

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 87 (1969)  
**Heft:** 34

**Artikel:** Die Ursachen der Porenbildung beim Schweißen  
**Autor:** Lüscher, Paul  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-70751>

#### Nutzungsbedingungen

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

#### Conditions d'utilisation

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

#### Terms of use

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

**Download PDF:** 08.02.2026

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

mittelbar an der Kontaktzone die kleinste Hauptspannung  $\sigma_3$  aus der grössten  $\sigma_1$  wie folgt berechnet werden kann:

$$\sigma_3 = 2\nu \cdot \sigma_1.$$

Weiter im Innern nimmt das Verhältnis  $\sigma_3/\sigma_1$  ständig ab und wird schliesslich null. Nun ist bekanntlich sowohl die grösste Hauptspannung als auch dieses Verhältnis für den Bruch massgebend.

Ganz allgemein gilt für ein Verhältnis

$$\frac{\sigma_3/\sigma_1}{(\sigma_1)_{Bruch}} = \frac{k}{1 - \sin \varphi - k(1 + \sin \varphi)}$$

wobei  $c$  die Kohäsion

und  $\varphi$  den Winkel der inneren Reibung bedeuten.

Im Falle von Punt dal Gall erreichen die Spannungen in der Kontaktzone im Maximum  $50 \text{ kg/cm}^2$  Druck für Normalbelastung und  $60 \text{ kg/cm}^2$  Druck für den Fall eines Erdbebens bei vollem See. Gegenüber den im Kapitel 4 bestimmten Werten ergibt sich somit eine Sicherheit von 5 bzw. 6 bei Annahme einer Querdehnungszahl von  $1/6$ . Die Normalspannung  $\sigma_1$  muss an der Kontaktzone auf  $300 \text{ kg/cm}^2$  anwachsen, bis bei einer Seitenspannung  $\sigma_3$  von 33 % der entsprechende Mohrsche Kreis die Schubfestigkeitsgerade berührt. Aus der Spannungsberechnung geht hervor, dass in den tiefer liegenden Zonen, wo  $\sigma_3$  praktisch verschwindet, noch grösste Hauptspannungen von rund  $30 \text{ kg/cm}^2$  unter Normalbelastung und rund  $36 \text{ kg/cm}^2$  unter Erdbebeneinfluss auftreten. Die entsprechenden Sicherheitsfaktoren gegen lokalen Bruch betragen dort 1,9 bzw. 1,6.

Wenn eine solche Sicherheit auch durchaus ausreicht, so erhebt sich doch die Frage, ob diese Faktoren in Anbetracht der relativ grossen Variation der Werte für Kohäsion und Reibungswinkel genügend gross sind. Lokal könnte die effektive Spannung sehr nahe an

die niedrigst mögliche Bruchfestigkeit herankommen. Nun bewirkt aber eine lokale Überbelastung im Fels plastische Deformationen in Verbindung mit einer Spannungsumlagerung, so dass Spannungsspitzen abgebaut werden. Da aber die vorhin genannten Spannungen nur Spitzentypen sind und sich nicht über grössere Zonen erstrecken, würden dieselben, wenn sie nahe an die Bruchspannung reichen, abgebaut, wobei die benachbarten Felspartien natürlich eine gewisse Mehrbelastung erfahren. Somit rechtfertigt sich die Berechnung des Sicherheitsfaktors in bezug auf die mittlere Schergerade durchaus.

Die zweite Berechnungsart betrachtet den Gebirgskörper als Ganzes. Die Berechnung gibt direkt die Sicherheit gegen Abscheren bzw. Abgleiten, wobei der durch Kontaktinjektionen behandelte Fels als ein solcher von mittlerer Qualität ( $c = 18 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\varphi = 25^\circ$ ), der unbehandelte als einer von geringerer Qualität ( $c = 9 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\varphi = 16^\circ$ ) betrachtet wird. Bei dieser relativ ungünstigen Annahme erhält man für Punt dal Gall Sicherheitsfaktoren von 2,2 für die Normalbelastung und 2,0 bei Einrechnung eines Erdbebens. Diese Werte sind ebenfalls ausreichend. Im übrigen liegen sie ziemlich nahe bei den minimalen Werten aus der 1. Berechnung.

