

Anlage  
MPA Brandenburg - Abteilung 1

08.02.2001

**Betrachtung der MPA-Untersuchungsberichte**

Nr.: 1.3/00/3864 und

Nr.: 1.1/00/3869

**Im Vergleich zum BAM-Gutachten, BAM-V.3/187**

**Anlaß:**

Die Ergebnisse und Schlußfolgerungen aus dem Gutachten der BAM „Werkstoffuntersuchungen an Vergleichsblechen und Prüfstücken aus Schiffbaustahl“, BAM-V.3/187 vom 19.01.2001 unterscheiden sich in der Gesamteinschätzung signifikant von denen des MPA.

Im Folgenden werden die Ergebnisse des MPA noch einmal in detaillierter Form begründet und auszugsweise mit denen aus dem Gutachten der BAM in Form von Anmerkungen und Fragen verglichen und ein Vorschlag zur Validierung der Ergebnisse vorgestellt.

**Ergebnisse aus dem BAM-Gutachten:**

1. Auszug aus der Kurzfassung des Gutachtens der BAM:

„Fragestellung: Sind an den Prüfstücken Hinweise auf eine Sprengstoffdetonation zu finden?“

„An den beiden untersuchten Prüfstücken wurden Hinweise auf eine Sprengstoffdetonation nicht gefunden; die o.g. Fragestellung des Auftraggebers ist mit nein zu beantworten.“

2. Auszug aus dem Gliederungspunkt 8 - Zusammenfassung:

„Somit sind die in dem Prüfstück „Frontschott“ gefundenen **Verformungszwillinge** durch eine **Strahlbehandlung** der Bleche beim Bau des Schiffes 1979/80 entstanden. Die in dem Prüfstück „Frontschott“ gefundene Verteilung von Verformungszwillingen, Bild 88, stimmt nicht mit der bei Detonation gefundenen Verteilung, Bild 87, überein.“

3. Auszug aus dem Gliederungspunkt 8 - Zusammenfassung:

„Alle Härtewerte dieser Messungen liegen zwischen etwa 150 HV0,3 und 270 HV 0,3 und sind in jeder Hinsicht für den untersuchten Stahl, sowohl im unverformten, als auch im plastisch verformten Zustand typisch. Auf eine Detonation kann deshalb anhand dieser Härtewerte nicht geschlossen werden.“

**Ergebnisse aus den o.g. MPA-Untersuchungsberichten:**

Dem entgegen stehen die Ergebnisse und Schlußfolgerungen aus den o.g. MPA-Untersuchungsberichten.

**Aufgabenstellung des Auftraggebers:**

„Untersuchungen an einem handtellergroßen Teilstück des Steuerbordfrontschottes des Fahrschiffes „Estonia“ zum Nachweis durch Detonation verursachter Gefügeveränderungen“

# 1. Auszug aus der Zusammenfassung des 1. Berichtes:

"Für diese Härtesteigerungen sowie für die ermittelten Gefügeveränderungen ist eine detonative Beeinflussung wahrscheinlich."

# 2. Auszug aus der Zusammenfassung des 2. Berichtes:

"Die in der Untersuchung festgestellten Merkmale, die für eine detonative Wirkung charakteristisch sind, lassen die Folgerung zu, dass die Verformungsgeschwindigkeit im Material ebenfalls im detonativen Bereich gelegen haben muß."

## Ergebnisbegründung:

Diese Ergebnisse bzw. deren Wertung sollen im folgenden noch einmal detailliert begründet werden:

Die wesentlichen Merkmale für eine detonative Einwirkung bzw. durch Schockwellen verursachte Verformung an unlegierten Stählen sind in der Fachwelt zwar in den Grundsätzen unstrittig, aber eindeutig nur für ausgewählte Bedingungen und Werkstoffe belegt. Bei detonativer Einwirkung können folgende Merkmale gefunden werden:

