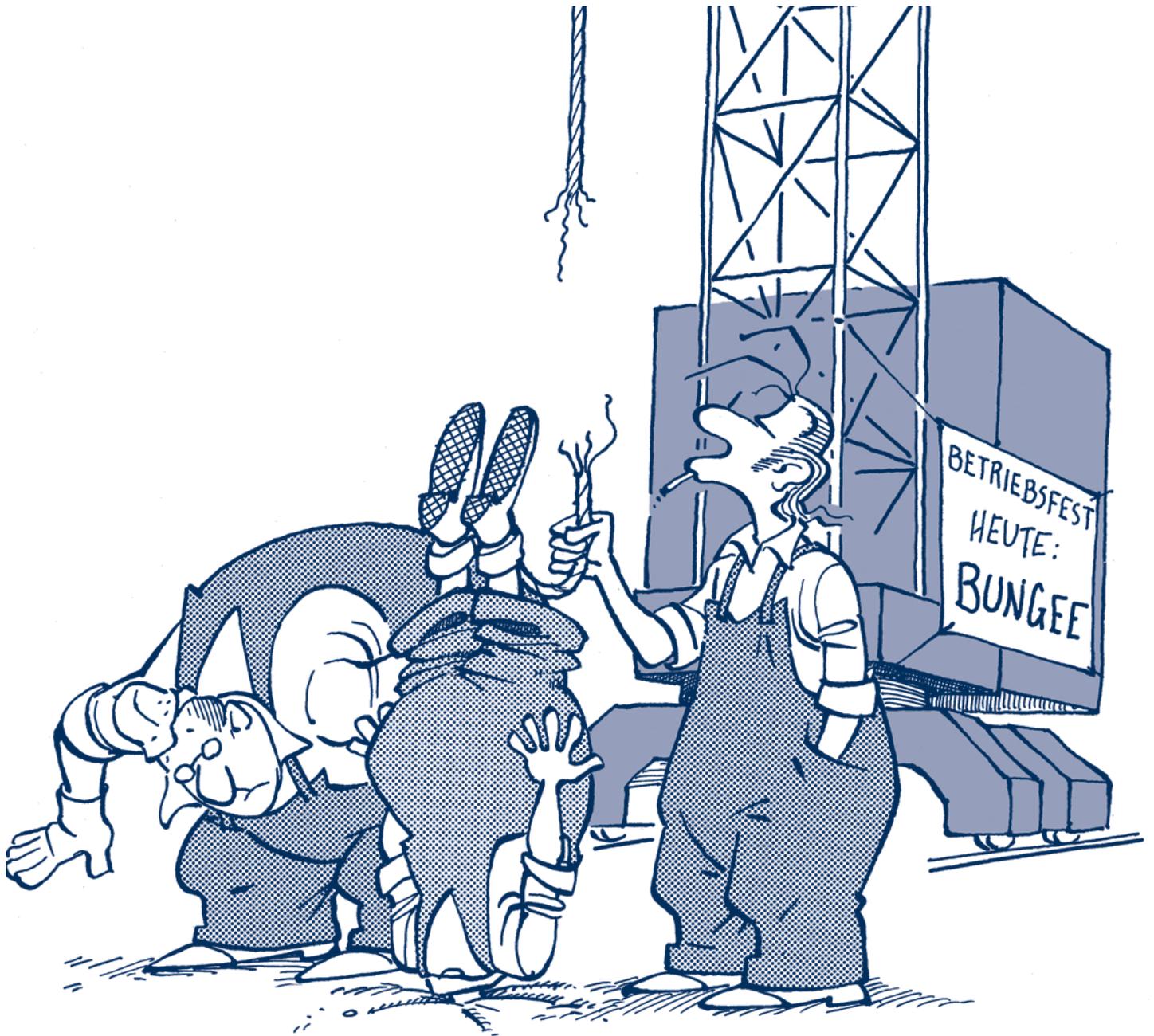


# CASAR®

## SPEZIALDRAHTSEILE



### Drahtseile vor Gericht

# DRAHTSEILE VOR GERICHT

von Dipl.- Ing. Roland Verreet

<b>Drahtseile vor Gericht: Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>Mechanischer Abrieb .....</b>	<b>3</b>
<b>Ermüdungsbrüche.....</b>	<b>5</b>
<b>Korrosion .....</b>	<b>10</b>
<b>Überlastbrüche .....</b>	<b>12</b>
<b>Scherbrüche .....</b>	<b>15</b>
<b>Äussere Beschädigungen .....</b>	<b>17</b>
<b>Martensitbildung.....</b>	<b>21</b>
<b>Hitzeschäden .....</b>	<b>23</b>
<b>Innere Drahtbrüche .....</b>	<b>27</b>
<b>Schäden durch Verdrehung .....</b>	<b>31</b>
<b>Korbbildung .....</b>	<b>34</b>
<b>Schäden durch Seilscheiben .....</b>	<b>36</b>
<b>Schäden durch Trommeln .....</b>	<b>40</b>
<b>Andere Phänomene.....</b>	<b>44</b>
<b>Seilgeometriefehler .....</b>	<b>45</b>
<b>Seilproduktionsfehler.....</b>	<b>46</b>
<b>Weitere Literatur, Impressum .....</b>	<b>47</b>

# DRAHTSEILE VOR GERICHT

Wenn Sie schon einmal eine Sherlock Holmes- Geschichte gelesen haben, kennen Sie das Muster:

Ein Toter liegt am Boden. Hat er Selbstmord begangen oder wurde er ermordet? Wenn er ermordet wurde, wer hat ihn umgebracht? Und warum? Und wie?

Sherlock Holmes wird den Raum mit seinem Vergrößerungsglas untersuchen, ein paar scheinbar unbedeutende Dinge aufsammeln und dann eine überraschende, aber auch überzeugende Lösung des Mordfalls präsentieren.

Die Arbeit eines Drahtseilingenieurs ähnelt häufig der von Sherlock Holmes: Ein Stahlseil ist gerissen, und bei dem Unfall ist ein großer Sachschaden entstanden. Der Seilbetreiber, und vielleicht auch ein Richter, wollen wissen, ob das Seil (durch äußere Einflüsse) ermordet wurde oder ob es (z. B. durch Mehrlagenwicklung auf einer Seiltrommel) Selbstmord begangen hat. Sie wollen aus verschiedenen Gründen genau wissen, was vorgefallen ist:

Ein Grund ist die menschliche Neugier. Ein anderer Grund ist, daß wir die Ursache für den Unfall kennen müssen, um zu verhindern, daß er sich wiederholt. Und der dritte Grund ist Geld: Seilrisse verursachen oft große Sachschäden, und irgend jemand wird die Rechnung bezahlen müssen.

Aber es muß nicht immer ein Seilriß sein: Die Untersuchung eines abgelegten Drahtseiles kann wertvolle Informationen über den Kran, seine Arbeitsweise oder über das Drahtseil selbst liefern. In der Hand eines erfahrenen Inspektors können diese Informationen dazu beitragen, den Kran, die Seilgeometrie, das Wartungsschema oder die Arbeitssicherheit zu verbessern.

Die Werkzeuge des Detektivs haben sich aber verändert: Das Puder zum Aufnehmen der Fingerabdrücke wurde durch digitale Schieblehren, Rillenlehren und Beschleunigungsmesser ersetzt, das Vergrößerungsglas durch digitale Kameras und ein Rasterelektronenmikroskop (REM).

Der Autor, Dipl.- Ing. Roland Verreet, arbeitet seit mehr als 30 Jahren als Drahtseilingenieur und hat hunderte, möglicherweise tausende, von Drahtseilschäden

# DRAHTSEILE VOR GERICHT



Die Hinweise sind da, man muß nur an der richtigen Stelle suchen !

und -unfällen untersucht. Er hat in diesem Werk einige typische und auch weniger typische Schäden zusammengestellt.

Die Bilder und Texte sollen Ihnen helfen, Ihr eigenes Seilproblem richtig zu analysieren oder, besser noch, von vorneherein zu vermeiden.

Der Autor bedankt sich bei Klaus Turotzi. Herr Turotzi hat viele Jahre das Rasterelektronenmikroskop von Ingenieurbüro für Fördertechnik bedient und viele der hier abgebildeten Photos gemacht.

# MECHANISCHER ABRIEB

Mechanischer Abrieb entsteht im Drahtseil durch Relativbewegungen der Seilelemente zueinander oder zur Seilscheibe. Der mechanische Abrieb (Verschleiß) kann durch Seilschmierung reduziert werden.

Auf mehrlagig bewickelten Seiltrommeln kann der mechanische Abrieb durch eine geeignete Seilkonstruktion verringert werden: Das Seil sollte verdichtete Außenlitzen in Gleichschlag oder, noch besser, eine gehämmerte Oberfläche aufweisen.

Aufgrund des mechanischen Abriebs wird ein Seil zunächst seinen Durchmesser relativ schnell verringern. Die entstehenden Verschleißellipsen auf der Drahtoberfläche verbessern jedoch die Auflage und ver-

ringern die Pressungen des Seiles auf der Seilscheibe. Deshalb wird sich die Durchmesser- verringerung im Laufe der Zeit verlangsamen.

Solange das Material schneller abgetragen wird, als sich ein Riss fortpflanzen kann, werden keine Drahtbrüche auftreten (Gleichschlagseil in Bild 1 und Kreuzschlagseil in Bild 4). Wenn der Materialabtrag sich verlangsamt, zeigen sich erste Ermüdungsbrüche (Bild 9).

Anders als bei mechanischem Abrieb wird bei einer plastischen Verformung das Material nicht abgetragen, sondern nur verschoben (Bilder 5, 6 und 7).

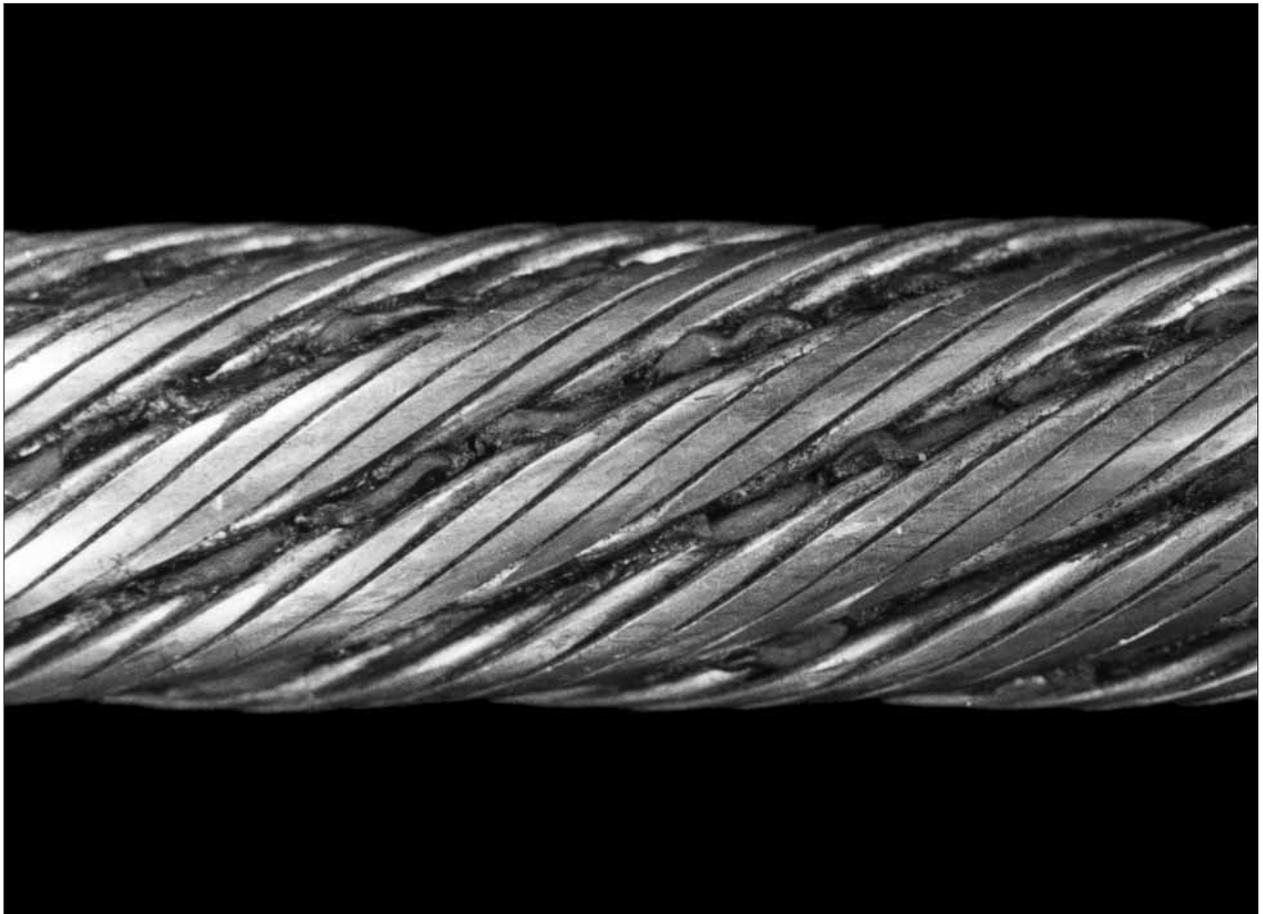


Bild 1: Gleichschlagseil mit starkem mechanischem Abrieb. Obwohl die Drähte bis zu 50% ihres Metallquerschnitts verloren haben, zeigen sich keine Ermüdungsbrüche. Die Auflagefläche der Drähte hat sich aufgrund der Abflachungen vergrößert.

# MECHANISCHER ABRIEB

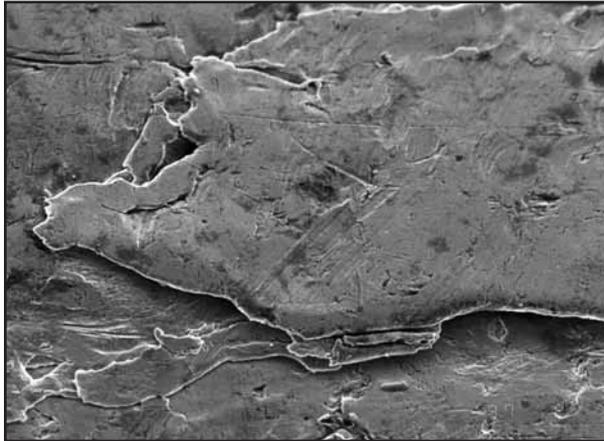


Bild 2: Oberflächenverschleiß eines Außendrahtes.

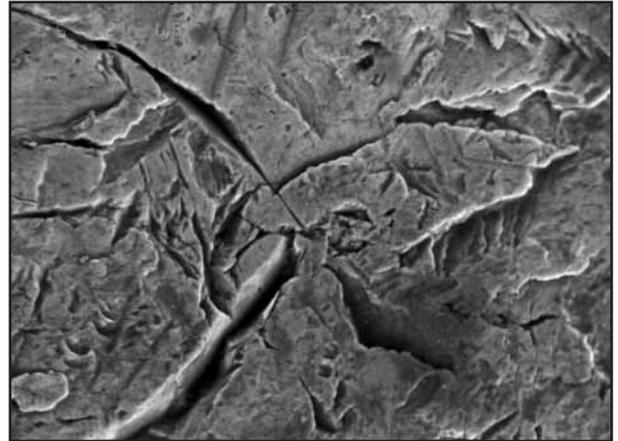


Bild 3: Detail aus Bild 2 mit hoher Vergrößerung.

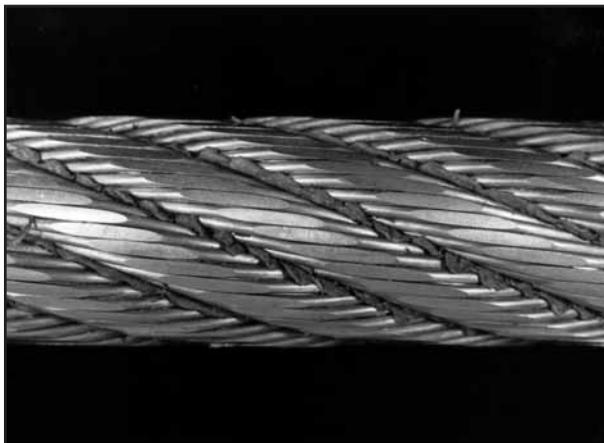


Bild 4: Kreuzschlagseil mit starkem mechanischem Abrieb. Trotz hohem Querschnittsverlust zeigen sich keine Ermüdungsbrüche.

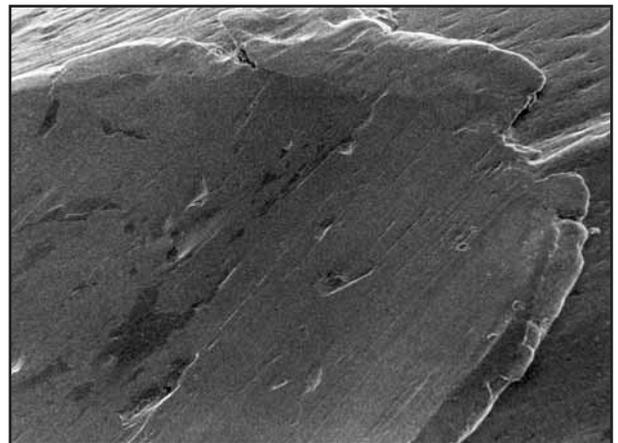


Bild 5: Plastische Verformungen an einer Drahtüberkreuzungsstelle im Seilinneren. Die Kaltverformung härtet das Material.

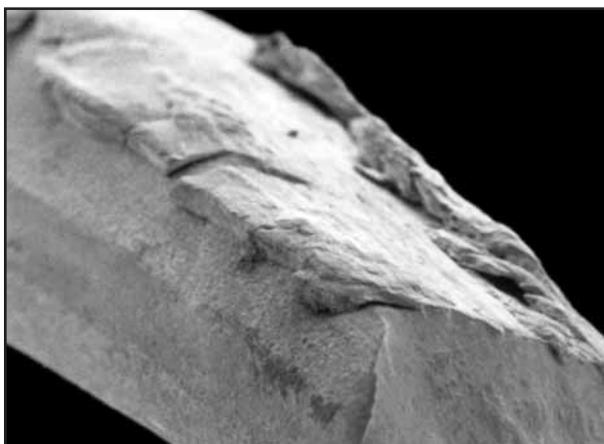


Bild 6: Plastische Verformungen auf einem Außendraht. Hohe Druckkräfte führten hier zu einem Scherbruch.

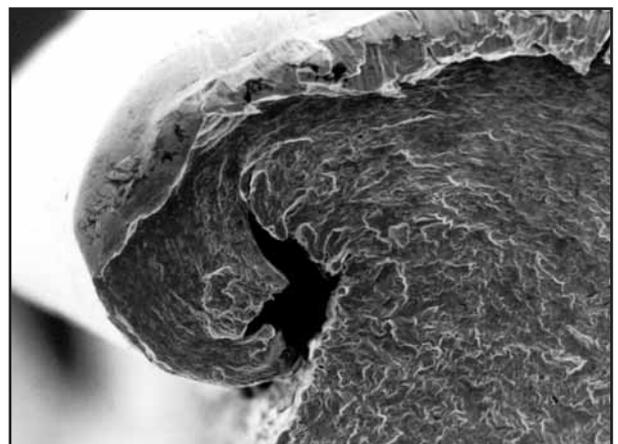


Bild 7: Plastische Verformungen an der Oberfläche eines Außendrahtes. Die Materialverschiebungen sind deutlich sichtbar.

# ERMÜDUNGSBRÜCHE

Ermüdungsbrüche werden in der Regel durch Biegewechsel beim Lauf über Seilscheiben oder auf einlagig bewickelten Seiltrommeln erzeugt. Ermüdungsrisse entstehen meist an den Berührungspunkten zwischen den Außendrähten und der Seilscheibe oder Seiltrommel oder an Drahtüberkreuzungsstellen. Sie vergrößern sich mit zunehmender Biegewechselzahl, bis der Draht so weit geschwächt ist, daß er vollständig reißt.

Ermüdungsbrüche entstehen häufiger auf der Innenseite der Biegung (an der Auflagestelle auf der Seilscheibe) als an der Außenseite (wo die höchste Biegespannung auftritt).

Die Ermüdungsfestigkeit eines Seiles wächst mit zunehmender Zahl und abnehmendem Durchmesser der Außendrähte. Diese Verbesserung wird jedoch erkauft mit einer Abnahme an Abriebfestigkeit.

Die Seillebensdauer kann auch durch eine Erhöhung des Scheibendurchmessers oder durch eine Verringerung der Stranglast erhöht werden.

Verschleiß oder Korrosion können den Rißfortschritt beschleunigen. Eine gute Nachschmierung der Seile im Betrieb wird hingegen die Reibung zwischen den Seilelementen reduzieren und somit die Ermüdungsfestigkeit verbessern.

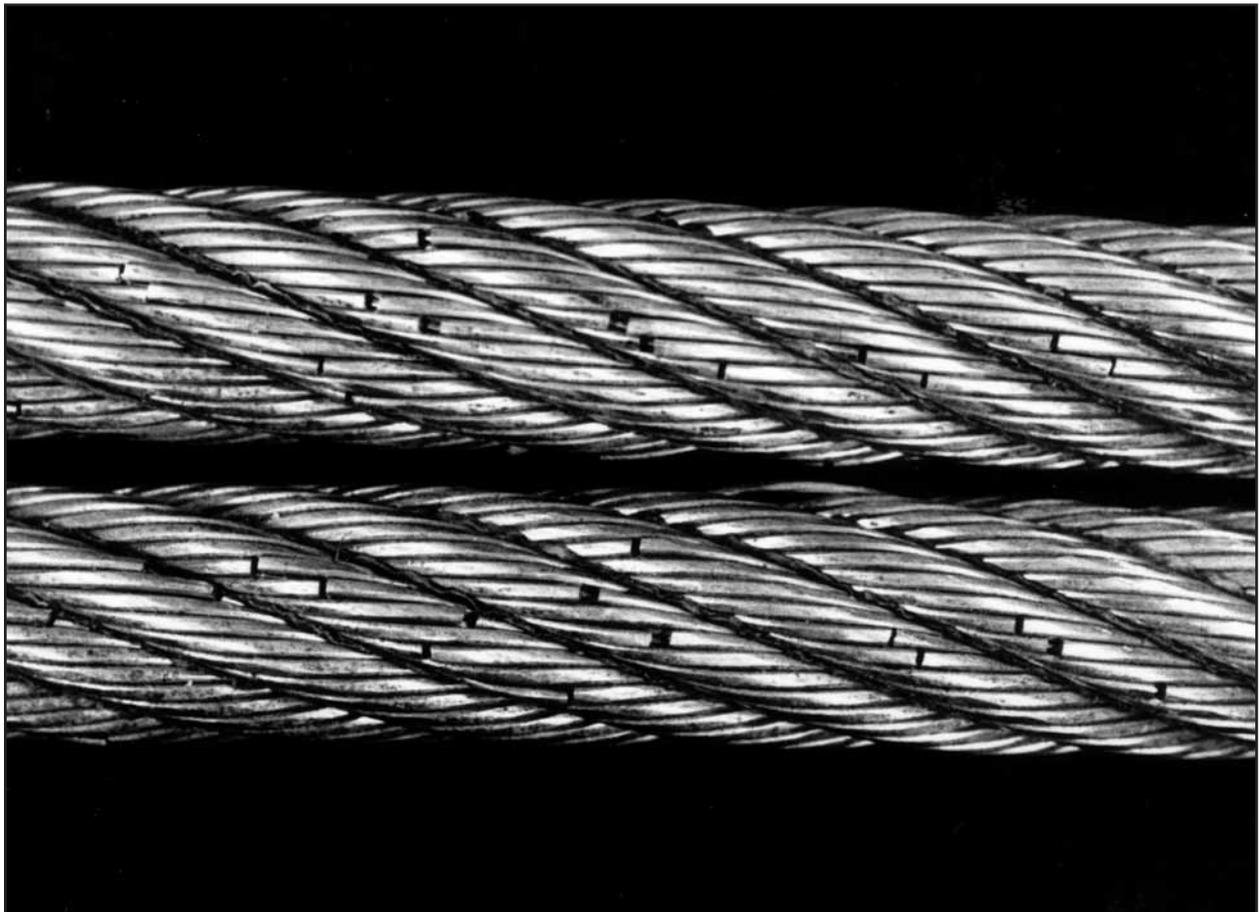


Bild 8: Ermüdungsbrüche auf Stahlseilen mit verdichteten Außenlitzen. Ermüdungsbrüche sind üblicherweise gleichmäßig über die höchstbeanspruchte Seilzone verteilt.

# ERMÜDUNGSBRÜCHE



Bild 9: Die seitlich in entgegengesetzte Richtungen weggedrehten Drahtbrüchen weisen auf Seilverdehnung hin.

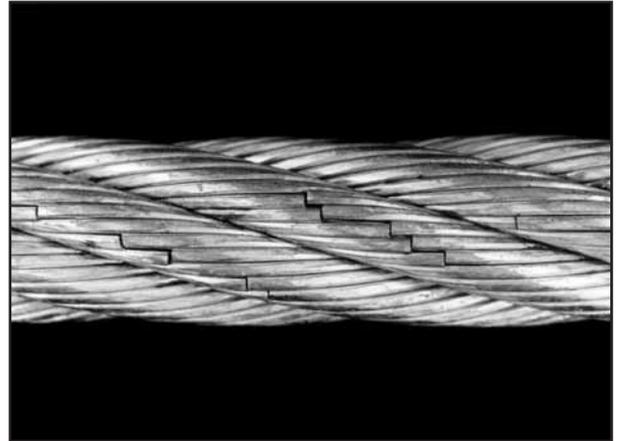


Bild 10: Dieses sechslitzige Seil zeigt nahezu keinen Abrieb, aber eine große Zahl von Ermüdungsbrüchen.

