

UNTERSUCHUNG VON KALFATKLAMMERN DER BREMER KOGGE

VON FRITZ BÜRSIG

Zu den eisernen Massenbauteilen – das sind Teile, die beim Bau der Kogge im Gegensatz zu Einzelschmiedestücken in großer Anzahl verwendet wurden – gehören neben den ca. 3000 Nägeln, über die eine Untersuchung von H. Ladeburg vorliegt¹, die teils im Schlamm verstreut, teils noch im Einbauzustand vorgefundenen ca. 8000 Kalfatklammern (Abb. 1). Sie dienten dazu, die zwischen die einzelnen Planken der Bootswand eingestemte Dichtungsmasse (Kalfatmasse), die das Eindringen von Wasser in den Schiffskörper verhindern soll, in Zusammenhang mit der Kalfatleiste am Herausfallen zu hindern. Der Einbau der Kalfatklammern ist in der Skizze (Abb. 2) wiedergegeben.

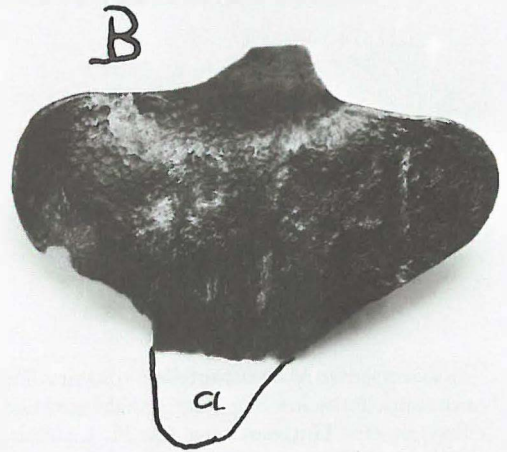
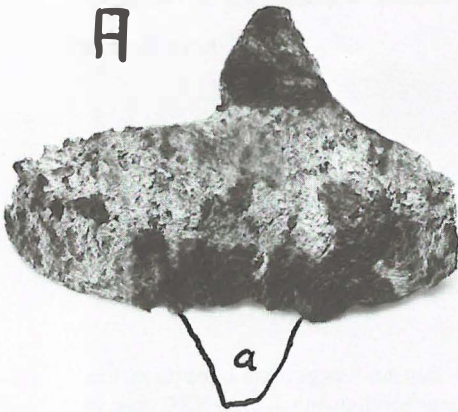
Die Kalfatklammern sind aus Eisen geschmiedet, haben eine ovale Form mit einer Länge von 45 bis 55 mm bei einer ungleichmäßigen Breite von etwa 25 mm. Die Blechdicke beträgt im mittleren Bereich etwa 2 mm, nach den Enden zu sind die Klammern dünn ausgeschmiedet. In der Mitte beider Längsseiten sind die Klammern zungenförmig ausgeschmiedet; diese Zungen wurden, wie aus Abb. 2 ersichtlich, in die Schiffsplanken eingeschlagen und so die Kalfatklammern fest mit dem Schiffskörper verbunden. Eine der beiden Zungen der untersuchten Klammern ist abgebrochen (Abb. 1 bei a). Die Klammern sind schwach zylindrisch-ballig und dem Aussehen nach einzeln aus jeweils einem etwa hasel- bis walnußgroßen Eisenstück geschmiedet, wobei augenscheinlich ein Hammer mit schwach balliger Bahn benutzt wurde.

Die zur Untersuchung zunächst vorgelegten zwei Klammern A und B waren entrostet und korrosionsschützend behandelt worden. Die Oberfläche läßt z. T. das blanke Metall erkennen, z. T. ist sie aber auch noch mit Schmiedezunder bedeckt. In den metallischen Bereichen sind örtlich deutlich die von der Verschmiedung herrührenden Verformungen sichtbar, die in Abb. 1 wiedergegebenen Klammern lassen diese Verformungen z. T. erkennen. Später wurde noch eine dritte Klammer C hinzugenommen, die aber im Gegensatz zu A und B nicht entrostet oder behandelt war.

Metallographische Untersuchung:

Die Klammern wurden durch Längs- und Querschnitte zerteilt und die Schnittflächen für die Untersuchung behandelt. Die Abb. 3 und 4 zeigen die Querschliffe der Klammern A und B jeweils über die ganze Breite in ungeätztem Zustand. An den linken Enden sind die in Abb. 1 ergänzten Zungen abgebrochen.

Die Abbildungen lassen in den Randzonen unterschiedliche, z. T. ausgeprägte Korrosionsgruben und im Innern die für Renneisen typischen, infolge der Verschmiedung zeilenförmig langgestreckten Schlackeneinschlüsse erkennen. Im Schliff Abb. 4 der Klammer B sind zwei derartige Zeilen z. T. klaffend aufgespalten. Es ist aber bei diesem Bild nicht erkennbar, ob hier schon von der Herstellung oder vom Einschlagen in die Bordwand herrührende Trennungen



Linke Seite

Abb. 1 (oben) Kalfatklammern der Bremer Kogge. Bei a abgebrochene Zungen zur Befestigung in der Bordwand; schematisch ergänzt.

