

# Über angetriebene Panzerbomben

Von Heinrich Klein

Zur Betrachtung der angetriebenen Panzerbomben wird es nützlich sein, einen kurzen Abriss der verschiedenen Abwurfmunition für die Bekämpfung von Panzer- und Betonzielen zu geben, um die Konstruktionsgrundlagen zu erkennen, die zu diesen Sonderbomben geführt haben. Wir unterscheiden zwei Angriffsarten: den Angriff aus dem Sturzflug und den aus dem hochfliegenden Flugzeug. Für den Sturzflug ist eine Auslösehöhe der Bombe von 1000 bis 1200 m, bei dem Hochangriff eine Auslösehöhe größer als 3500 m vorausgesetzt. Die grundsätzliche Betrachtung ist zunächst auf eine Gewichtsklasse, in diesem Fall auf die der 500-kg-Bombe beschränkt, da sich die Gedankengänge ohne weiteres auf andere Klassen übertragen lassen.

Bei der gewöhnlichen Abwurfmunition unterscheiden wir im allgemeinen zwischen Minen-, Halbpanzer- und Panzerbomben für die Bekämpfung der verschiedenartigsten Ziele. Hierzu treten als Sonderbomben die Panzerbombe mit besonderem Antrieb und die Panzerbombe nach dem Ausstoßprinzip. Für die gewöhnliche Abwurfmunition und die soeben erwähnten Sonderbomben ergeben sich bei einem Bombengewicht von 500 kg Durchschlagsleistungen gegen Stahlpanzer und Eisenbeton, die aus Abbildung I zu ersehen sind. Berücksichtigt ist der Angriff aus dem Sturz- und Hochangriff. Aus dieser Darstellung ist zu ersehen, daß für ein gleichgewähltes Bombengewicht zur Erzielung größerer Durchschlagsleistungen das Hüllengewicht aus Festigkeitsgründen in gesetzmäßiger Weise auf Kosten der Sprengladung ansteigt. Die beiden Sonderbomben weichen natürlich wegen ihrer besonderen Konstruktion von dieser Gesetzmäßigkeit zwischen Hüllen- und Sprengstoffgewicht ab.

Die sich für Betonziele ergebende Eindringtiefe steht in einer gesetzmäßigen Beziehung zur Durchschlagsleistung bei einer Eisen- oder Stahlpanzerung.

Für die Durchschlagsleistungen unserer Panzerbomben ist zu einer wirksamen Bekämpfung von Schlachtschiffen gefordert worden, eine Panzerplatte in Stärke von 120 mm heil zu durchschlagen. Diese Panzer-

Type	SC	SD (PC)	PD	PC-RS	AP	
Sprengladung kg	240 (5,4%)	100 (20%)	32 (8,4%)	14,5 (2,5%)	10 (2%)	
Schaubild						
Durchschlagsleistung	Stahl (mm)	40	70	120	190	190
	Eisen (mm)	0,5	1,0	1,5	2,5	2,5
	Stahl (mm)	40	90	180	200	190
	Eisen (mm)	0,5	1,5	2,5	2,7	2,6

 Abb. 1  
 500-kg-Flugzeug-Bomben

platte entspricht in ihrer Widerstandsfähigkeit dem Panzerdeckaufbau der Nelsonklasse mit insgesamt 210 mm. Bei dem Vergleich der Durchschlagszahlen für Sturz- und Hochangriffe finden wir, daß mit einer normalen Panzerdurchschlagsbombe schon bei einer Abwurfhöhe von 3500 m und mehr die geforderte größte Durchschlagsleistung erreicht wird.

Bei der Halpanzerbombe ist die Haltbarkeitsgrenze bei dem Hochangriff bereits überschritten, wie sich aus der geringen Mehrleistung gegenüber dem Sturzangriff ergibt. Für die Minenbombe ist die Grenze bereits im Sturzangriff erreicht. Kehren wir zur normalen Durchschlagsbombe zurück und verwenden diese im Sturzangriff, so erzielt sie infolge der verminderten Auftreffwucht nur einen Panzerdurchschlag von 120 mm. Da nun der Angriff aus dem Sturzflug wegen der überlegenen Treffgenauigkeit bevorzugt ist, so gilt es, eine Panzerbombe zu konstruieren, die die für diese Angriffsart notwendige Durchschlagsleistung besitzt.

Die dieser Bombe fehlende Auftreffwucht muß durch besondere zusätzliche Maßnahmen erreicht werden. Hierzu gibt es zwei Möglichkeiten:

1. den Raketenantrieb,
2. das Ausstoßprinzip.

Für diese beiden Konstruktionsgedanken der zusätzlichen Bombenbeschleunigung ergibt sich bei gleichem Bombengewicht ein für den Panzerdurchschlag nicht verwertbares, also Ballastgewicht (Pulver bzw. Pulver und Ausstoßrohr). Das für den Durchschlag wirksame Bombengewicht verringert sich hierdurch erheblich, während gleichzeitig der Anteil des Hüllengewichts an dem verbleibenden Bombengewicht auf Kosten des Sprengstoffs zunimmt. Beide Einflüsse haben eine unverhältnismäßige Einbuße an Sprengstoffgewicht zur Folge. Während bei der Panzersprengbombe eine Sprengstoffmenge von 32 kg ins Ziel gebracht werden kann, verringert sich diese bei der Raketenbombe auf 14,5 kg und bei der Ausstoßbombe sogar auf nur 10 kg.

Bei dem Raketenantrieb wird durch das Ausströmen von Gasen nach hinten, die z. B. durch Verbrennen von Pulver erzeugt werden können, eine gegenläufige Bewegung des Druckgefäßes bzw. der mit diesem verbundenen Bombenmasse hervorgerufen, die nach dem Impulsatz um so kräftiger ist, je größer die austretende Gasmenge und ihre Austrittsgeschwindigkeit ist. Bei dem Ausstoßprinzip wird der Beschleunigungsvorgang eines Geschosses im Geschützrohr nachgeahmt. In diesem Sonderfall erhält die allerdings extrem leichte Ausstoßrohrmasse nahezu gleiche Geschwindigkeit wie die Geschoss- oder Bombenmasse.

Beide Konstruktionsgedanken sind verfolgt worden und erscheinen in gleicher Weise zur Erhöhung des Panzerdurchschlags geeignet. Indessen hat sich die Entwicklung zugunsten der als Rakete ausgebildeten Bombe verschoben, da dieses Antriebsprinzip, wie vorhin schon ausgeführt, bei gleichem Gesamtgewicht eine größere Sprengstoffmenge ins Ziel zu bringen gestattet und in seiner Anwendung auf die verschiedenartigste Sondermunition weiter als das Ausstoßprinzip reicht. Im folgenden wird deshalb auch nur auf die als Rakete ausgebildeten Bomben näher eingegangen werden.