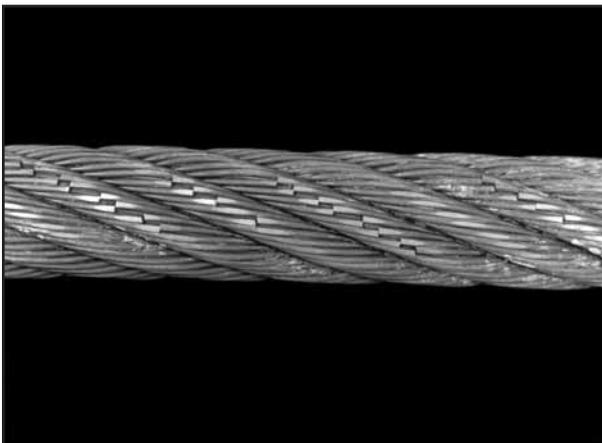


Bild 11: Drei benachbarte Litzen mit, gefolgt von einer Litze ohne Ermüdungsbrüche weisen auf eine eingezogene Litze hin.



Bild 12: Nach einem Seilbruch oder einem Zerreiversuch werden oft Ermüdungsrisse an Kontaktstellen benachbarter Drähte sichtbar.



Bild 13: Oberflächenkorrosion begünstigt oft die Entstehung von Ermüdungsrisse.



Fig. 14: Pittingbildung und Korrosion zusammen mit einem Ermüdungsriß (Detail von Bild 13).

# ERMÜDUNGSBRÜCHE



Bild 15: Ein Ermüdungsriß hat sich an der Kontaktstelle des Drahtes mit der Seilscheibe gebildet. Offensichtlich hat sich der Riß konzentrisch zu seinem Ausgangspunkt vergrößert. Der Riß wurde erst nach der Zerstörung des Drahtes im Zugversuch sichtbar.

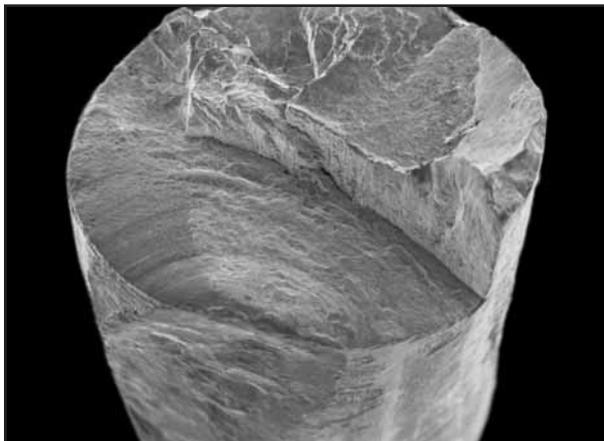


Bild 16: Ermüdungsdrahtbruch.

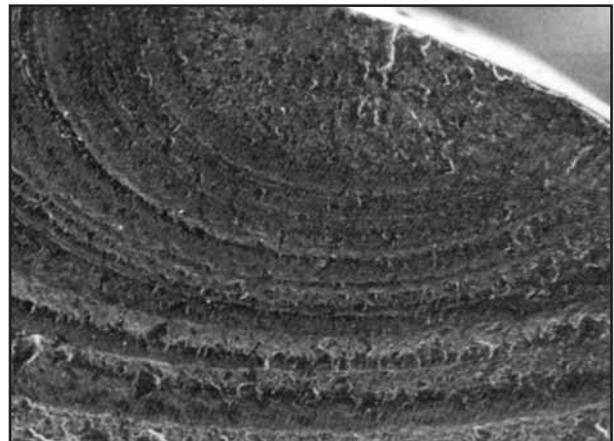


Bild 17: Der Ermüdungsriß breitet sich in konzentrischen Ringen (Rastlinien) um den Entstehungsort aus.

# ERMÜDUNGSBRÜCHE



Bild 18: Ein nur wenig auf Zug beanspruchter Draht zeigt eine große Ermüdungsfläche und nur einen kleinen Restgewaltbruch.



Bild 19: Ermüdungsdrahtbruch.

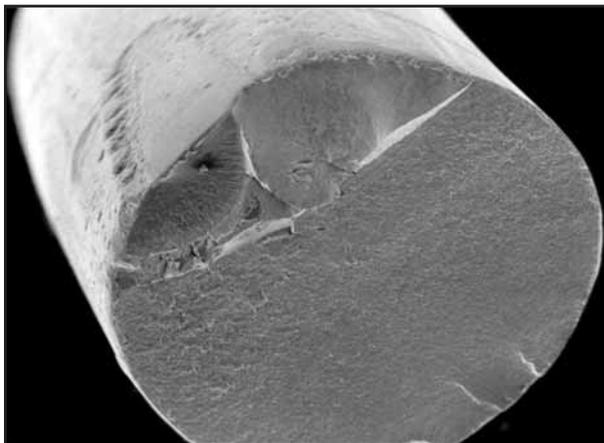


Bild 20: Ermüdungsrisse. Der Ausgangsort und die konzentrische Ausbreitung der kleineren Reißfläche sind deutlich zu erkennen.



Bild 21: Draht mit starkem Abrieb und Ermüdungsbruch.

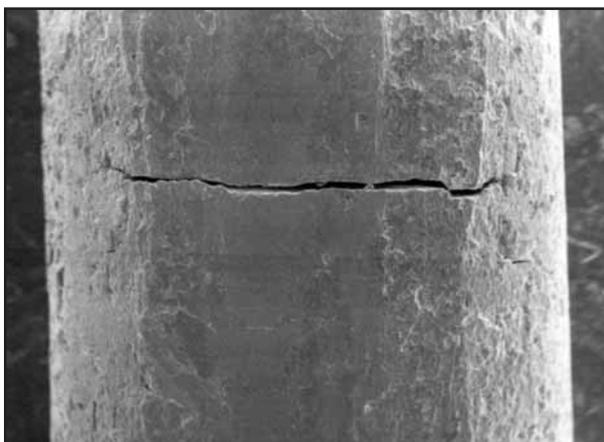


Bild 22: Ermüdungsrisse.



Bild 23: Zwei benachbarte Ermüdungsrisse. Typische Form für Drähte, die lokal sowohl Biegung als auch Druck ausgesetzt sind.

# ERMÜDUNGSBRÜCHE

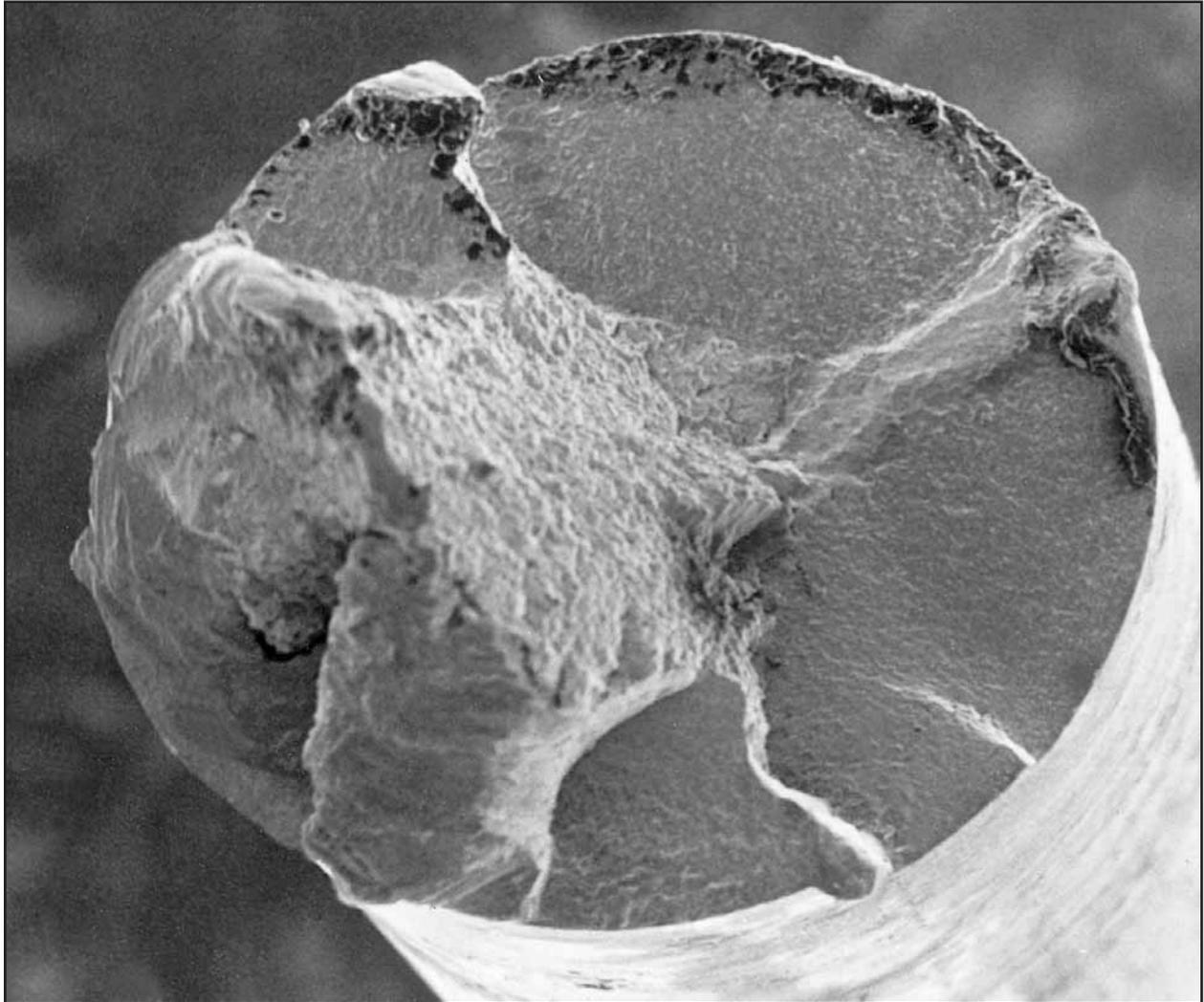


Bild 24: Dieser Draht wurde in einem Umlaufbiegeversuch zerstört. Die Ermüdungsrisse haben an verschiedenen Stellen des Drahtumfangs ihren Ausgang genommen.

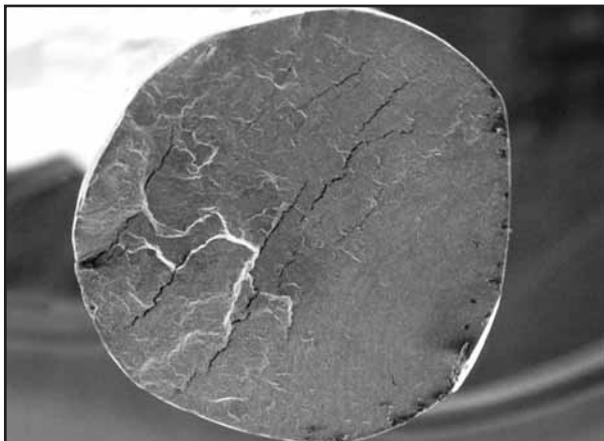


Bild 25: Ermüdungsdrahtbruch. Der Draht ermüdete sowohl unter Zug- als auch unter Druckspannungen.

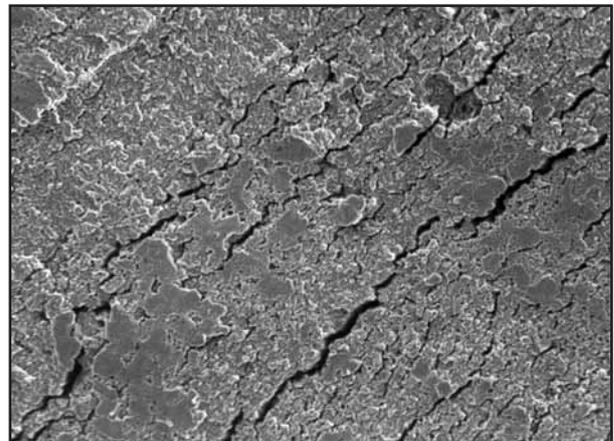


Bild 26: Vergrößerung aus Bild 25. Die Ermüdungsbruchfläche zeigt sekundäre Verformungen durch Kompression.

# KORROSION

Korrosion ist die Reaktion von Metall mit Sauerstoff. Bei Drahtseilen unterscheiden wir atmosphärische Korrosion (die gleichmäßigen „Rost“ erzeugt) und lokale Formen der Korrosion wie Pittingbildung (die tiefe Löcher an Stellen bildet, wo die Schutzschicht fehlt oder beschädigt ist).

Ein korrodiertes Seil verliert an Bruchkraft und Flexibilität. Korrodierte Drahtoberflächen erzeugen deutlich schneller Ermüdungsrisse als geschützte Oberflächen. Wenn hohe lokale Spannungen die Reißfortpflanzung begünstigen, sprechen wir von Spannungsrißkorrosion.

Drahtseile haben etwa die 16-fache Oberfläche eines Metallstabes von gleichem

Durchmesser. Deshalb korrodieren Stahlseile auch 16 mal so schnell, wenn ihre Oberflächen (auch im Seilinneren!) nicht gegen Sauerstoffangriff geschützt werden. Eine Verzinkung der Seildrähte und eine Kunststoffummantelung der Stahleinlage schützen das Seil vor Korrosionsangriff. Eine Verfüllung und Umhüllung des Drahtseiles mit Schmiermittel hilft ebenfalls, Korrosion zu vermeiden.

Stahl dehnt sich aus, wenn er korrodiert. Deshalb kann auch eine Durchmesserzunahme des Drahtseiles ein Hinweis auf Korrosion im Seilinneren sein. Stehende Seile (z. B. Abspannseile oder Seile auf Sätteln oder Ausgleichsscheiben) korrodieren in der Regel schneller als laufende Seile.

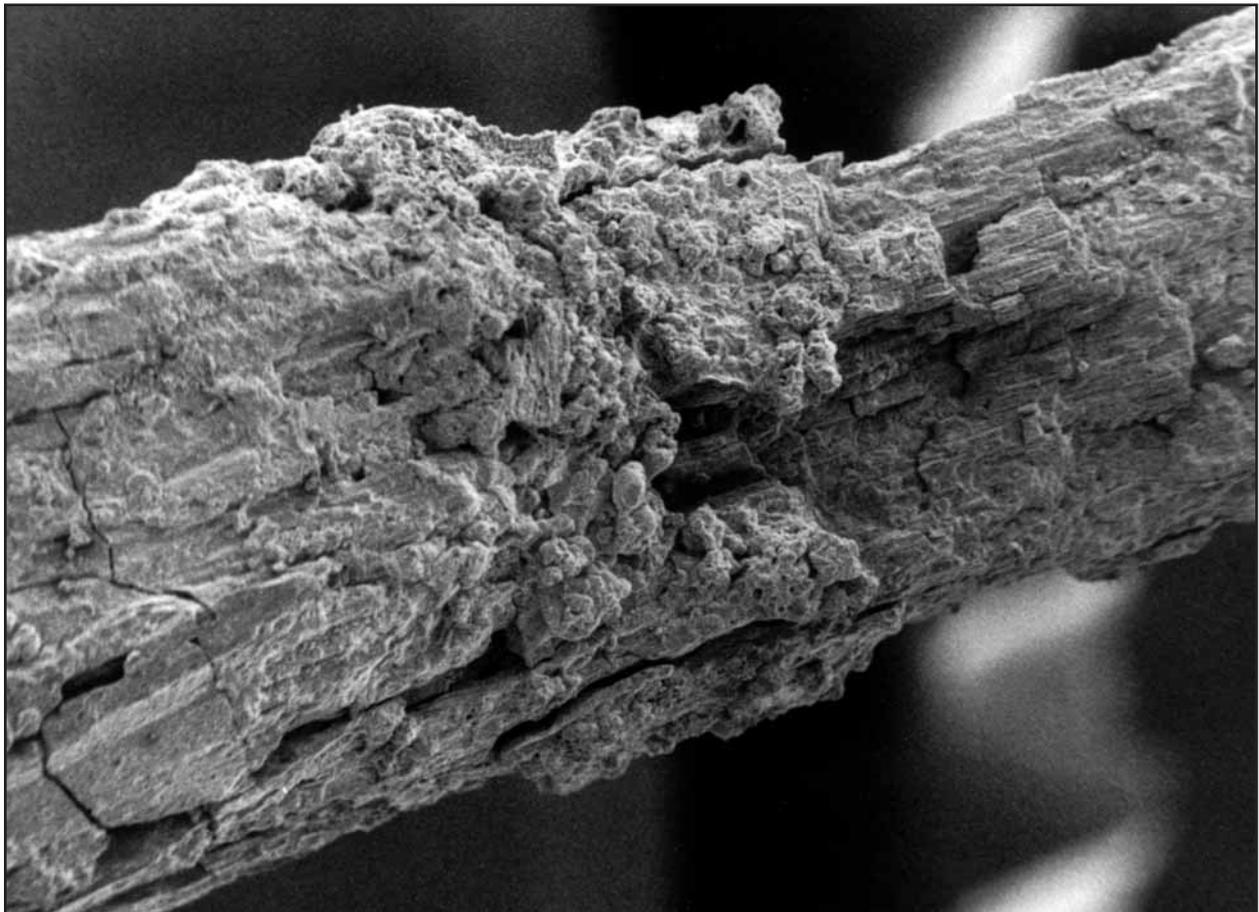


Bild 27: Starke gleichmäßige Korrosion (atmosphärische Korrosion). Stehende Seile und Seile, die in Seewasseratmosphäre arbeiten, sollten verzinkt und gut geschmiert sein. Eine Kunststoffzwischenlage hilft, die Stahleinlage eines Drahtseiles gegen Korrosion zu schützen.

# KORROSION

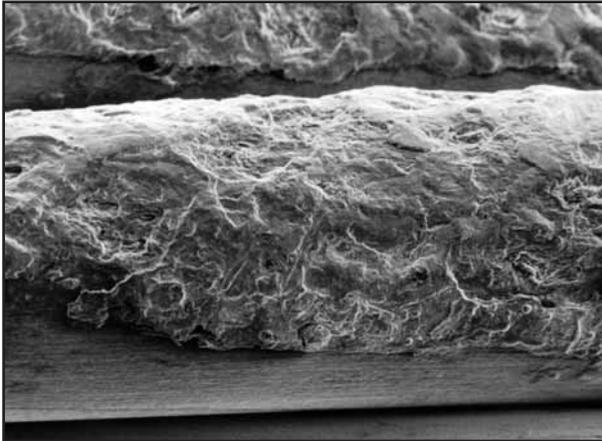


Bild 28: Oberflächenkorrosion. Beachten Sie den durch Korrosionsprodukte vergrößerten Drahtdurchmesser.



Bild 29: Pittingbildung (lokaler Korrosionsangriff, der tiefe Löcher oder „pits“ erzeugt).

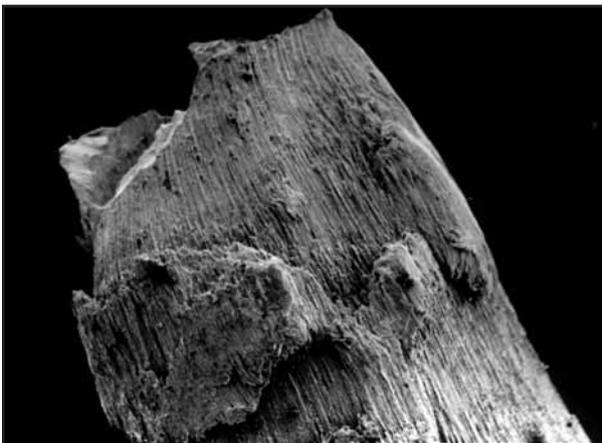


Bild 30: Überlastbruch eines durch Korrosion geschwächten Drahtes.

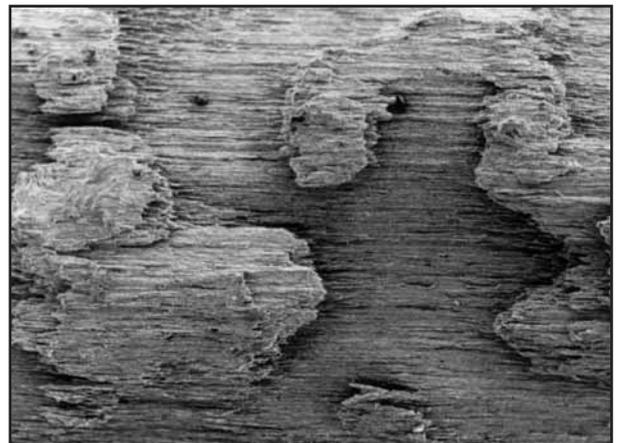


Bild 31: Bei Korrosionsangriff wird die starke Ausrichtung des Ziehgefüges sichtbar.

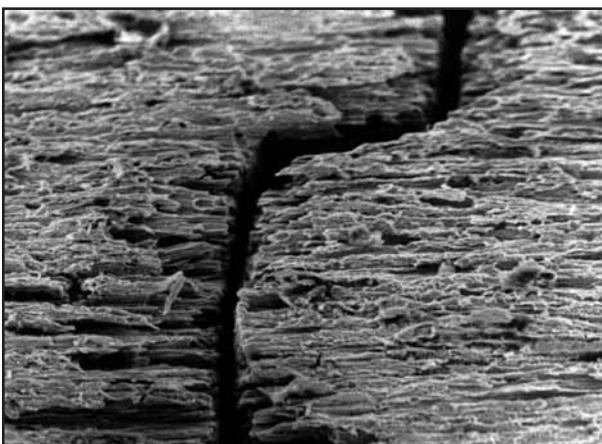


Bild 32: Spannungsrißkorrosion. Hohe Zugspannungen verstärken das Wachstum eines durch Korrosion erzeugten Risses.



Bild 33: Sattel einer Brücke in einem Vergnügungspark. Stehendes, z. B. auf Sätteln festgehaltenes, Wasser erzeugt starke Korrosion.

# ÜBERLASTBRUCH

Überlastbrüche (Zugkegel) entstehen, wenn die achsiale Zugkraft im Draht die Bruchkraft des Drahtes übersteigt. Überlastbrüche sind charakterisiert durch eine duktile Verringerung des Drahtdurchmessers an der Bruchstelle und durch die Ausbildung eines Zugkegels.

Jeder Seilriß wird von einer gewissen Zahl von Überlastbrüchen begleitet sein. Die Tatsache, daß diese Drähte durch Überlast versagten heißt aber nicht, daß auch das Seil durch eine Überlast gerissen ist. Das Seil kann z. B. durch eine Vielzahl von Ermüdungsbrüchen geschwächt worden sein, bis die verbleibenden Drähte nicht mehr in der Lage waren, die Last zu tragen und durch Überlast versagten.

Nur wenn der Anteil von Überlastbrüchen und Scherbrüchen (s. Seiten 15 und 16) gemeinsam mehr als 50% des Seilquerschnitts ausmacht, kann man von einem Seilversagen durch Überlast ausgehen.

Bild 35 und 36 zeigen typische Überlastbrüche. Bild 39 zeigt einen Draht, der zuerst lokal durch äußere Einflüsse beschädigt und, so geschwächt, anschließend durch Überlast brach.

Bild 40 zeigt einen Draht, der zunächst zwei benachbarte Brucheinschnürungen ausbildete, bevor er an einer der beiden Stellen brach.

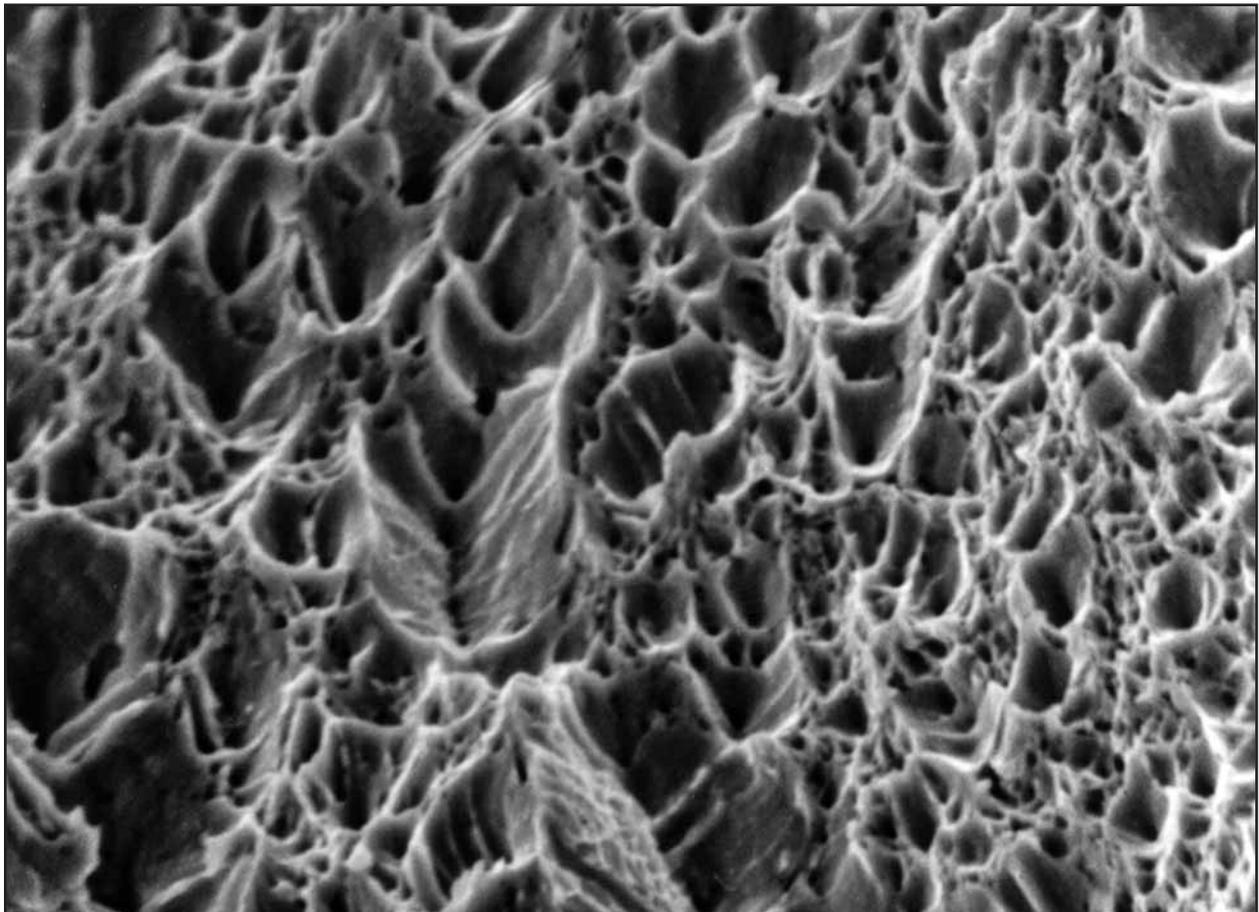


Bild 34: Die Bildung derartig duktiler, hochgezogener Waben auf der Bruchfläche ist ein deutlicher Hinweis auf einen Überlastbruch (starke Vergrößerung der Bruchfläche im Zentrum des Konus).