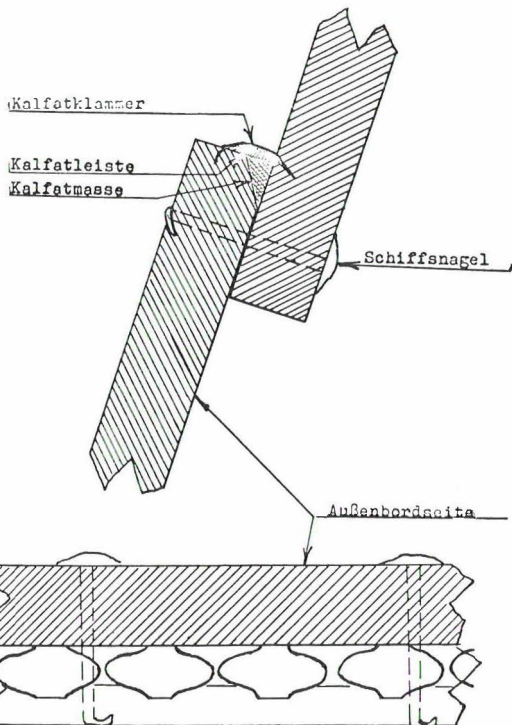


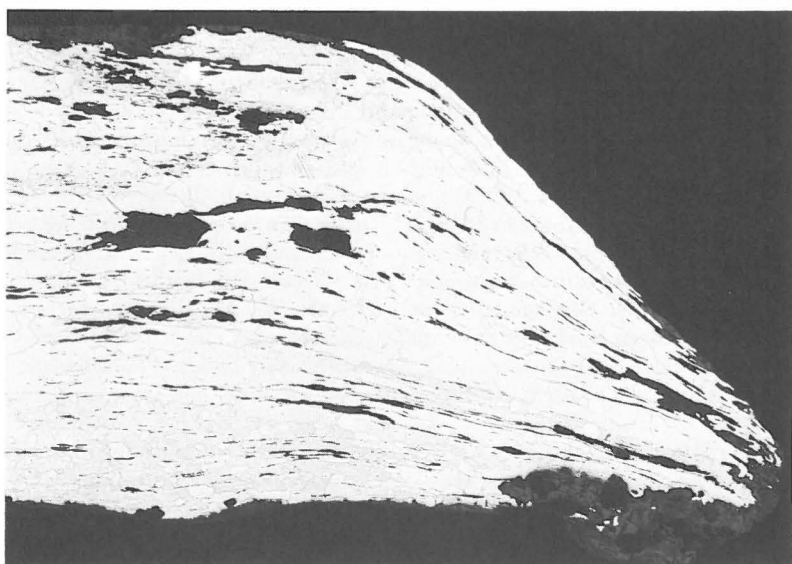
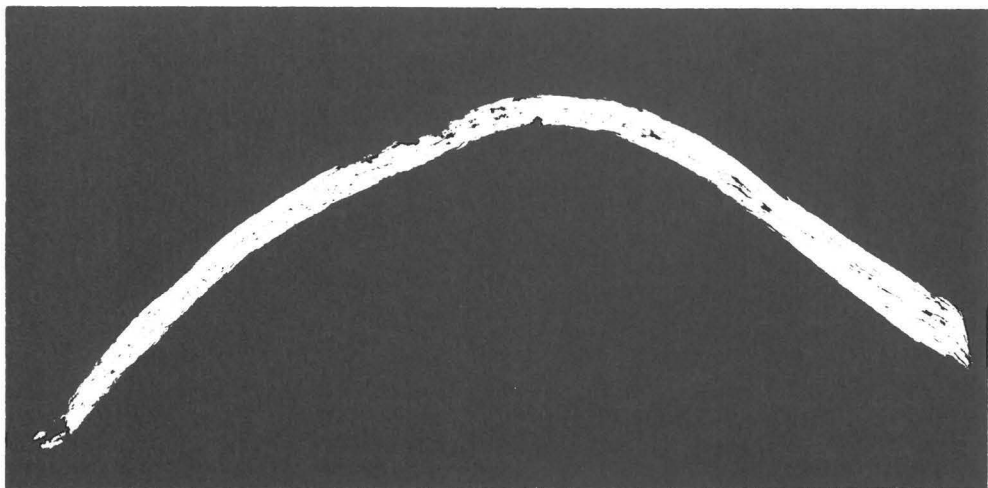
Abb. 2 (unten) Einbau der Kalfatklammern in die Bordwand der Bremer Kogge. (Nach einer Zeichnung von W. Lahn, DSM).

Rechte Seite

Abb. 3 (oben) Querschliff von Klammer A. (M. 3, 5:1).

Abb. 4 (mitte) Querschliff von Klammer B. (M. 3, 5:1).

