

BRANDSCHUTZ - FORSCHUNG

DER BUNDESLÄNDER

BERICHTE

Untersuchung der Löschwirkung verschiedener
Löschmittel und Löschmethoden bei unter-
schiedlichen Brandgütern. Teil VI

56

ARBEITSGEMEINSCHAFT DER INNENMINISTERIEN DER BUNDESLÄNDER
ARBEITSKREIS V – UNTERAUSSCHUSS "FEUERWEHRANGELEGENHEITEN"

Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer
Arbeitskreis V - Unterausschuß "Feuerwehrangelegenheiten"

Forschungsbericht Nr. 56

Untersuchung der Löschwirkung verschiedener
Löschmittel und Löschmethoden bei unter-
schiedlichen Brandgütern. Teil VI

von

Dipl.-Ing. Michael Bodamer

Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)

Karlsruhe

November 1985

FA.Nr. 99(3/83) und 104(3/84)

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. EINLEITUNG	1
2. VERSUCHSAUFBAU UND VERSUCHSDURCHFÜHRUNG	2
3. VERSUCHSPROGRAMM	3
4. VERSUCHSERGEBNISSE UND VERSUCHSAUSWERTUNG	5
4.1 Temperaturen	5
4.1.1 Oberflächentemperatur unmittelbar nach dem ersten Löschversuch	5
4.1.2 Temperatur in 9 mm Tiefe unmittelbar nach dem ersten Löschversuch	7
4.1.3 Temperatur 4 min nach dem ersten Löschversuch	7
4.1.3.1 Oberflächentemperatur (0 mm Tiefe)	8
4.1.3.2 Innentemperatur (9 mm Tiefe)	8
4.1.4 Mittelwerte der maximal auftretenden Temperaturen im Innern der Probekörper während der Versuche	9
4.2 Aufheizung der Probekörper nach dem Löschen	10
4.3 Tatsächliche Löschzeit	11
4.4 Löscherfolg	12
4.5 Mindestlöschmittelmenge	12
5. DISKUSSION DER VERSUCHSERGEBNISSE	14
6. ZUSAMMENFASSUNG	17
7. FORMELZEICHEN	19
8. LITERATURVERZEICHNIS	20
9. TABELLEN UND BILDER	22

1. EINLEITUNG

Früher durchgeführte Brand- und Löschversuche der Forschungsstelle für Brandschutztechnik mit dem Löschmittel Wasser ergaben bei Zimmerbränden im natürlichen Maßstab eine erhebliche Reduzierung der Löschwasser- und Schadenwassermenge bei Zumischung verschiedener anorganischer Salze zum normalen Leitungswasser. Brand- und Löschversuche an Holzkrippen in verkleinertem Maßstab bestätigten die Ergebnisse aus den Großversuchen. Das effektivste Löschmittel war jeweils eine 20 gew.-%ige wässrige Lösung aus Diammoniumhydrogenphosphat /1/. Die verbesserte Löschwirkung der wässrigen Salzlösungen wurde auf drei wesentliche Löscheffekte zurückgeführt:

1. Physikalischer Effekt: Durch das Verdampfen des aufgegebenen Löschmittels wird dem Brandherd soviel Wärme entzogen, daß eine Rückzündung infolge des Absinkens der Temperatur unter die Entzündungstemperatur nicht mehr stattfinden kann (Kühlwirkung).
2. Chemischer Effekt: Die in der Salzlösung gelösten Salzteilchen greifen direkt in den Reaktionsablauf bei der Verbrennung ein und bewirken einen Abbruch der Radikalkettenreaktionen (Inhibitionswirkung).
3. Die Glutbildung der abgelöschten Restmasse wird herabgesetzt.

Zur Klärung der Frage inwieweit diese drei Löscheffekte zusammenwirken und ob sich einer der dreien als bestimmend erweist, wurde ein Modellversuch mit einfachen Platten aus Holz, Preßspan und Plexiglas als Modellbrandlast entwickelt /2,3,4/.