Die tatsächliche Sicherheit liegt irgendwo zwischen den berechneten, eventuell sogar höher. Niedriger kann sie nicht sein, sofern der Fels nicht schlechtere physikalische Eigenschaften besitzt, als sie erkundet wurden. Damit ist einmal mehr erwiesen, dass vorerst eine gründliche Untersuchung, vor allem auch über Schwächen des Gebirges infolge Klüftung und Verwitterung, durchgeführt werden muss, bevor die erhaltenen Messwerte in eine Berechnung eingeführt werden. Die Berechnung selber sollte dann auf möglichst einfache Arbeitshypothesen begründet sein.

Adresse des Verfassers: Dr. sc. techn. Bernhard Gilg, Elektro-Watt Ingenieurunternehmung AG, 8022 Zürich, Postfach.

## Die Ursachen der Porenbildung beim Schweißen

Von Paul Lüscher, Lausanne

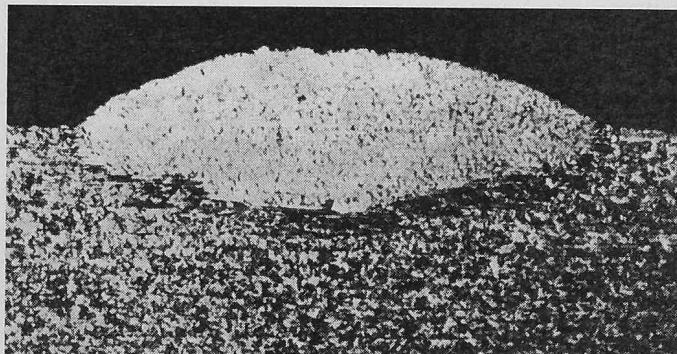
DK 621.791.052 : 539.217

### 1. Einleitung

Bei jedem Schweißvorgang mit Zusatzmetallen werden letztere zum Schmelzen gebracht. In den meisten Fällen wird auch das Grundmetall aufgeschmolzen. Metall in flüssigem Zustand nimmt aber eine gewisse Menge von Gasen auf, die entweder aus der umgebenden Atmosphäre oder aus den Zerfallprodukten der Elektrodenumhüllung stammen. Diese Gase sind im flüssigen Metall zum Teil löslich, grösstenteils aber entweichen sie aus demselben in Form von Blasen. Das geschmolzene, äusserst flüssige Metall nimmt bei der Abkühlung erst eine teigige Konsistenz an und verfestigt sich schliesslich im Laufe der weiteren Abkühlung. Die Gasblasen bleiben dann im Metall eingeschlossen oder bahnen sich einen Weg zur Oberfläche, an der sie eine Anzahl kleiner Eindrücke hinterlassen.

Im flüssigen Metall ist die Kohäsion der Moleküle geringer als im festen Zustand. Dadurch erklärt sich der freie Durchgang der Gasblasen. Sobald sich aber das Metall zu verfestigen beginnt, ordnen sich die Moleküle dem jeweiligen Kristallsystem entsprechend, ihre Kohäsion nimmt zu und die Gase können nicht mehr entweichen. Das Metall weist dann Fehler an der Oberfläche auf und ist von Lunkern und Hohlräumen durchsetzt, die seine mechanische Festigkeit erniedrigen, die Dichtigkeit der Raupe in Frage stellen und somit auch die Korrosionsbeständigkeit verringern, vergleiche die Bilder 1 bis 3.

Bild 1. Querschnitt durch eine einwandfreie, porenfreie Schweissraupe



Die Porenbildung wird von mehreren Faktoren beeinflusst, darunter die Temperatur des Schmelzbades, die Abkühlungsgeschwindigkeit, der Gasgehalt, der Grad der Verunreinigungen und schliesslich die angewandte Schweissmethode.