# ÜBERLASTBRUCH

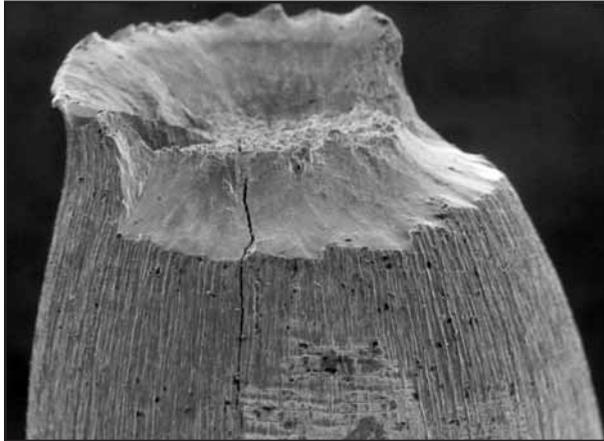


Bild 35: Klassischer Überlastbruch. Hier hat die Hälfte der Bruchfläche eine „Cup-“, die andere Hälfte eine „Cone-“ form.

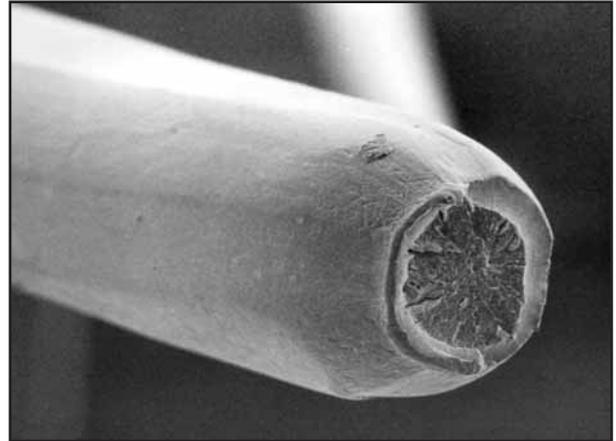


Bild 36: Typischer Überlastbruch. Die Durchmesserreduktion an der Bruchstelle ist deutlich sichtbar („Zugkegel“).



Bild 37: Überlastbruch mit deutlicher Brucheinschnürung an einer Drahtüberkreuzungsstelle.

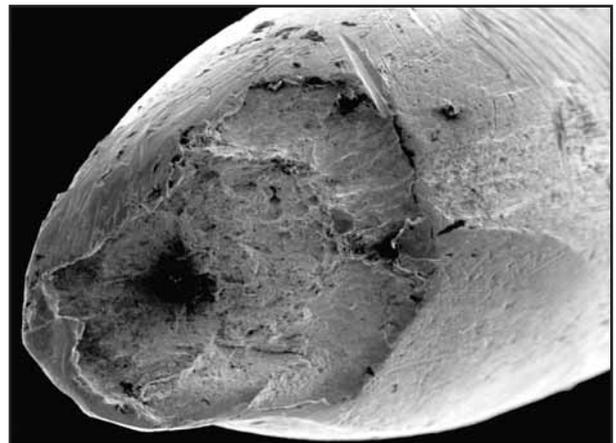


Bild 38: Ein weiterer Überlastbruch mit deutlicher Brucheinschnürung an einer Drahtüberkreuzungsstelle.



Bild. 39: Dieser lokal vorgeschädigte Draht versagte zuletzt durch Überlast.

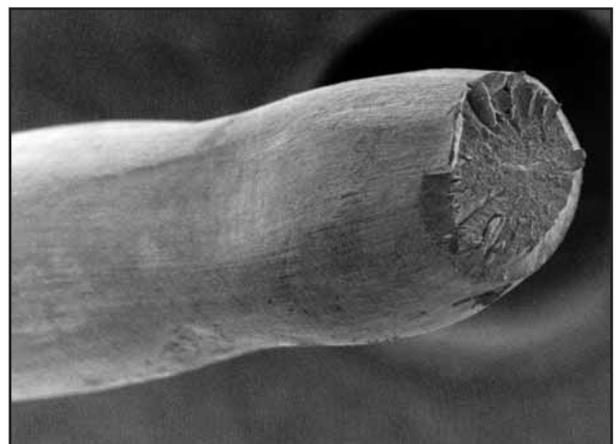


Bild 40: Dieser Draht bildete vor dem Bruch zunächst an zwei benachbarten Stellen Brucheinschnürungen aus.

# ÜBERLASTBRUCH



Bild 41: Blick senkrecht auf die Bruchfläche eines Überlastbruchs. Der innere Konus versagt typischerweise infolge Zugspannung, der äußere Ring (durch die Kombination von Zug- und Druckspannung als Folge der Einschnürung) als Scherbruch.

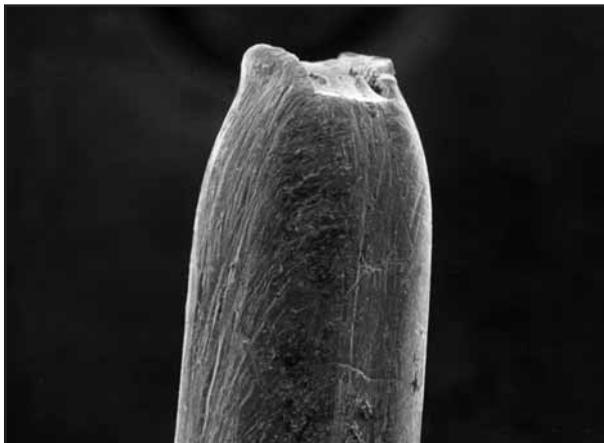


Bild 42: Überlastbruch. Wenn Sie einen gesehen haben...

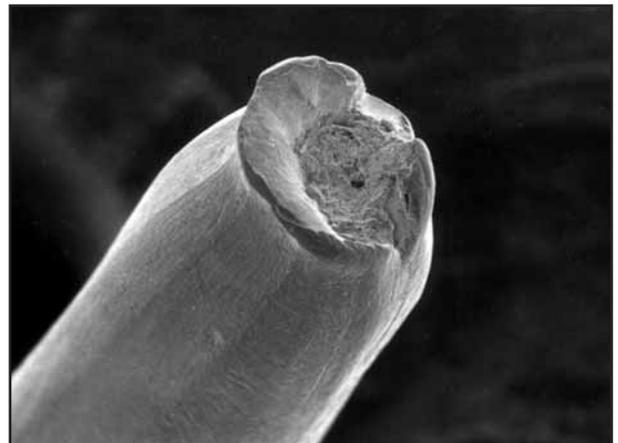


Bild 43: ... haben Sie alle gesehen.

# SCHERBRÜCHE

Scherbrüche werden durch hohe Zugkraft, gepaart mit lokaler Querpressung, erzeugt. Die Bruchfläche von Scherbrüchen ist  $45^\circ$  zur Drahtachse geneigt. Ein Scherbruch entsteht bei geringeren Zugkräften als ein reiner Überlastbruch.

Wenn ein Drahtseil durch eine Überlast bricht, wird ein großer Prozentsatz der Drähte als Scherbruch versagen. Dies ist dadurch zu erklären, daß sich das Drahtseil unter hoher Zugkraft verjüngt. Hierdurch erleiden viele Drähte neben der Zugspannung (infolge der äußeren Belastung) auch noch Querpressung durch ihre Nachbardrähte.

Wenn ein Seil bricht, weil es aus der Seilscheibe gesprungen ist oder weil es ein-

geklemmt wurde, wird ein großer Anteil der Seildrähte die charakteristischen  $45^\circ$ -Scherbrüche aufweisen.

Bild 44 zeigt einen typischen Scherbruch. Die Bruchfläche ist sehr eben. Der Bruch zeigt eine kleine Einschnürung. Diese ist aber sehr viel weniger ausgeprägt als bei reinen Überlastbrüchen (wie z. B. in Bild 36).

Oft findet man Scherbrüche in Verbindung mit Druckstellen (Bild 45), mit plastischen Verformungen (Bild 47) oder mit Ermüdungsrissen (Bild 48).

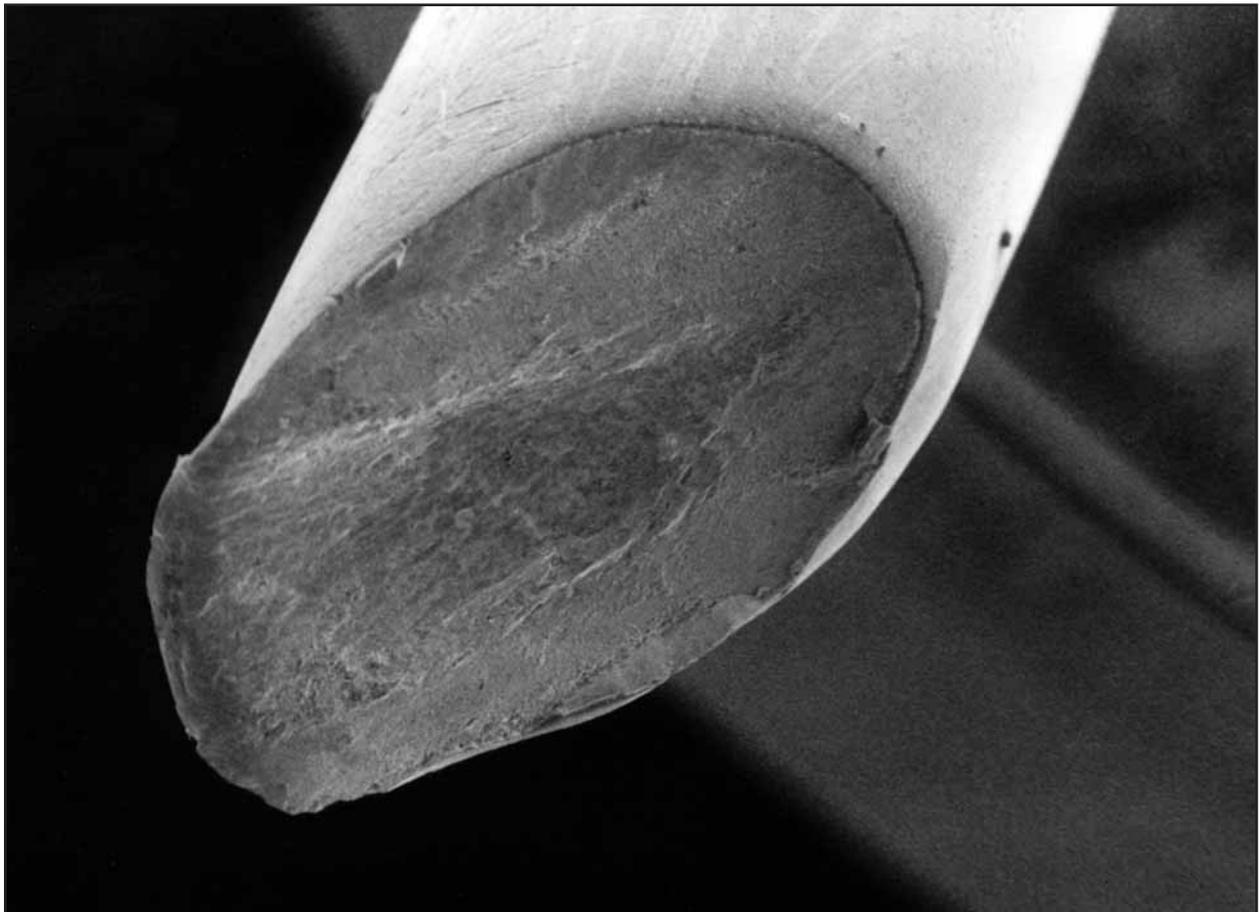


Bild 44: Ein typischer  $45^\circ$  Scherbruch. Beachten Sie die leichte Durchmesserreduzierung unmittelbar an der Bruchfläche. Diese ist erheblich kleiner als die Einschnürung beim Überlastbruch (siehe z. B. Bild 36).

# SCHERBRÜCHE

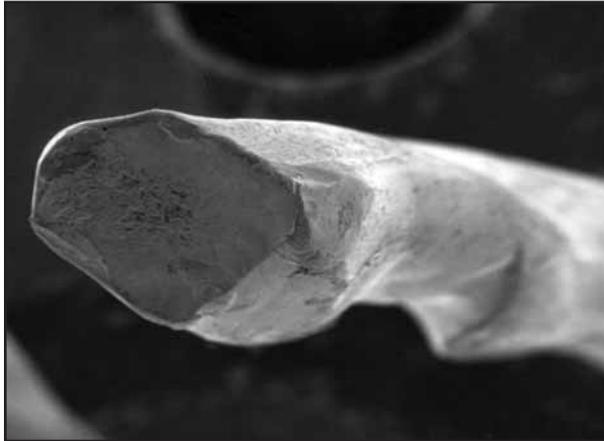


Bild 45: Scherbruch, verursacht durch starke Zug- und starke Querkräfte an Drahtüberkreuzungsstellen im Seil.

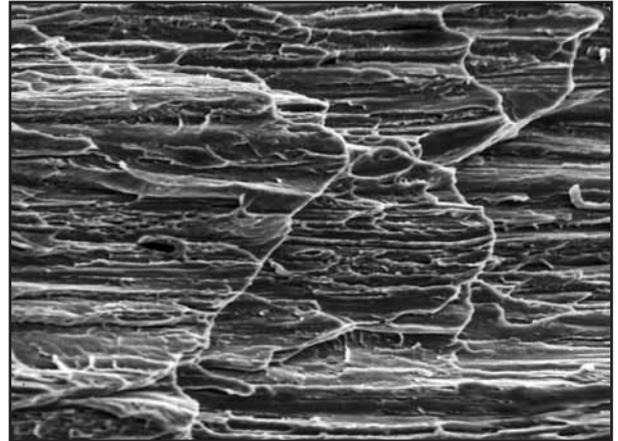


Bild 46: Oberfläche eines Scherbruchs bei hoher Vergrößerung.

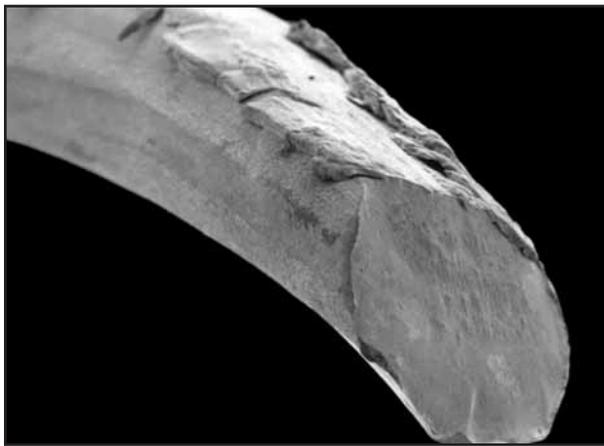


Bild 47: Hohe Querkräfte haben zunächst starke plastische Verformungen und dann einen Scherbruch erzeugt.

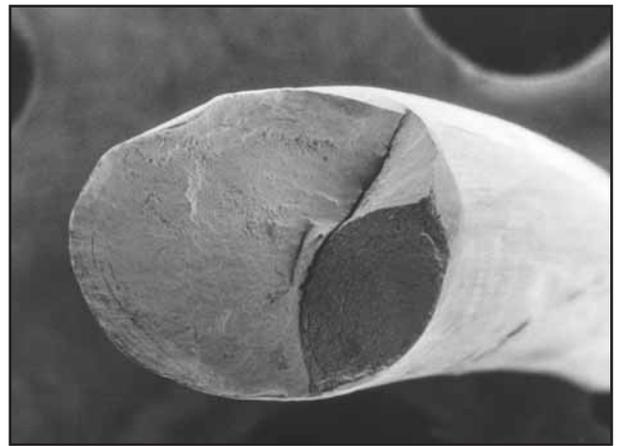


Bild 48: Ein Ermüdungsriß hat sich bis zu einer kritischen Größe entwickelt. Dann versagte der Draht als Scherbruch.



Bild 49: Ein weiterer Scherbruch. Hat man einen gesehen....



Bild 50: ... hat man alle gesehen.

# ÄUSSERE BESCHÄDIGUNG

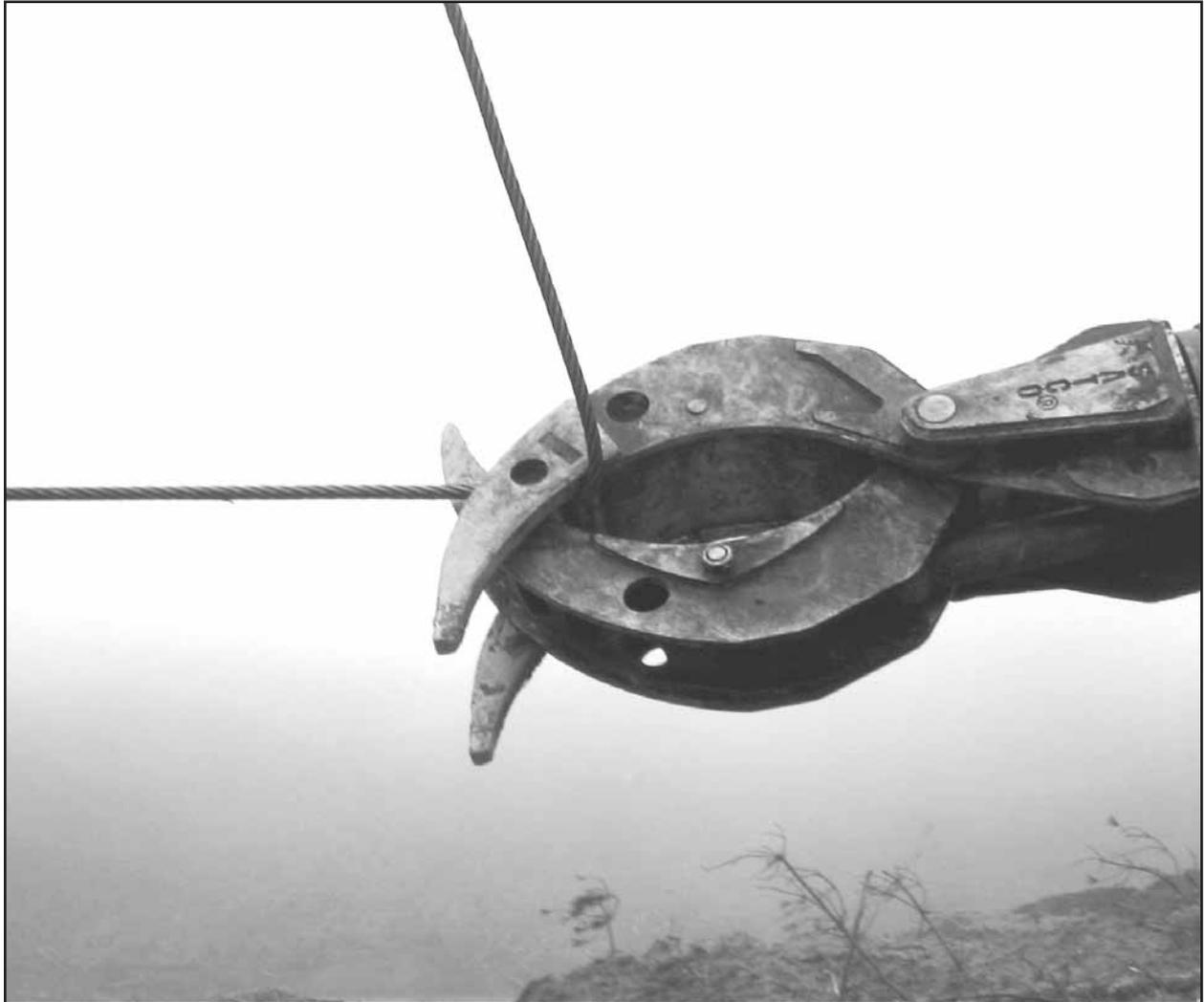


Foto: Dennis Verreet

Bild 51: Es gibt mehr als einen Weg, um ein Drahtseil zu zerstören. Dieser Seilanwender wird später seinen Lieferanten anrufen, um ihm mitzuteilen, das zuletzt gelieferte Drahtseil habe nicht lange genug gehalten. Er wolle kostenlosen Ersatz.



Bild 52: Auch Walzen sind besonders geeignet, um Drahtseile zu zerstören ...

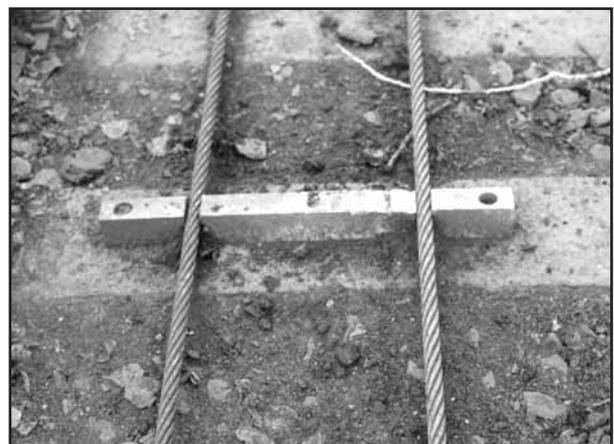


Bild 53: ... genauso wie stark eingelaufene Unterstützungsplatten.

# ÄUSSERE BESCHÄDIGUNG

Drahtseile werden im Betrieb oft mechanisch beschädigt. Ein Seil kann gegen eine Stahlstruktur schlagen und hierbei einige Außendrähte beschädigen (Bild 54), oder es kann über eine harte Oberfläche gezogen werden und starken Abrieb erleiden. Bild 55 zeigt ein Seil, welches über eine festsitzende Seilscheibe gezogen wurde.

Wenn ein Seil an einem Objekt entlang gezogen wird, entsteht in der Regel immer eine längliche, gerade oder leicht helixförmige Beschädigung.

Bild 56 zeigt ein drehungsfreies, und Bild 57 ein achtlitziges Seil. Beide Seile wurden über die Flanken ihrer Scheiben gezogen.

Seile, die über eine scharfe Kante gezogen wurden, haben im unbelasteten Zustand eine Tendenz, sich aufzuwickeln (Bild 62).

Bild 59 zeigt einen Schaden, der durch Metallkugeln entstanden ist. Der Kran wurde vor der erneuten Lackierung gestrahlt. Die Kugeln blieben am Schmiermittel des Seiles hängen und wurden später in die Litzen hineingedrückt.

Bild 61 zeigt die Außendrähte eines Greiferseiles. Alle Drähte waren durch Verschleiß gebrochen und wurden durch die Austrittsdüse des Greifers zu einem Punkt hin massiert. Dieser Vorgang braucht Zeit: der Kranführer hat wohl lange weggeschaut.

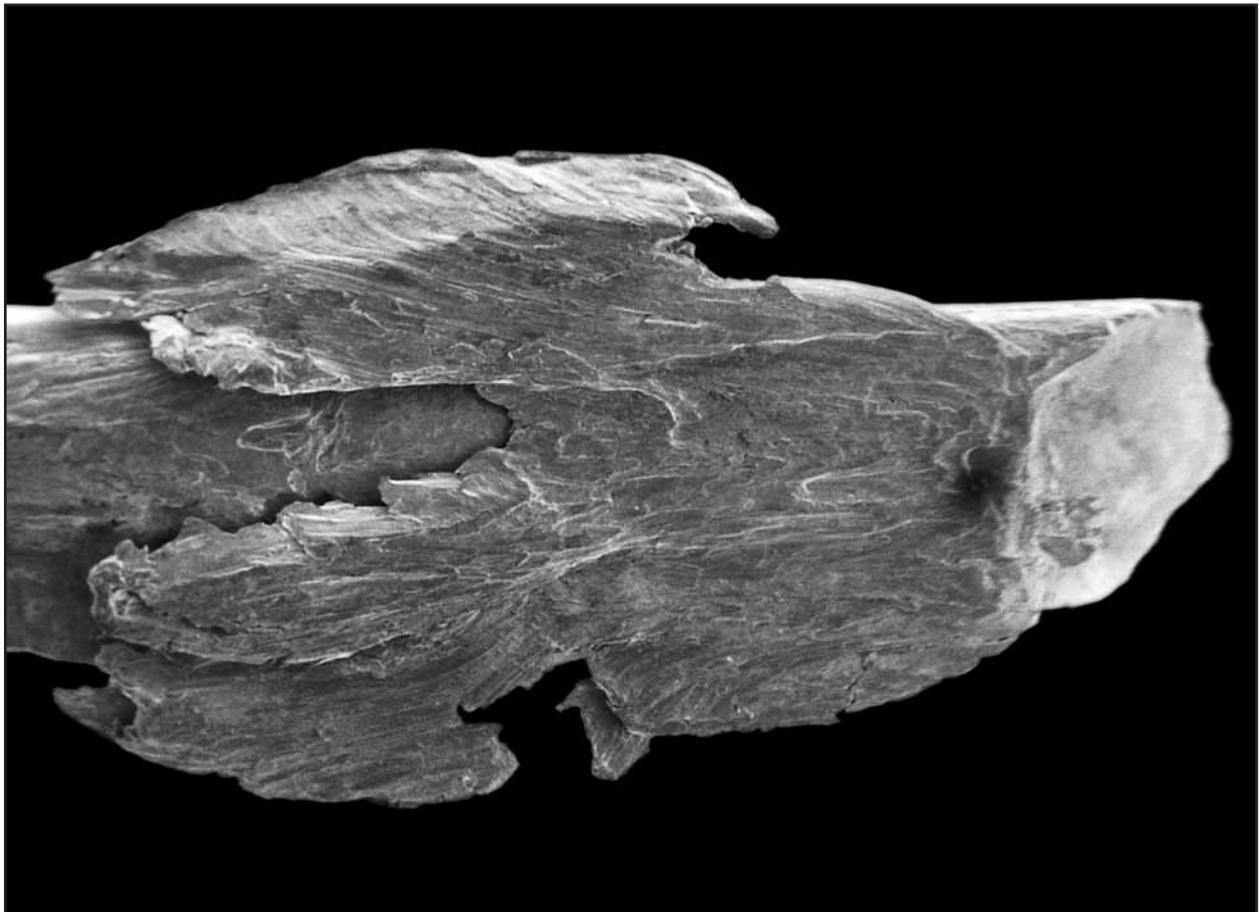


Bild 54: Starke plastische Verformung eines Seildrahtes durch Relativbewegung zu einer Stahlkonstruktion. Die hohe Zugkraft im Draht, kombiniert mit hoher Pressung, führte hier zu einem Scherbruch.