Abb. 5 (unten) Mit dem Meißel warm abgeschlagenes und dabei stark verformtes Ende der Zunge vom Querschliff der Klammer A. (M. 33:1; Ätzung: 2% alkohol. HNO_3).



vorliegen oder durch Korrosion aufgetriebene Schlackenspalten. Die Klammer Abb. 3 zeigt rechts das Ende der einen Zunge, die hier augenscheinlich bei hoher Schmiedetemperatur zuvor mittels eines Meißels verkürzt wurde. Dies wurde durch die Betrachtung unter dem Mikroskop bei höherer Vergrößerung bestätigt (Abb. 5), wobei die entsprechenden Verquetschungen der Schlackenzeilen deutlich sichtbar wurden, während das Ferritkorn augenscheinlich rekristallisiert ist.

Das Grundgefüge der beiden Klammern A (Abb. 6) und B (Abb. 7) ist, wie aus den geätzten Schliffen ersichtlich, sehr unterschiedlich. Während die Klammer B über den ganzen Querschnitt ein ziemlich gleichmäßiges, feines Korn aufweist, wobei auf der Schlifffläche auch längsgestreckte Seigerungsbereiche erkennbar sind, zeigt der Querschnitt der Klammer A ein über die Querschnittsfläche sehr unterschiedliches Gefüge. Die Randpartien sind hier durchweg feinkörnig, und in ihnen sind auch z. T. deutliche Verformungslinien erkennbar, das Kerngefüge ist dagegen recht grobkörnig. Die Korngrößenunterschiede innerhalb der Klammer A und gegenüber der Klammer B deuten auf ganz unterschiedliche Arbeitsweisen bei der Herstellung der Klammern, insbesondere des Verformungsgrades und der Verformungstemperatur, was bei der handwerklichen Einzelherstellung nicht verwunderlich sein dürfte. Man beherrschte im Mittelalter die Schmiedetemperaturen nicht, die lediglich an Hand der Glühfarben beurteilt werden konnten, und hat teilweise oberhalb, teilweise unterhalb der Rekristallisationstemperatur geschmiedet.

Das Feingefüge nach Ätzung mit 2 %iger alkoholischer Salpetersäure zeigt bei Klammer A im Kern grobe Ferritkristalle, durchsetzt mit zahlreichen Schlackeneinschlüssen in gestreckter Form (Abb. 8), in den Randzonen dagegen einen feinkörnigeren Ferrit. In Abb. 9 ist bei etwas höherer Vergrößerung die gleiche Stelle wie in Abb. 8 bei Interferenz-Phasenkontrast wiedergegeben. Abb. 9 zeigt ähnliche Erscheinungen, wie sie auch von Ladeburg bei der Untersuchung von Nägeln der Kogge festgestellt und als Kristallseigerungen gedeutet wurden². Es fällt auf, daß das Gefüge der Klammer A fast ganz aus Ferrit besteht und praktisch frei von Perlit ist, Kohlenstoff also nur in minimaler Menge enthält.

Das Mikrogefüge der Klammer B weicht von dem der Klammer A z. T. erheblich ab. Schon die aus den Abbildungen 6 und 7 ersichtlichen Korngrößen unterscheiden sich beträchtlich. Gegenüber dem nahezu rein ferritischen Gefüge von A zeigt das der Klammer B nennenswerte Mengen an Perlit, also deutlichen Kohlenstoffgehalt. Bei der schon in Abb. 4 erwähnten klaffenden Trennung liegt primär augenscheinlich ein kräftiger Schlackeneinschluß vor, dessen Gefüge in Abb. 10 z. T. sichtbar ist und der anscheinend schon beim Verschmieden oder beim Einschlagen der Klammer in die Bootswand aufgeplatzt ist. Abb. 11 zeigt einen vergrößerten Ausschnitt mit ferritisch-perlitischem Gefüge. Augenscheinlich besteht diese Klammer auch aus mehreren Luppen mit unterschiedlichem Gefügebau. Abb. 12 zeigt einen Ausschnitt aus dem oberen Randbereich der Klammer. Hier ist eine äußere Zone durch eine Schweißnaht F von dem Bereich darunter getrennt. In ihr ist eine tiefe Korrosionsgrube vorhanden, die aber an der Schweißnaht scharf abgeschnitten ist. Augenscheinlich ist die Zusammensetzung der oberen Luppe eine etwas andere und dadurch korrosionsempfindlicher. Die bei Interferenz-Phasenkontrast gemachte Aufnahme (Abb. 12) läßt in dem Bereich unterhalb der Schweißnaht deutliche Kristallseigerungen erkennen, die im Randbereich nicht in dem Maße vorhanden sind. Auch zwischen der Gefügebildung und dem C-Gehalt sind deutliche Unterschiede innerhalb des Querschnittes der Klammer B erkennbar (Abb. 13). Aus der Untersuchung dieser Klammer kann geschlossen werden, daß sie augenscheinlich aus mehreren Rohluppen oder wiederverwendeten kleinen Reststücken unterschiedlicher Art zusammengeschweißt worden ist.