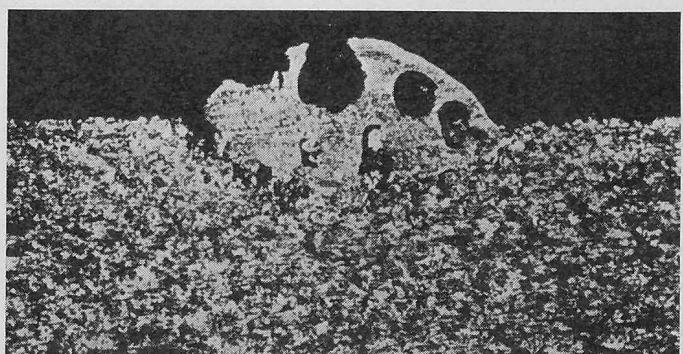
### 2. Überhitzung des Schmelzbades

Unabhängig vom verwendeten Elektrodenentyp kann es immer dann zur Porenbildung kommen, wenn das flüssige Metall überhitzt wird, und zwar besonders infolge zu hoch eingestellter Stromstärke. Wird der Schweissbrenner mit einer zu starken Flamme verwendet oder «beharrrt» man während des Schweissens allzulang an derselben Stelle, so kann dies gleichfalls Porenbildung verursachen.

### 3. Abkühlungsgeschwindigkeit

Wenn der Strom zu schwach, der Lichtbogen zu lang, die Voraufwärmung zu gering oder der Elektroden Durchmesser zu klein ist, so kann sich die Wärmezufuhr als unzureichend erweisen, was eine überschnelle Abkühlung zur Folge hat. Eine solche behindert wiederum das Entweichen der Gase. Die Abkühlungsgeschwindigkeit muss also ständig überwacht werden, und zwar besonders bei Schweissungen in Normallage und vor allem beim Schutzgasschweissen mit dem Lichtbogen, bei welcher die Abkühlung äusserst rasch vor sich geht. Je langsamer der Erstarrungsvorgang, desto mehr wird das Entweichen der Gase begünstigt.

Bild 2. Typisches Aussehen einer porösen Schweissraupe im Querschnitt



#### 4. Der Gasgehalt

Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Argon, Helium, Kohlendioxyd und Kohlenmonoxyd spielen beim Schweissen eine wichtige Rolle. Ihre Einwirkung macht sich in der Qualität des Schweissguts bemerkbar, je nachdem die Gase im flüssigen oder festen Metall löslich oder unlöslich sind und je nachdem eine Dissoziation in mehrere Verbindungen eintritt oder nicht.

Bei Schweißtemperaturen entsteht aus Kohlendioxyd durch Zerfall Kohlenmonoxyd, welches in den meisten Metallen unlöslich ist. Auch Argon und Helium sind in Metallen unlöslich. Wasserstoff verursacht in Metallen oft Porosität. Die Wasserstoff-Konzentration beim Lichtbogenschweissen hängt von der Art der Umhüllung und von ihrem Feuchtigkeitsgehalt ab. Aus der feuchten Umhüllung werden bedeutende Mengen Wasserstoff frei, der in erster Linie für das Entstehen von «Fischäugen» verantwortlich ist. Solche Fischäugen bilden sich an den Bruchflächen in Form charakteristischer, weißer Flecken. Oft sind sie das Anzeichen eines Haarrisses.

Beim Lichtbogenschweissen schädigt Sauerstoff, besonders bei Elektroden mit oxydierender oder saurer Umhüllung, die mechanischen Eigenschaften. Unrichtige Flammeneinstellung (oxydierende Flamme) beim Schweissen mit dem Schweissbrenner verursacht eine Sauerstoffabsorption.