Die Entwicklung des Raketenantriebs für Bomben und Geschosse hat sich auf einen Zeitraum von mehreren Jahren erstreckt. Ursprünglich ist man von dem Gedanken ausgegangen, in ihrer Entwicklung abgeschlossene Schwarzpulversätze zur Bombenbeschleunigung zu verwenden. Dem Schwarzpulversatz sind indessen aus Fertigungsgründen in der Bemessung sowohl nach Durchmesser wie Länge bestimmte Grenzen gesetzt. Zu Beginn der Entwicklung des Raketenantriebs für Panzerbomben standen Schwarzpulversätze mit einem Schub von 500 kg<sup>s</sup> zur Verfügung. Tatsächlich zeigen die ersten Konstruktionen gemäß Abbil-

dung 2 eine Anordnung von drei parallel zur Bombenlängsachse angeordneten Schwarzpulversätzen, die entweder mit Einzeldüsen oder einer Zentraldüse versehen werden können. Die ersten Erprobungen wurden mit einer Reihe solcher Versuchsgeräte vorgenommen; dabei traten allerdings eine Reihe von Bahnkreplern auf. Außerdem wurden starke Bahnabweichungen der Bomben bei gelungenen Abwürfen infolge unregelmäßigen Ab Brennens der einzelnen Sätze beobachtet.

Einzeldüsen



Zentraldüse

Abb. 2  
PC 20 RS

Da die Schwarzpulversätze wegen des geringen Heizwerts nur kleinere Schübe ergaben, kam bald der Gedanke, auf rauchschwache Pulver überzugehen und sie für den Raketenantrieb nutzbar zu machen. Die Entwicklung wurde mit kleinen Sätzen begonnen. Diese waren im Gegensatz zu der bis dahin bekannten Ausführung bei Schwarzpulver nicht in die Brennkammern eingepaßt, sondern lose eingesetzt. Es würde hierbei von dem Gedanken ausgegangen, die gesamte Pulveroberfläche von Hause aus für den Verbrennungsvorgang in der Brennkammer einzusetzen. Auf diese Weise war die Gefahr des Zerknallens vermieden, die bei eingepreßten Schwarzpulversätzen bestand, wenn die Flamme infolge Ausdehnung der Brennkammer durch den Innendruck zwischen Pulverkörper und Hülle schlug bzw. wenn der Pulversatz bei Einwirkung von Kälte durch die schrumpfende Kammer zerklüftet wurde. Gleichzeitig

ergab sich durch rohrförmige Ausbildung der Pulverkörper eine ungefähr gleichbleibende Pulveroberfläche während des Brennens, wodurch die Druck- und Schubdiagramme eine fast rechteckige Form erhielten. D. h. der Druck in der Brennkammer und damit die Beanspruchung derselben wurden während des Brennens fast konstant gehalten. Die Brennkammer brauchte somit wegen einer etwa auftretenden Druckspitze nicht überdimensioniert zu werden.

Bei den Vorversuchen ergab sich, daß unterhalb eines bestimmten Brennkammerdrucks eine einwandfreie Verbrennung ohne eine Druckregelung nicht zu erreichen ist. Diese Druckgrenze ist nach den inzwischen gesammelten Erfahrungen in starkem Maße von der Zusammensetzung des Pulvers, der Ladedichte und der Strömungsgeschwindigkeit der Gase abhängig. Die Bedeutung des Regelorgans liegt heute in der sicheren Beherrschung der Pulververbrennung bei stark unterschiedlichen Pulvertemperaturen. Außerdem besitzt es den großen Vorteil, Unregelmäßigkeiten bei der Verbrennung des Pulvers, die sich in kurzzeitigen Druckstößen äußern, auszugleichen.

Geringe Brennkammerdrücke ermöglichen eine leichte Bauweise des Antriebsaggregats, die im allgemeinen immer gefordert wird. Auch bei den als Rakete konstruierten Bomben konnte nur ein bestimmtes Gewicht für den Antrieb zugestanden werden, wenn das Ballast- oder Totgewicht nicht zu groß werden sollte. Im Laufe der Entwicklung konnte das Ballastgewicht bei gleichem Schub durch stärkere Herabsetzung des Brennkammerdrucks und einfachste konstruktive Formgebung mit Übergang zur Leichtbauweise um 50 % gesenkt werden.

Die in dieser Richtung angestellten theoretischen Überlegungen werden im folgenden wiedergegeben.

Es werde ein Druckgefäß vorausgesetzt, in dem sich Pulvergase mit dem Anfangszustand  $p_1$  für den Druck und  $\rho_1$  für die Dichte befinden, deren Zustandsänderung adiabatisch erfolgen soll. Der Exponent der adiabatischen Ausdehnung sei, wie üblich, mit  $\alpha$  angenommen. Diese Gase sollen durch Düsen ausströmen, die zur Erreichung einer großen Ausströmgeschwindigkeit die Form der Lavaldüse haben. Es ergibt sich dann die in jedem Querschnitt längs der Düsenachse erreichbare Ausströmgeschwindigkeit bei dem Expansionsdruck  $p$  nach der Gleichung

$$v^2 = 2g \frac{\alpha}{\alpha - 1} \cdot \frac{p_1}{\rho_1} \left[ 1 - \left( \frac{p}{p_1} \right)^{\frac{\alpha - 1}{\alpha}} \right]$$

Die Strömungsgeschwindigkeit der Gase erhält den größten Wert, wenn die Expansion bis auf den Druck  $p = 0$  mit der zugehörigen absoluten Temperatur  $0^\circ$  durchgeführt wird. Für diese Grenzgeschwindigkeit  $v_{gr}$  vereinfacht sich die Düsenformel zu

$$v_{gr} = \sqrt{2g \frac{\kappa}{\kappa - 1} \cdot \frac{p_1}{\rho_1}}$$

In der rechten Seite der Gleichung steckt der Energieinhalt

$$U = \frac{\kappa}{\kappa - 1} \cdot \frac{p_1}{\rho_1}$$

des Gases je Gewichtseinheit. Es läßt sich also auch schreiben:

$$v_{gr} = \sqrt{2g \cdot U}$$

Setzt man in dieser Formel  $U \approx 427 W$  = Wärmegehalt des Pulvers ein, so erhält man die der kalorimetrischen Bestimmung des Wärmeinhalts entsprechende Grenzgeschwindigkeit

$$v_{gr} \approx 2600 \text{ m/s,}$$

wobei zu berücksichtigen ist, daß die das Kalorimeter verlassenden Gase noch eine erhebliche Arbeitsfähigkeit besitzen.