# ÄUSSERE BESCHÄDIGUNG

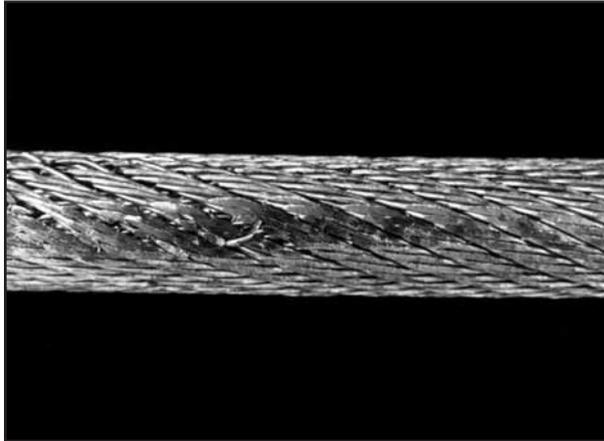


Bild 55: Dieses Drahtseil wurde über eine festsitzende Seilscheibe gezogen und hierbei stark beschädigt.

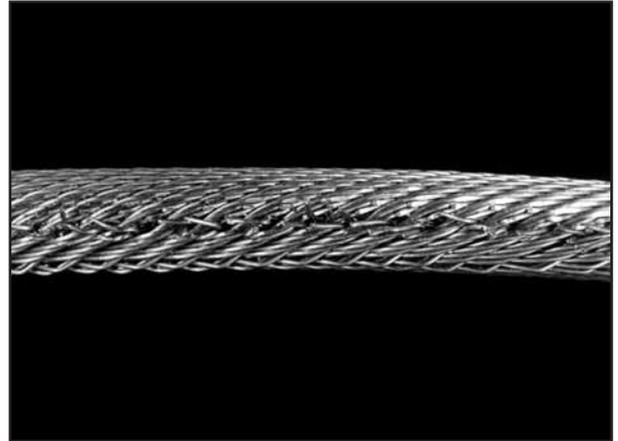


Bild 56: Dieses drehungsarme Drahtseil wurde über die Rillenflanke einer Seilscheibe gezogen und hierbei stark beschädigt.

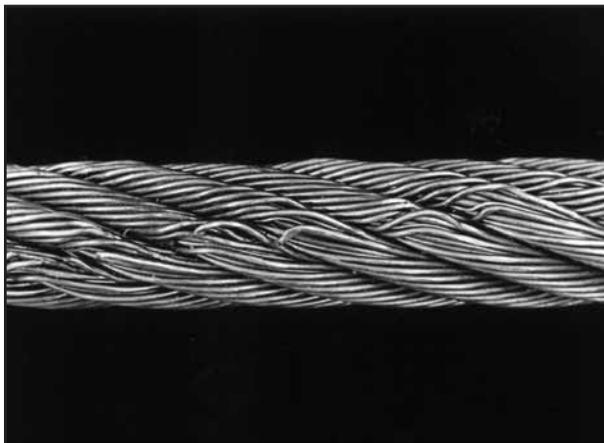


Bild 57: Dieses achtlitzige Drahtseil wurde über die Flanke einer Seilscheibe gezogen. Beachten Sie die geneigte Schadensspur.

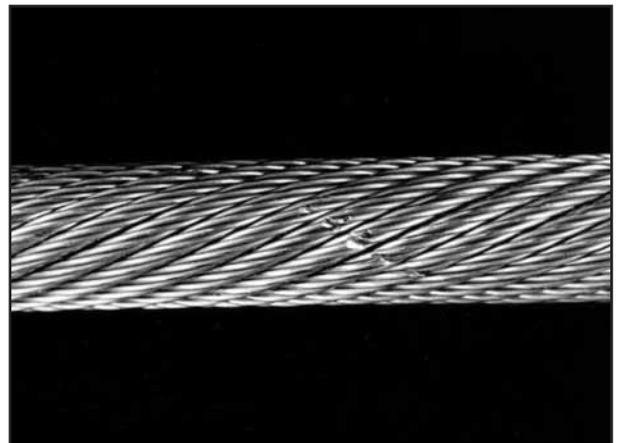


Bild 58: Dieses drehungsarme Drahtseil wurde beim Schwenken des Krans durch einen scharfkantigen Gegenstand beschädigt.



Bild 59: Ein Kran wurde, bevor er neu lackiert wurde, mit Stahlkugeln gestrahlt. Die Kugeln blieben im Schmiermittel des Seiles haften.

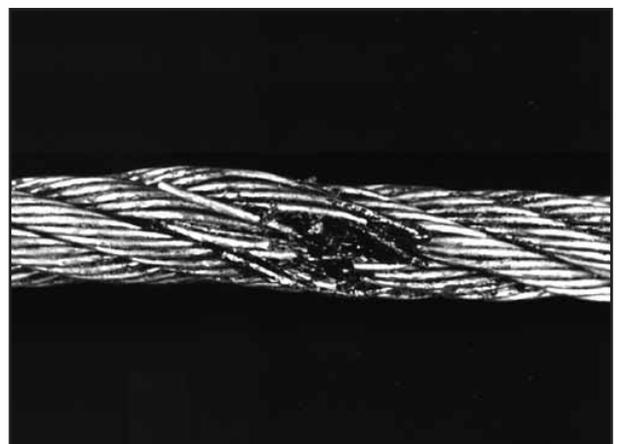


Bild 60: Dieses sechslitzige Seil ist gegen eine scharfe Kante geschlagen. Das Seil ist ablegereif (Drahtbruchzahl auf  $6 \times d$ ).

# ÄUSSERE BESCHÄDIGUNG



Bild 61: Schließseil eines Greiferkrans. Alle Außendrähte sind infolge von starkem Abrieb an der Austrittsdüse 1 x pro Schlaglänge gebrochen. Dann wurden die Bruchstücke zu einem Punkt hin massiert, dem Endpunkt der Bewegung.



Bild 62: Drahtseile, die über eine scharfe Kante gezogen wurden, haben im entlasteten Zustand die Tendenz, sich aufzurollen.

# MARTENSITBILDUNG

Martensit ist ein sehr hartes und sprödes Gefüge. Es entsteht, wenn Stahl über die Umwandlungstemperatur erhitzt und anschließend schnell abgekühlt wird.

Auf Seildrähten findet man Martensit oft als dünne Schicht auf den Drahtkuppen überall dort, wo der Draht über eine harte Oberfläche gezogen wurde (Bilder 63 und 64). Die dünne Martensitschicht bricht leicht und erzeugt so einen Anriß, der sich in der Folge schnell vergrößert (Bilder 66 und 67).

Martensitbildung auf der Drahtoberfläche ist nur schwer festzustellen. Selbst im

Schliffbild muß sie erst durch Ätzen sichtbar gemacht werden.

Blitzschlag und Lichtbögen können ebenfalls Martensit im Seildraht erzeugen (Bild 65).

Der in den Bildern 63 und 64 gezeigte Aussen draht eines Drahtseiles ist mehrfach an einer Ladeluke entlangezogen worden. Jedesmal hat sich eine neue Martensitschicht gebildet, wobei die darunterliegende Schicht teilweise getempert wurde. Die weißen Strukturen sind Martensit, die schwarzen Bänder getempertes Martensit.

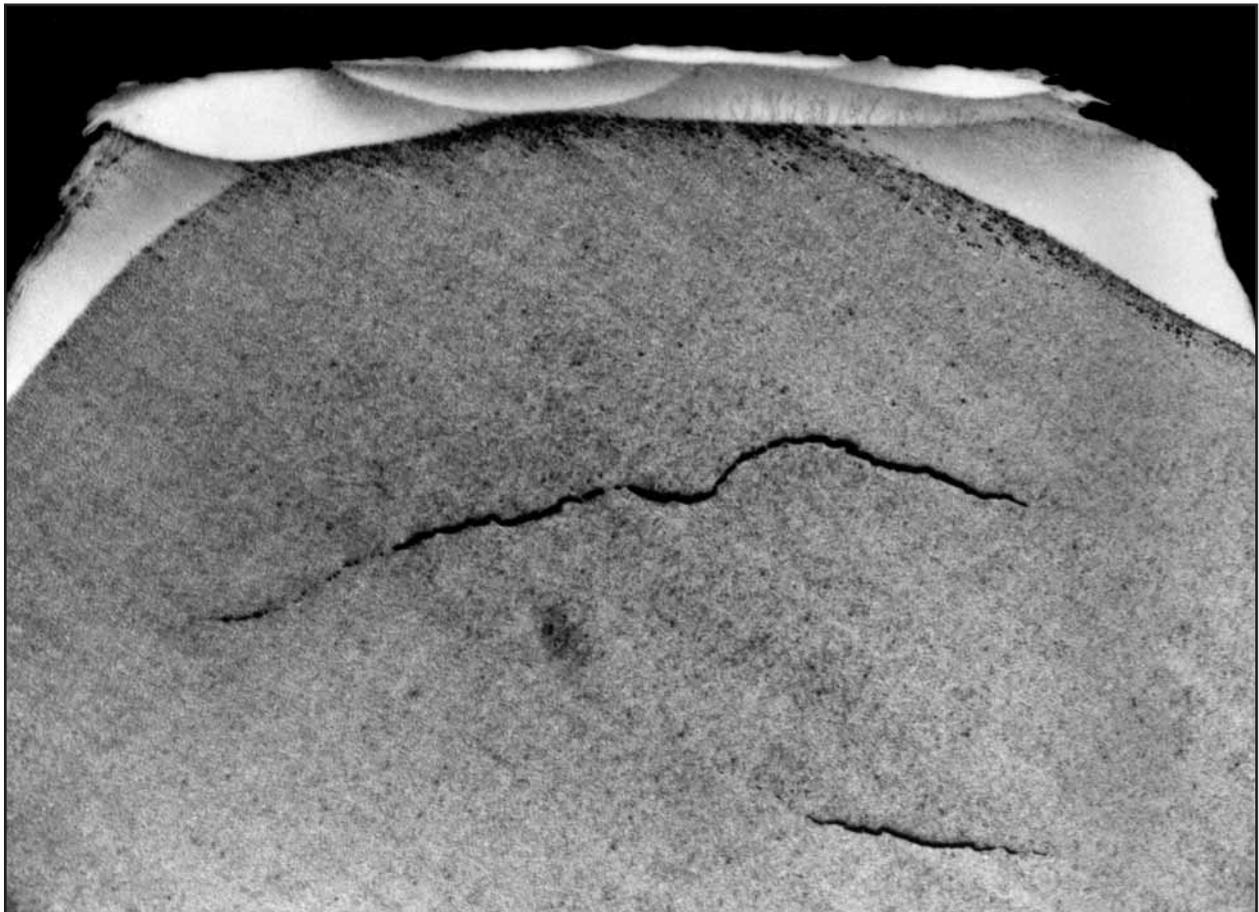


Bild 63: Dieser Außendraht eines Drahtseiles ist mehrfach an einer Ladeluke entlangezogen worden. Jedesmal hat sich eine neue Martensitschicht gebildet, wobei die darunterliegende Schicht teilweise getempert wurde. Die Schichtdicke des Martensit beträgt etwa 0,05mm.

# MARTENSITBILDUNG

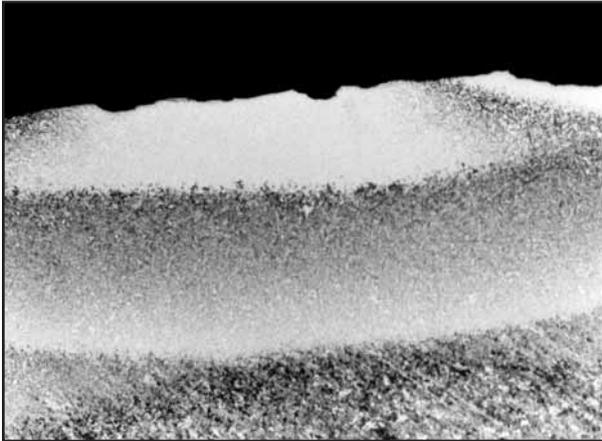


Bild 64: Detail aus Bild 63. Die weiße Struktur ist Martensit, die dunkleren Bänder zeigen getempertes Martensit.

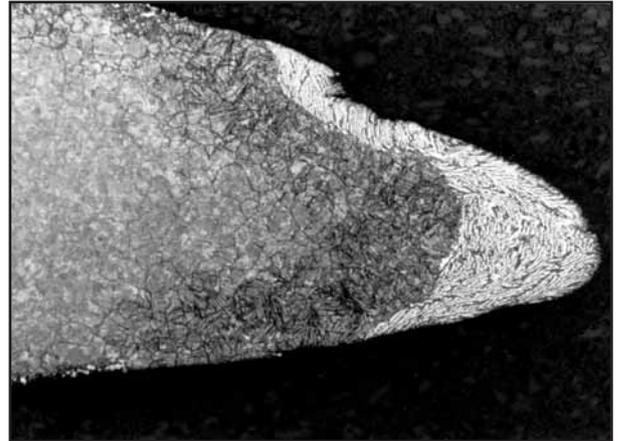


Bild 65: Durch Lichtbogen erzeugtes Martensit (weiße Spitze).

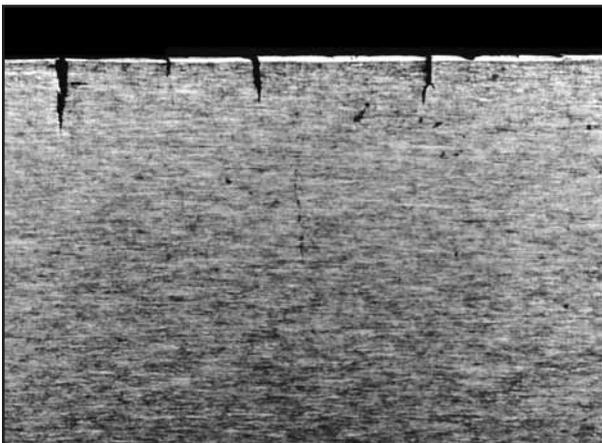


Bild 66: Martensitlage auf einer Drahtoberfläche mit Anrissen (Schliffbild, angeätzt).

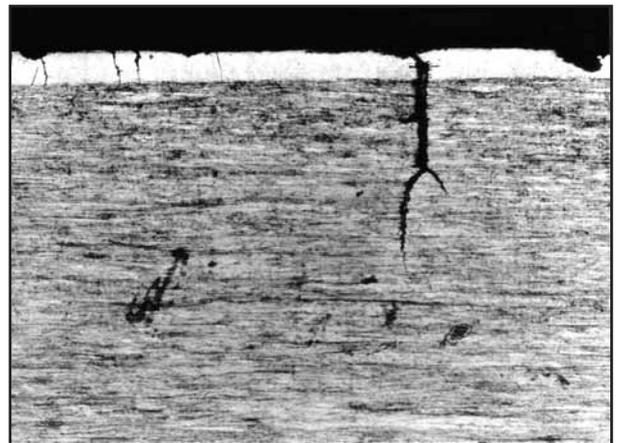


Bild 67: Detail aus Bild 66. Die Rißbildung in der harten Martensitschicht ist deutlich sichtbar.

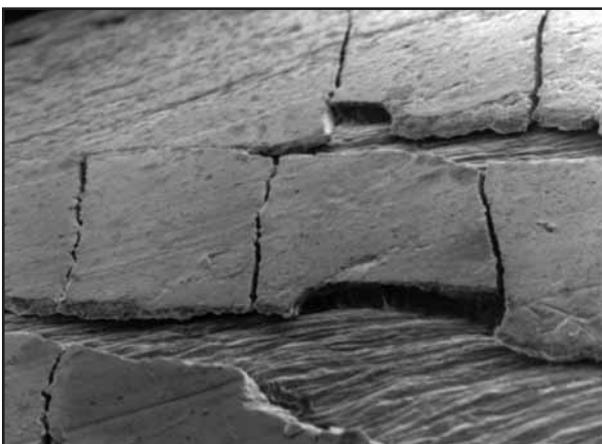


Bild 68: Nein, dies ist keine abplatzende Martensitschicht, sondern eine abplatzende Zinkauflage (siehe auch Bild 111).

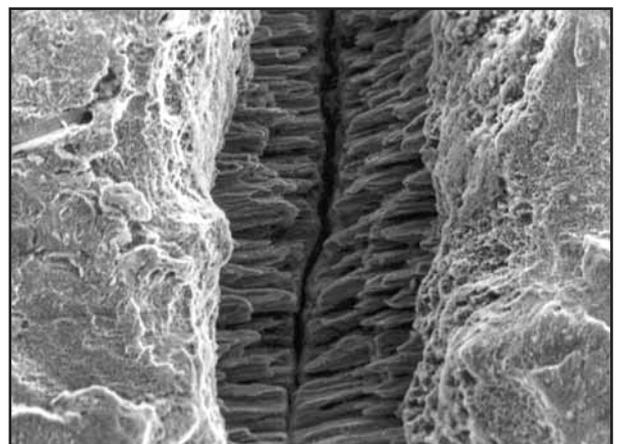


Bild 69: Detail des Drahtes von Bild 68. Unter der Zinkschicht hat sich ein Riß gebildet.

# HITZESCHÄDEN

Drahtseile sind sehr gute Wärmeleiter. Deshalb können Drahtseile für eine bestimmte Zeit in einer sehr heißen Umgebung arbeiten, wenn sie die aufgenommene Hitze in andere, kühlere Seilzonen ableiten können.

Wenn jedoch die Temperatur im Seil auf über 300° C ansteigt, rekristallisiert das durch Kaltverformung erzeugte Ziehgefüge des Seildrahtes (Bilder 71, 76 und 77), und der Draht verliert etwa 2/3 seiner Festigkeit.

Wenn die Wärmezufuhr höher ist als die Abfuhr durch Wärmeleitung, wird sich das Drahtseil sehr schnell aufheizen. Dies passiert zum Beispiel, wenn durch Blitzschlag oder Lichtbogen das Seil lokal so hoch

erhitzt wird, daß der Stahl schmilzt (Bilder 70 und 78).

Nach EN 12385-3 dürfen Seile mit Faser- einlage bei Temperaturen bis zu 100° C eingesetzt werden, Seile mit Stahleinlage bei Temperaturen bis zu 200° C.

Die zulässigen Einsatztemperaturen der Endverbindungen müssen natürlich ebenfalls beachtet werden (siehe EN 12385-3).

Aber selbst, wenn die Drahtfestigkeit durch eine erhöhte Einsatztemperatur noch nicht beeinträchtigt wurde, muß bei Verlust des Schmiermittels (Tropfpunkt!) mit einer deutlich reduzierten Seillebensdauer gerechnet werden.

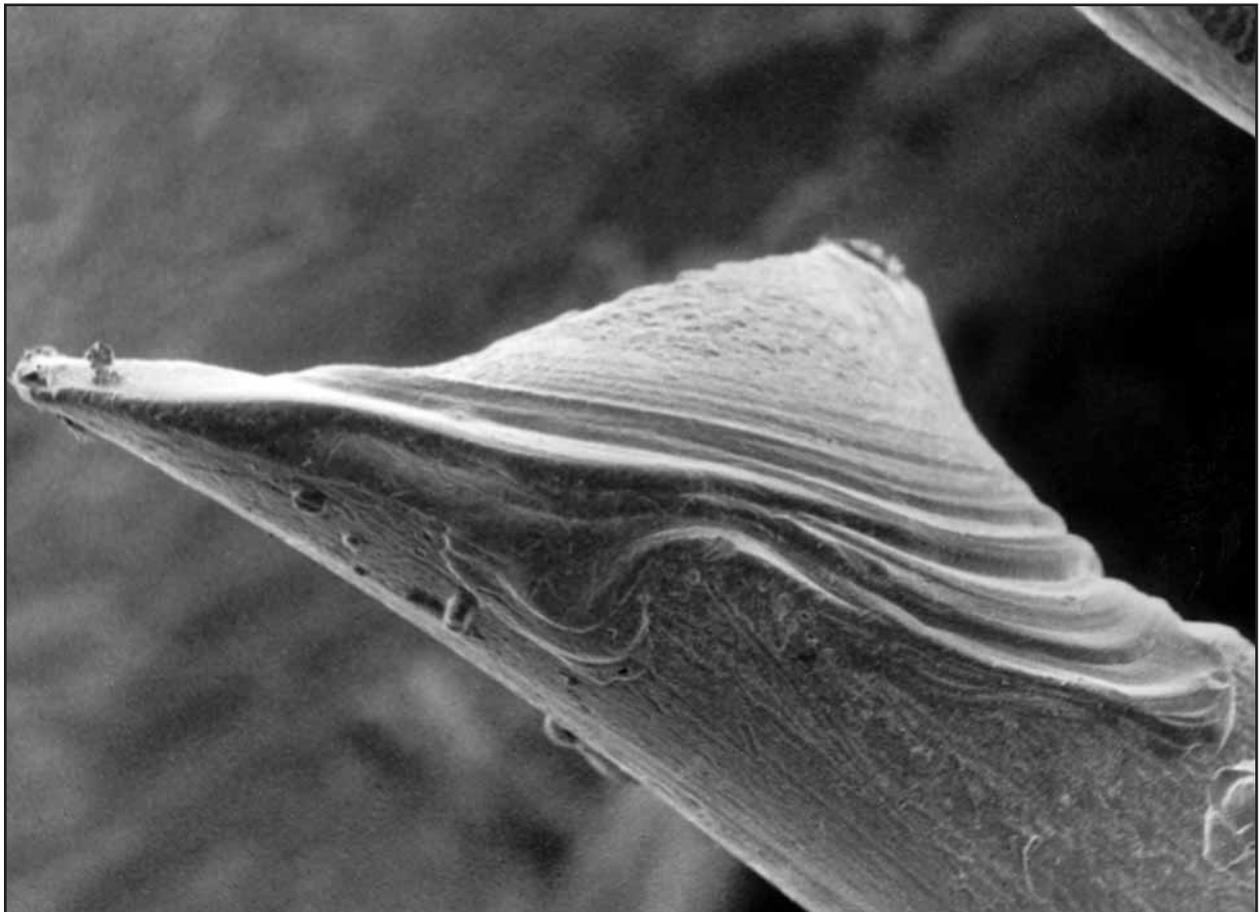


Bild 70: Ein Blitzschlag hat diesen Draht lokal so stark erhitzt, daß der Stahl geschmolzen ist.