Die Klammer C hat eine Gefügestruktur, die von der der Klammern A und B in einzelnen Punkten wiederum nennenswert abweicht. Abb. 14 zeigt einen Ausschnitt nach Ätzung mit 2 %iger Salpetersäure bei 50facher Vergrößerung. Das Gefüge hat im oberen Bereich ein feineres ferritisches Korn als im Kern. Hier sind vereinzelte grob rekristallisierte Kristalle vorhanden. Die unterschiedliche Gefügestruktur dieser Klammer kommt bei höherer Vergrößerung noch deutlicher zum Ausdruck. Die Abb. 15 zeigt einen sehr grobkörnigen Ferrit, z. T. mit Tertiär-



Abb. 6 Gefüge über dem Querschliff von Klammer A. (M. 40:1; Ätzung: wässer. Ammonpersulfatlösung).

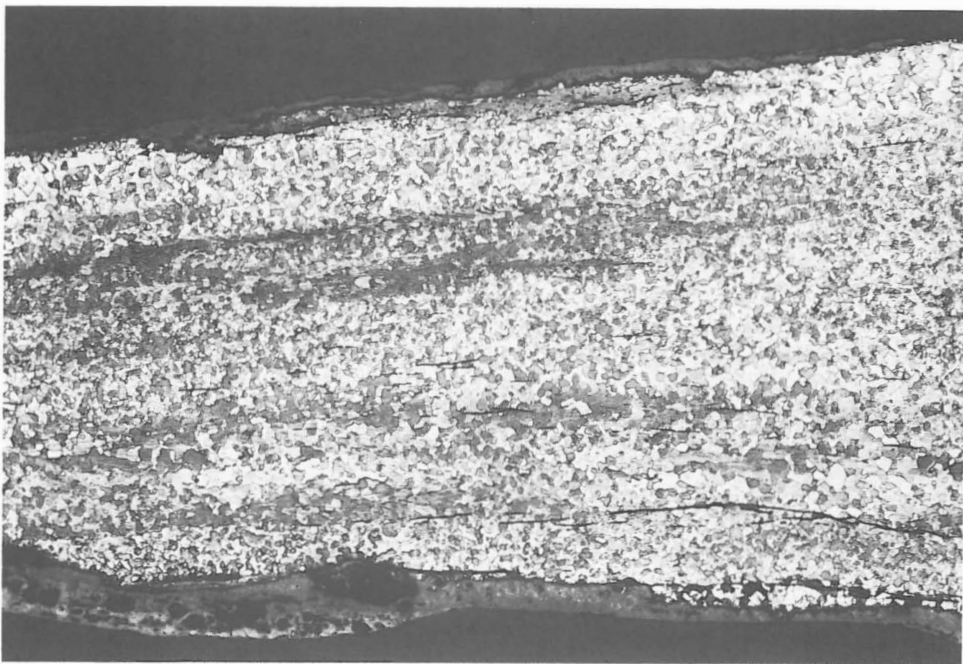


Abb. 7 Gefüge über dem Querschliff von Klammer B. (M. 40:1; Ätzung: wässer. Ammonpersulfatlösung).

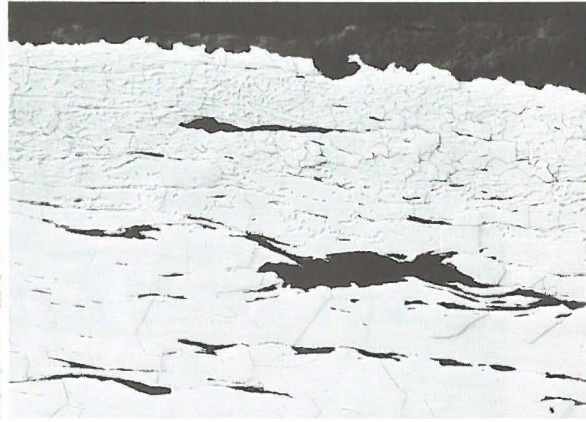
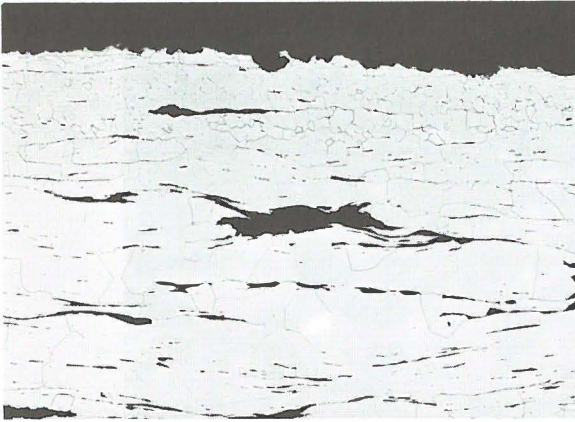


Abb. 8 (links) Ferritisches Rand- und Kerngefüge von Klammer A. (M. 70:1; Ätzung: 2% alkohol. HNO_3).

Abb. 9 (rechts) Die gleiche Stelle wie Abb. 8, Interferenz-Phasenkontrast. (M. 90:1).