In Abbildung 3 ist der thermische Wirkungsgrad (Energie des Gasstrahls bezogen auf die Gesamtenergie des Gases) in Abhängigkeit vom Brennkammerdruck aufgetragen, wobei die verschiedenen Enddrücke von 1, 2 und 3 at als Parameter eingezeichnet sind. Diese Kurven weisen im Bereich des Brennkammerdrucks bis zu 100 at eine starke Zunahme des thermischen Wirkungsgrads auf. Bei größeren Brennkammerdrücken streben sie asymptotisch dem Grenzwert 1 zu. Bei der Expansion auf 0 at ist der Wirkungsgrad von vornherein gleich 1, da für jeden Innendruck die Ausströmgeschwindigkeit gleich der entsprechenden Grenzgeschwindigkeit ist.

Bei der Gerätekonstruktion ist wegen der zulässigen Baulänge der Düsen an deren Ende mit einem Expansionsdruck von etwa 2 at zu rechnen, der für die Berechnung der Gasaustrittsgeschwindigkeit zugrunde gelegt werden muß.

Abbildung 4 gibt die errechneten Brennkammergewichte in Abhängigkeit von dem Brennkammerdruck für ein Schubgerät mit einem Schub von rund  $12000 \text{ kg} \cdot 5$  und einem Brennkammerdurchmesser von 40 cm wieder. Für die Errechnung des Brennkammergewichts sind verschie-

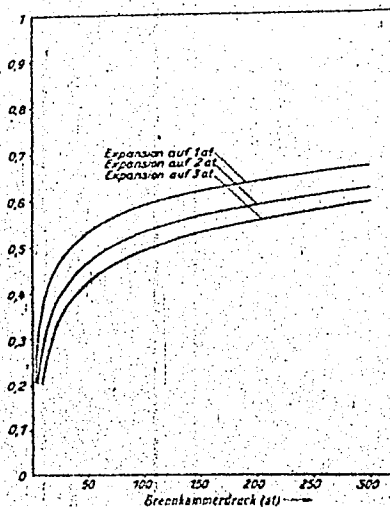


Abb. 3

Thermischer Wirkungsgrad als Funktion des Brennkammerdrucks

dene Werkstoffe zugrunde gelegt, die in der Festigkeit entsprechend gestaffelt sind. Für die Konstruktion des Schubgeräts ist durchweg das Material St 45.29 gewählt worden, dessen Gewichtskurve kräftig ausgezogen ist.

Die erreichbare Endgeschwindigkeit des Schubgeräts ergibt sich unter Zugrundelegung des Impulssatzes nach der Gleichung

$$v_s = v_L \cdot \ln \frac{G_s + L}{G_s} = v_L \cdot \ln \left( 1 + \frac{G_s}{L} \right).$$

Es bedeuten hierbei

$L$  = das Gewicht des Treibsatzes in kg,

$G_s$  = das Gewicht des Schubgeräts ohne Treibsatz in kg,

$v_L$  = die Ausströmgeschwindigkeit des Gases in m/s,

$v_s$  = die Geschwindigkeit des Schubgeräts nach Ausbrand der Treibladung.

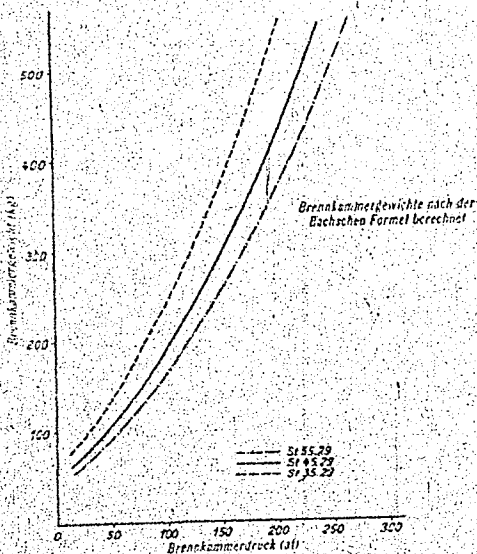


Abb. 4  
Brennkammergewicht als Funktion des Brennkammerdrucks

Diese auch bei Cranz angegebene Endgeschwindigkeit gilt für einen Raum ohne Luftwiderstand und Erdbeschleunigung. Diese Vernachlässigung darf bei der folgenden Energiebetrachtung der Schubgeräte gemacht werden, da der Luftwiderstand bei dem gewählten Kaliber der Schubgeräte und der erreichbaren Endgeschwindigkeit und die Erdbeschleunigung wegen der kurzen Brennzeiten nur eine untergeordnete Rolle spielen.

Für einen beliebigen Brennkammerdruck ist nach dem Vorstehenden bei Außendruck bzw. bestimmtem Druck am Düsenende die Ausströmungsgeschwindigkeit  $v$  des Gases gegeben. Mit Berücksichtigung der verschiedenen Gaseschwindigkeiten und der Brennkammergewichte nach Aufgabe 2 kann für eine vorgegebene Ladung die kinetische Energie,



welche die Brennkammer durch den Rückstoß erhält, in Abhängigkeit von dem Brennkammerdruck ermittelt werden. Diese Beziehung ist aus Abbildung 5 unter Zugrundelegung eines Gegendrucks von 1 at zu ersehen.

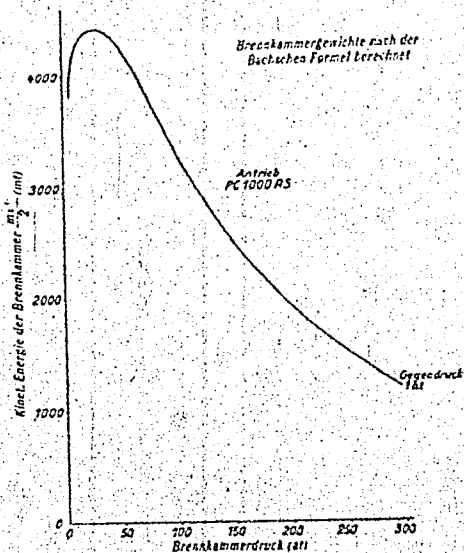


Abb. 5  
Brennkammerenergie als Funktion des Brennkammerdrucks

Die Kurve zeigt ein Maximum bei 30 kg/cm<sup>2</sup>. Da aber für die Wirkung im Ziel nur die Energie des Geschosses maßgebend ist, während die Brennkammer infolge ihrer geringen mechanischen Festigkeit beim Durchschlag unbeteiligt bleibt, ist in der folgenden Abbildung 6 die Energie aufgetragen, die das Geschöß (bei gegebenem Gesamtgewicht) durch den Antrieb bei verschiedenen Brennkammerdrücken erhält.