# HITZESCHÄDEN

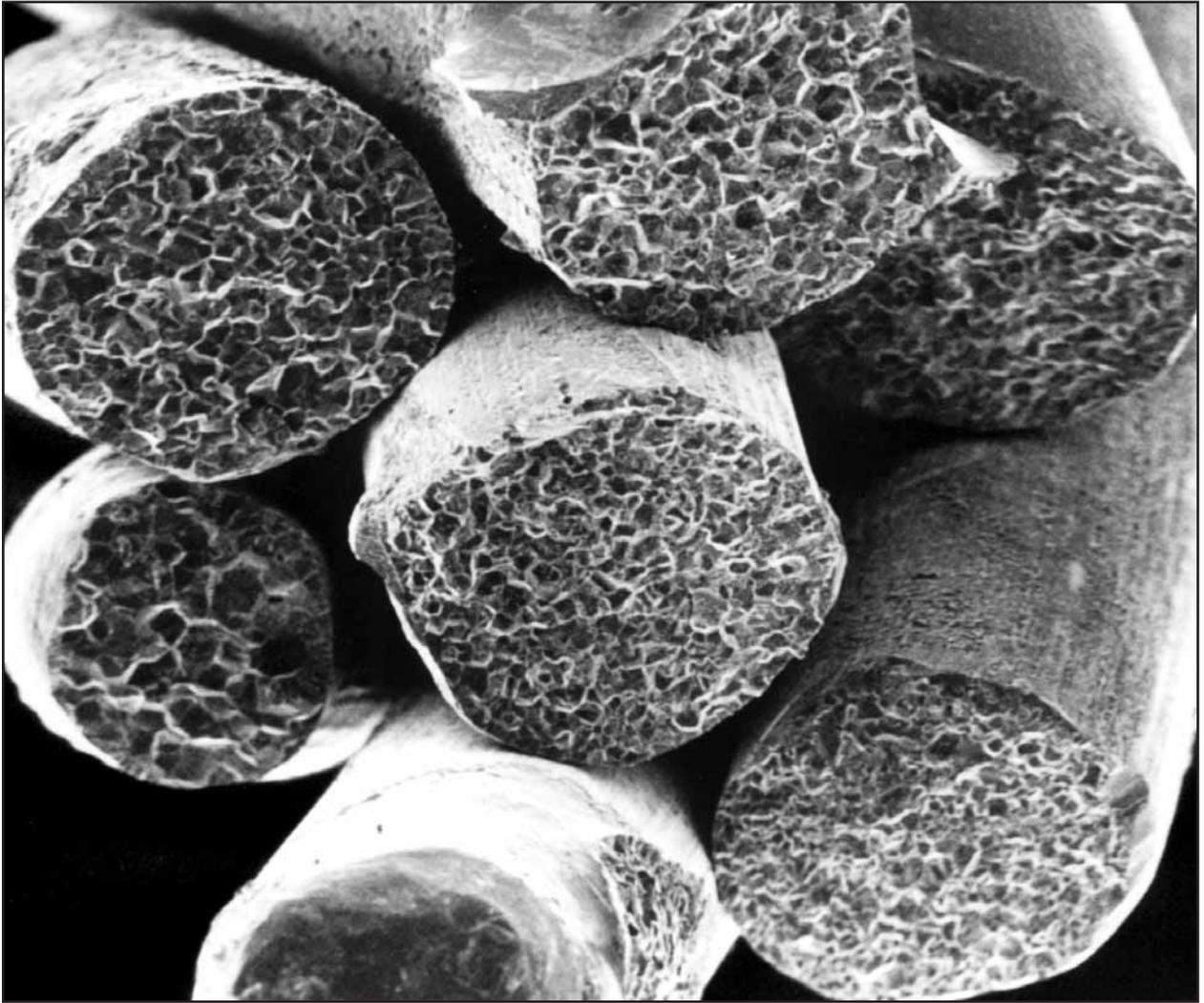


Bild 71: Diese siebendrätige Litze war sehr hohen Temperaturen ausgesetzt gewesen und hatte sich auf mehr als 300°C erhitzt. Das Ziehgefüge der Seildrähte hat sich rekristallisiert.

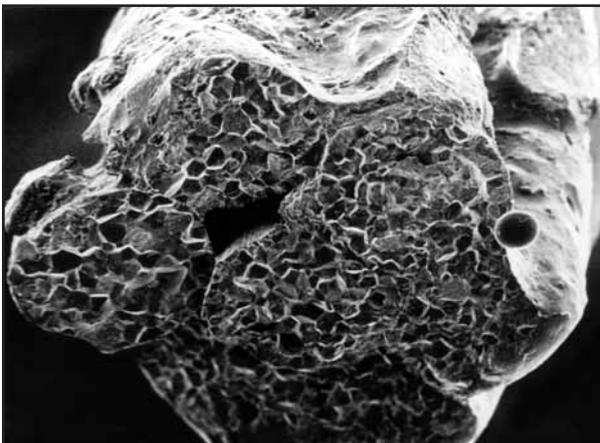


Bild 72: Bei noch höheren Temperaturen verschmelzen die Drähte miteinander.

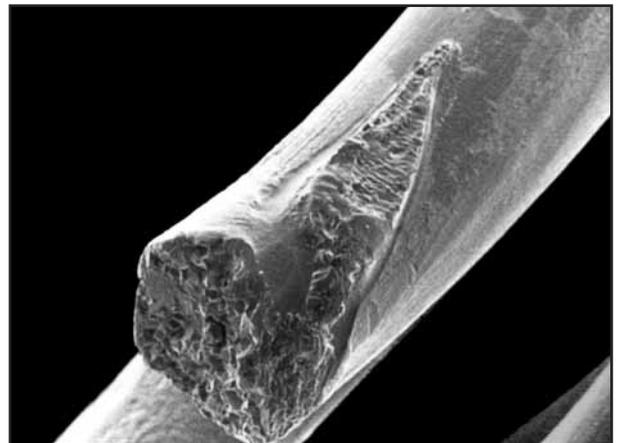


Bild 73: Durch die Rekristallisation steigt das Drahtvolumen, einige Drähte platzen längs auf.

# HITZESCHÄDEN

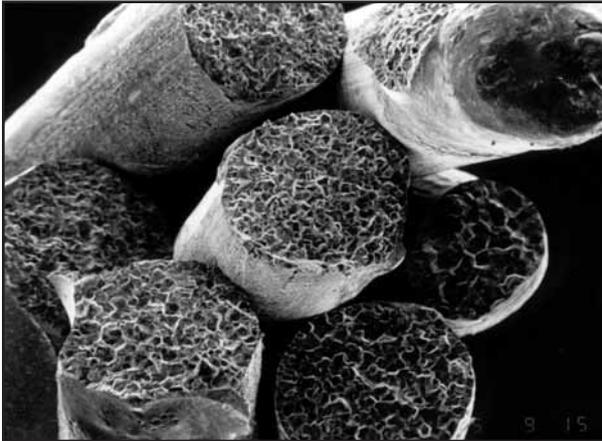


Bild 74: Das Ziehgefüge der Seildrähte hat sich infolge von Hitzeeinfluß rekristallisiert.

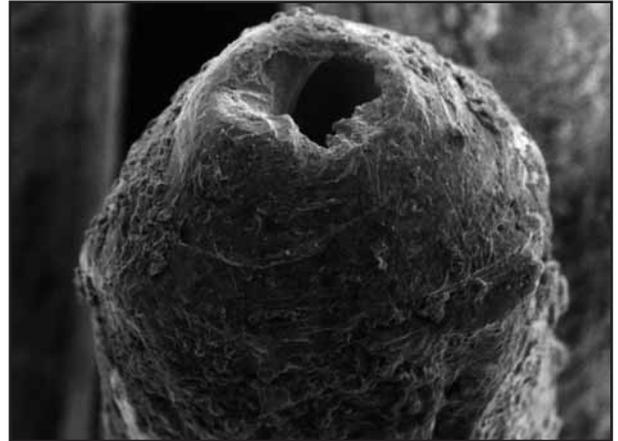


Bild 75: Detail eines Drahtes aus Bild 74 (oben rechts). Hier war die Temperatur hoch genug, um den Draht zu schmelzen.

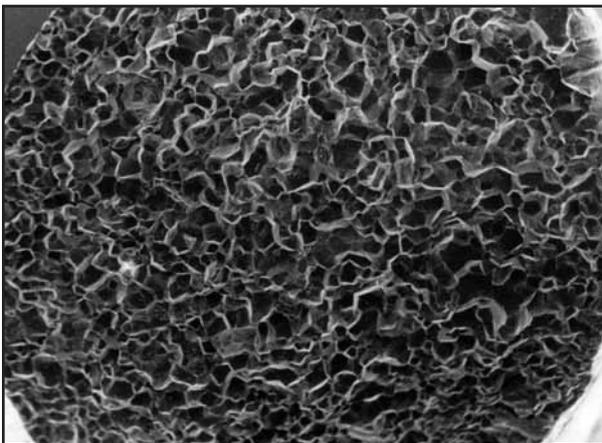


Bild 76: Das unter Hitzeeinfluß rekristallisierte Drahtgefüge.

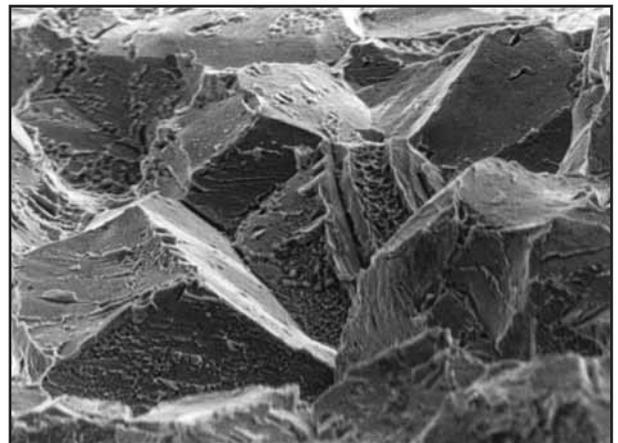


Bild 77: Detail aus Bild 76.

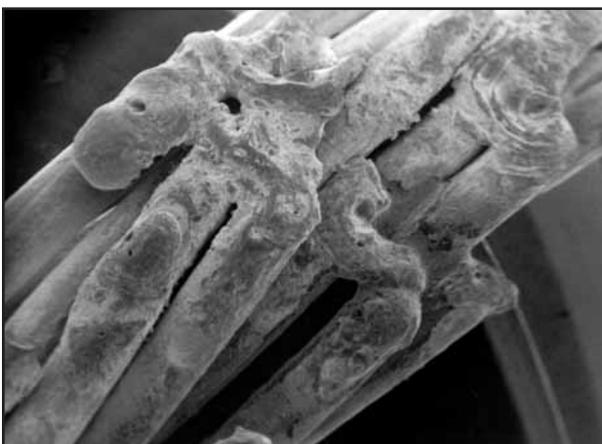


Bild 78: Diese Drähte wurden durch hohe lokale Temperaturen (Lichtbogen) miteinander verschmolzen.

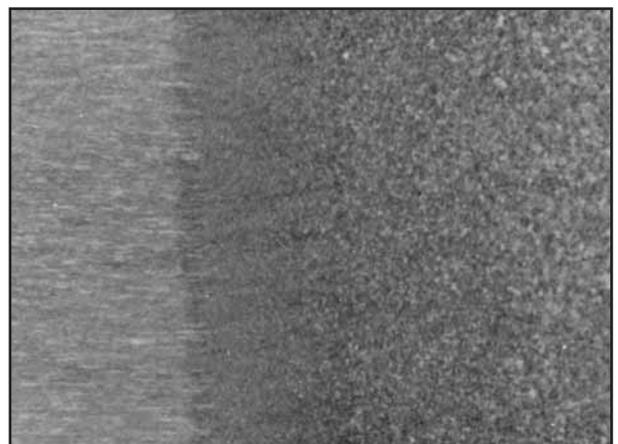


Bild 79: Dieses angeätzte Schlibbild zeigt den Übergang vom Ziehgefüge (links) zum rekristallisierten Gefüge (rechts).

# HITZESCHÄDEN



Bild 80: Dieses Hubseil eines Gießkranes war zu lange erhöhten Temperaturen ausgesetzt gewesen. Die Aussendrähte wurden ausgeglüht und längten sich anschließend im Betrieb.

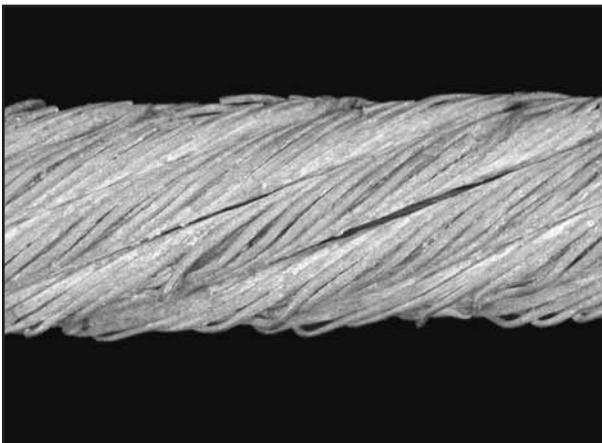


Bild 81: Eine andere Zone des Seiles aus Bild 80. Die Außendrähte stehen ab, und das Schmiermittel ist völlig verbrannt.

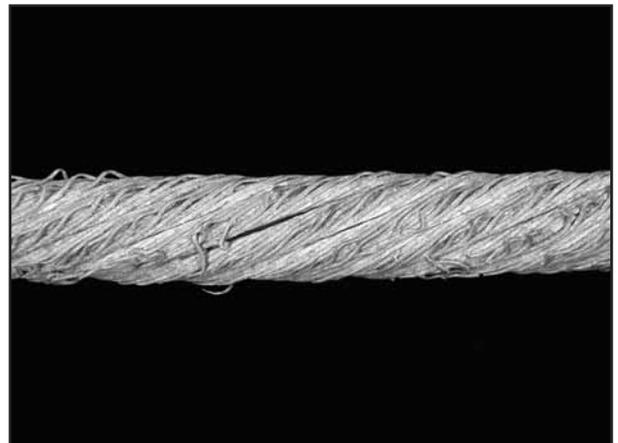


Bild 82: Eine weitere Zone des gleichen Seiles.

# INNERE DRAHTBRÜCHE

Eine visuelle und taktile Seilinspektion kann im wesentlichen nur den Zustand der Außendrähte erfassen. Diese repräsentieren immerhin etwa 40% des metallischen Querschnitts des Seiles. Aber sie sind nur auf etwa der Hälfte ihrer Länge sichtbar. Deshalb erfaßt eine visuelle und taktile Seilinspektion nur etwa 20% des metallischen Querschnitts eines Seiles.

Visuelle Seilinspektion =  
20% Wissen + 80% Hoffnung

Wenn die Berührungsverhältnisse auf der Seilscheibe günstiger sind als im Seilinneren, werden die Außendrähte bevorzugt im Seilinneren reißen. Dies ist sehr gefährlich, weil innere Drahtbrüche nur sehr schwer

erkannt werden können. Eine magnetinduktive Prüfung hilft, innere Drahtbrüche zu erkennen.

Drahtseile, die auf Kunststoffseilscheiben arbeiten, haben eher die Tendenz, von innen heraus zu versagen als Drahtseile, die auf Stahlscheiben arbeiten.

Wenn der Durchmesser der Stahleinlage zu klein dimensioniert wurde, berühren sich benachbarte Außenlitzen und zerstören sich gegenseitig (Bild 142).

Eine Kunststoffeinlage zwischen der Stahlseele und den Außenlitzen reduziert die Pressungen an den Auflagestellen und hilft, innere Drahtbrüche zu vermeiden.

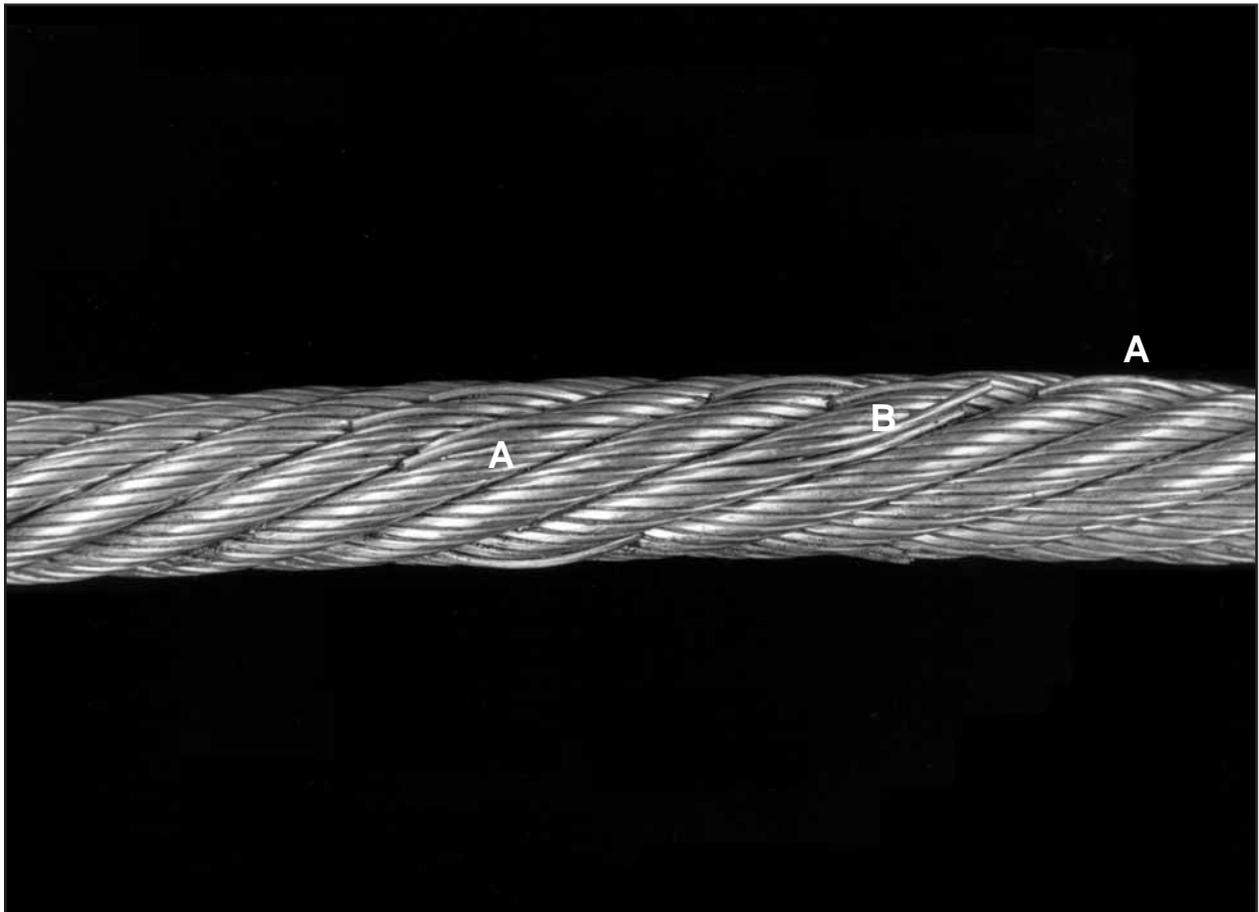


Bild 83: Dieses achtlitzige Seil zeigt Anzeichen innerer Drahtbrüche. Die Bruchenden sind 2x so lang (A: im Tal gebrochen) oder 3x so lang (B: auf der Litzenunterseite gebrochen) als wenn sie auf der Litzenkuppe gebrochen wären.

# INNERE DRAHTBRÜCHE

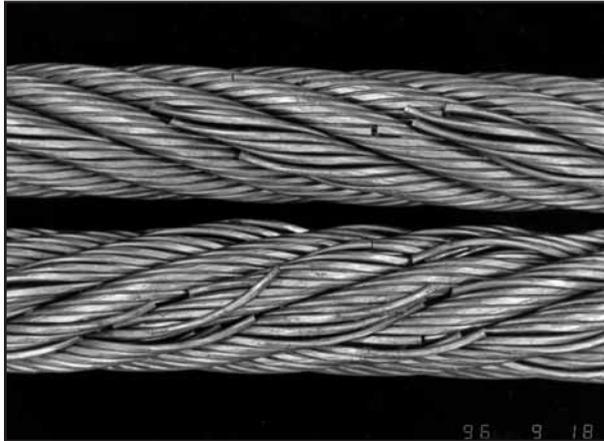


Bild 84: Die große Zahl der inneren Drahtbrüche wurde erst durch starkes Biegen der Seile während der Inspektion sichtbar gemacht.



Bild 85: Beim Öffnen dieses abgelegten Drahtseiles konnte festgestellt werden, daß die Stahlseele nicht mehr sehr gut erhalten war.

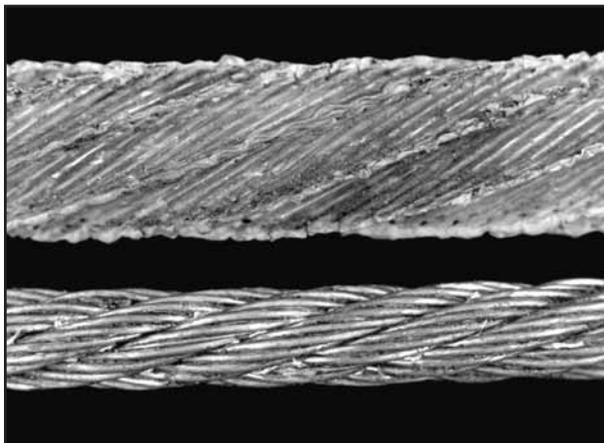


Bild 86: Nach Ablegen des Seiles und Abschälen der Außenlitzen zeigt sich die Kunststoffzwischenlage in sehr gutem Zustand.

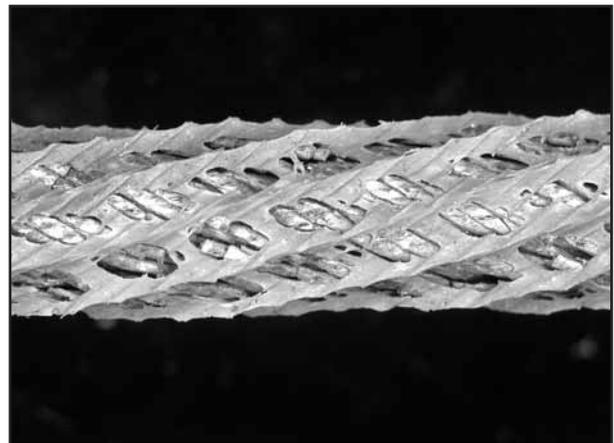


Bild 87: Die billige Kopie: Hier war der Kunststoff den Anforderungen nicht gewachsen. Die Zwischenlage ist stark perforiert.

Foto: Frank Loch

Foto: Frank Loch

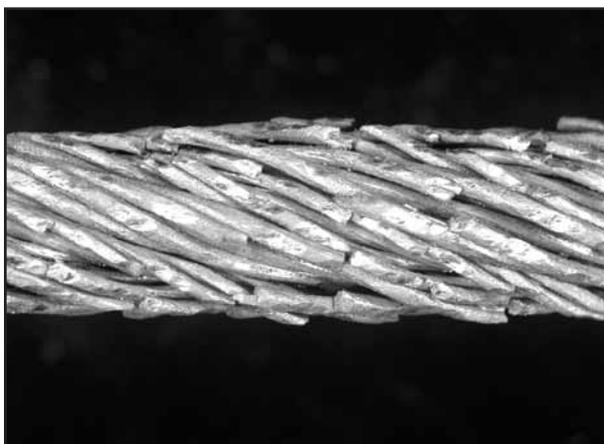


Bild 88: Die Stahleinlage aus Bild 87 nach Abschälen des Kunststoffs. Die Außendrähte sind an den Überkreuzungsstellen gebrochen.

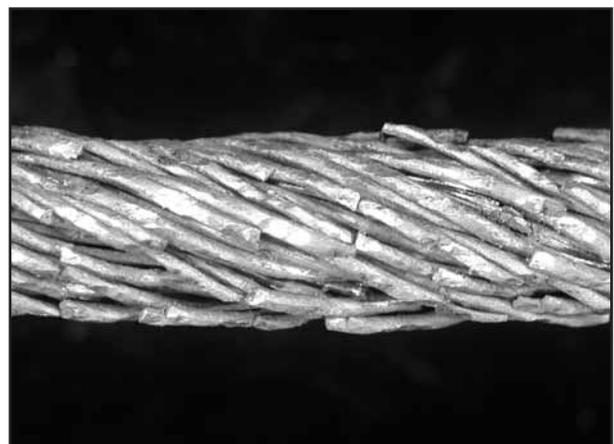


Bild 89: Ein weiteres Detail der Stahleinlage aus Bild 87.

Foto: Frank Loch

# INNERE DRAHTBRÜCHE

Wenn Außendrähte im Seilinneren (z. B. an einer Berührungsstelle mit der Stahleinlage) gebrochen sind, bleibt der Bruch oft unerkant. Ein starkes Biegen des Seiles oder ein Anheben der Außendrähte mit Hilfe eines Schraubendrehers kann das Problem sichtbar machen (Bild 84).

Innere Drahtbrüche sind häufig reine Ermüdungsbrüche. Ihre Bruchenden sind meist doppelt so lang (bei Brüchen zwischen den Außenlitzen) oder dreimal so lang (bei Brüchen an der Auflage auf der Stahlseele) wie Bruchenden, die außen auf der Litzenkuppe entstanden sind.

Drehungsfreie Seile haben oft sehr gute Auflageverhältnisse auf der Seilscheibe,

aber sehr schlechte im Seilinneren. Sie bilden deshalb oft Drahtbrüche im Seilinneren aus, bevor außen Brüche sichtbar werden. Eine Parallelverseilung der Stahleinlage, ein verdichtetes Herzseil oder eine Kunststoffzwischenlage im Seilinneren beugen inneren Drahtbrüchen vor.

Ein Seil, welches permanent (durch Laständerung) verlängert und verkürzt wird, während es auf der Seiltrommel aufliegt, ist in Gefahr, innere Drahtbrüche zu erzeugen. Markierungen auf der Trommel wie in Bild 95 sind ein ernstzunehmender Hinweis auf einen solchen Zustand.

Innere Drahtbrüche können durch eine magnetinduktive Seilprüfung erkannt werden.