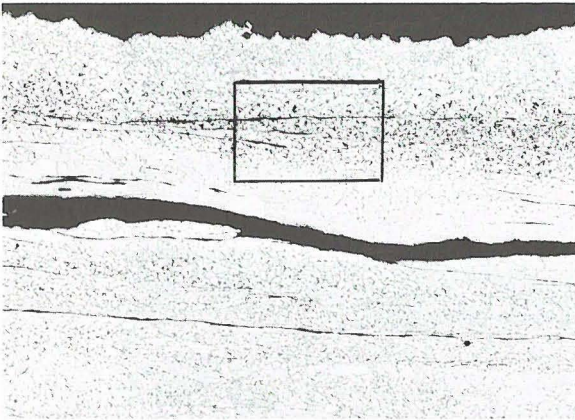


Abb. 10 (links) Feinkörnig ferritisch-perlitisches Gefüge von Klammer B mit Schlacken-Zeilen und einer klaffenden Trennung. (M. 35:1; Ätzung: 2% alkohol. HNO_3).

Abb. 11 (rechts) Vergrößerter Ausschnitt aus Abb. 10, ferritisch-perlitisches Gefüge. (M. 140:1).

zementit an den Korngrenzen, Abb. 16 ein Gefüge mit etwas feinerem Ferrit und deutlichen Perlitausscheidungen. Auch diese unterschiedliche Gefügeausbildung deutet wieder darauf hin, daß anscheinend kleine Luppen oder Eisenabfälle mit unterschiedlicher Zusammensetzung zusammengeschweißt worden sind, und die Arbeitsbedingungen beim Schmieden stark variierten.

Härtemessungen:

Zur Ermittlung der Härte bzw. der Festigkeit der Kalfatklammern wurden Feinhärtemessungen nach Vickers an verschiedenen Stellen der Schlißflächen durchgeführt. Das Ergebnis ist in der Zahlentafel wiedergegeben.

Die Einzelwerte der drei Klammern zeigen sowohl für jede Klammer in sich als auch der Klammern untereinander starke Streuungen. Diese hängen teils mit dem unterschiedlichen Gefüge der verschiedenen Luppenbereiche- unterschiedliche Korngröße und C-Gehalte – teils mit unterschiedlichen Verschmiedungsgraden und Verschmiedungstemperaturen und dabei aufge-

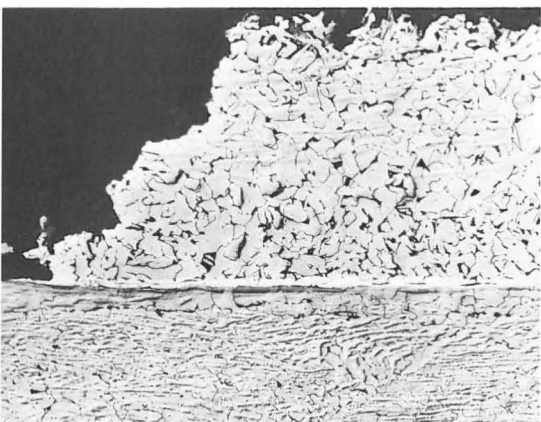


Abb. 12 (links) Randpartie von Klammer B mit tiefer Korrosionsgrube, die nur bis zu einer Schweißnaht F reicht. Im unteren Teil Kristallseigerungen. Interferenz-Phasenkontrast. (M. 90:1; Ätzung: 2 % alkohol. HNO_3).

Abb. 13 (rechts) Zwei gefügemäßig stark unterschiedliche Luppenteile mit ferritisch-perlitischer Struktur, verbunden durch eine Schweißnaht F. (M. 140:1; Ätzung: 2 % alkohol. HNO_3). F: Schweißfuge.

tretenen Kaltverfestigungen zusammen und beweisen dadurch, daß einerseits kein einheitlicher Werkstoff wie etwa bei modernen Flußstählen vorliegt, andererseits aber auch keine Schmiedung bei eindeutigen und einheitlichen Verhältnissen. Bei den stark nach oben abweichenden Werten können im Untergrund der Meßstellen u. U. auch Schlackeneinschlüsse vorhanden gewesen sein. Übrigens zeigt auch der von H. Ladeburg untersuchte Nagel der Kogge ähnliche, stark streuende Härtewerte.

Vickershärte HV in kp/mm^2

Klammer:

A	B	C
185	125	222
197	140	154
182	153	176
190	143	164
185	136	137
201	138	133
219		190
153		209
		196
		203
189	139	178
64	47	60

Die aus den Härtewerten errechneten mittleren Zugfestigkeiten in kp/mm^2 sind in der unteren Zeile der Zahlentafel wiedergegeben. Sie zeigen, daß ganz allgemein die Werte höher liegen, als bei einem normalen Baustahl mit dem niedrigen Kohlenstoffgehalt, wie er bei den untersuchten Klammern gefügemäßig vorliegt.