Beim Schutzgasschweissen mit dem Lichtbogen kann die Verwendung eines Wasserdampf enthaltenden Schutzgases ungünstige Ergebnisse zur Folge haben. Manchmal findet man in der Übergangszone am Rande der Schweissraupe eine Ansammlung von Poren. Dies hat seinen Grund darin, dass das Grundmetall Gas enthält (besonders wenn es sich um Guss handelt), oder es kann von einer Gasdiffusion aus dem Schmelzbad ins Grundmetall hervorbrechen. Auch in der Umgebung der Nahtoberfläche kann es zur Porenbildung kommen, besonders wenn die Raupe in mehreren Lagen ausgeführt wurde. Die genannten Gase haben auf die einzelnen Metalle unterschiedliche Wirkung:

a) Eisen. Sauerstoff ist im flüssigen Eisen löslich, im festen Eisen jedoch nicht. Im festen Stahl ist er als Verbindung, in Form fester Oxide, zugegen. Bei der Abkühlung kann der im flüssigen Stahl gelöste Sauerstoff mit dem Kohlenstoff eine Verbindung eingehen, wobei CO-Gasblasen entstehen. Falls diese im Laufe der Erstarrung nicht entweichen können, kommt es im Metall zu Gaseinschlüssen. Die Löslichkeit des Stickstoffs im flüssigen Eisen wächst mit der Temperatur. Wenn man an freier Luft mit einer nackten Stahlelektrode eine Schweissung ausführt, so kann das Schmelzbad mit Stickstoff gesättigt sein und ein Teil des Gases bleibt beim Erstarren des Metalls eingeschlossen. Wie der Stickstoff, wird während der Schweissung auch der Wasserstoff von den Eisenwerkstoffen absorbiert. Durch

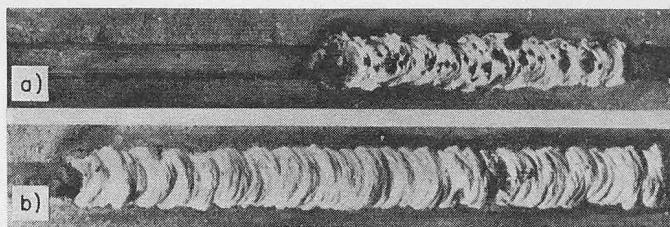


Bild 3. Vergleich zwischen einer fehlerhaften und einer einwandfreien Schweissraupe. a) stark poröse, b) porenfreie Raupe

Wasserstoffüberschuss kann die Kristallbildung beeinträchtigt und können infolge des Gasdrucks Risse hervorrufen werden.

b) Nichteisen-Metalle. Wasserstoff ist in flüssigem Aluminium löslich, aber nicht im festen Metall. Es kann also auch Poren verursachen. Sauerstoff verbindet sich mit Aluminium zu Aluminiumoxyd, das im festen Metall unlöslich ist. Die harte und zähe Aluminiumoxydschicht, die sich an der Oberfläche der zu verbindenden Aluminiumwerkstücke gebildet hat, muss sorgfältig entfernt werden, wenn ein zufriedenstellendes Ergebnis erzielt werden soll. Stickstoff ist bei normalen Arbeitsverhältnissen unlöslich.

Wasserstoff ist in flüssigem Kupfer besser löslich als in festem Metall, und es können Poren entstehen, sofern nicht alle Vorsichtsmaßnahmen getroffen wurden. Sauerstoff ist im flüssigen Kupfer löslich, dagegen entsteht Kupferoxyd im festen Metall. Wenn Kupfer, das Kupferoxyd enthält, annähernd bis zum Schmelzpunkt erwärmt wird und wenn gleichzeitig die Schweissung in Gegenwart von Wasserstoff oder Wasserdampf erfolgt, so wird das Oxyd reduziert und im Metall entstehen Hohlräume. Da Stickstoff in Kupfer unlöslich ist, kann man ihn beim Lichtbogenschweissen dieses Metalls als Schutzgas verwenden.