Diese Abhängigkeit hat beispielsweise bei 1000 kg Gesamtgewicht ein ausgesprochenes Maximum bei einem Brennkammerdruck von etwa 60 bis 70 at. Infolgedessen ist bei der Konstruktion der Schubgeräte durch-

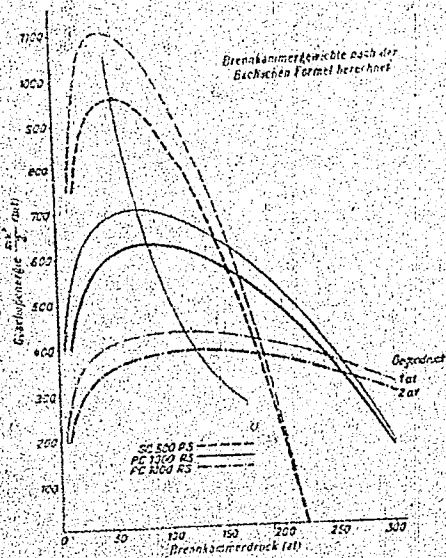


Abb. 6  
Geschoßenergie als Funktion des Brennkammerdrucks

weg dieser Brennkammerdruck vorausgesetzt worden. Setzt man ein Schußgerät bekannter Abmessung und Leistung zur Beschleunigung eines Geschosses voraus, so ändern sich die Verhältnisse für die größte Nutzbarkeit des Schubs bei stark wachsendem Geschossgewicht. Als Grenzfall werden hier angetriebene Minenbomben, Panzerbomben und schwerste Panzerbomben angesehen. Je kleiner die zu beschleunigende wirksame Geschossmasse, um so mehr verschiebt sich das Maximum der erreichbaren Geschosßenergie zu kleineren Brennkammerdrücken. Bei mittel-schweren und sehr schweren Geschossen wächst der wirtschaftliche Brennkammerdruck zu größeren Werten. Dies ist dadurch zu erklären, daß bei einem großen Verhältnis von nutzbarem Geschossgewicht zu Brennkammergewicht eine geringe Vermehrung des letztgenannten für die Ener-

gie des gesamten Geschosses von geringerem Einfluß ist als die dadurch erreichbare größere Schubleistung. Für verschiedene wirksame Geschossgewichte und verschiedene Endzustände der Pulvergase in der Düse sind die kennzeichnenden Kurven in der schon erwähnten Abbildung 6 aufgezeigt. Für die stark ausgezogenen Kurven, die einen Gegendruck von 2 at voraussetzen, ergibt sich die eingezeichnete Optimalkurve, die im Bereich des Gewichtsanstiegs von 500 bis 1800 kg für das Bombengewicht einen Anstieg des Brennkammerdrucks von 40 bis 120 at erkennen läßt. (Die Heraussetzung des Gegendrucks von 1 auf 2 at bewirkt nur geringe Verschiebung der Optimalwerte.)

Bei den weiter unten zu besprechenden Panzerbombenkonstruktionen ist von dieser Optimalkurve aus zwei Gründen kein Gebrauch gemacht worden. Denn erstens galt es, kurzfristig ein entwickeltes Schubgerät für größte Bomben zu übernehmen, und zweitens war, wie die Abbildung 6 zeigt, der Gewinn an Geschosenergie für eine größere Durchschlagsleistung der Panzerbombe zu gering, um eine solche Umstellung zu rechtfertigen. Trotzdem hat diese Darstellung für die Weiterentwicklung des Antriebs insbesondere bei sogenannten Vortriebsbomben erheblichen Wert. Denn bei kleinen Nutzgewichten des Bombenkörpers ist ein ausgesprochenes Maximum der Energiekurven ersichtlich, die mit zu- oder abnehmendem Brennkammerdruck sehr schnell fallen.

Über die Formgebung der Düse, im besonderen hinter dem kritischen Querschnitt, wo Schallgeschwindigkeit herrscht, sind die wissenschaftlichen Untersuchungen noch nicht abgeschlossen. Versuche mit verschiedenen Öffnungswinkeln haben große Unterschiede in der erreichbaren Ausströmungsgeschwindigkeit bisher nicht erkennen lassen. Eine qualitative Beurteilung über eine etwaige Strahlablösung ist durch die Spuren, die der Strahl in der Düse hinterläßt, gegeben.

Mit Hilfe von Schubkraftmessungen ist die durchschnittliche Ausströmungsgeschwindigkeit der Gase in offenen Düsen zu etwa 2000 m/s festgestellt worden. Örtliche Anbrennungen in der Regeldüse ergaben den Fingerzeig für auftretende Gasturbulenz, die stets im Zusammenhang mit gemindertem Schub stand. Bei bester konstruktiver Formgebung der Druckregeldüse betrug in dieser die Ausströmungsgeschwindigkeit nur etwa 80 % der geltenden für offene Düsen.

In jüngster Zeit geht die Tendenz sehr stark dahin, das Verhältnis der Querschnitte von offenen Düsen zur Regeldüse so groß wie möglich zu wählen. Hierdurch lassen sich ohne Vergrößerung der Regeldüse größere

Gasmengen in der Zeiteinheit verarbeiten. Infolge der dadurch eintretenden Verringerung der Brennzeit des Pulvers läßt sich bei dem gleichen Schub die Abwurfhöhe der Bombe herabsetzen und die Trefffähigkeit vergrößern. Es zeigen sich weiter Möglichkeiten auf, in besonderen Fällen den Antrieb auch für den Tiefangriff nutzbar zu machen.

Dieser Entwicklung stellt sich vorläufig noch eine Schwierigkeit der Art entgegen, daß sich bei der Einleitung des Verbrennungsvorgangs stärkere Druckspitzen als beim langsamen Abbrennen des Pulvers zeigen. Infolgedessen steigt das Gewicht der Brennkammer, also das Ballastgewicht, wieder an. Bei neueren Versuchen haben sich die Druckspitzen dadurch vermindern lassen, daß ein Teil der Pulveroberfläche durch Folien abgedeckt bzw. Pulver mit wachsender Oberfläche verwandt wird.