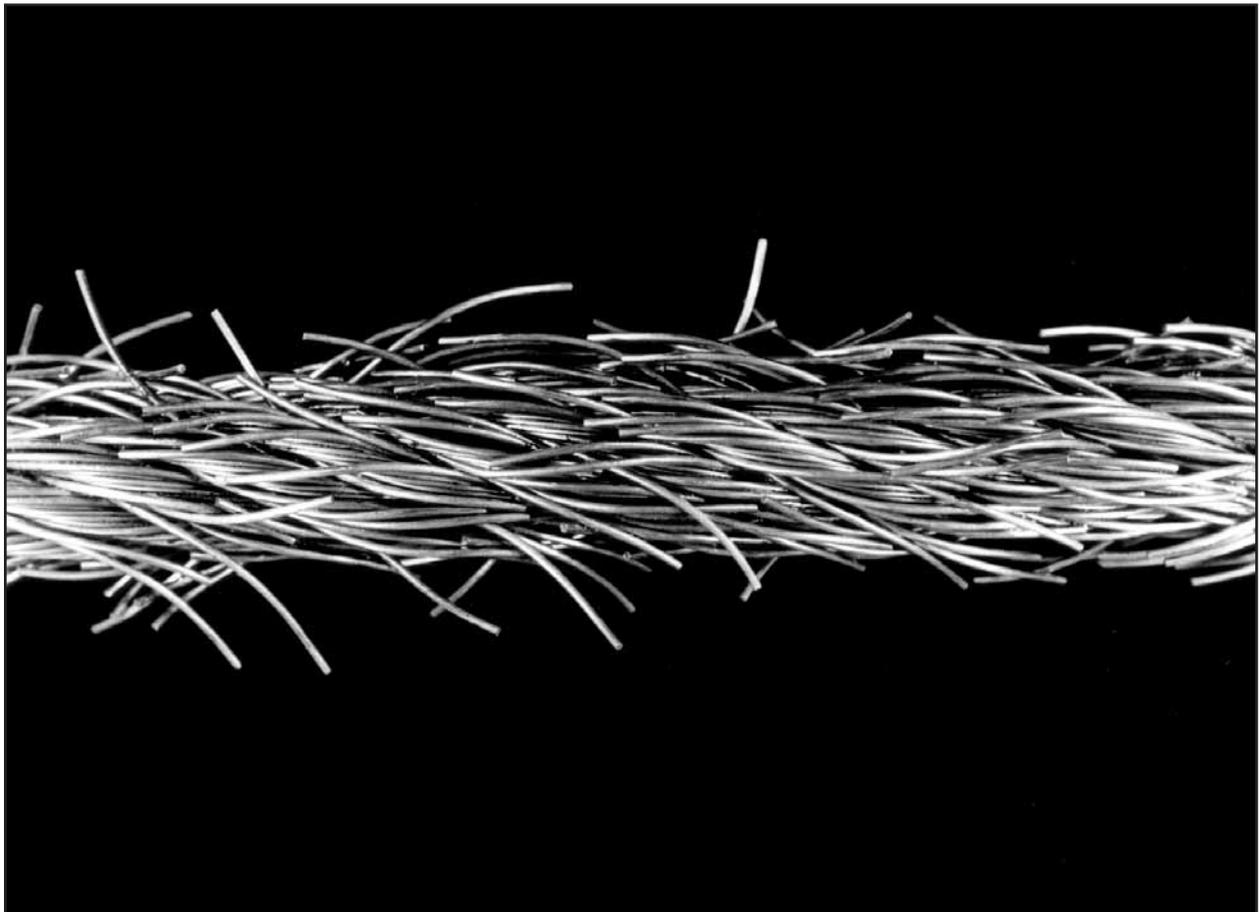


Bild 90: Bei der Inspektion dieses Seiles war kein äußerer Drahtbruch sichtbar. Zum Glück bog der Inspektor das Seil: Eine große Zahl innerer Drahtbrüche wurde sichtbar. Eine Kunststoffzwischenlage im Seil hilft, innere Drahtbrüche zu vermeiden.

# INNERE DRAHTBRÜCHE

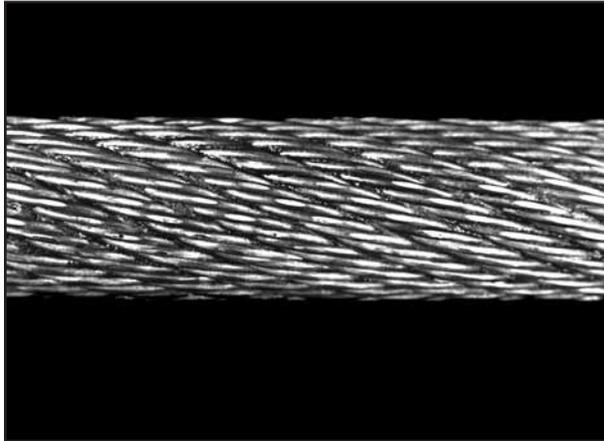


Bild 91: Oberfläche eines drehungsarmen Seiles 36 x 7. Es sind keine Drahtbrüche sichtbar.

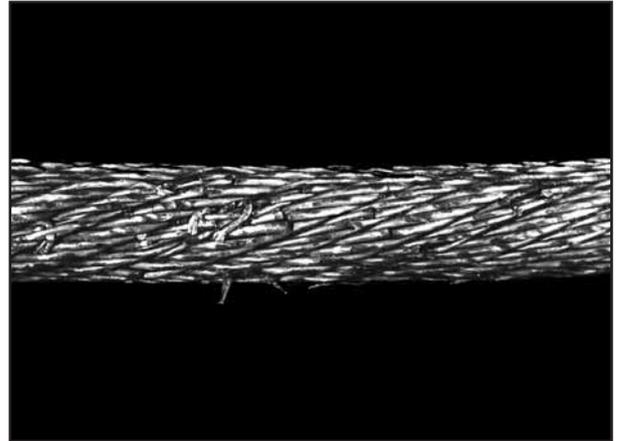


Bild 92: Dasselbe Seil 36 x 7 nach Abschälen der Außenlitzen. An den Überkreuzungsstellen zeigen sich unzählige Drahtbrüche.

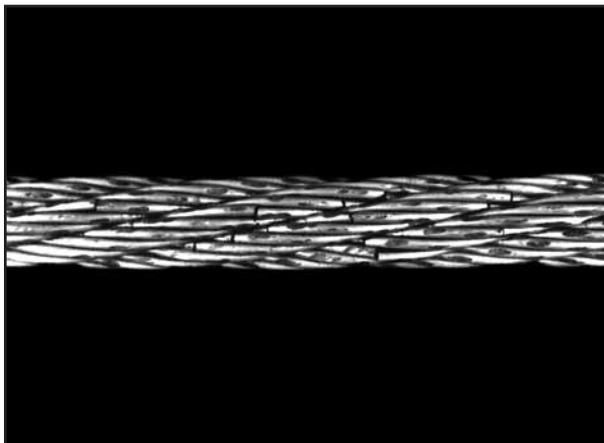


Bild 93: Die innerste Litzenlage des gleichen Seiles 36 x 7. Auch hier sind sehr viele Drahtbrüche zu erkennen.



Bild 94: Überkreuzungsstellen zwischen zwei Litzenlagen sind oft die Ausgangsorte für Ermüdungsdrahtbrüche im Seilinneren.

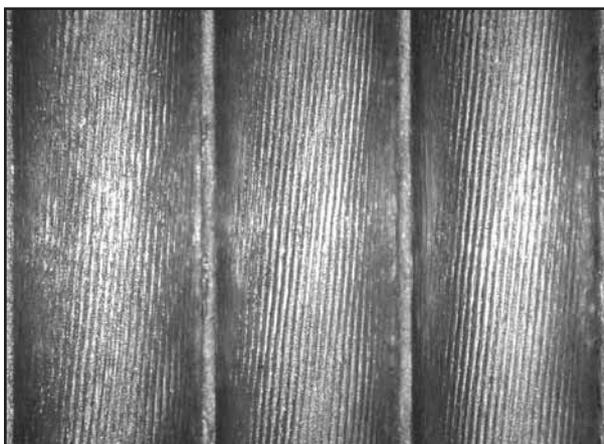


Bild 95: Längsriefen auf Seiltrommeln und Seilscheiben entstehen durch Längsschwingungen: Große Gefahr innerer Drahtbrüche!

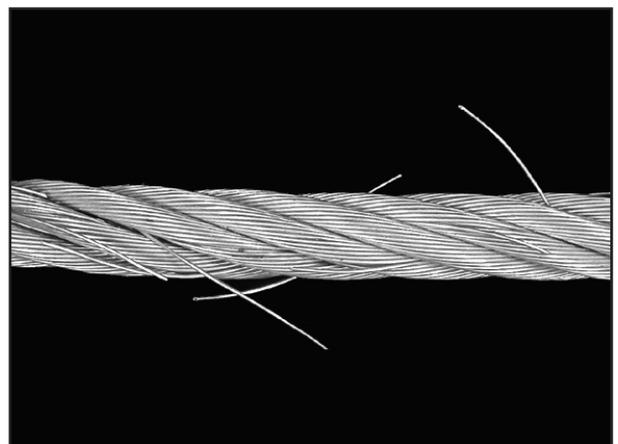


Bild 96: Innere Drahtbrüche kommen niemals alleine. Wenn Sie einen finden, suchen Sie sorgfältig weiter!

# SCHÄDEN DURCH VERDREHUNG

Ein Stahldrahtseil ist aus helixförmigen Elementen aufgebaut. Wenn das Seil aufgedreht wird, werden die Schraubenlinien verlängert, wenn es zuge dreht wird, werden sie verkürzt. Diese Veränderungen der Seilgeometrie verändern die Seileigenschaften, manchmal sogar sehr.

Nicht drehungsfreie Drahtseile müssen, um ein Aufdrehen unter Last zu vermeiden, gegen Verdrehung gesichert befestigt werden. Drehungsfreie Seile, auf der anderen Seite, haben jedoch nicht das Bestreben, sich unter Last aufzudrehen und können deshalb an einem frei drehbaren Wirbel befestigt werden. Der Wirbel kann Verdrehungen, die durch den Seiltrieb in das Seil hineingebracht werden, ausdrehen lassen.

Verdrehung kann zum Beispiel durch Ablenkwinkel auf der Seilscheibe oder Seiltrommel erzeugt werden. Wenn ein Seil (z. B. in einer zu engen Rille) geklemmt wird, versucht es sich durch das Hindernis zu schrauben.

Verdrehte Seilzonen haben eine Tendenz, noch unverdrehte Zonen zu verdrehen und so ihre Verdrehung weiterzugeben. Auf diese Weise wandern Verdrehungen durch den Seiltrieb und erzeugen oft Probleme an Stellen, die weit vom Ursprung der Verdrehung entfernt liegen (Bild 108).

Durch Verdrehung erzeugte Lockerungen werden oft durch Seilscheiben zu einem Punkt hin massiert, meist zum Endpunkt der Bewegung (Bilder 97, 98 und 101).



Bild 97: Die durch Verdrehung des Seiles erzeugte Überlänge der Litzen in der Stahleinlage wurde von einer Seilscheibe zu einem Punkt hin massiert. Derartige Schäden finden sich üblicherweise am Endpunkt der Bewegung des Seiles über eine Scheibe oder eine Trommel.

# SCHÄDEN DURCH VERDREHUNG

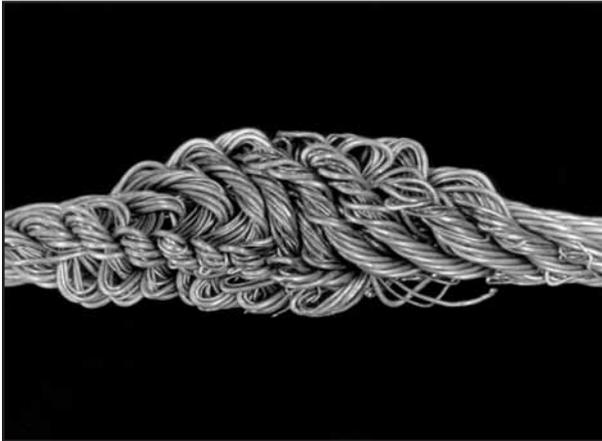


Bild 98: Die Stahleinlage aus Bild 97 nach Abschälen der Außenlitzen. Die akkumulierten Überlängen sind deutlich sichtbar.

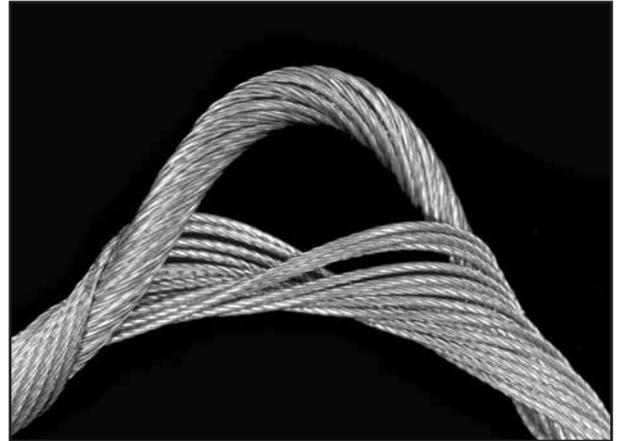


Bild 99: Durch Verdrehung im seilzudrehenden Sinn wurde dieses drehungsarme Seil verkürzt und seine Stahleinlage verlängert.

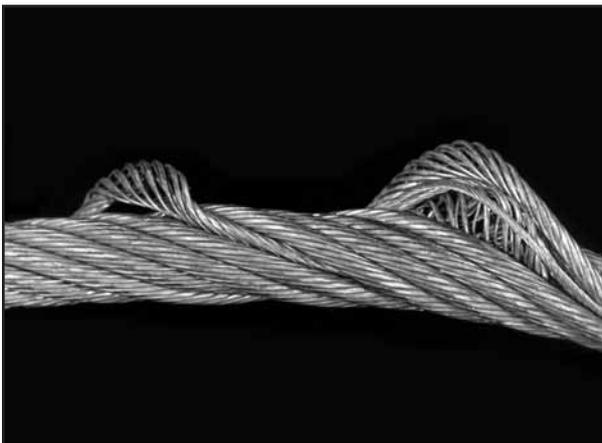


Bild 100: Doppelparallelseile reagieren empfindlich auf Verdrehung. Hier wurden die inneren Litzen verlängert und herausgedrückt.

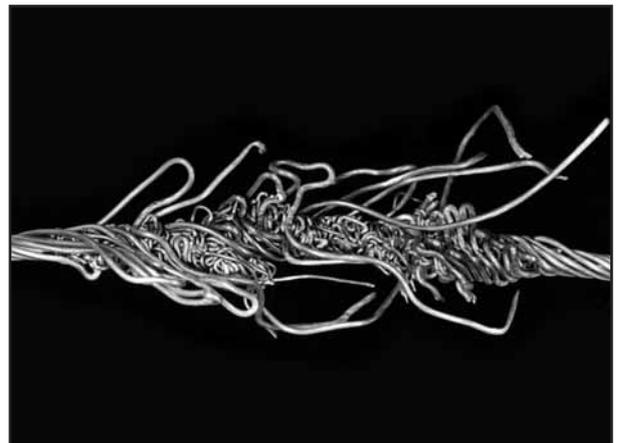


Bild 101: Oft geht Verdrehung nur zu Lasten der innersten (und kürzesten) Litze. Diese ist die einzige gestreckt liegende Litze im Seil.

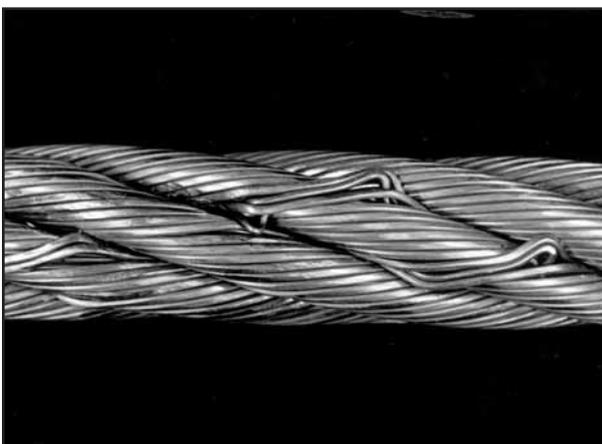


Bild 102: In diesem sechslitzigen Seil wurden die zwei äußersten Drahtlagen der Außenlitzen durch Seilverdrehung gelockert.

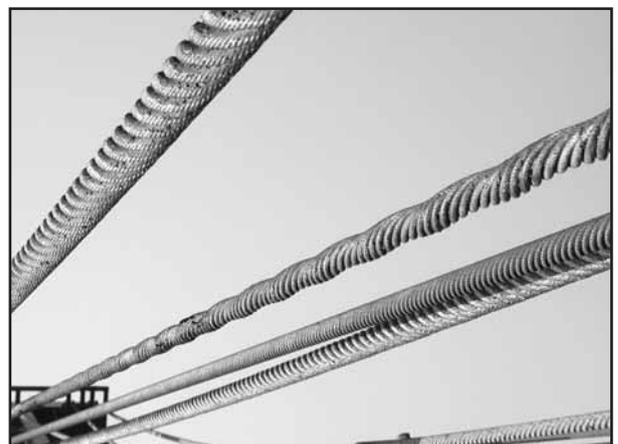


Bild 103: Korkenzieher können sich bilden, wenn Seile an Konstruktionsteilen reiben oder durch zu enge Seilrillen gezogen werden.

# SCHÄDEN DURCH VERDREHUNG



Bild 104: Dieses Seil wurde im seilaufdrehenden Sinn verdreht. Im unbelasteten Zustand bildet das Seil eine Schlaufe im seilzudrehenden Sinn. Wenn das Seil anschließend belastet wird, kann sich die Schlaufe zuziehen und das Seil bleibend verformen.



Bild 105: Diese Seil wurde im seilzudrehenden Sinn verdreht. Im unbelasteten Zustand bildet das Seil eine Schlaufe im aufdrehenden Sinn.



Bild 106: Die Schlaufe aus Bild 105. Unter Belastung hat sich die Schlaufe zugezogen und das Seil bleibend verformt.

# KORBBILDUNG

Ein Korb ist eine kurze Seilzone, auf der die Außenlitzen deutlich länger sind als das Seil selbst und deshalb „hochstehen“. Körbe werden in der Regel durch Seilverdrehung erzeugt. Wenn ein Seil z. B. aufgedreht wird, sind die Außenlitzen zu lang für die Seillänge, und sie werden locker. Die „überflüssige“ Litzenlänge wird nun von Seilscheiben oder einer Seiltrommel zu einem Punkt hin massiert (Bild 107). Deshalb findet man Korbbildungen in der Regel am Endpunkt der Bewegung über eine Seilscheibe.

Eine Verkürzung des Seiles kann ebenfalls zu einem Überschuß an Litzenlänge, z. B. in der Stahleinlage, führen (Bild 98 und 101).

Wenn drehungsarme Seile aufgedreht wer-

den, wird das Seil verlängert, die Stahleinlage aber verkürzt. Deshalb entstehen hier bereits bei kleinen Verdrehungen große Längendifferenzen.

Auch eine zu enge Seilrille kann Korbbildungen erzeugen.

Die Befestigung eines nur ungenügend drehstabilen Seiles an einem Wirbel kann ebenfalls Korbbildungen erzeugen (Bild 108). Die Körbe finden sich oft am anderen Ende des Seiles.

Entgegen einem weit verbreiteten Glauben entstehen mehr als 99,5% aller Körbe nicht durch schlagartige Belastung (shock load).



Bild 107: Dieses Drahtseil wurde aufgedreht. In diesem Zustand sind die Außenlitzen zu lang für das Seil. Eine Seilscheibe hat die Überlängen zu einem Punkt hin massiert, wo die Außenlitzen nun hochstehen.

# KORBBILDUNG

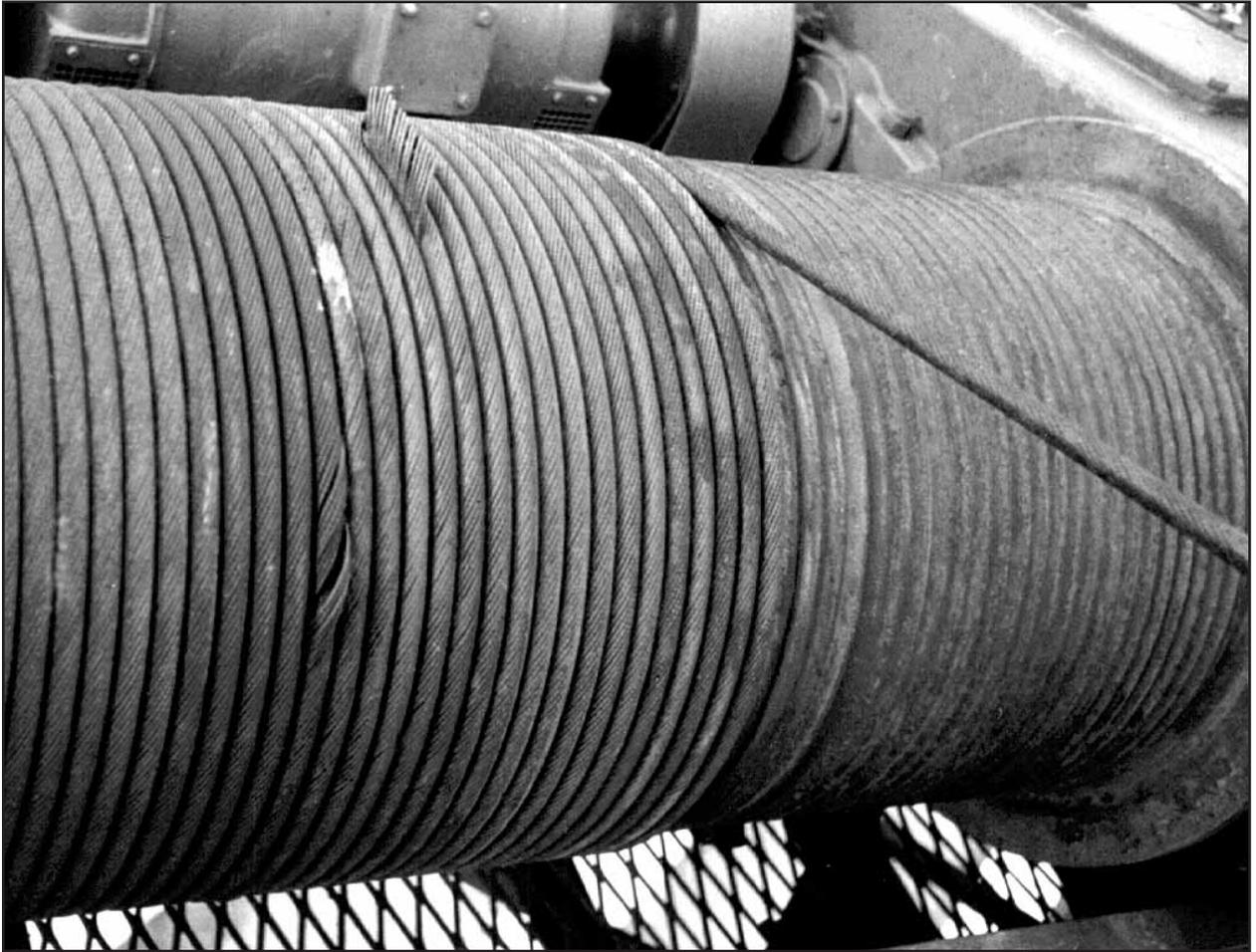


Bild 108: Dieses drehungsarme Seil war an einem frei drehbaren Wirbel befestigt. Bei der Lastaufnahme drehte das Seil auf und lockerte die Außenlitzen. Anschließend liefen aufgedrehte Seilzonen durch die Einscherung, und die Seilscheiben massierten die Überlängen der lockeren Außenlitzen vor sich her. Dies ist ein typisches Beispiel dafür, wie ein Fehler (Wirbel) am einen Seilende einen Schaden (Korbbildung) am anderen Ende erzeugen kann.

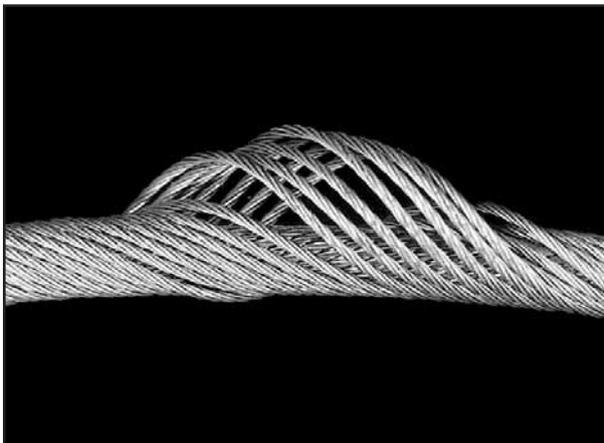


Bild 109: Korbbildung an einem drehungsarmen Seil. Wenn Sie eine gesehen haben, haben Sie alle gesehen.



Bild 110: Eine weitere Korbbildung an einem drehungsarmen Seil.

# SCHÄDEN DURCH SEILSCHEIBEN

Wenn ein Seil unter einem Ablenkwinkel auf eine Seilscheibe aufläuft, wird es zuerst die Rillenflanke berühren und dann in den Rillengrund hinabrollen und -rutschen. Beim Hinabrollen wird das Seil verdreht, was zu den im vorherigen Kapitel aufgezeigten Seilschäden führt. Beim Hinabrutschen wird sowohl auf der Seilscheibe als auch auf dem Seil Abrieb erzeugt (Bilder 122 und 123).

Das Maß sowohl der Verdrehung als auch des Abriebs kann durch Schmieren des Seiles und durch Vergrößern des Öffnungswinkels der Seilscheiben (z. B. auf 60°) verringert werden. Entgegen einer weit verbreiteten Ansicht besteht bei einer Seilrille mit 60° weniger Gefahr, daß das Seil aus der Scheibe springt, als bei einem Öffnungswinkel von 45° oder gar 30°.

Eine zu enge oder feststehene Seilscheibe kann Korbformungen erzeugen oder die Außendrähte oder -litzen des Seiles stark verformen (Bild 111). Oft bildet sich Martensit an der Drahtoberfläche (siehe Seiten 21 und 22). Wenn jedoch der Rillendurchmesser zu groß ist, unterstützt die Rille das Seil nur ungenügend. Dies führt zu hohen lokalen Pressungen und vorzeitigen Drahtbrüchen (Bild 114 und 121).

Wenn das lange Bruchende eines gebrochenen Drahtes über die Nachbardrähte gebogen wird, besteht die Gefahr, daß diese beim Lauf über Seilscheiben zerdrückt werden. Gleichschlagseile sind hier besonders gefährdet, da bei ihnen die Bruchenden deutlich länger sind als bei Kreuzschlagseilen (Bilder 116 und 117).