1. Auftreten von Scherlokalisierung im Zusammenhang mit einer sägezahnartigen Bruchkante. Bei starker Scherlokalisierung in einem Scherband kann diese mit einer Martensitumwandlung einhergehen, dann auch als adiabatische Scherbänder bezeichnet. Dabei werden Dehngeschwindigkeiten von  $10^3$  bis  $10^5$  /s vorausgesetzt, die eindeutig auf eine detonative Einwirkung schließen lassen.
2. Veränderung bzw. Zerstörung der Zementitlamellen im Perlit (Fragmentierung)
3. Verformungszwillinge (Neumann'sche Bänder, deformation twinning, Gleitebenen)
4. deutliche Härtesteigerung in den stark verformten Bereichen als Nachweis einer Schockeinwirkung

Es ist zu beachten, dass die Art und der Umfang der charakteristischen Merkmale wesentlich von der detonativen Einwirkung selbst, verschiedenen Randbedingungen sowie vom eingesetzten Werkstoff abhängen. Sie lassen sich bis ins Detail im Voraus nur schwer oder gar nicht eindeutig vorhersagen.

Für die dem MPA zur Verfügung gestandenen Untersuchungsmöglichkeiten und -umfänge bedeutet dies folgendes:

## zu 1. Scherlokalisierung (u.a. sägezahnartige Bruchkanten)

Berichts-Nr.	Probenbezeichnung	z.B. dokumentiert in	Merkmale
1.3/00/3664	G 022	Bilder 26,27,28	sehr deutlich
1.1/00/3669	7 G 032	Bilder 20, 21	sehr deutlich



Scherlokalisierungen wurden mit Hilfe metallographischer Untersuchungen an den o.g. Proben festgestellt. Anzeichen von sogenannten Hochdruckmartensit können metallographisch nicht nachgewiesen werden.

Ausgeprägte Scherbänder, die sich über den gesamten Probenquerschnitt erstrecken, wurden an den untersuchten Proben nicht gefunden.

#### zu 2. Fragmentierung von Zementitlamellen

Berichts-Nr.	Probenbezeichnung	z.B. dokumentiert in	Merkmale
1.3/00/3664	G 022	Bilder 3 bis 7 (REM) Bilder 31,32	sehr deutlich sehr deutlich
1.1/00/3669	4 G 011, 4 G 012 5 G 021, 5 G 022	Bilder 9, 11 Bilder 13, 16	deutlich sehr deutlich

Fragmentierungen von Zementitlamellen konnten in starker Ausprägung an unterschiedlichen Bereichen besonders der jetzigen Bruchkante nachgewiesen werden.

#### zu 3 Verformungszwillinge

Berichts-Nr.	Probenbezeichnung	z.B. dokumentiert in	Merkmale
1.3/00/3664	G 022	Bild 27	deutlich
1.1/00/3669	5 G 021, 5 G 022 7 G 032	Bilder 15,16,17 Bild 22	sehr deutlich deutlich

Verformungszwillinge waren zu finden; in den Proben 5 G 021, 5 G 022, 7 G 032 sehr deutlich bzw. deutlich im mittleren Bereich der Blechdicke.

#### zu 4. Härtesteigerung

Berichts-Nr.	Probenbezeichnung	z.B. dokumentiert in	Merkmale
1.3/00/3664	G 022	Tabelle 6	sehr deutlich
1.1/00/3669	7 G 032 8 G 042	Tabelle 4 Tabelle 5	sehr deutlich sehr deutlich

Die gemessenen Härtesteigerung bezieht sich auf die jetzige Bruchkante und einen Bereich bis zu 7,5 mm in Richtung Blech- bzw. Probenmitte. Die so ermittelte Härtesteigerung bewegt sich zwischen 140 und 150 HV 0,05.

**Schlußfolgerungen aus den Ergebnissen der MPA-Untersuchungen:**

**Wesentliche Merkmale einer detonativen Einwirkung** wie Verformungszwillinge und deutliche Härtesteigerung sind nach Auffassung des MPA an dem zur Untersuchung übergebenen Teilstück durch die gefundenen Ergebnisse hinreichend bzw. in Ansätzen nachgewiesen. Zumindest belegen die gefundenen Merkmale, dass eine Schockeinwirkung an den vom MPA untersuchten Bereichen des Teilstückes nicht ausgeschlossen werden kann.