In der Abbildung 7 sind je zwei kennzeichnende Diagramme des Druck- und Schubverlaufs, die mit normalen Stabfederindikatoren aufgenommen sind, für den Antrieb einer 1000-kg-Bombe wiedergegeben. Der Zeit-

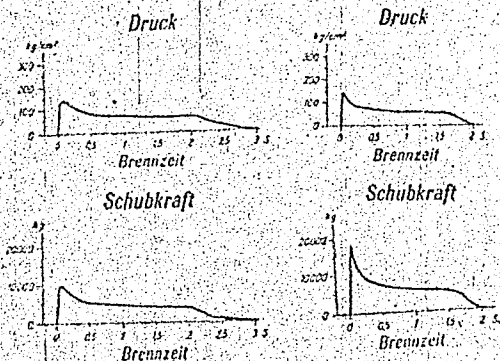


Abb. 7  
Druck- und Schubdiagramm

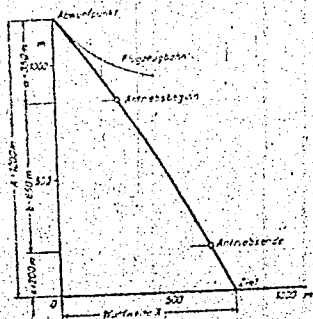
maßstab ist bei allen Diagrammen gleich gewählt. Die Druckspitze steigt bei der kürzeren Antriebszeit von 132 auf 159 kg/cm<sup>2</sup> an. Schub- und Druckdiagramm haben die ausgeprägte rechteckige Form, wie sie sich bei dem Diagramm mit längerer Brennzeit ergeben, nahezu verloren. Wesentlich ist bei dem Vergleich der Leistungsdaten noch die Feststellung,

daß bei dem kurzzeitigen Antrieb infolge der Vergrößerung des Querschnitts für die offenen Düsen die Pulververwertung günstiger geworden ist. Die spezifische Ladung hat sich von  $5,2 \text{ g kg}^{-1}$  auf  $4,9 \text{ g kg}^{-1}$  verringert.

Der Einfluß der Brennzeitverkürzung zeigt sich für die Bekämpfung von Schiffs- und Punktzielen im Sturzangriff nach der schematischen Darstellung in Abbildung 8. In beiden Darstellungen ist *A* die kleinste Ab-

Brennzeit 3 s

Sicherungszeit 2,7 s



Brennzeit 1,5 s

Sicherungszeit 2,7 s

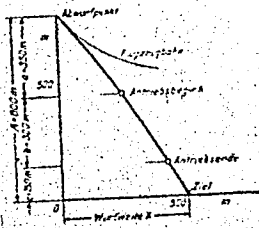


Abb. 8

Wurfbahn der angetriebenen Bombe

wurfböhe. Die Sicherheitszeit *a* bis zum Beginn der Antriebsbewegung beträgt 2,7 s. Dem entspricht eine durchfallene Höhe von etwa 400 m. Nach dieser Zeit kann eine Gefährdung des Flugzeugs durch die ausströmenden Pulvergase nicht mehr eintreten, da das Flugzeug infolge des Abfangens von der Bombenbahn schon erheblich abgerückt ist. Die Sicherheitsstrecke *c* berücksichtigt die zeitlichen Unterschiede in der Brennzeit des Pulvers. Aus den beiden Darstellungen ist zu ersehen, daß die Auslöschhöhe der Bombe infolge der Herabsetzung der Brennzeit von 1200 auf 800 m verringert werden kann. Die dadurch verminderte Auftreffwucht müßte durch konstruktive Maßnahmen ausgeglichen werden.

Mit zunehmender Beherrschung der Verbrennung des Pulvers für den Rückstoßantrieb konnten auch die Leistungen stetig erhöht werden. Schon

bei Kriegsbeginn wurden Impulse von rund 18000 kg sicher beherrscht. Es besteht außerdem die Möglichkeit einer gleichzeitigen oder auch stetig ablaufenden Steuerung verschiedener Brennsätze. Die Entwicklungsergebnisse kommen der Konstruktion besonderer Triebwerke zugute.

Im Zuge der Leistungssteigerung des Antriebs konnte man bei den als Raketen konstruierten Panzerbomben zu größeren Kalibern übergehen, um die Wirkung im Ziel zu erhöhen. Die Abbildung 9 zeigt die Entwick-




Typs, Kaliber (kg)		PC 500 RS	PC 1000 RS	PC 1800 RS
Sprengladung (kg)		14,5 PNF 129 (25 F <sub>8</sub> 60/14)	65 PNF 129 (110 F <sub>8</sub> 60/110)	230 PNF 129 (390 F <sub>8</sub> 60/110)
" " (%)		2,9% (5%)	6,5% (11%)	13% (22%)
Schaubild				
Sturzflug	13-Schub m/s	190 A <sub>0</sub> = 1200 m V <sub>z</sub> = 349 m/s	180 A <sub>0</sub> = 1200 m V <sub>z</sub> = 329 m/s	180 A <sub>0</sub> = 1200 m V <sub>z</sub> = 270 m/s
	2-Schub m/s	26 A <sub>0</sub> = 1200 m V <sub>z</sub> = 270 m/s	25 A <sub>0</sub> = 1200 m V <sub>z</sub> = 270 m/s	25 A <sub>0</sub> = 1200 m V <sub>z</sub> = 270 m/s
* Eine in Spezial Sprengladung mit 3 granatieren Zählwerke erläßt sich aus dem Luftdruckverhältnis für Deckstrefen des Innern entsprechend Sprengstoßsprengladung im Bezug auf weiches Fe 40/42			* Sturzfluggeschw. 547 km/h	

Abb. 9  
Flugzeughomben

lungsstufen von der 500-kg- zu der 1800-kg-Panzerbombe mit Raketenantrieb. Infolge der gleichbleibenden Forderung des mehrfach genannten Panzerdurchschlags von 180 mm ergaben sich für die schweren Panzerbomben mit Raketenantrieb spezifisch leichtere Bedingungen für den Durchschlag, die in einem unverhältnismäßig starken Ansteigen der Sprengladung Ausdruck finden. Sie steigt von 14,5 kg auf 230 kg, während sie bei Anwendung des Ähnlichkeitsprinzips für den Aufbau gleichartiger Bomben nur 75 kg betragen dürfte.

Selbst bei den größten Schlachtschiffen wird eine Sprengladung von 230 kg bei Detonation unter dem Panzerdeck den Ausfall einer Maschinenanlage bedeuten oder Totalvernichtung bringen, wenn der Treffer in einer Munitionskammer erzielt wird.