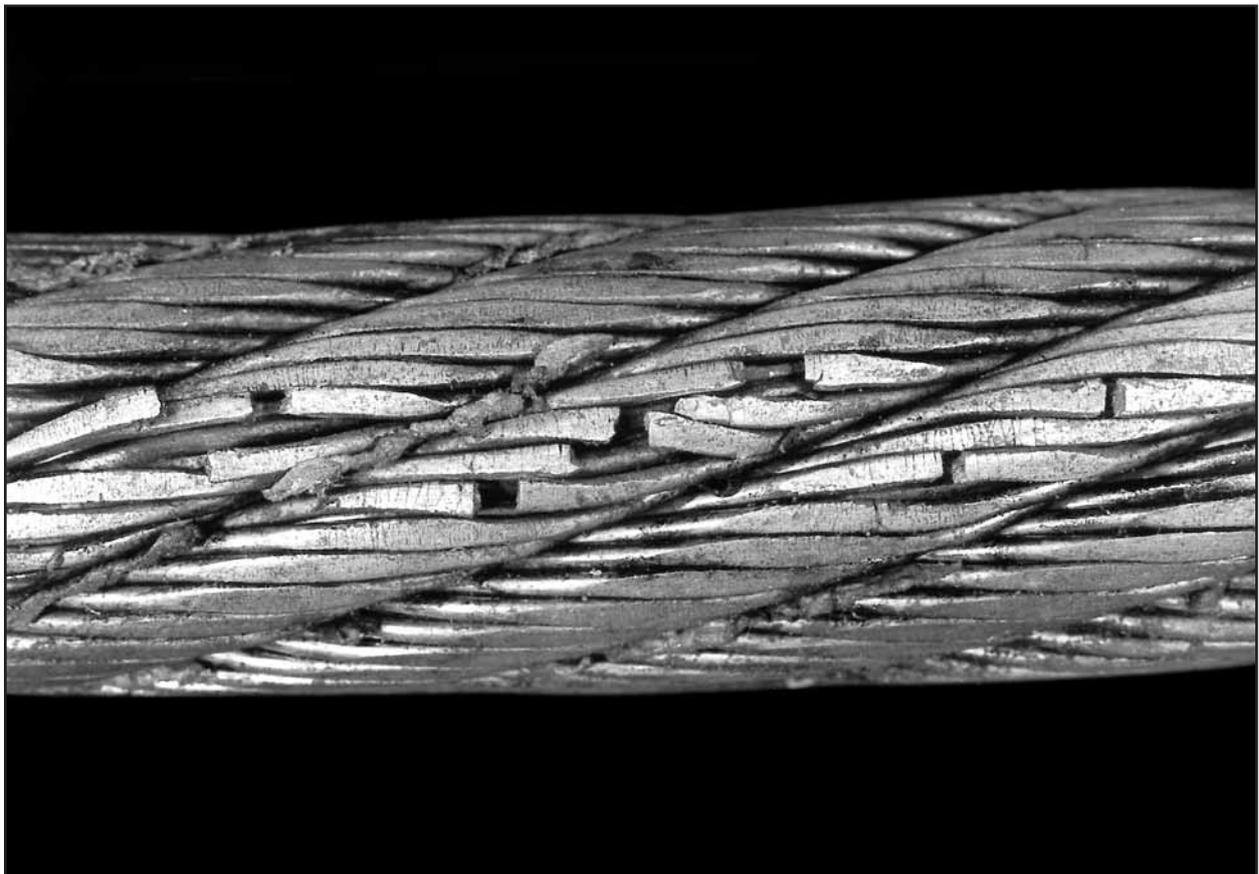


Bild 111: Dieses achtlitzige Seil hat in einer viel zu engen Seilrille gearbeitet. Seine Kunststoffzwischenlage hat eine Korbformung verhindert, aber auf den verzinkten Außendrähten haben sich sehr viele Drahtbrüche gebildet (siehe auch Bilder 68 und 69 vom selben Seil).

# SCHÄDEN DURCH SEILSCHEIBEN

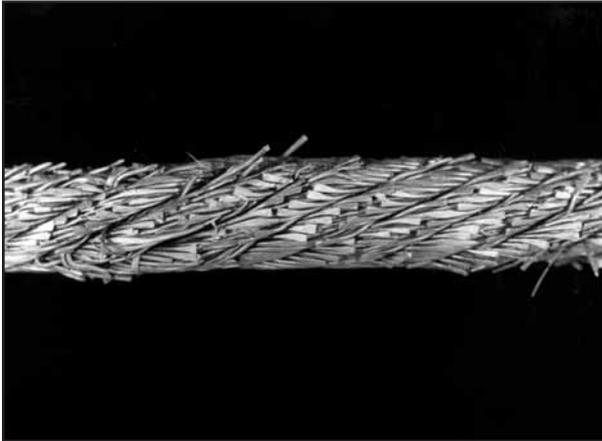


Bild 112: Dieses Seil hat in einer zu engen Seilscheibe gearbeitet.

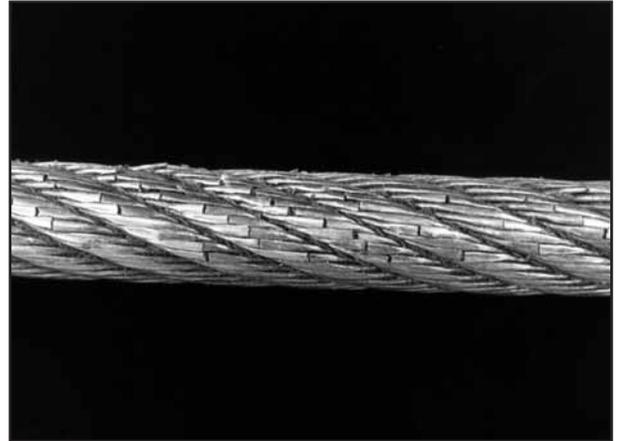


Bild 113: Ein weiteres Beispiel eines Seiles, welches in einer zu engen Seilscheibe gearbeitet hat.

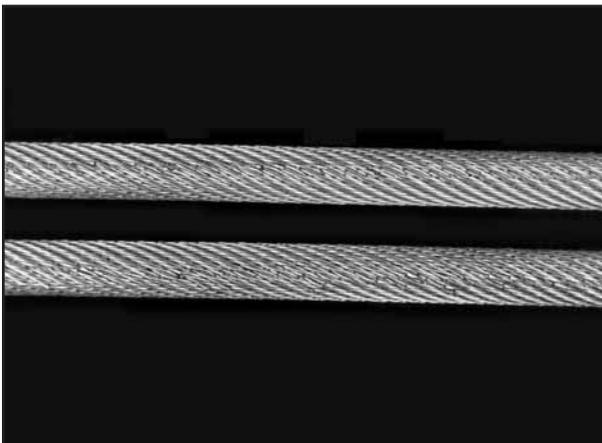


Bild 114: Zu weite Seilrillen unterstützen die Seile nur unzureichend. Die Folge sind frühzeitige Drahtbrüche entlang einer Laufspur.



Bild 115: Dieses Seil wurde über eine feststehende Scheibe gezogen. Rechts erkennt man starken Abrieb, links aufgeschobene Drähte.



Bild 116: Diese zwei gebrochenen Drähte kamen zwischen Seil und Seilscheibe zu liegen und wurden stark abgeflacht.

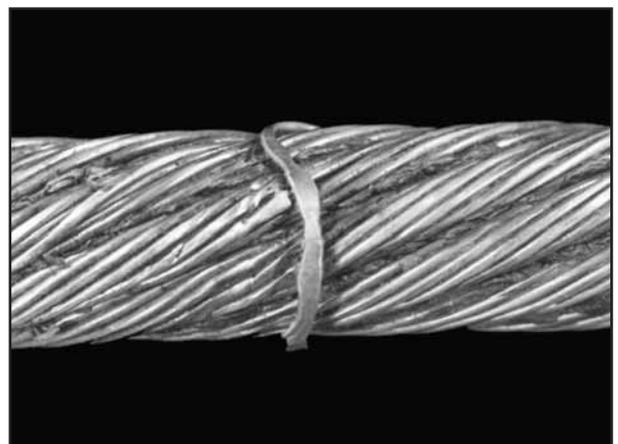


Bild 117: Die Gefahr der Zerstörung von Nachbardrähten durch querliegende Bruchenden besteht besonders bei Gleichschlagseilen.

# SCHÄDEN DURCH SEILSCHEIBEN

Negativabdrücke der Seiloberfläche in der Rille der Seilscheibe können durch verschiedene Mechanismen hervorgerufen werden. Wenn z. B. der Umfang der Seilscheibe im Rillengrund ein exaktes Vielfaches der Außenlitzlenabstände im gebogenen Zustand ist, wird bei jeder Umdrehung der Seilscheibe immer wieder der gleiche Punkt im Rillengrund von einer Litzlenkuppe getroffen werden und Verschleiß erleiden, während die Nachbarzonen immer verschont bleiben.

Ein derartiger Zustand wird auf der Seilscheibe durch ein regelmäßiges Muster von Schmiermittelablagerungen an den Flanken angezeigt (Bild 118).

Eine Veränderung der Last verändert auch die Schlaglänge des Seiles. Deshalb bilden Seile, die stark veränderlichen Lasten unterworfen werden, nicht so häufig Eingrabungen aus.

Eingrabungen können oft nicht vermieden werden. Ihr Auftreten kann aber durch Härten der Rillenoberfläche, durch Schmiermittel des Drahtseiles oder durch leichte Seilverdrehung verzögert werden.

Gehämmerte Seile haben keine ausgeprägten Berge und Täler auf der Seiloberfläche und bilden deshalb in der Regel keine Negativabdrücke aus.



Bild 118: Schmiermittelablagerungen auf den Rillenflanken in regelmäßigen Abständen deuten im Gegensatz zu kontinuierlichen Ablagerungen auf, die Entstehung von Negativabdrücken hin.

# SCHÄDEN DURCH SEILSCHEIBEN

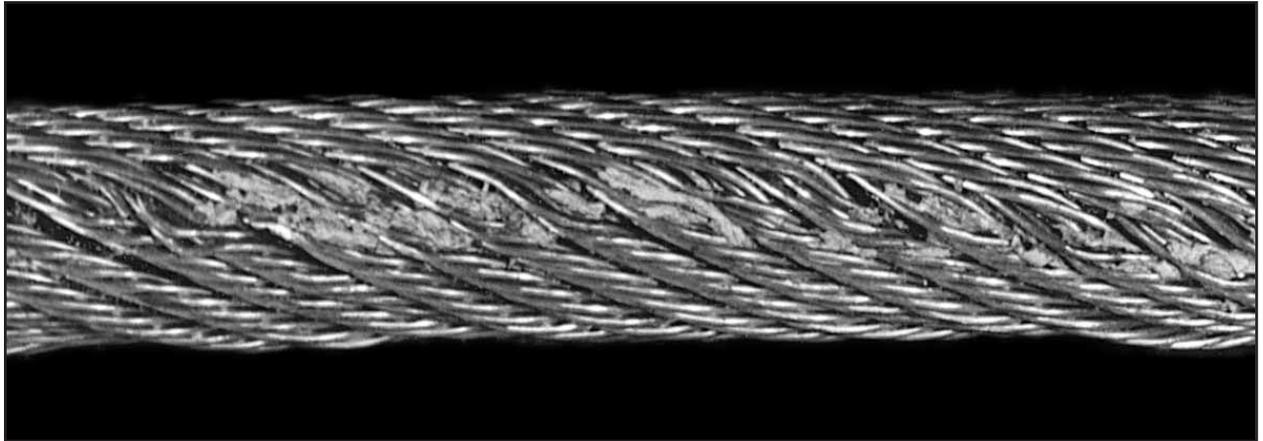


Bild 119: Dieses Seil ist aus der Seilscheibe „gesprungen“. Es finden sich noch Kunststoffpartikel des Scheibenwerkstoffes zwischen den Drähten. Aufgrund des höheren Reibwertes „springt“ ein Seil eher aus einer Kunststoffscheibe als aus einer Stahlscheibe.

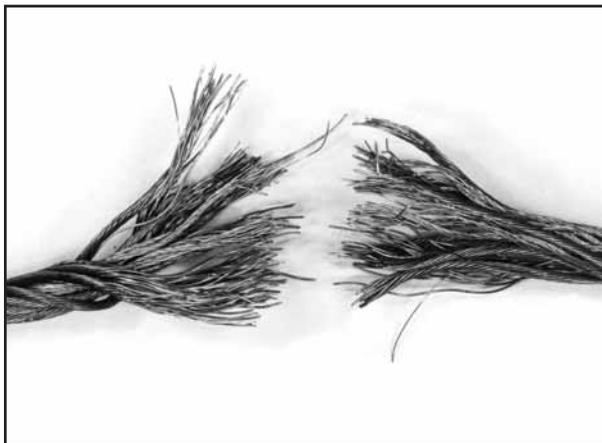


Bild 120: Ein Seil, welches aus einer Seilscheibe gesprungen ist, bricht oft, als sei es von einer Axt durchgetrennt worden.

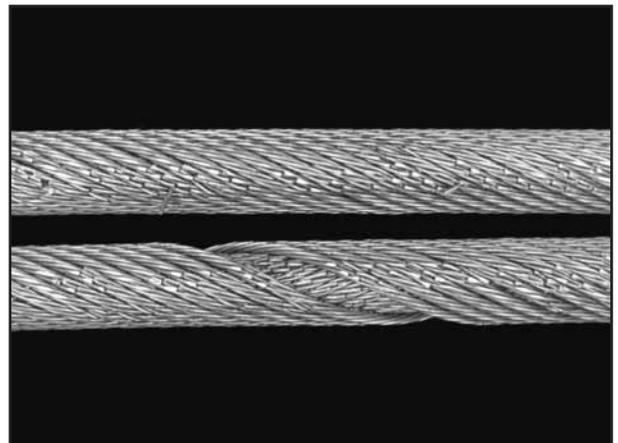


Bild 121: Dieses Seil hat in einer viel zu weiten Rille gearbeitet. Es zeigten sich frühzeitig Drahtbrüche entlang einer „Lauflinie“:

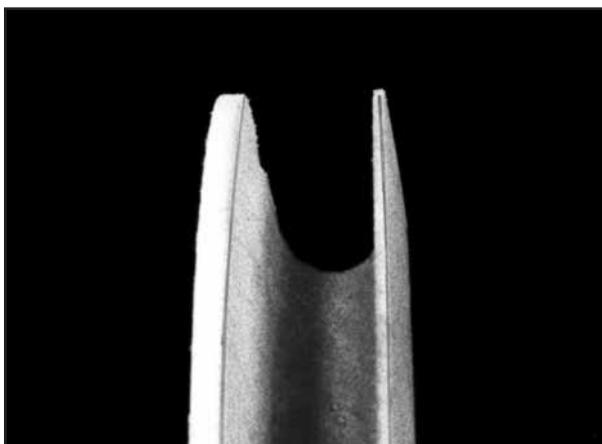


Bild 122: Zu große Ablenkwinkel führen zu Seilverdrehungen und Abrieb, sowohl auf dem Seil als auch auf der Scheibe.



Bild 123: Starker Verschleiß kann zum Wegbrechen der Scheibenflanken führen. Die Wandstärken müssen regelmäßig gemessen werden.

# SCHÄDEN DURCH TROMMELN

Linksgeschnittene Trommeln sollten mit rechtgängigen Seilen arbeiten, rechtsgeschnittene Trommeln mit linksgängigen Seilen. Eine Verletzung dieser Regeln kann zu Seilverdrehung und Strukturveränderung führen.

Auf mehrlagig bewickelten Seiltrommeln mit Spezialbewicklung sind die Überkreuzungszonen parallel zur Trommelachse angeordnet. Wenn das Verschleißmuster geneigt ist (Bild 124), ist das Seil entweder zu dick oder zu dünn für die Trommelsteigung. Es wird mit jeder Trommelumdrehung ein wenig früher oder ein wenig später zur Seite abgelenkt.

Wenn der Ablenkwinkel aus der Trommelrillung zu groß ist, wird das Seil entweder gegen eine Nachbarwindung (Bild 128) oder gegen einen Trommelsteg (Bild 130) gedrückt. In beiden Fällen wird das Seil starkem Verschleiß unterworfen.

Die Seilbeschädigungen auf der mehrlagig bewickelten Trommel können durch Verwendung von Gleichschlagseilen mit verdichteten Außenlitzen verringert werden. Gehämmerte Seile sind besonders vorteilhaft. Bei Mehrlagenwicklung sind Lebestrommeln helicoidal geschnittenen Trommeln vorzuziehen.

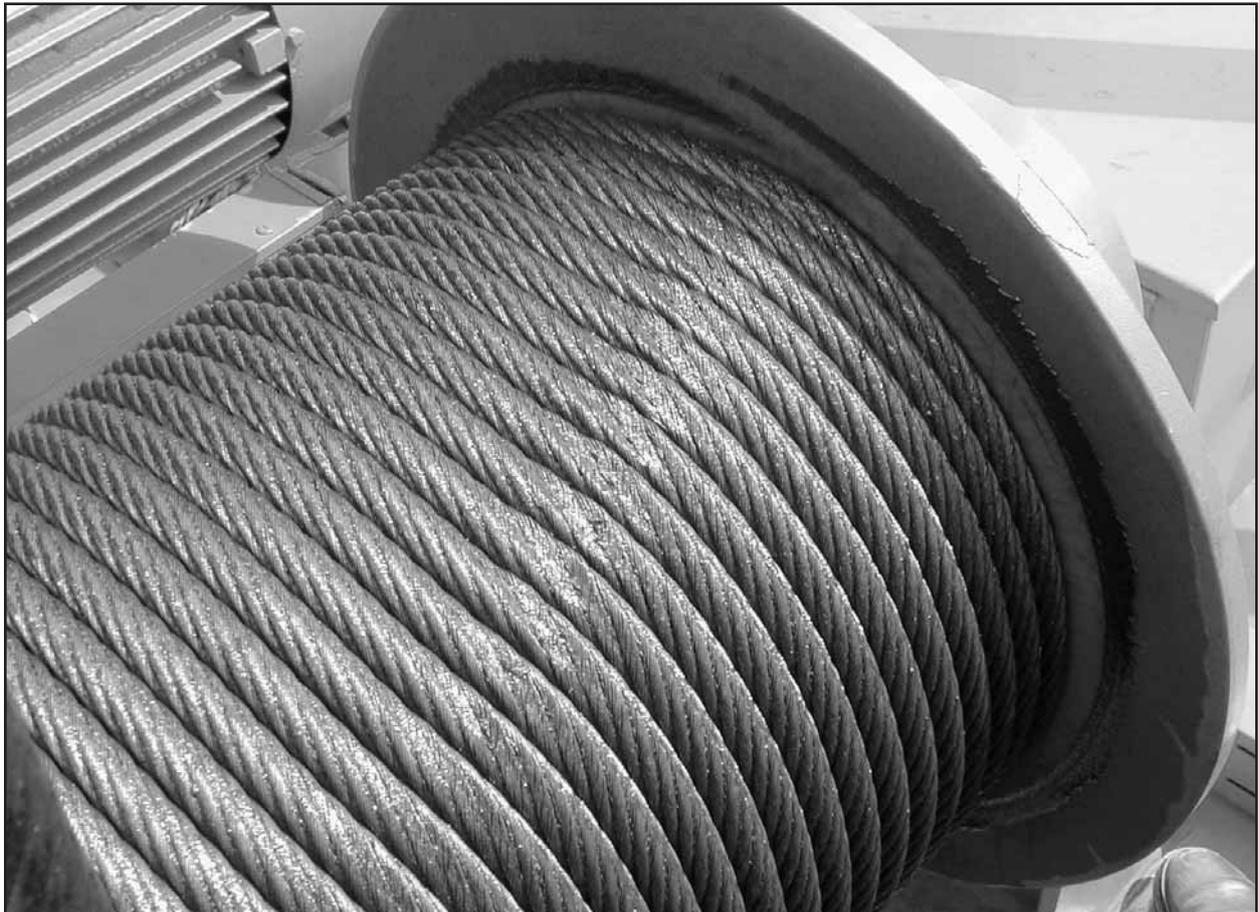


Bild 124: Das geneigte Verschleißmuster (Überkreuzungszone) zeigt, daß das Seil zu dünn für die Steigung der Trommel ist. Wäre das Seil zu dick, wäre das Muster in die entgegengesetzte Richtung geneigt, bei korrektem Seildurchmesser wäre es parallel zur Trommelachse.

# SCHÄDEN DURCH TROMMELN

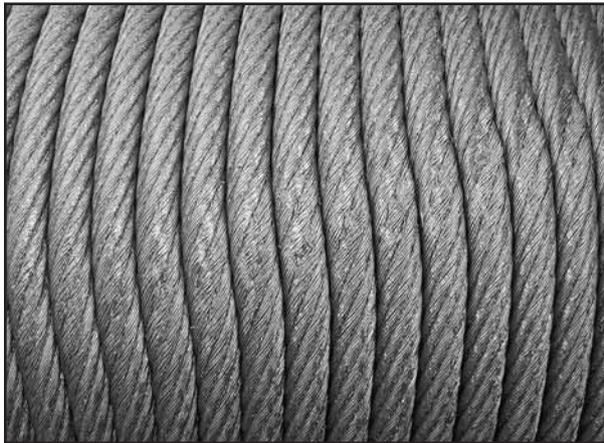


Bild 125: Ein geneigtes Verschleißmuster deutet bei mehrlagig bewickelten Seiltrommeln auf einen nicht passenden Seildurchmesser hin.

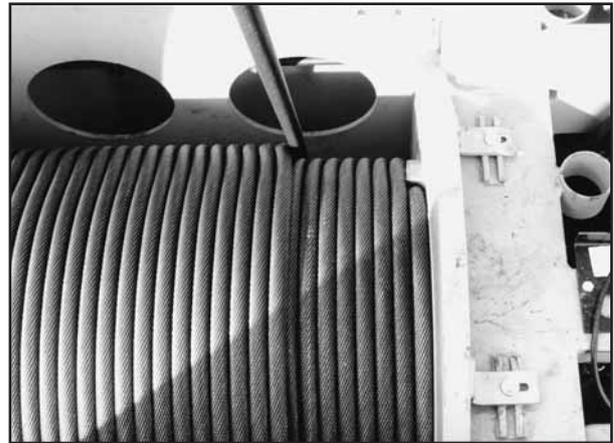


Bild 126: Dies Seil spult auf eine Trommel mit Spezialbewicklung auf. Das Seil wird nun eine Windung weiterspringen.

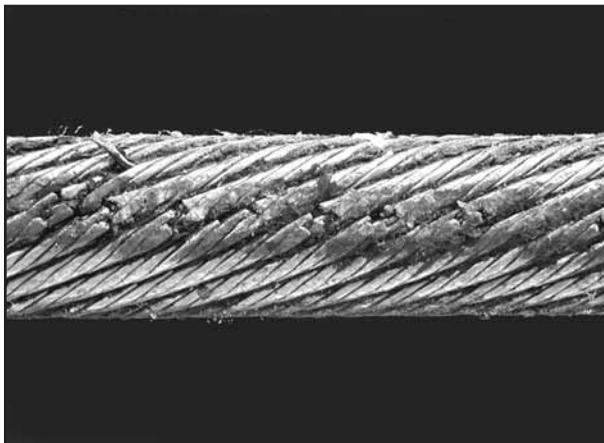


Bild 127: Diese Art der Seilzerstörung ist typisch für den Überkreuzungsbereich auf der mehrlagig bewickelten Seiltrommel.



Bild 128: Der Ablenkwinkel drückt den auflaufenden Seilstrang gegen die Nachbarwindung und erzeugt starken Abrieb und Seilverdrehung.

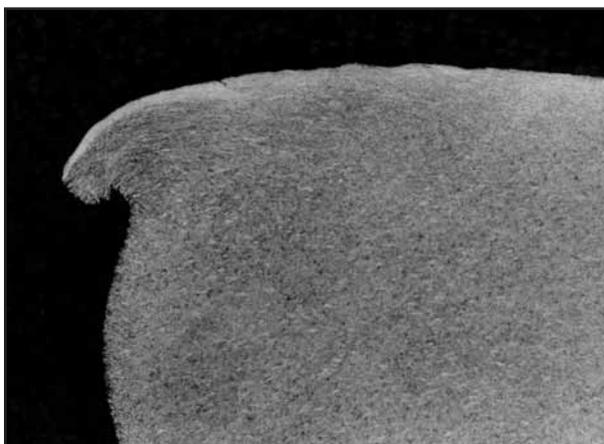


Bild 129: Berührungen der Nachbarwindung (siehe Bild 128) erzeugen mechanischen Abrieb und plastische Verformung (siehe Seite 4).

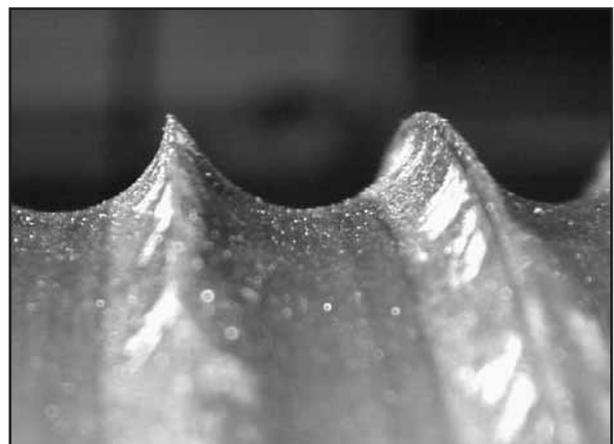


Bild 130: Wenn der einlaufende Seilstrang gegen die Rillenflanke gedrückt wird, verschleiben sowohl die Rille als auch die Seildrähte.

# SCHÄDEN DURCH TROMMELN

Bei Mehrlagenspülung ist die Vorspannung der unteren Seillagen auf der Trommel von großer Bedeutung. Eine ungenügende Vorspannung kann zu schwerwiegenden Seilschäden führen.

Im schlimmsten Fall wird das Seil beim Heben in die unteren Lagen hineingezogen. Beim anschließenden Absenken der Last wird die eingezogene Seilzone nicht von der Trommel abwickeln und eine Umkehr der Bewegung erzeugen (Bild 131).