Diese Versuche ermöglichten eine einfache und reproduzierbare Messung des zeitlichen Verlaufes der Temperaturen in verschiedenen Tiefen der Platte. Aus diesen Temperaturmessungen konnten Aussagen über die Kühlwirkung und Inhibitionswirkung der verwendeten wässrigen Salzlösungen als Löschmittel gewonnen werden. Hinsichtlich der Beurteilung der Glutbildung der abgelöschten Restmasse mußte der Modellversuch abgeändert werden. Die bisher verwendeten Platten wurden durch drei gleichgroße Streifen aus Preßspan ersetzt. Im Vergleich zu den Platten als Brandmaterial heizten sich in Vorversuchen die Preßspanstreifen im Innern wesentlich stärker auf, wodurch nach dem Löschen je nach Löschmittel und Menge eine mehr oder weniger starke Glutbildung einsetzte. Somit waren die Voraussetzungen geschaffen, um die Abhängigkeit der Glutbildung nach dem Löschen von der Art und Zusammensetzung der Löschmittel und der Löschmittelmenge untersuchen zu können.

2. VERSUCHSAUFBAU UND VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Die hier beschriebenen Versuche wurden mit derselben Versuchsanlage wie in /2/ durchgeführt. Die einzige Veränderung ergab sich bei den Probekörpern. Anstatt einer Platte wurden drei gleichgroße Streifen aus Preßspan verwendet. In Bild 1 und Bild 2 ist der Aufriß der Probekörper und der Versuchsaufbau dargestellt. Die Anordnung der Thermoelemente wurde beibehalten. Die Probekörper (1) wurden mindestens 24 Stunden in einem Trockenschrank bei 105 °C getrocknet und unmittelbar vor einem Versuch senkrecht stehend in einer Halterung übereinander angeordnet verschraubt (3). In der Halterung war eine Schale integriert, welche die zur Zündung benötigte Spiritusmenge aufnahm. Der Abbrand wurde mit einer Waage (4) kontrolliert. Gelöscht wurde sobald die Spiritusmenge von 40 ml restlos verbrannt war. Das Löschwasser stand in einem Druckbehälter (6) bei einem konstanten Überdruck

von 2 bar zur Verfügung und wurde auf zwei mit schnell auslösenden Magnetventilen versehene Düsen (2) gegeben. Die Preßspannstreifen wurden auf beiden Seiten in einem Abstand von etwa 250 mm besprüht. Die Aufgabezeiten bzw. die Öffnungszeiten der Magnetventile wurden mit Hilfe einer Zeitschaltuhr (Z) gesteuert. Mit dem Chopper (7) konnte die Löschzeit bei gleicher Löschmittelbeaufschlagung verlängert werden. Die Löschmittelmenge wurde so ermittelt, daß nur der Anteil des Wasserstrahles gemessen wurde, der die Probekörper benetzte. In Bild 3 ist die experimentell ermittelte Wassermenge der verwendeten Düse über der Öffnungszeit der Ventile aufgetragen. Die Thermospannungen der Thermoelemente (5) und die Analogspannungen der Waage (4) gelangten über Datenleitungen auf einen Multiplexer (MP), der von einem Prozeßrechner (PR) angesteuert wurde. Der Multiplexer erzeugte zusätzlich eine der Umgebungstemperatur proportionale Spannung, die als Bezugsnormal für die Thermospannungen diente. Der Rechner digitalisierte die analogen Daten und speicherte sie in Abhängigkeit von der Versuchszeit nach einer rechnerinternen Uhr auf Magnetdisketten.

3. VERSUCHSPROGRAMM

Das Versuchsprogramm wird anhand zweier in den Bildern 4a und 4b dargestellten Beispielen erläutert. Es werden zwei Fälle unterschieden. Im ersten Fall werden die Probekörper beim ersten Löschversuch gelöscht, im zweiten Fall werden zwei Löschversuche benötigt. In den Bildern 4a und 4b ist der Temperaturverlauf der rechten Seite eines oben angeordneten Probekörpers (o.r. in Bild 1) über der Versuchszeit aufgetragen. Die drei Probekörper werden in beiden Fällen mit einer Hilfsbrandlast von 40 ml Spiritus gezündet und unmittelbar nach dem Verbrennen des Spiritus 6 s lang mit Löschmittel auf beiden Seiten besprüht. In Bild 4a ist der erste Fall dargestellt. Als Löschmittel wird eine 20 gew.-%ige wässrige Diammoniumhydrogenphosphatlösung verwendet. Die Löschwirkung ist durch das schlagartige Absinken der Außentemperatur (0 mm Tiefe) zu erkennen. Zum Ablöschen der