Die Konstruktion der Panzerbombe mit Raketenantrieb zeigt bei den verschiedenen Typen bzw. Kalibern den gleichen Grundaufbau. Diese Bombe (Abbildung 10) besteht aus 2 Teilen, nämlich dem panzerbrechen-

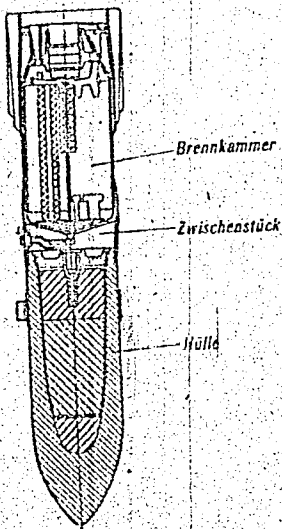


Abb. 10  
PG 1000 RS

den Geschöß und der Brennkammer für den Reaktionsantrieb. Die beiden Teile sind durch ein Zwischenstück verbunden, in das aus konstruktiven Gründen der elektrische Zünder seitlich eingebaut ist. Die Flügelstabilisierung der Bombe erfolgt durch ein normal ausgebildetes Leitwerk, das auf den rückwärtigen Teil der Brennkammer aufgeschoben wird.

Das Panzergeschoß besteht, wie bei den ähnlichen Geschossen der Artillerie, aus der Hülle mit Boden, der Sprengladung, dem Zünder mit Zündladung. Die Panzergeschoßhülle, entsprechend der geforderten Durchschlagsleistung konstruiert, ist aus hochwertigem legiertem Werkstoff hergestellt und durch entsprechende Vergütung und Spitzenhärtung befähigt, eine Panzerplatte von 180 mm Stärke oder einen gleichartigen Decksaufbau bei bestimmter Auftreffgeschwindigkeit heil zu durchschlagen. Als Sprengstoff wird eine gepreßte Ladung aus einem hochwertigen Sprengstoff auf der Basis des Hexogens verwandt.

In der Brennkammer wird ein Nitroglycerin- oder auch Diglykol-Röhrenpulver, normaler Zusammensetzung, jedoch großer Wandstärke zur Verbrennung gebracht. Als Anfeuerung wird ähnlich wie bei Geschützkartrids eine Schwarzpulverladung verwandt. In der Bomben- bzw. Brennkammerachse ist das Druckventil im Brennkammerboden vorgesehen, um das sich die offenen Düsen in radialer Anordnung gruppieren. Der Brennkammerdruck beträgt im Mittel rund 70 kg/cm<sup>2</sup>.

Der elektrische Zünder weist je einen Stromkreis für die Anfeuerung der Treibladung in der Brennkammer bzw. für den Bodenzünder der Panzergranate auf. Die Anfeuerung der Treibladung erfolgt über einen Verzögerungssatz oder einen elektrischen Zeitschalter, dessen Brennzeit bzw. Laufzeit die Sicherheit der Flugzeugs gegen die Strahleinwirkung der Rakete gewährleistet. Bei dem elektrischen Bodenzünder ist das normale Prinzip eines elektrischen Zünders verwandt. Über einen Speicherkondensator, der beim Abwurf der Bombe aufgeladen wird, wird der Kondensator im eigentlichen Zündkreis gespeist. Der Kreis ist so bemessen, daß nach einer bestimmten Aufladezeit des Kondensators die zündfähige Spannung erreicht ist. Beim Aufschlag der Panzerbombe auf das Ziel wird ein Kontakt im Stromkreis geschlossen und die Sprengladung über eine Verzögerung initiiert. Diese Verzögerung ist so bemessen, daß die Detonation nach Durchschlagen der einzelnen Decks unter dem Panzerdeck sichergestellt ist.

Gegen die Verwendung der Raketenbomben wird mitunter die angeblich ungenügende Trefffähigkeit dieser Angriffswaffe geltend gemacht. Zu den bei normalen Bomben auftretenden Wurf Fehlern kommen bei der Raketenbombe noch Fehlergrößen hinzu, die unmittelbar mit dem Antrieb zusammenhängen. Als Fehlerquellen gehen die unterschiedlichen Zeiten für die Schußdauer, den Schubeinsatz, die unterschiedliche Größe des Schubs und der Anstellwinkel der Impulsrichtung zur Bombenbahn.



tangente ein. Vor allen Dingen kann der letztgenannte Fehler zur Vergrößerung der Wurfstreuung erheblich beitragen. Diese Fehlerquelle hängt mit der erreichbaren Stabilität und Dämpfung der gewählten Bombenkonstruktion eng zusammen.

Gegenüber den genannten zusätzlichen Streuungsursachen der angetriebenen Bombe besitzt diese den Vorteil der gestreckteren Flugbahn und kürzeren Fallzeit. Da der Windeinfluß bei den verschiedenen Streuungsursachen weitaus die größere Fehlerquelle ergibt, so wirkt sich die Flugzeitverkürzung in einer erheblichen Herabsetzung der Gesamtstreuung für die Raketenbombe aus. In der Abbildung 11 sind die Wurf-

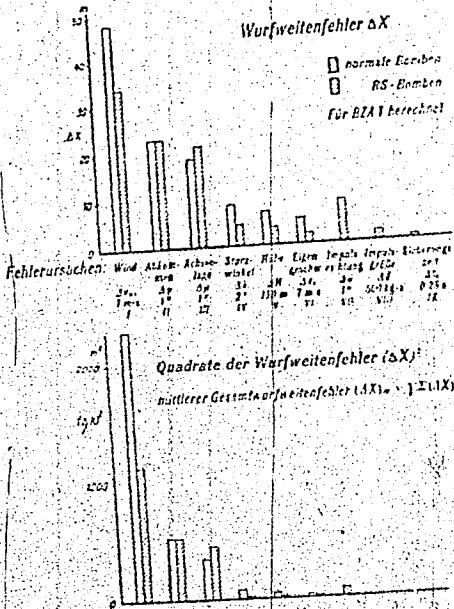


Abb. 11  
Wurfweitenfehler  $\Delta x$  als Folge von Einzelursachen

weitenfehler für die verschiedenen Einzelursachen zur Darstellung gebracht. Während die Fehler 1 bis 6 für beide Bombenarten in unterschiedlicher Größe in Frage kommen, ist die Gruppe 7 bis 9 durch den Antrieb der Sonderbombe bestimmt. Aus der unteren Darstellung sind die Quadrate der Abwurffehler ersichtlich, wie sie in die Berechnung des Gesamtfehlers eingehen. Es zeigt sich, daß der Wurffehler, der durch den Windeinfluß bedingt ist, also anderen bei weitem überwiegt, also auch in den mittleren Gesamtwurffweitenfehler am stärksten eingeht.