Die Untersuchungsergebnisse beziehen sich auf die jetzigen Bruchkantenbereiche und nicht auf Oberflächen, die eventuell durch Vorbehandlungen (Strahlbehandlung) so verändert wurden, dass Einzelmerkmale wie Verformungszwillinge nicht auszuschließen sind.

Im übrigen sind die Originaloberflächenbereiche sowie die Originalbruchkanten durch abgeplatzte Korrosionsprodukte kaum mehr nachweisbar bzw. weitestgehend stark verändert, so dass Merkmale von Strahlbehandlung zum größten Teil der Abrostung zum Opfer gefallen sein dürften. Die Bruchkante ist durchgängig stark korrodiert.

**Ergebnisse der anderen vom Auftraggeber beauftragten Institute:**

Zusätzlich und unabhängig zum MPA wurden vom Auftraggeber zwei weitere Institute mit Untersuchungen beauftragt.

Die Untersuchungsberichte wurden uns freundlicherweise vom Auftraggeber nach Beendigung und Übergabe unserer Untersuchungen zur Verfügung gestellt.

Ohne auf Einzelheiten allzu sehr einzugehen, bestätigen bzw. unterstützen die Untersuchungsergebnisse vom Southwest Research Institute, San Antonio in Texas und dem Institut für Materialprüfung und Werkstoffmechanik Dr. Dölling + Dr. Neubert GmbH, Clausthal-Zellerfeld die vom MPA gemachten Aussagen, indem

- im mittleren Bereich des Teilstückes "deformation twinnings" (Verformungszwillinge) nachgewiesen werden konnten (siehe Figure 9 des Final Report, Project No. 18.04042.01.109 vom 26.01.2001 vom Southwest Research Institute), deren Entstehung durch detonative Einwirkung nicht auszuschließen ist.

- und durch röntgenographischen Nachweis von Martensit hinreichend belegt wird, dass im vorliegenden Fall auf eine Dehngeschwindigkeit von  $10^3$  bis  $10^5$  /s geschlossen werden kann. Das entspricht Dehngeschwindigkeiten, die nur durch Spreng- und Beschußversuche realisiert werden können.

Die Untersuchungsergebnisse aller drei Institute lassen überzeugend darauf schließen, dass eine detonative Einwirkung auf das untersuchte Teilstück sehr wahrscheinlich ist und nicht eindeutig ausgeschlossen werden kann.

Das MPA sieht deshalb keine Veranlassung von den bisher gefundenen und interpretierten Ergebnissen abzugehen.



## Anmerkungen bzw. Fragen zu den Ergebnissen aus dem BAM-Gutachten

1. Nach unserer Meinung kann nur sehr eingeschränkt davon ausgegangen werden, dass alle charakteristischen Merkmale der Vergleichssprengungen bilderbuchgleich im Maßstab von 1:1 auf das zu untersuchende Teilstück übertragbar bzw. mit diesen vergleichbar sind.

### Begründung:

- Sind Sprengversuche gegen Wasserdruck (Luft/Stahl/Wasser) erfolgt?
- Wurde bei den Vergleichssprengungen der BAM berücksichtigt, dass das 55 Tonnen schwere Bugvisier sich noch direkt vor dem betreffenden Teil des Frontschottes befand?

Es kann ja nicht ausgeschlossen werden, dass die vermutliche Detonation gegen Wasserdruck erfolgte und nicht gegen Luftdruck. Zumindest sprechen dafür die Aussagen der Werft und die noch vorhandenen Farbreste an dem Teilstück. Weiterhin sind ja auch Art, Umfang, Lage und Umstände einer vorausgesetzten detonativen Einwirkung am Teilstück unbekannt und demzufolge bei zu ziehenden Schlussfolgerungen zu berücksichtigen.

- Inwieweit können die Sprengversuche der BAM an den Vergleichsblechen der Meyer Werft überhaupt als Vergleich dienen, da nachweislich der Mängengehalt (wichtiges Legierungselement) im Teilstück (Prüfstück) und in den Vergleichsblechen erheblich (um ca. 100 %) abweicht?