Probekörper ist die Löschmittelmenge ausreichend. Nach dem Löschen heizt sich der Probekörper im Innern zunächst auf. Die Innentemperatur erreicht im ersten Fall nach einiger Zeit einen Maximalwert und fällt dann wieder ab. In Bild 4b ist der zweite Fall dargestellt. Als Löschmittel dient eine 20 gew.-%ige wässrige Diammoniumsulfatlösung. Auch hier ist die Löschwirkung beim ersten Löschversuch an einem schlagartigen Absinken der Außentemperatur (0 mm Tiefe) zu erkennen. Hier reicht die Löschmittelmenge jedoch nicht aus, um den Brand abzulöschen, sodaß nach 4 min die Probekörper erneut innerhalb derselben Löschdauer mit demselben Löschmittel besprüht werden, wobei das Feuer endgültig gelöscht wird. Nachdem die Probekörper gelöscht sind, erreicht die Innentemperatur nach relativ kurzer Zeit einen Maximalwert und fällt dann wieder ab. Die Höhe dieses Maximalwertes bestimmt im wesentlichen die Glutbildung im Innern des Probekörpers in Abhängigkeit der Löschdauer und des Löschmittels.

Für die Auswertung der Versuche werden sowohl im ersten als auch im zweiten der oben beschriebenen Fälle die Außen- und die Innentemperaturen der Probekörper (0 mm und 9 mm Tiefe) direkt nach dem Besprühen mit Löschmittel, die Außen- und Innentemperaturen vier Minuten nach dem ersten Besprühen sowie die in beiden Fällen nach dem Löschen auftretenden maximalen Innentemperaturen in Abhängigkeit der Löschdauer gemessen. Die Löschdauer beträgt für eine Versuchsreihe mit dem zu untersuchenden Löschmittel bei einer Umdrehungszahl des Choppers von 750 U/min anfänglich 2 s. Diese wird jeweils um eine Sekunde erhöht, bis eine Löschdauer von 15 s erreicht ist. In einer derartigen Versuchsreihe werden die zeitlichen Temperaturverläufe von jeweils zwei Probekörper gemessen, sodaß für jedes Löschmittel drei Versuchsreihen durchgeführt werden. Hierbei erhält man für jede Meßstelle zweimal die zeitlichen Temperaturverläufe. Zusätzlich werden zwei Versuchsserien ohne Temperaturmessung durchgeführt, wobei die Löszeiten gemessen werden.

Zur Unterscheidung sind die beiden Begriffe Löschdauer und Löszeit in diesem Forschungsbericht folgendermaßen definiert.

Unter dem Begriff Löschdauer versteht man den innerhalb einer Versuchsserie fest eingestellten Wert zwischen 2 s und 15 s unabhängig vom Löscherfolg beim ersten Löschversuch. Die Löschzeit hingegen ist die beim ersten Löschversuch zum Löschen der Flammen benötigte Zeit.

Mit Hilfe der insgesamt fünf Versuchsserien werden Häufigkeitsdiagramme des mit dem jeweiligen Löschmittel erzielten Löscherfolges in Abhängigkeit der Löschdauer erstellt. Als Löschmittel dienen neben vollentsalztem Wasser eine 20 gew.-%ige wässrige Diammoniumsulfatlösung sowie eine 5 gew.-%ige und eine 20 gew.-%ige wässrige Diammoniumhydrogenphosphatlösung. Vorversuche hatten ergeben, daß durch die Wahl des Zeitbereiches von 2 s bis 15 s Löschdauer alle Phasen des Löschens von Löschmittelmangel (Wiederentzündung) bis Löschmittelüberschuß (verstärkte Abkühlung an der Oberfläche) durchlaufen werden.

4. VERSUCHSERGEBNISSE UND VERSUCHSAUSWERTUNG

4.1 Temperaturen

Im Folgenden sind die gemessenen Temperaturen in verschiedenen MeBebenen in Abhängigkeit der Löschdauer aufgetragen. Die ausgefüllten Symbole kennzeichnen, daß die Flammen beim ersten Löschversuch gelöscht wurden.

4.1.1 Oberflächentemperatur unmittelbar nach dem ersten Löschversuch

Wie aus früheren Versuchen bekannt ist, sind die Temperaturen an der Oberfläche stark abhängig von der Menge des verwendeten Löschmittels. Bei geringer Löschmittelmenge wird die Oberfläche nicht genügend abgekühlt und es treten Temperaturen von über 100 °C auf. Wird gerade soviel Löschmittel aufgegeben, wie verdampfen kann, entsprechen die Temperaturen mit 100 °C der Verdampfungstemperatur des Wassers. Bei großen Löschmittelmengen

wird ein Teil verdampft, während der andere Teil als Überschuß abläuft. In diesem Fall können die Temperaturen auf unter 100 °C abfallen.