Die Klammern als auch die Nägel sind also, wie bereits aus der Gefügeuntersuchung geschlossen wurde, nicht einheitlich bei gleichmäßigen, hohen Temperaturen geschmiedet und auch nach der Schmiedung keiner Nachbehandlung unterzogen worden. Die Schmiedung erfolgte



Abb. 14 (links) Gefüge unterschiedlicher Korngröße bei Klammer C mit Schlackeneinschlüssen. (M. 70:1); Ätzung: 2 % alkohol. HNO_3 .



Abb. 15 (rechts) Grobkörniger Ferrit mit Tertiärzementit bei den Korngrenzen bei Klammer C. (M. 370:1); Ätzung: 2 % alkohol. HNO_3 .

vielmehr ganz unterschiedlich ohne Einhaltung besonderer Maßnahmen, was für die mittelalterliche Schmiedetechnik nicht verwunderlich sein dürfte.

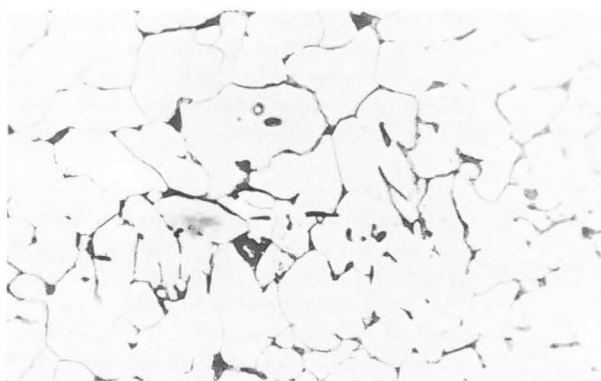
Chemische Untersuchung:

Die chemische Untersuchung der Klammern wurde teils nach dem Röntgen-Fluoreszenzverfahren (RFA), teils nach den klassischen Verfahren (Naßanalyse, Verbrennungsanalyse) durchgeführt. Ganz allgemein gilt dabei, daß bei der quantitativen Flächenanalyse nach RFA die Elemente integrierend im Metall und in der Schlacke erfaßt werden. Die nach dem klassischen Verfahren ermittelten Elemente C, P und S liegen ebenfalls in summarischer Erfassung vor, da bei den angewandten Verfahren eine vorherige Abtrennung der Schlacken nicht möglich war. Das Ergebnis der Analysen ist in der folgenden Zahlentafel wiedergegeben:

Klammer:		A	B	C
C	%:	(0.17/.20)	(0.20/.33)	(0.45/.55)
Si	%:	0.3	0.5	0.09
Mn	%:	0.05	0.04	0.02
P	%:	0.735	0.250	0.286
S	%:	0.021	0.006	—
Cr	%:	0.12	0.12	0.024
Mo	%:	0.22	0.24	0.2
Ni	%:	0.27	0.15	n.n.
Cu	%:	0.10	0.19	0.17
V	%:	0.24	0.05	—

Bei den in verschiedenen Laboratorien durchgeführten Analysen der Klammern fällt der hohe Gehalt der unter dem Strich aufgeführten Begleitelemente auf, die an sich in einem mittelalterlichen Renneisen in dieser Höhe nicht zu erwarten sind. Nach Angaben im Schrifttum überschreiten die Werte für diese Elemente – falls sie in anderen Fällen überhaupt ermittelt wurden, was selten der Fall ist – nicht 0.1 %^{3,4}. Es folgt somit, daß in dem Eisen der Klammern sonst in mittelalterlichem Renneisen fehlende oder nur in Spuren vorhandene Begleitelemente in nennenswerter Höhe vorhanden sind. Dieser Punkt dürfte hinsichtlich der Herkunft des Eisens für die Kalfatklammern der Bremer Kogge von besonderem Interesse sein.

Abb. 16 *Ferritisch-perlitisches Gefüge der Klammer C. (M. 370:1; Ätzung: 2 % alkohol. HNO₃).*



Ergänzend wurde noch eine Untersuchung der Probe C mittels Mikrosonde nach dem Verfahren der Elektronen-Mikroanalytik durchgeführt, um nachzuprüfen, ob sich diese Begleitelemente im Metall oder in der Schlacke befinden. Hierbei wurde festgestellt, daß Chrom und Molybdän im Wesentlichen im Metall vorliegen, also bei dem Rennverfahren aus dem Erz reduziert wurden, was besonders hinsichtlich des Chroms auffallend ist, das Vanadin sich jedoch in der Schlacke befindet.