2. Auch stellen sich Zweifel ein, inwieweit die doch sicherlich nach 6 Jahren Unterwassereinwirkung nicht zu vernachlässigenden korrosiven Einwirkungen an den Bruchkanten und Oberflächen bei der Ergebnisbewertung berücksichtigt wurden. Die bei den Proben G 932, G 421, G 912, G 431, G 432 (alle vormals vom MPA als metallographischer Schliff präpariert und untersucht) durch die BAM gefundenen **Verformungszwillinge** im oberflächennahen Bereich, werden im Gutachten der BAM als Ergebnis einer zur Entrostung der Schiffbaubleche vor dem Einbau durchgeführten Strahlbehandlung angesehen. Dabei stellt sich die Frage, inwieweit an diesen genannten Probenoberflächen überhaupt noch **annähernd Originaloberflächenbereiche** vorhanden sind? Wenn ja, an welchen Stellen? Dies trifft gleichfalls für die BAM-Probe F2 zu. Ist es nicht wahrscheinlicher, dass der durch Strahlbehandlung bis max. 0,5 mm von der Oberfläche beeinträchtigte Teil bereits abgerostet ist?

Der korrosive Zustand des gesamten Teilstückes mit seinen teilweise großflächigen **Abrostungen** ist im MPA-Bericht 1.3/00/3664, Bilder 1 bis 6, sehr überzeugend nachgewiesen. Danach können sich lediglich an den Oberflächen der Proben G 411 und G 412 sowie an Teilen von F3-1 noch Farbreste bzw. Originaloberflächen befinden.

Darüber hinaus stellt sich die Frage, wie können durch Strahlbehandlung verursachte **Verformungszwillinge** in der Nähe von Bruchkanten entstehen, die gar nicht einer Strahlbehandlung ausgesetzt gewesen sein können, z.B. bei G 912 (MPA-Bezeichnung 4 G 012), Bild 10?

3. Warum werden im BAM-Gutachten, Tabelle 14 der Ergebnisdarstellung der metallographischen Untersuchungen, die MPA-Proben G 921 und G 922 (MPA-Bezeichnung 5 G 021, 5 G 022) nicht aufgeführt?

Gerade an diesen Proben wurden vom MPA sehr eindeutig **Verformungszwillinge** festgestellt und zwar in der Probenmitte (**Blechmitte**) und nicht im oberflächennahen Bereich. Da der BAM dieses Ergebnis bekannt war und in Form des MPA-Untersuchungsberichtes vorlag, ist es unverständlich, dass diesem wichtigen Befund keinerlei Beachtung beigemessen wurde. Im BAM-Bericht wird behauptet, dass in der Blechmitte keine Verformungszwillinge und somit auch keine Hinweise auf eine Sprengstoffdetonation gefunden wurden.

4. Die von der BAM für die Probe G 422 (auch als F 10 bezeichnet) gemessene Härte beträgt maximal 270 HV0,3 in der Nähe der jetzigen Bruchkante. Im Vergleich zur Härte im unverformten Grundwerkstoff, die mit ca. 150 HV0,3 angegeben wird, beträgt die Härtesteigerung ca. 120 HV0,3.

Bei den Vergleichssprängungen wurden z.B. für die Probe SV 26-01-1 ca. 220 HV0,3 für die Bruchkante und 20 mm davon entfernt 170 HV0,3 gemessen, das entspricht einer Härtesteigerung zum Ausgangszustand von 70 HV0,3. Für die Probe SV 21-01 aus dem Beschußversuch wurden 250 HV0,3 für die Bruchkante und 180 HV0,3 für den leicht verformten Grundwerkstoff gemessen.

Mit welcher Begründung ist die an der Probe G 422 gemessene Härtesteigerung kein Anzeichen für eine detonative Einwirkung?

#### **Vorschlag zur Validierung der Ergebnisse**

1. Untersuchung weiterer Probenstücke aus den vermutlich durch Detonation zerstörten Bereichen der „Estonia“.
2. Vergleichsuntersuchungen an durch Detonation zerstörten Schiffbaublechen mit vergleichbarer chemischen Zusammensetzung wie die für die „Estonia“ verwendeten, unter Beachtung aller bekannten Randbedingungen, z.B. Sprengung gegen Wasserdruck.