Dieser durch den Wind bedingte Wurffweitenfehler ist in der Abbildung 12 für das einfache Beispiel des senkrechten Sturzes in schematischer Darstellung besonders dargestellt. Flugzeug und Bombenachse

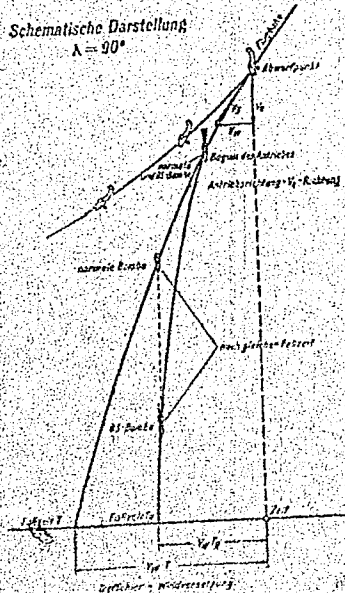


Abb. 12

Trefferverbesserung durch RS-Antrieb bei Wind

haben die Richtung der Eigengeschwindigkeit, sind also vertikal gerichtet. Der Wurf Fehler besteht nur in der Windversetzung, die bei der Raketenbombe wegen der kürzeren Fallzeit kleiner ist.

Die theoretische Streuungsberechnung kann indessen nur einen Anhalt für das ballistische Verhalten der Raketenbomben geben, da die angesetzten Fehlergrößen auf Annahmen fußen. Es kann z. B. der Fehler, der durch Abweichen der Impulsachse von der Flugbahntangente hervorgerufen wird, größere Werte annehmen und den Gesamtfehler verhältnismäßig stark beeinflussen, jedoch erst bei übermäßigem Anstellwinkel wird die Streuung der Raketenbombe an diejenige der normalen Bombe herangeführt.

Treffbilder aus einer großen Zahl von Würfeln im Hochangriff mit normalen Bomben und einer geringen Anzahl von Würfeln im Sturzangriff für beide Bombenarten sind in der Abbildung 13 für eine Über-

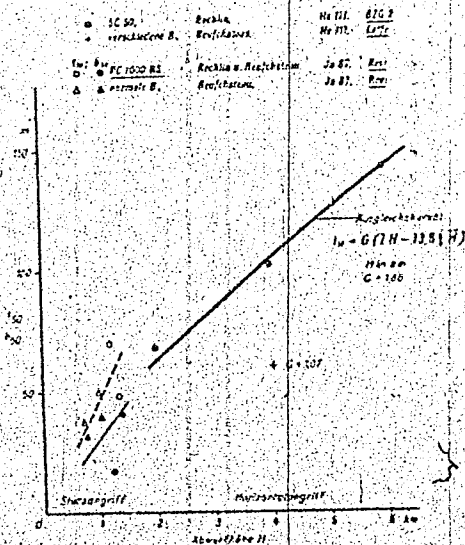


Abb. 13  
Bombenstreuung  $b_{50}$   $b_{99}$

sicht der Streuungsverhältnisse verwertet worden. Die aufgetragenen 50%igen Streuungen für den Horizontalwurf sind das Ergebnis von 200 Abwürfen in Rechlin aus der Ho 111 mit BZG 2. Ein wesentlicher Unterschied in der Längen- und Breitenstreuung war nicht vorhanden. Für die 50%ige Längenstreuung wurde von der LKA, Gatow, die empirische Formel

$$l_{50} = G (7H + 13,8 \sqrt{H}) \quad (H \text{ in km})$$

aufgestellt, die beim Treffbildwerfen zur Bestimmung der Gütezahl G dient. Die im Schaubild aufgetragene Ausgleichskurve bestätigt diese Formel, die Gütezahl betrug 1,86.

Die durch ein Kreuz angegebene Streuung mit der Gütezahl 1,07 wurde bei Abwurfversuchen in Neufchateau unter Verwendung eines Lotfe erzielt.

Die dargestellten Streuungen für den Sturzangriff sind kleiner als die für den Horizontalangriff und zeigen einheitlich einen größeren Betrag für die Längenstreuung. Diese würden durch offene Kreise und Dreiecke gekennzeichnet, während die ausgefüllten Zeichen die Breitenstreuungen angeben. Die Kreise bezeichnen die Streuungen der PC 1000 RS, die Dreiecke die von normalen Bomben.

Die Treffbilder für die drei niedrigsten Abwurfhöhen wurden in Neufchateau innerhalb 3 Wochen bei konstantem gutem Wetter aus der Ju 87 mit Revi geworfen und geben daher einen sicheren Vergleich. Das Treffbild für 1350 m Abwurfhöhe wurde mit der PC 1000 RS in Rechlin geworfen. Als Versuchsträger stand eine Ju 88 zur Verfügung, die mit einem BZA 1 ausgerüstet war.

Aus der Darstellung folgt, daß beim Sturzangriff die Streuung der Raketenbomben nur um so viel größer als die der normalen Bomben ist, wie durch die größere Abwurfhöhe bedingt ist. Es ist aber besonders zu beachten, daß die angegebene 1000-kg-Raketenbombe im Vergleich zu normalen Bomben bei der Windkanaluntersuchung eine relativ geringe Stabilität ergeben hat. Ihre Verbesserung läßt sich aus konstruktiven Gründen für den Einbau nicht erreichen.

Berücksichtigt man, daß beim Angriff auf ein Schiffziel in Längsrichtung des Schiffes im wesentlichen nur die Breitenstreuung für die Trefferranzahl maßgebend ist, so ist die Trefferranzahl für RS-Bomben nicht geringer als für normale Bomben. Die folgende Abbildung 14 zeigt

Eingedrehte Treffbilder  
mit Umrissen des Schlachtschiffes „Nelson“

Neufchatel  
Ja 81 mit Real  
H = 1200 m

Reclin  
Ja 88 mit BZA I  
H = 1350 m

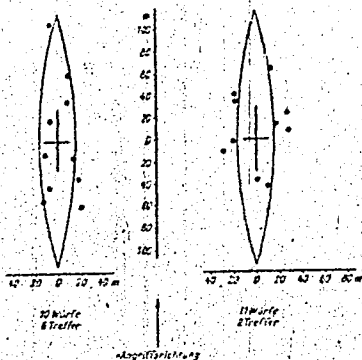


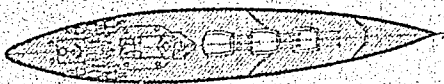
Abb. 14  
PC 1000 RS

Treffbilder für die PC 1000 RS mit den eingezeichneten Konturen des Schlachtschiffes Nelson. Die Anzahl der Treffer wäre bei diesen Treffpunktlagen gleich 6 bzw. gleich 2 gewesen.