Beurteilung der Zusammensetzung und Fragen zur Herkunft des Renneisens:

Aus den Analysenergebnissen der drei untersuchten Kalfatklammern sind im Einzelnen folgende Hinweise auf die Art und die Herkunft des Renneisens zu ziehen:

Kohlenstoff, C: Die ermittelten Werte sind nicht eindeutig und stimmen nicht mit den aus dem Gefüge erkennbaren C-Gehalten überein. In der Probe A konnten metallographisch nur minimale C-Mengen als Cementit bzw. als Perlit nachgewiesen werden, die Proben B und C enthalten zwar Cementit (Fe_3C) bzw. Perlit, jedoch ist die im Gefüge erkennbare Menge weit aus geringer, als sie bei der chemischen Analyse festgestellt wurde. Es ist daher anzunehmen, daß ein nennenswerter Anteil des analytisch ermittelten C-Gehaltes nicht im Eisen gebunden vorliegt, sondern aus sekundären Verunreinigungen stammt. Diese können bei den Proben A und B von der Entrostung und der Rostschutznachbehandlung herrühren, bei der Probe C aus noch anhängenden Resten des Wesserschlammes stammen. Die ermittelten C-Gehalte können somit zur Beurteilung des Eisens der Klammern nicht herangezogen werden, obwohl gerade der C-Gehalt hierfür einen wichtigen Faktor darstellt.

Silicium, Si, und Mangan, Mn: Beide Elemente sind für die Beurteilung von frühgeschichtlichem und mittelalterlichem Renneisen von geringem Interesse. Die Bedingungen des Rennverfahrens reichen nicht aus, die als Oxide im Erz vorhandenen Elemente zu reduzieren, sie sind daher im Wesentlichen als Bestandteile der eingeschlossenen Schlacke anzusehen.

Phosphor, P: Dieser wurde, besonders bei Probe A, in beträchtlichen Mengen nachgewiesen. Die im Schrifttum mitgeteilten Werte von Analysen anderer Renneisenproben liegen zu meist wesentlich niedriger. R. Thomsen⁴ schreibt in seinem Bericht „Metallographische Untersuchungen an wikingerzeitlichen Eisenbarren von Haithabu“, dessen Ausführungen auch noch für das nur wenige Jahrhunderte jüngere Eisen der Bremer Kogge maßgebend sein dürften, denn in der Zwischenzeit haben sich die Verhüttungs- und Verarbeitungsverfahren kaum geändert: „Vom archäologischen Standpunkt aus braucht man sich vorläufig nur für den Gehalt an Phosphor und Kohlenstoff zu interessieren. Raseneisenerz, das bei der Herstellung von Eisen in Norddeutschland und Skandinavien verwandt worden war, hat einen hohen Phosphorgehalt, daher wird das aus ihm hergestellte Eisen ebenfalls einen hohen Phosphorgehalt haben. Rekonstruktionsversuche in einem Ofen des Typs, der unter dem Namen Scharmbeck-Ofen bekannt ist, zeigen, daß man aus Raseneisenerz mit 1.3 % Phosphorgehalt Eisen mit 0.7 % Phosphorge-

halt gewinnt. Für den Phosphorgehalt im Eisen aus Raseneisenerz und dem im Eisen aus Bergerz sind keine klaren Unterschiede anzugeben. Sicher ist jedoch, daß Eisen mit weniger als 0.1 % Phosphor nicht aus Raseneisenerz gewonnen sein kann⁴.

Auf Grund dieser Angaben und dem weitaus höher als 0.1 % ermittelten P-Gehalten könnte es sich bei den Klammern der Bremer Kogge um ein Renneisen aus Raseneisenerz handeln.

Begleitelemente (Cr, Mo, Ni, Cu und V): Dem entgegen stehen jedoch die relativ hohen Gehalte an den Begleitelementen, besonders Cr, Mo und Ni. Sie stammen zweifellos aus dem verhütteten Erz, sind in der vorliegenden Höhe jedoch für ein Raseneisenerz unwahrscheinlich. Eindeutige Aussagen hierzu sind allerdings nicht möglich; mündliche Aussagen von Fachleuten widersprechen einander. Genaue Analysen von norddeutschen Raseneisenerzen liegen nicht vor⁵. Bei den zahlreichen Analysenangaben von Raseneisenerzen im sonstigen Schrifttum beschränkt man sich ganz allgemein fast immer nur auf die Angabe der Gehalte an Eisen, Mangan, Silicium und Phosphor bzw. deren Oxide; auf Bestandteile wie die oben aufgeführten Begleitelemente der untersuchten Kalfatklammern ist wohl nie oder nur ganz selten untersucht worden. Auch bei der röntgenfluoreszenzanalytischen Untersuchung eines Nagels der Kogge fand H. Ladeburg¹ „neben dem Hauptbestandteil Eisen die üblichen Verunreinigungen von Chrom, Nickel, Mangan, Kobalt und Molybdän“, ohne jedoch die gefundenen Werte anzugeben. Ferner wurde von ihm Arsen in Mengen von 0.5 % in der Oberfläche und von 0.3 % im Kernwerkstoff festgestellt, einem Element, das nicht als übliche Stahlverunreinigung anzusehen ist. Für die Beurteilung der Herkunft des Eisens wäre die Kenntnis der Begleitelemente und deren Menge u. U. ganz allgemein jedoch von Interesse. In den Analysenangaben frühgeschichtlicher Stähle überschreiten die Gehalte an den genannten Begleitelementen – falls sie überhaupt ermittelt wurden – nie die 0.1 %-Grenze³.