Die folgenden Bilder 5 bis 12 bestätigen diesen Sachverhalt. Betrachtet man die Oberflächentemperaturen, die bei Verwendung von entsalztem Wasser als Löschmittel gemessen wurden, Bilder 5 und 6, so nehmen die Temperaturen auf der linken Seite der Probekörper an der Oberfläche von ca. 300 °C bei 2 s Löschdauer linear auf 100 °C bei 8 s Löschdauer ab. Hier erfolgt ein Knick, wobei die Temperaturen bis zu einer Löschdauer von 15 s konstant ungefähr 100 °C betragen. Auf der rechten Seite ist dieser Knick bei 8 s Löschdauer nicht ganz so ausgeprägt wie auf der linken Seite. Auch liegen die Temperaturen bei höheren Löschdauern noch über 200 °C. Solch unsymmetrischen Temperaturverteilungen über der Dicke der Probekörper sind versuchstechnisch bedingt und sind in der unregelmäßigen Flammenausbildung über den Probekörpern und in der durch den Chopper verursachten unterschiedlichen Ablenkung des Sprühstrahlkegels begründet. Der Idealfall ist eine symmetrische Temperaturverteilung über der Dicke der Probekörper. Am unteren Probekörper sind die Temperaturen bis 4 s Löschdauer auf beiden Seiten höher, was in der früheren Beflammung begründet ist, wodurch der Probekörper insgesamt stärker aufgeheizt wird.

Bei Verwendung einer 20 gew.-%igen wässrigen Diammoniumhydrogenphosphatlösung, Bild 7 und 8, ist der Temperaturverlauf auf beiden Seiten an der Oberfläche ähnlich mit Ausnahme der linken Meßstelle des mittleren Probekörpers. Hier verläuft die Temperatur ab 3 s Löschdauer nahezu konstant und unter 100 °C. Die Temperaturen des unteren Probekörpers sind auch hier bis zu einer Löschdauer von 4 s auf beiden Seiten etwa um 100 °C höher.

In Bild 9 und 10 nehmen die Temperaturen an der Oberfläche beim Löschen mit der 5 gew.-%igen wässrigen Diammoniumhydrogenphosphatlösung in der rechten und linken Meßstelle linear von 300 °C, für den oberen und mittleren Probekörper bzw. 400 °C für den unteren Probekörper, auf etwas unter 200 °C ab.

Beim Löschen mit der 20 gew.-%igen wässrigen Diammoniumsulfatlösung, Bild 11 und 12 streuen die Temperaturen an der Oberfläche über einen größeren Temperaturbereich. Dies bestätigt die visuelle Betrachtung in /5/, wo die Holzkrippen durch wässrige Diammoniumsulfatlösungen zwar in kurzer Zeit gelöscht werden konnten, aber häufig Rückzündungen auftraten.

4.1.2 Temperatur in 9 mm Tiefe unmittelbar nach dem ersten Löschversuch

Die Temperaturen im Innern der Probekörper (9 mm Tiefe) zum Zeitpunkt des ersten Löschversuchs sind abhängig von der Aufheizzeit und nicht von der Löschdauer und der Art des verwendeten Löschmittels. Sie sind auch unabhängig von dem Löscherfolg nach dem ersten Löschversuch. Die Aufheizzeit ist gleich der zum Verbrennen der zur Zündung fest vorgegebenen Menge von 40 ml Brennspritus notwendigen Zeit. Sie unterliegt daher geringfügigen Schwankungen. Die Innentemperaturen der Probekörper liegen, wie in den Bildern 13 bis 20 dargestellt ist, für alle Löschmittel über der gesamten Löschdauer zwischen 200 °C und 300 °C. Der untere Probekörper wird am stärksten aufgeheizt, da er direkt mit der Spiritusflamme in Berührung kommt.

