seiles keine Chloride, griff aber beim Laboratoriumsversuch die Stahloberfläche recht stark an (Bild 7). Bei der chemischen Analyse dieses Hanfmusters wurde festgestellt, dass darin wasserlösliche Eisensalze und ungewöhnlich viel saure Anteile, offenbar niedermolekulare organische Säuren, enthalten waren (*pH*-Wert des wässrigen Extraktes 1:20 betrug 4,9). Da bei einer biologischen Prüfung keine Anzeichen eines Pilzbefalls beobachtet wurden, mussten in diesem Falle aggressive Säuren aus einem anderen Grund in die Hanffasern gelangt sein (am ehesten wohl dadurch, dass das verwendete Imprägnierungs- bzw. Batschmittel einem oxydativen Abbau unter Säurebildung unterlag und dadurch die Korrosion eingeleitet wurde).

Eine weitere Untersuchung ergab, dass die korrosiven Agenzien auch bei den Installationsarbeiten selber in die Seile gelangen können. In diesem Fall erlitten die Drähte einen starken Korrosionsangriff in der unmittelbaren Nähe des Vergusskopfes, wobei in den Korrosionsprodukten Ferrochlorid nachgewiesen wurde, was auf einen Angriff durch Salzsäure nach der Gleichung



hindeutet. Offenbar hat man hier Salzsäure zur Reinigung der Drähte vor der Verzinnung verwendet und nachher Säure und Chlorid nur unvollständig entfernt. Aber auch ein allfälliges Eindringen von «Lötwater» in die Hanfseele wäre ausserordentlich gefährlich, besteht solches doch normalerweise aus einer nahezu neutralen oder schwach sauren Lösung von Zinkchlorid und wirkt daher stark korrosionsfördernd.

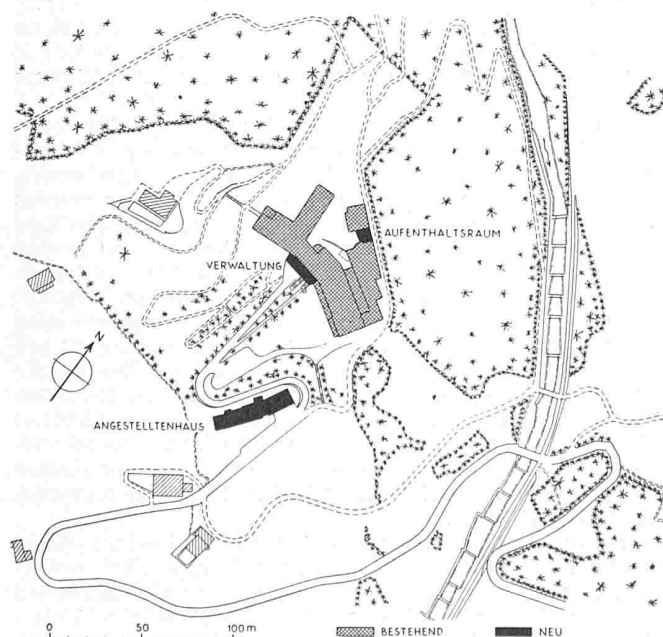
#### Zusammenfassung

Ausgehend von einer Besprechung der einzelnen Werk- und Betriebsstoffe der Stahldrahtseile werden in der vorliegenden Abhandlung zunächst die durch äussere Einflüsse wie Wasser, Salze und flüchtige Säuren an den Seildrähten hervorgerufenen Korrosionen betrachtet und anschliessend

untersucht, inwieweit sich diese unerwünschten Erscheinungen durch verschiedene als Imprägnierungs- und Schmiermittel verwendete Öle und Fette verhindern oder doch abschwächen lassen. Anschliessend werden die recht häufig auftretenden, durch ungeeignete Schmiermittel bzw. aggressive Agenzien enthaltene Fasereinlagen (Seelen) verursachten «inneren» Korrosionen besprochen und damit ein Ueberblick über die bisherigen Ergebnisse der hierüber an der EMPA durchgeführten Untersuchungen verbunden.