#### 5. Verunreinigungen

Wenn in der Naht die Poren nur wenig zahlreich und gleichmäßig verteilt sind, so beeinträchtigen sie die Festigkeit kaum oder gar nicht. Die Poren werden nur zum Problem, wenn sie die Festigkeit der Raupe gefährden. Befinden sich Fremdstoffe wie Wasserdampf, Öle, Farbschichten, Oxyde usw. in der Schweisszone, so muss mit einer starken Porenbildung gerechnet werden. Eine solche tritt auch ein, wenn das Grundmetall einen bedeutenden Schlackengehalt aufweist. Die sich mit dem Schmelzbad vermischtende Schlacke verursacht nämlich eine starke Gasentwicklung, besonders im Falle von Oxyd- und Schwefeleinschlüssen.

#### 6. Die Schweissmethode

Da die Gase nicht entweichen können, wenn das Zusatzmetall nicht flüssig ist, muss der Schweisser das Schmelzbad eine gewisse Zeit erhalten, indem er erst entsprechend vorwärm und dann mit der Brennerflamme oder mit der Elektrode leichte Pendelbewegungen ausführt, die das Schmelzbad umröhren und das Entweichen der Gase begünstigen. Wurde die Schlacke an der Wiederaufnahmestelle der Raupe oder beim Mehrlagenschweissen nicht gründlich entfernt, so können gleichfalls Poren entstehen.

Adresse des Verfassers: Paul Lüscher, Technische Abteilung der Castolin-Schweissmaterial AG, 1001 Lausanne, St-Sulpice, Postfach 1020.

#### Gerät für die mechanische Baum-Ästung

DK 648.982.45

Dipl.-Ing. Harry Harmuth berichtet in der «Schweizerischen Technischen Zeitschrift, STZ» 66 (1969), H. 21, S. 417—421, über ein automatisches Gerät für die Aufästung von Bäumen in Nutzholzwäldern, welches kürzlich von einer deutschen Firma auf den Markt gebracht wurde.

Will man den Wert eines Nutzholzwaldes erhalten bzw. steigern, so muss man frühzeitig, solange der Baumbestand noch jung ist, eine sogenannte «Wertästung» vornehmen, das heißt, die am Stamm wachsenden, meist kleinen Äste möglichst nahe an der Rinde, aber ohne diese zu verletzen, entfernen. Das anschliessend nachwachsende Holz überdeckt dann diese Stellen und ist astfrei. Es ist dies eine Arbeit, die in der Regel noch unter erheblichem Zeitaufwand von Hand ausgeführt wird. Wirtschaftliche Gründe sowie die zunehmende Personalknappheit führten dazu, dass nach Mitteln und Wegen gesucht wurde, diese Arbeit mechanisch durchzuführen.

Tabelle 1. Häufige Ursachen für die Porenbildung beim Schweissen und deren Abhilfe

Ursache	Abhilfe
Wasserstoff-, Sauerstoff- oder Stickstoffüberschuss in der Umgebung der Schweisszone	Basische Elektroden, MIG-Schweissen oder Wolfram-Elektrode oder Unterpulver-Schweissen. Zusatzmetall mit wirksamen Desoxydationsmitteln verwenden
Zu rasche Erstarrung des Schmelzbades	Vorwärmen; mehr Wärme zuführen; Zusatzmetall mit niedrigerem Schmelzpunkt verwenden
Öl, Farbschicht oder Rost am Grundmetall	Flächen blank machen
Zusatzmetall ist verunreinigt	Vor Gebrauch Zusatzmetall entfetten oder desoxydieren
Unrichtige Stromstärke oder Lichtbogenlänge, unzweckmässige Schweissmethode	Bessere Kontrolle und Einstellung; Methode wechseln, beschleunigen oder verlangsamen, Schmelzbad umröhren usw.
Das Zink verflüchtigt sich aus dem Kupfer	Elektrode wechseln oder Wärmezufuhr verringern
Galvanische Überzüge auf Stahl	Elektrode wechseln. Elektrode so führen, dass sich das Zink an der Vorderseite des Schmelzbades verflüchtigt
Elektrode oder Werkstück zu feucht	Mit vollkommen trockenen Grund- und Zusatzmetallen arbeiten
Zu hoher Schwefelgehalt des Grundmetalls	Elektroden mit basischer Umhüllung verwenden