4.1.3 Temperaturen 4 min nach dem ersten Löschversuch

Für die nachfolgende Betrachtung sei nochmal bemerkt, daß zwei Fälle zu berücksichtigen sind. Im ersten Fall, dargestellt in

Bild 4a, stellt sich der Löscherfolg mit dem ersten Löschversuch ein, während im zweiten Fall, dargestellt in Bild 4b zwei Löschversuche benötigt werden. In den nachfolgenden Diagrammen stellen demgemäß die ausgefüllten Symbole die Temperaturen in Abhängigkeit von der Löschdauer 4 min nach Verlöschen der Flammen dar. Die nicht ausgefüllten Symbole zeigen die Temperaturen in Abhängigkeit der Löschdauer direkt nach dem zweiten Löschversuch.

4.1.3.1 Oberflächentemperatur (0 mm Tiefe)

Betrachtet man die gemessenen Oberflächentemperaturen der mit dem ersten Löschversuch gelöschten Probekörper in den Bildern 21 bis 28, so nehmen diese fast ausschließlich linear um $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ innerhalb des gesamten Bereiches der Löschdauer ab. In einigen Ausnahmen, beispielsweise bei Verwendung der 5 gew.-%igen wässerigen Diammoniumhydrogenphosphatlösung in den Bildern 25 und 26, bleiben die Temperaturwerte über den gesamten Zeitbereich bei etwa $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ konstant.

Die Oberflächentemperaturen der nach dem zweiten Löschversuch abgelöschten Probekörper erreichen bei geringen Löschdauern hohe Werte von bis zu $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ und bei höheren Löschdauern geringe Werte von unter $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Bei der 20 gew.-%igen wässerigen Diammoniumsulfatlösung kann man wie schon bei der Beobachtung unmittelbar nach dem ersten Löschversuch eine Streuung über einen größeren Temperaturbereich feststellen.

4.1.3.2 Innentemperatur (9 mm Tiefe)

In den Bildern 29 bis 36 sind die Temperaturen in 9 mm Tiefe und 4 min nach dem ersten Löschversuch dargestellt. Bei den oberen und mittleren Probekörpern, die mit dem ersten Löschversuch gelöscht wurden, befinden sich die Temperaturen bei niedrigen Löschdauern auch nach 4 min Abkühlzeit für alle Löschmittel noch bei ca. $300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Diese Temperaturen sinken mit zunehmender

Löschdauer ab, bleiben aber immer noch deutlich über 200 °C. Bei den unteren Probekörpern liegen die Temperaturen bei sonst gleichem Temperaturverlauf für alle verwendeten Löschmittel wegen der früheren Beflammung um etwa 50 °C höher.

Betrachtet man die Innentemperaturen der erst beim zweiten Löschversuch abgelöschten Probekörper, so ist bei allen verwendeten Löschmitteln ein deutlicher Temperaturunterschied zu den Innentemperaturen der beim ersten Löschversuch gelöschten Probekörper zu beobachten. Dieser Temperaturunterschied beruht auf der durch die längere Beflammung verursachte stärkere Aufheizung des Innern der beim zweiten Löschversuch gelöschten Probekörper. Beim Löschen mit Wasser und mit der 20 gew.-%igen wässerigen Diammoniumsulfatlösung sind am unteren Probekörper beispielsweise Temperaturen von 500 °C auch bei hohen Löschdauern gemessen worden.

4.1.4 Mittelwerte der maximal auftretenden Temperaturen im Innern der Probekörper während der Versuche

In diesem Abschnitt werden die für jeden Probekörper über zwei Versuchsserien gemittelten maximalen Innentemperaturen betrachtet.

Verfolgt man den Verlauf der Innentemperatur der in den Bildern 4a und 4b über der gesamten Versuchszeit dargestellten Beispielen eines nach dem ersten bzw. nach dem zweiten Löschversuch gelöschten oben angeordneten Probekörpers, so stellt man fest, daß nach dem Löschen des Probekörpers die Temperaturen im Innern bis zum Erreichen eines Maximalwertes unvermindert ansteigen. Die Höhe dieser Temperatur bestimmt maßgeblich die Glutbildung im Innern des Probekörpers. Um eine ausreichende Löschwirkung zu erreichen, muß daher soviel Löschmittel aufgebracht werden, daß nach Erreichen der Maximaltemperatur keine Rückzündung verursacht durch Glutbildung einsetzen kann.

In den Bildern 37 bis 40 sind die Mittelwerte der maximalen Temperatur im Innern der Probekörper in Abhängigkeit von der Löschdauer dargestellt.