#### Literaturverzeichnis

- [1] A. E. McClelland: «Iron Coal Trade» J. 162, 387 (1951); Ref. in «Maschinenschaden» 28, Nr. 7/8, 99 (1955)
- [2] F. L. LaQue: «Corrosion» (Houston) 6, 8 (1950)
- [3] A. Rauche: «Bergbautechn.» 6, H. 3, 154 (1956)
- [4] Th. Wyss: «Stahldrahtseile der Transport- und Förderanlagen, insb. der Standseil- und Schwebebahnen», Zürich 1956
- [5] J. Perret: «Bull. techn. Suisse Romande», 16. Mai 1953, S. 186
- [6] E. Fischer, O. Bovet u. J. Perret: «Schweiz. Bau-Ztg.» 74, H. 45, 688 (1956)
- [7] W. Püngel: «Eisen- u. Metall-Verarb.» (Essen) 1, H. 3, 54 (1949)
- [8] D. G. Shitkow u. J. T. Pospechow: «Drahtseile» (übersetzt von H. Baumann), Berlin 1957
- [9] J. E. O. Mayne: «Chem. Abstr.» 31, 4946 (1937)
- [10] «Corr. Technol.» 2, H. 5, 135 (1955)
- [11] H. Altpeter: «Die Drahtseile, ihre Konstruktion, Herstellung und Bewertung», 4. Aufl., Berlin 1953
- [12] R. Meebold: «Die Drahtseile in der Praxis», 2. Aufl., Berlin 1953
- [13] R. O. Herzog: «Technologie der Textilfasern», 5. Band, 2. Teil: Hanf und Hartfasern, Berlin 1927
- [14] H. Paul: «Z. VDI» 99, 467 (1957)
- [15] F. Kollmann: «Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe», 2. Aufl., Berlin 1951, 2. Band, S. 54 ff.: Holzschutzmittel
- [16] Socony-Vacuum Oil Co., Lubr. Dept., Techn. Bull.: «Wire Rope Lubrication», New York 1950
- [17] T. P. Crichlow u. R. W. Flynn: «Steel» 128, H. 26, 110 (1951)
- [18] J. A. Rigby: «Steel» 121, H. 10, 88 (1947)
- [19] G. Weber: «Schweiz. Verkehrs- u. Ind. Rev.» Dez. 1955, S. 132
- [20] A. F. Brewer: «Basic Lubrication Practice», New York 1955, S. 123 ff.: Wire Rope Lubrication
- [21] W. F. Pauk: «Erdöle, Schmierstoffe, Maschinenschmierung», Bern 1942, S. 427 ff.
- [22] A. Bukowiecki: «Schweiz. Archiv angew. Wiss. Techn.» 21, 121 (1955)
- [23] A. Bukowiecki: «Schweiz. Archiv angew. Wiss. Techn.» 23, 97 (1957)
- [24] A. Bukowiecki: «Strasse u. Verkehr» 38, 375 (1952)
- [25] A. Bukowiecki: «Chimia» 7, 156 (1952)
- [26] A. Bukowiecki: «Schweiz. Archiv angew. Wiss. Techn.» (im Druck)
- [27] J. E. O. Mayne: «Engineering» 148, 157 (1939)
- [28] A. Bukowiecki: «Schweiz. Archiv angew. Wiss. Techn.» 17, 182 (1951)
- [29] W. Hess: «Werkstoffe u. Korrosion» 7, 649 (1956)



Thurgauisch-Schaffhausische Heilstätte in Davos, Lageplan 1:4000

## Ausbau der Thurgauisch-Schaffhausischen Heilstätte in Davos DK 725.592 Hierzu Tafeln 51/54<sup>1)</sup>

Hans Krähenbühl in Firma Krähenbühl & Bühler, Architekten, Davos  
Rudolf Gaberel, beratender Architekt

Das in den Jahren 1907/08 für die Bedürfnisse des kurbefürhtigen englischen Mittelstandes durch die Architekten Pflughard & Häfeli gebaute Queen Alexandra Sanatorium ist 1922 in den Besitz der Thurg. Gemeinnützigen Gesellschaft übergegangen. Bereits am Kauf der Liegenschaft haben sich die beiden Kantone Thurgau und Schaffhausen massgebend beteiligt. In den Jahren 1925 bis 1953 ist das in der Gesamtanlage zweckmässig und solid gebaute Haus fortwährend den neuen Bedürfnissen entsprechend erweitert und verbessert worden. Trotz diesen Anpassungen — Anbau der Waschküche mit Personalgeschoss, Neubau eines Chefarztshauses, Ausbau des Angestelltenhauses, Umstellung von Dampf- auf Warmwasserheizung, Vergrösserung und Modernisierung der Küche mit Speisesaal, Einbau von drei Liften, usw. — war das Haus infolge intensiver Beanspruchung durch Tausende von Patienten abgenutzt und ausserdem zu klein geworden. Da das Haus für Privatpatienten mit Einer-Zimmern gebaut

<sup>1)</sup> Die Tafeln 39 bis 50 gehören zu einem Aufsatz, der später erscheinen wird.