Einen negativen Hinweis bezüglich der möglichen Herkunft des Eisens der Kalfatklammern etwa aus der benachbarten Lüneburger Heide gibt die Analyse einer mittelalterlichen Rennofenschlacke von Hiddingen, Kr. Rotenburg/Wümme, einem Gebiet, das für die Herkunft des Eisens der Bremer Kogge zeitlich durchaus in Frage kommen könnte⁶. Bei der Untersuchung von Schlacken dieses Ofens wurden keine der hier infragekommenden Begleitelemente gefunden⁷. Es ist danach unwahrscheinlich, daß die Kalfatklammern der Bremer Kogge aus Renneisen, das aus Raseneisenerz aus dem mittelalterlichen Bremen benachbarten Gebieten hergestellt wurde, angefertigt worden sind.

Zusammenfassung:

Die Kalfatklammern der Bremer Kogge bestehen aus mittelalterlichem Renneisen und sind augenscheinlich nicht aus vorgeschmiedeten Stangen, sondern einzeln aus kleinen, miteinander verschweißten Rohluppen oder kleinen Abfallstücken anderer Schmiedungen hergestellt worden. Wenn dabei Partien zu groß gerieten, wurden sie bei hoher Temperatur abgemeißelt. Die Schmiedung erfolgte jeweils bei unterschiedlichen Temperaturen, wodurch in den einzelnen Klammern stark voneinander abweichende Gefügeausbildungen und Härten bzw. Festigkeiten auftraten und auch die Klammern untereinander unterschiedlich sind. Den Schmieden des Mittelalters fehlte noch die Erfahrung hinsichtlich der Bedeutung der Schmiedetemperatur in gewissen Grenzen und des Werkstoffverhaltens beim Schmieden. Die Untersuchung der Kalfatklammern wirft jedoch ein interessantes Licht auf die handwerkliche Arbeitsweise der mittelalterlichen Bremer Werftschmiede, die noch viel zu wenig bekannt ist.

Die Frage nach der Herkunft des bei dem Bau der Bremer Kogge verwendeten Renneisens kann z. Z. noch nicht beantwortet werden. Wohl könnte der hohe Phosphorgehalt auf ein aus Raseneisenerz hergestelltes Renneisen hinweisen, jedoch lassen die gleichfalls ermittelten hohen Gehalte an Begleitelementen (Chrom, Molybdän, Nickel, Kupfer und z. T. auch Vanadin) dies fraglich erscheinen. Wahrscheinlich ist das Eisen aus einem Bergerz unbekannter Herkunft hergestellt worden. Die Verwendung eines solchen Renneisens läßt aber auf weitgestreckte Han-

delsbeziehungen der Bremer Kaufleute schließen, in deren Auftrag wahrscheinlich die Kogge erbaut worden ist. Es ist zu beachten, daß unter den Handelsgütern der Hanse das Eisen eine große Rolle spielte.

Die Kalfatklammer ist ein in sehr großen Quantitäten benötigtes Spezial-Bauteil von Hanse-Koggen. Ihre Herstellung an einem anderen Ort als dem Schiffbauplatz ist deshalb sehr unwahrscheinlich. Eher wird man neben dem Sammeln kleiner Eisenabfälle an umfangreicheren Handel mit Rohluppen auch von geringen Größen (in Fässern) rechnen müssen.

Anmerkungen:

Die Analysen, Schliffe und Fotos wurden teils in der Werkstoffabteilung des „Allianz-Zentrums für Technik“ (AZT), Ismaning bei München, Leitung Dr.-Ing. P. H. Effertz, teils im „Institut für Härterei-Technik, Bremen-Lesum“, Leitung Prof. Dr.-Ing. Otto Schaaber, durchgeführt. Für die Durchführung dieser Arbeiten und die dadurch ermöglichte Klärung der Herstellungsart und des Werkstoffes der Klammern möchte ich den beiden Instituten und ihren leitenden Herren bestens danken.

1 Horst Ladeburg, Untersuchung und Konservierung der Eisenteile der Bremer Kogge, in: Die Bremer Hanse-Kogge (= Monographien der Wittheit zu Bremen, Band 8), Bremen 1969, S. 157–168.

2 a.a.O., Abb. 9.

3 R. Pusch, Metallkundliche Aussagen an alten Eisenfunden, in: Verein Deutscher Eisenhüttenleute, Fachausschußbericht 9.003, Düsseldorf 1974

4 R. Thomsen, F. K. Naumann, R. Pleiner, Untersuchungen zur Technologie des Eisens, in: Berichte über Ausgrabungen in Haithabu 5, Neumünster 1971.

5 Dr. K.-H. Sindowski, Landesamt für Bodenforschung, Hannover, persönlicher Schriftwechsel.

6 R. Dehnke, Ein mittelalterlicher Rennofen von Hiddingen, Kr. Rotenburg/Wümme, in: Nachrichten aus Niedersachsens Urgeschichte 36, 1967, S. 153–156.

7 Unveröffentlichte Untersuchungen des Verfassers an frühgeschichtlichen und mittelalterlichen Rennfeuerschlacken aus der Lüneburger Heide.