Bei den Probekörpern, die oben und in der Mitte angeordnet und beim ersten Löschversuch abgelöscht worden sind, erreichen die gemittelten Maximaltemperaturen ca. 300 °C. In einzelnen Fällen können diese auch etwas höher sein. Die gemittelten Maximaltemperaturen der unten angeordneten Probekörper liegen insgesamt etwas höher und können besonders bei niedrigen Löschdauern um über 100 °C zu den Temperaturen der anderen Probekörper differieren. Prinzipielle Unterschiede zu den einzelnen Löschmitteln konnten nicht festgestellt werden.

Bedingt durch die länger andauernde Aufheizung sind die gemittelten maximalen Innentemperaturen nach dem zweiten Löschversuch wesentlich höher und erreichen auch bei hohen Löschdauern noch Temperaturen bis 500 °C, wie z.B. am unteren Probekörper bei Verwendung einer 20 gew.-%igen wässrigen Diammoniumsulfatlösung. Beim Löschen mit Wasser treten in einzelnen Fällen im Vergleich zu den anderen Löschmitteln höhere Temperaturwerte auf. Im mittleren Probekörper erreicht die gemittelte maximale Innentemperatur bei 2 s Löschdauer einen Wert von 600 °C. Im unteren Probekörper sind dies bei einer Löschdauer von 6 s 700 °C. In diesem Beispiel glühte der Probekörper in kurzer Zeit vollständig auf, obwohl anfänglich der Abkühlprozeß bereits eingesetzt hatte.

4.2 Aufheizung der Probekörper nach dem Löschen

Nach dem Löschen heizen sich die Probekörper wie schon erwähnt im Innern bis zum Erreichen eines Maximalwertes auf. Erst danach tritt die Abkühlung durch Wärmeaustausch mit der Umgebung ein.

Die Aufheizung bestimmt sich demnach aus der Differenz zwischen der maximal auftretenden Innentemperatur und der Temperatur im Innern unmittelbar nach dem Löschen. In den Bildern 41 bis 44 sind die gemittelten Temperaturdifferenzwerte für die verschiedenen Löschmittel über der Löschdauer aufgetragen. Zunächst fällt auf, daß die Aufheizung bis auf wenige Ausnahmen bei den Probekörpern, die beim zweiten Löschversuch abgelöscht wurden wesentlich geringer ist. Dies ist besonders dann der Fall, wenn die Innentemperaturen einen Wert von ca. 500 °C erreichen. Die Versuche haben gezeigt, daß in den meisten Fällen bei dem nach dem Löschen einsetzenden Glimmprozess Temperaturen von 520 °C nicht überschritten werden. Liegt nun die Temperatur im Innern unmittelbar nach dem Löschen in der Nähe von 500 °C, so bleibt die Aufheizung der Probekörper von sich aus begrenzt. Ausnahmen hiervon sind beim Löschen mit Wasser zu beobachten (siehe Bild 37). Bei einer Löschdauer von 6 s beispielsweise glühte der untere Probekörper nach anfänglichem Abkühlen vollständig auf, sodaß sich das Brett durch einen sprunghaften Temperaturanstieg um über 200 °C auf etwa 700 °C aufheizte. Die nach dem ersten Löschversuch abgelöschten Probekörper heizen sich bei niedrigen Löschdauern um etwa 100 °C auf. Dieser Wert nimmt mit zunehmender Löschdauer deutlich ab und erreicht bei 15 s Werte zwischen 20 °C und 60 °C. Die Aufheizung im unteren Probekörper ist hierbei deutlich größer als bei den darüber angeordneten.

4.3 Tatsächliche Löschzeit

In zwei Versuchsserien wurde für jedes Löschmittel die tatsächliche Löschzeit gemessen. Dies ist die Zeit, die zum vollständigen Ablöschen der Probekörper beim ersten Löschversuch benötigt wurde. Die Ergebnisse dieser Messungen sind in den Bildern 45 und 46 dargestellt. Als wichtiges Ergebnis ist festzuhalten, daß die Löschzeiten bei allen Löschmitteln um einen konstanten Mittelwert schwanken. Dieser Mittelwert unterscheidet sich für die verschiedenen Löschmittel nicht wesentlich und liegt im unteren Bereich der Löschdauer. Für das vollentsalzte Wasser

wurde ein Mittelwert von 3,0 s tatsächlicher Löschzeit errechnet. Für die beiden 5 und 20 gew.-%igen wässerigen Diammoniumhydrogenphosphatlösungen lagen die Mittelwerte bei 2,2 s bzw. 2,6 s und für die 20 gew.-%ige wässerige Diammoniumsulfatlösung wurden mit 3,6 s die höchsten Werte gemessen. Das in der verbleibenden Zeit aufgegebene Löschmittel steht für die Kühlung der Oberfläche der abgelöschten Probekörper zur Verfügung. Anhand dieser Ergebnisse kann festgehalten werden, daß die tatsächliche Löschzeit durch Zugabe von Additiven nicht wesentlich verkürzt wird, sondern wie im Falle der 20 gew.-%igen wässerigen Diammoniumsulfatlösung sogar geringfügig höher sein kann.