Als zu Beginn des Krieges die Forderung des Generalstabs nach einer durchschlagfähigen Panzerbombe im Sturzangriff für die Bekämpfung von Schiffszielen erhoben wurde, war die Entwicklung der 500-kg-Panzerbombe nach Überwindung der Schwierigkeiten für den Antrieb in Fluß gekommen. Um nun überhaupt eine wirksame Abwurfmunition für Schiffsziele zur Verfügung zu haben, ist zu dem damaligen Zeitpunkt an die Schaffung von Großladungsbomben von 50% und mehr Sprengstoffgehalt herangegangen worden, in der Voraussetzung, die wirkungsvolle Bekämpfung deckgepanzelter Schiffsziele durch Ausnutzung der Unterwasserdetonation mit Nahtreffern zu erreichen. Untersuchungen der Chemisch-Physikalischen Versuchsanstalt im Zusammenhang mit der Bemessung der Sprengladungen für Torpedos haben ergeben, daß durch Bomben mit einer Sprengladung in der Größenordnung von 1000 kg in

unmittelbarer Nähe der Schiffswand eine schwerste Beschädigung der Schlachtschiffe erreicht werden kann. Der Unterwasserwirkungsabstand für schwerste Beschädigungen wurde bei der angenommenen Sprengladung zu 2,5 m angegeben. Berücksichtigt man nun einmal diese Gürtelfläche als Wirkungsfläche für eine Großladungsbombe, auf der anderen Seite die durchschlagbare Deckfläche für eine 500-kg-Panzerbombe, so kommt man zu dem Ergebnis, daß die angetriebene Panzerbombe der Großladungsbombe für Unterwasserwirkung erheblich überlegen ist, wie aus Abbildung 15 ersichtlich ist. Hier sind die Zielwirkungsflächen für

Direkttreffer: PC 500 RS mit Wasserdruck-Gürtelfläche 12500 m<sup>2</sup> = 87,5% Deckfläche = 87,5% Zielfläche



Nahetreffer: SC 1800 mit Wasserdruck-Gürtelfläche 12500 m<sup>2</sup> = 17% Deckfläche = 17% Zielfläche

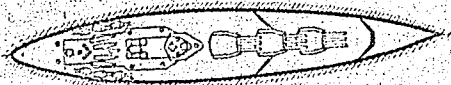


Abb. 15  
Wirkungsbild

ein Schlachtschiff der Nelsonklasse bei Bekämpfung mit den beiden verschiedenen Bombenarten einander gegenübergestellt. Es ergibt sich, daß die wirksame Gesamtfläche für die Vernichtung bei der Panzerbombe etwa das 5fache derjenigen für die Großladungsbombe beträgt. Stellt man in Rechnung, daß die Streuung der Panzerbombe den doppelten Wert der normalen Bombe hat, so bleibt auch dann noch eine erhebliche Überlegenheit jener erkennbar.

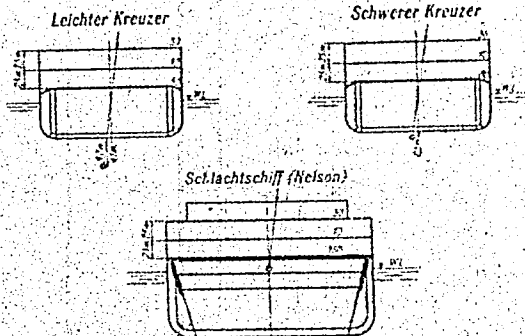
Diese Auffassung hat sich nach den durchaus befriedigenden Treffbildern, die mit den angetriebenen Bomben inzwischen nach Abschluß der Entwicklung durchgeführt worden sind, nunmehr allgemein durchgesetzt. Man wird deshalb für eine wirksame Bekämpfung von stark gepanzerten Schiffszielen ausschließlich angetriebene Panzerbomben verwenden. Die Bekämpfung der Schlachtschiffe mit Flugzeugtorpedos

bleibt natürlich durch diese Überlegungen unberührt. Diese Angriffswaffe hat zweifellos große Vorzüge, wie auch die bisherigen Bekämpfungsergebnisse von Kriegsschiffen aufgezeigt haben.

Die Entwicklung von angetriebenen Panzerbomben konnte um die Mitte des vorigen Jahres zu Ende geführt werden. Inzwischen ist eine größere Anzahl der verschiedenen Panzerbomben von 500, 1000 und 1800 kg hervortratet worden. Ein größerer Einsatz dieser Munitionsarten ist bisher nicht erfolgt, weil unsere Feinde ihre großen Schiffe grundsätzlich außer Reichweite unserer schweren Bomber halten und nur hier und da einen Kreuzer einsetzen. Der zu Anfang des Jahres 1942 erfolgte Angriff auf einen englischen Kreuzer der Didoklasse — mit einer 1000-kg-Bombe mit Antrieb — hat insofern Wirkung gezeigt, als der Kreuzer nach einem Treffer das Dock in einem Hafen der Insel Malta aufsuchen mußte. Es ist bei diesem Treffer anzunehmen, daß die Detonation der Panzerbombe erst nach Durchschlagen des Schiffsbodens aufgetreten ist. Die Verzögerungszeit des Zünders war infolge der leichten Panzerung

PC 1000 RS

Auftriebsgeschwindigkeit 320 m/s Zünderlaufzeit 0,065 s Auslöshöhe 1200 m Sturzwinkel 89°  
Sprengpunktlage 1 m hinter Beckenfläche (siehe Skizzen)



Schlachtschiff Nelson  
Wasserverdrängung 38950 t Decksfläche 4900 m<sup>2</sup> Panzerdeck 152 mm

Abb. 16  
Sprengpunktlage bei Deckstreifer

eines Kreuzers zu groß, so daß die Bombe das Schiff vollständig durchschlagen hat. Tatsächlich kann die Verzögerungszeit nur auf ein bestimmtes Deckziel abgestellt werden, so daß sich die Bombe in den Fällen der leichteren Panzerung als zu durchschlagskräftig erweist. In der Abbildung 16 ist das Verhalten einer angetriebenen Panzerbombe bei der Bekämpfung eines Schlachtschiffes und eines Kreuzers einander gegenübergestellt. Während bei der vorgegebenen Verzögerungszeit von ungefähr 0,06 s die Detonation bei dem Schlachtschiff unterhalb des Panzerdecks im Schiffsinnern erfolgt, verschiebt sich der Sprengpunkt bei dem leichten Kreuzer auf eine Entfernung von rund 4 m unterhalb des Schiffshodens. Eine Abstimmung des Zünders auf verschieden starke Panzerziele bedeutet eine sehr weitgehende Konstruktionsforderung, die sich zwar verwirklichen läßt, aber einen verzögerungsabhängigen Zünder erforderlich macht. Deshalb werden auch künftighin die Panzerbomben nur für den Durchschlag schwerster Panzerziele abgestimmt. Immerhin schien es wichtig, auf den Unterschied in der Bekämpfung bei verschieden gepanzerten Zielen einmal hingewiesen zu haben.