Unter hoher Zugkraft versucht das Seil, so rund zu sein wie möglich. Im unbelasteten Zustand kann es aber leicht verformt werden. Deshalb werden hoch beanspruchte (und deshalb feste) höhere Seillagen die

niedrig belasteten (und deshalb verwundbaren) tieferen Lagen beschädigen (Bilder 132 und 133).

Wenn ein Seil belastet wird, wird es länger. Die ersten Windungen auf der Seiltrommel werden bei dieser Verlängerung auf dem Trommelmantel rutschen und Verschleiß auf dem Seil und der Trommel erzeugen. Wenn die Last immer am gleichen Ort aufgenommen wird, konzentriert sich der Verschleiß an einer Stelle (Bild 134). Hier kann durch Kürzen oder Verlängern des Seiles der Verschleißpunkt auf der Trommel verschoben werden.

Paarweise in Mehrlagenwicklung arbeitende Seile sollten möglichst gleiche Durchmesser aufweisen (Bild 147).

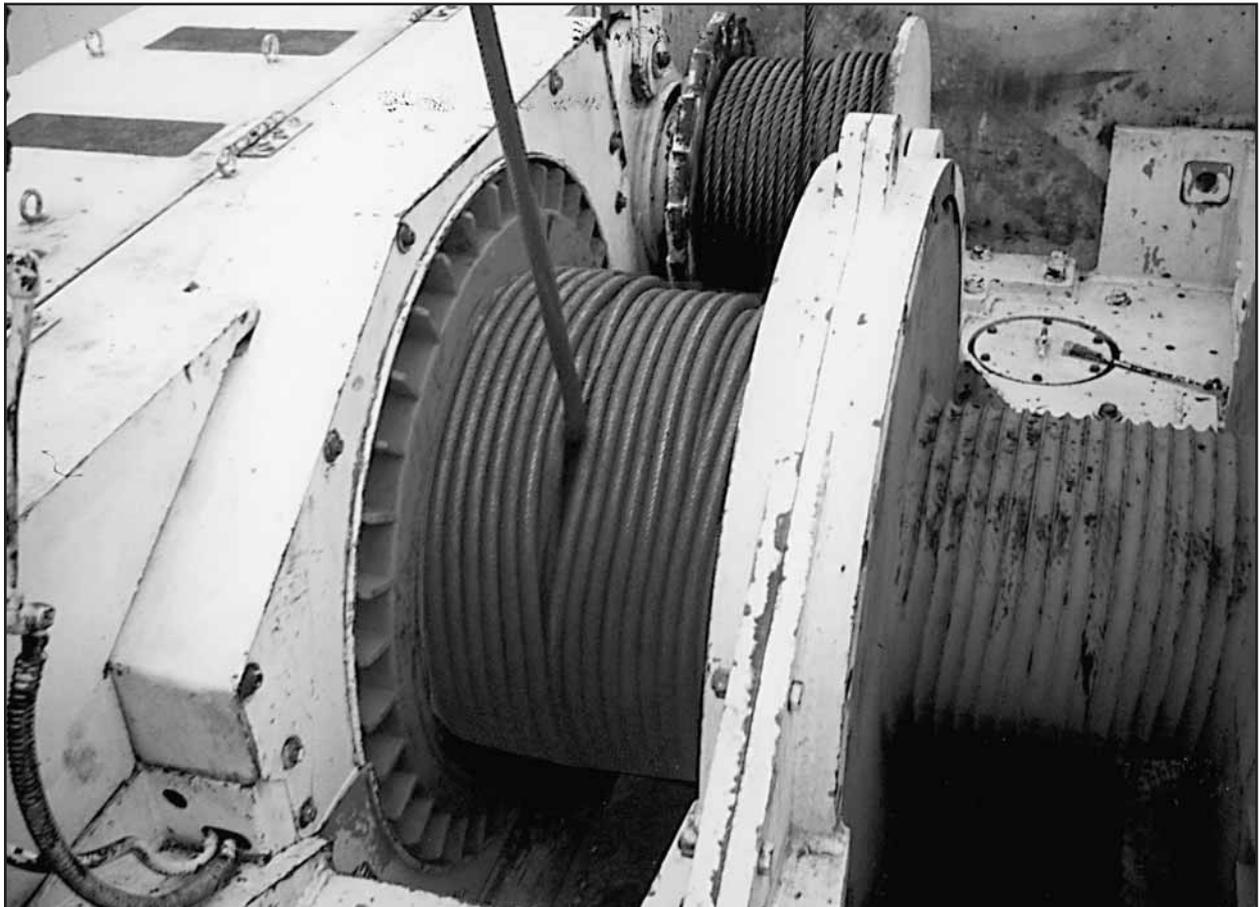


Bild 131: Dieses Seil wurde beim Heben einer Last in eine tiefere, nicht genügend vorgespannte Lage hineingezogen. Beim anschließenden Absenken der Last wurde das Seil eingeklemmt und konnte nicht abwickeln. Dies führte zu einer plötzlichen Bewegungsumkehr.

# SCHÄDEN DURCH TROMMELN

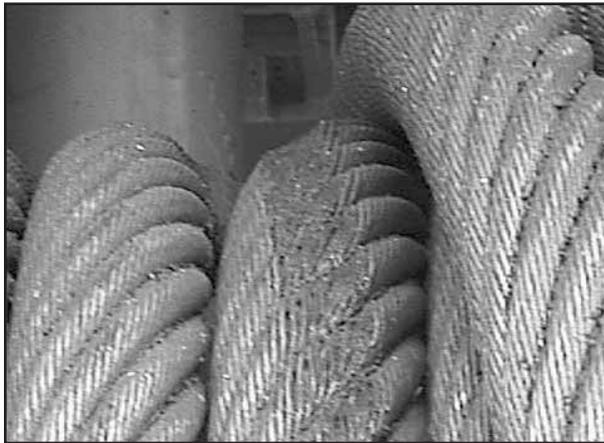


Bild 132: Dieses Seil hat nur einen Hub durchgeführt! Der hoch belastete Seilstrang hat die unbelasteten tieferen Lagen zerstört.

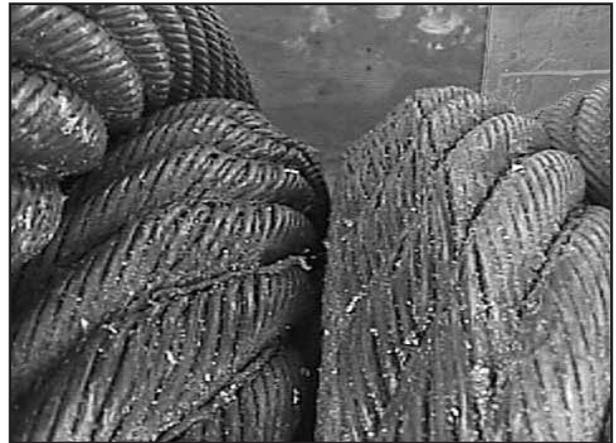


Bild 133: Auch dieses Seil hat nur einen Hub durchgeführt! Auch hier führte ungenügende Vorspannung der unteren Lagen zu Problemen.



Bild 134: Wenn die Last immer an der gleichen Stelle aufgenommen wird, konzentriert sich der Verschleiß auf eine Stelle der Trommel.



Bild 135: Seil und Trommel werden beschädigt, wenn das Seil über die Trommelstege wickelt.



Bild 136: Seilzerstörung auf einer mehrlagig bewickelten Trommel. Es kostete den Autor viel Mühe, den Betreiber davon zu überzeugen...



Bild 137: ...daß dieses Seil ablegereif war (siehe auch Bild 136). Wie sich später herausstellte, war jeder Außendraht alle 3cm gebrochen!

# ANDERE PHÄNOMENE

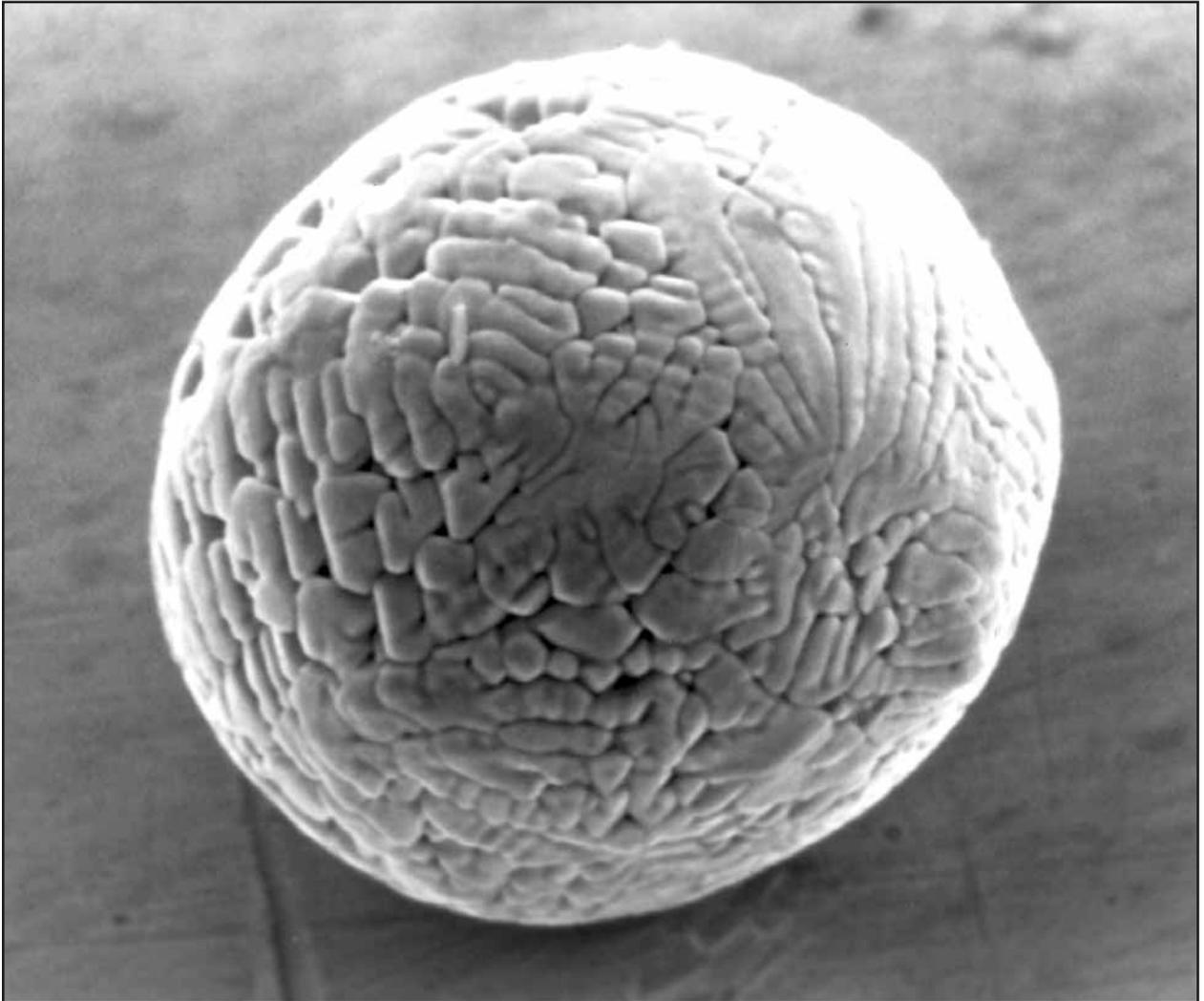


Bild 138: Mangansulfit- Kugeln im Drahtmaterial sind sehr hart und verformen sich nicht während des Drahtziehprozesses. Sie erscheinen häufig auf der Oberfläche von Ermüdungsbrüchen, weil die Drähte bevorzugt an Schwachstellen mit derartigen Einlagerungen brechen.

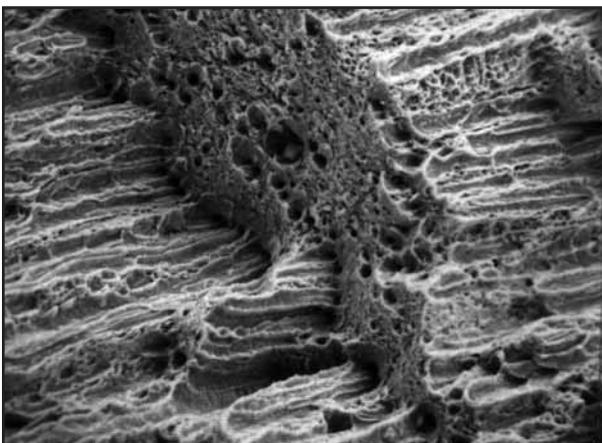


Bild 139: Die Bruchzone eines Drahtes, der durch extreme Biegung zerstört wurde, sieht aus wie gebrochenes Holz.

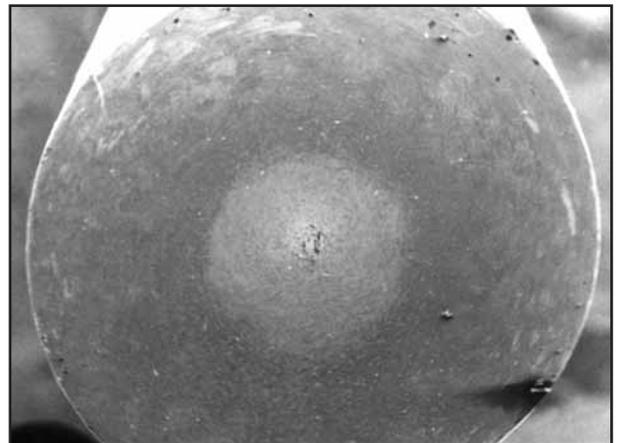


Bild 140: Die Bruchfläche eines Drahtes, der durch reine Torsion zerstört wurde, sieht aus wie eine 33 upm Langspielplatte.

# SEILGEOMETRIEFEHLER

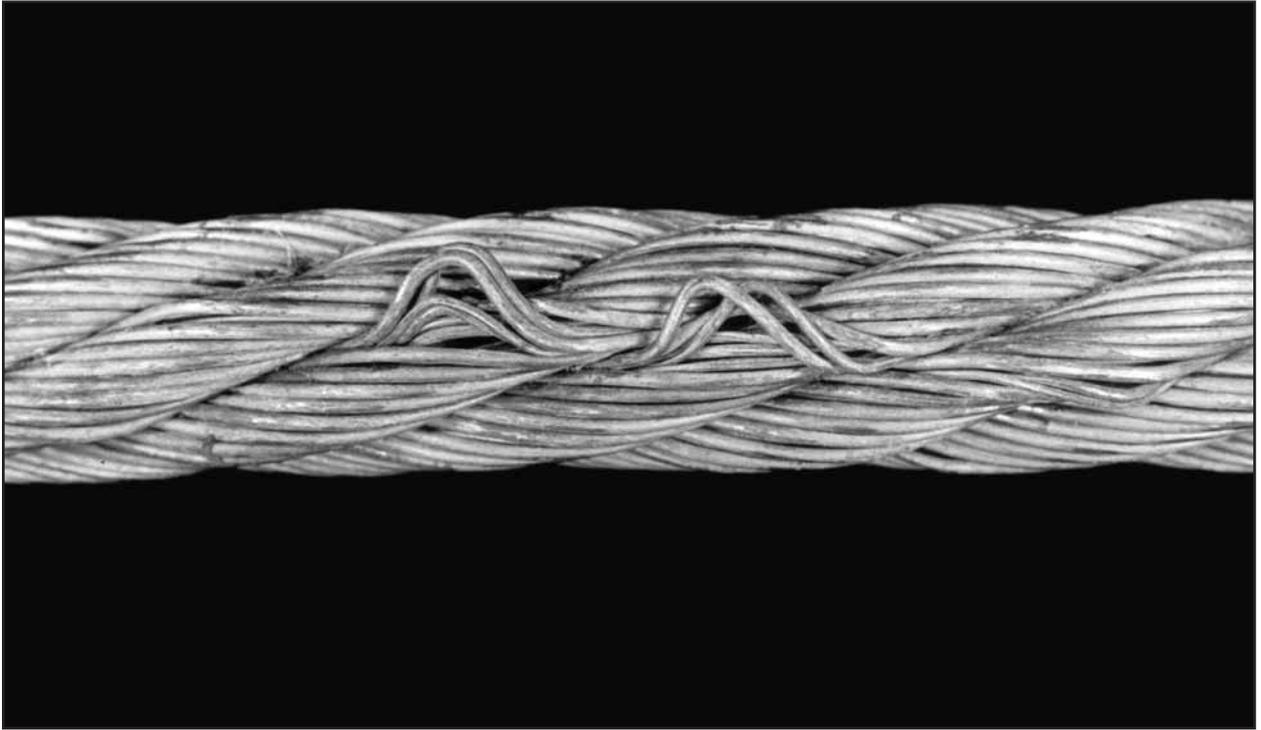


Bild 141: Schlaufenbildungen werden oft (aber nicht immer) durch unzureichende Sperrung zwischen den Seildrähten erzeugt. Werden die Drähte daran gehindert, sich relativ zueinander zu bewegen, entstehen hohe Spannungen, und die Drähte längen sich.

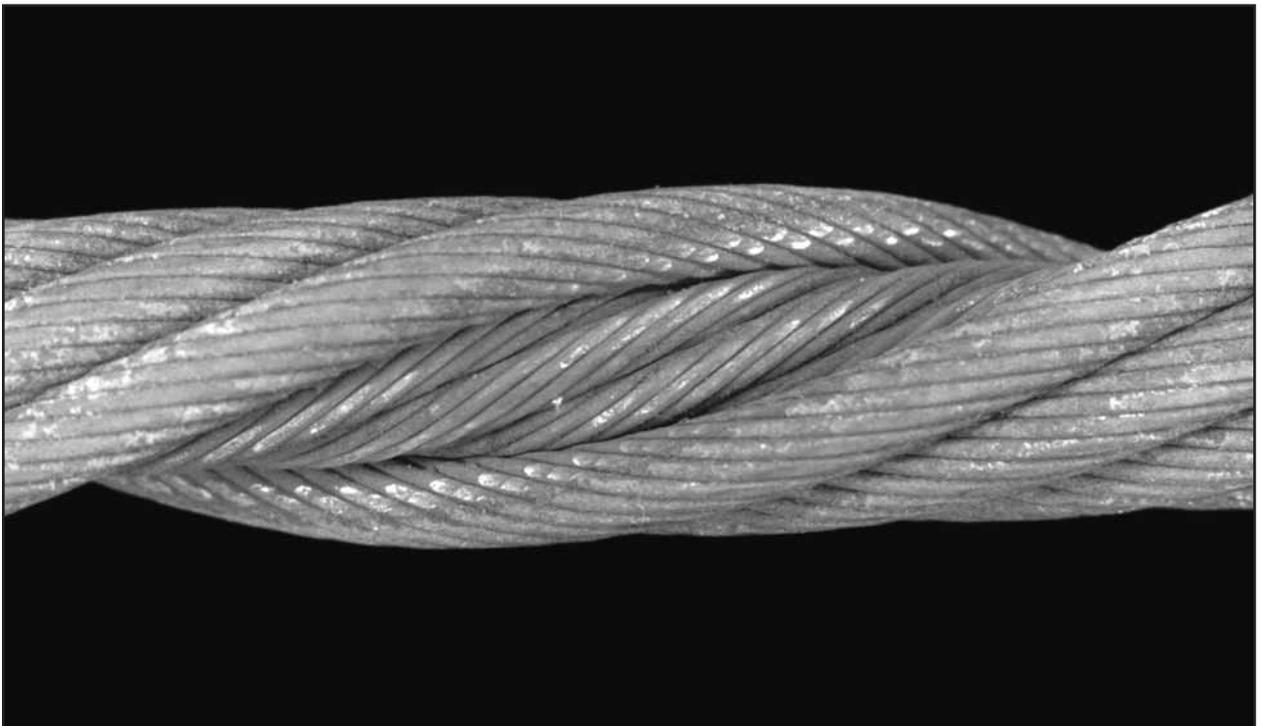


Bild 142: Wenn der Durchmesser der Stahleinlage zu klein ist, haben die Außenlitzen nur unzureichende Sperrungen, und benachbarten Litzen verformen sich gegenseitig. Unzureichende Sperrungen reduzieren die Lebensdauer der Drahtseile, teilweise drastisch..

# SEILPRODUKTIONSFEHLER



Bild 143: Eine Außenlitze ist bei ihrer Herstellung offensichtlich kurzfristig auf der Abzugs-scheibe gerutscht. Hierdurch wurde lokal eine sehr lange Schlaglänge erzeugt. Dieser Fehler wurde nicht erkannt, und die fehlerhafte Litze wurde im Seil verarbeitet.



Bild 144: Ein Litzenabbund wurde nicht entfernt, und er endete als unschöne Ver-zierung im Drahtseil.

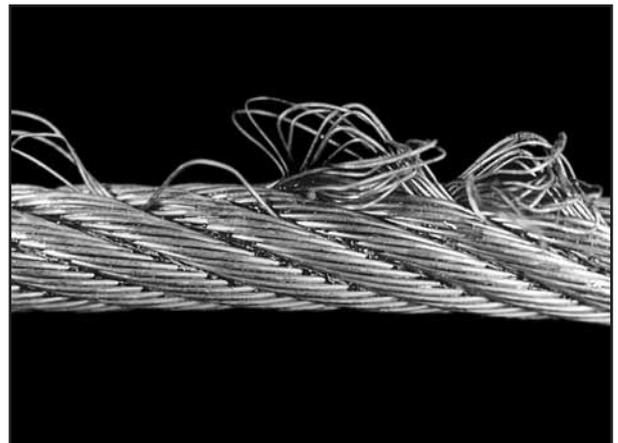


Bild 145: Eine fehlerhafte Rückdrehung in der Ver-seilmachine hat die Litzen verkürzt. Die nun unter Druck stehenden inneren Drähte treten heraus.

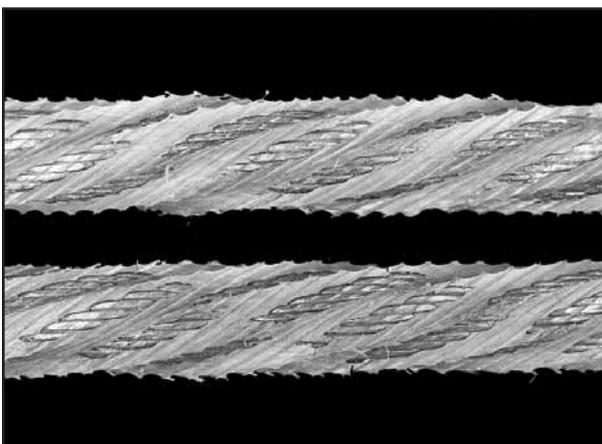


Bild 146: Ein ungeeigneter Kunststoff gibt den Außenlitzen nicht genügend Unter-stützung. Er verschleißt, und das Seil versagt vorzeitig.



Bild 147: Bei paarweise arbeitenden Seilen führen kleine Differenzen im Seildurchmesser zu großen Unterschieden in der gespulten Seillänge.

# WEITERE LITERATUR

Dieter, G.E. Mechanical Metallurgy (SI Metric edition)  
McGraw Hill ISBN: 0-07-100406-8.

Felbeck, D.K. and Atkins, A.G. Strength and fracture of engineering solids  
2<sup>nd</sup> Edition, Prentice Hall, Inc USA.

Pascoe, K.J. An introduction to the properties of engineering materials  
3<sup>rd</sup> Edition, Van Nostrand Reinhold, 1978 ISSN: 0 442 30233 9.

Stahl, F.L. and Garnon, C.P. Cable corrosion in bridges and other structures  
ASCE Press, 1996 ISBN: 0-7844-0014-8.

Trent, E.M. The formation and properties of martensite on the surface of rope wire  
J. Iron and Steel Inst. 143(1941) 401-419.

Verreet, R. Spezialeile für mehrlagig bewickelte Seiltrommeln  
CASAR Broschüre, März 2003.

Verreet, R. Stahldrahtseile für Krane, Probleme und Lösungen  
CASAR Broschüre, Januar 2002.

Verreet, R. Die Inspektion von Drahtseilen  
CASAR Broschüre, Januar 2003.

## DER AUTOR

Dipl. Ing. Roland Verreet betreibt seit 1984 in Aachen ein Ingenieurbüro, welches sich mit allen Fragen zum Thema Drahtseil und seiner Anwendung beschäftigt. Herr Verreet ist Vizepräsident der OIPEEC (Organisation Internationale pour l'étude d'endurance de câbles).

Ingenieurbüro für Fördertechnik  
Dipl.- Ing. Roland Verreet  
Grünenthaler Str. 40a  
Deutschland - 52072 Aachen  
E-mail Adresse: R.Verreet@t-online.de  
Website: [www.ropetechnology.com](http://www.ropetechnology.com) oder [www.seile.com](http://www.seile.com)

## COPYRIGHT

© 2005 PR GmbH, Aachen, Deutschland. Erste Ausgabe Juni 2005. Layout und Satz: Roland Verreet and Alexander Frings, PR GmbH, Aachen. Cartoon von Rolf Bunse, PR GmbH. Fotos von Roland Verreet und Klaus Turotzi, wenn nicht anders erwähnt. Reproduktion, ganz oder teilweise, nur mit schriftlichem Einverständnis von PR GmbH.



**Lloyd's  
Register**



**CASAR**

**CASAR DRAHTSEILWERK SAAR GMBH**

Casarstrasse 1 • D-66459 Kirkel

Postfach 1187 • D-66454 Kirkel

Verkauf Inland:

Tel.: + 49-(0)6841 / 8091-320

Fax: + 49-(0)6841 / 8091-329

Verkauf Export:

Tel.: + 49-(0)6841 / 8091-350

Fax: + 49-(0)6841 / 8091-359

E-mail: [sales.export@casar.de](mailto:sales.export@casar.de)

<http://www.casar.de>