4.4 Löscherfolg

Anhand der fünf Versuchsserien wurden für die Löschmittel Häufigkeitsdiagramme des Löscherfolges beim ersten Löschversuch angefertigt. In Bild 47 ist die Zahl der Versuche über der Löschdauer aufgetragen, bei denen die Probekörper beim ersten Löschversuch gelöscht wurden. Hierbei fällt auf, daß der Löscherfolg bei Verwendung der 20 gew.-%igen wässerigen Diammoniumsulfatlösung am geringsten war. Erst nach 15 s Löschdauer konnte bei allen 5 Versuchen die Probekörper beim ersten Löschversuch gelöscht werden. Hier schnitt das reine Wasser am besten ab. Schon nach 4 s Löschdauer war der erste Löschversuch bei allen fünf Brandversuchen erfolgreich. Allerdings traten in einem Fall bei 6, 11 und 13 s und in zwei Fällen bei 12 s Rückzündungen auf. Die 5 gew.-%ige wässerige Diammoniumhydrogenphosphatlösung verhielt sich in etwa wie das Wasser. Mit der 20 gew.-%igen wässerigen Diammoniumhydrogenphosphatlösung wurden zwar erst ab einer Löschdauer von 10 s alle Brandversuche erfolgreich gelöscht, Rückzündungen jedoch konnten bei höheren Löschdauern nicht mehr beobachtet werden.

4.5 Mindestlöschmittelmenge

Die Mindestlöschmittelmenge wird als diejenige Größe definiert, die notwendig ist, um ein sicheres Ablöschen der Probekörper ohne Rückzündungen zu gewährleisten. Anhand der in Bild 47 dargestellten Häufigkeiten der beim ersten Löschversuch abgelöschten Probekörper wird die notwendige Mindestlöschdauer bestimmt und mit diesem Wert nach Bild 3 die Mindestlöschmittelmenge ermittelt. Diese Werte sind in Tabelle 1 für die verschiedenen Löschmittel zusammengefaßt. Für Wasser hat diese Mindestlöschmittelmenge einen hohen Wert, obwohl schon nach einer Löschdauer von 4 s bei allen fünf Versuchen der erste Löschversuch erfolgreich war. Da aber in einzelnen Fällen bei höheren Löschdauern Rückzündungen auftraten, kann erst nach 14 s Löschdauer ein sicheres Ablöschen erwartet werden. Bei Verwendung der 20 gew-%igen wässrigen Diammoniumhydrogenphosphatlösung ist schon nach 10 s Löschdauer ein sicheres Ablöschen der Probekörper zu erwarten, während bei der 5 gew-%igen wässrigen Diammoniumhydrogenphosphatlösung das Ablöschen der Probekörper 1 s länger andauert. Bei der 20 gew-%igen wässrigen Diammoniumsulfatlösung waren überhaupt erst nach 15 s Löschdauer alle ersten Löschversuche erfolgreich.

In Tabelle 1 wird die Mindestlöschmittelmenge V_{\min} in zwei Größen aufgeteilt. Mit Hilfe der für die verschiedenen Löschmittel gemessenen durchschnittlichen Löschzeiten, die in den Bildern 45 und 46 als durchgezogene Linien dargestellt sind, wird die für das Löschen benötigte durchschnittliche Löschmittelmenge $V_{l,\min}$ bestimmt. Die zum Abkühlen benötigte Löschmittelmenge $V_{k,\min}$ erhält man durch Bildung der Differenz zwischen der gesamten Löschmittelmenge und der zum Löschen benötigten Löschmittelmenge.

$$V_{k,\min} = V_{\min} - V_{l,\min} \quad (1)$$

Beim Vergleich der Werte in Tabelle 1 stellt man fest, daß der nach dem Löschen zum Kühlen der Oberfläche benötigte Anteil der Löschmittelmenge sehr hoch ist. Dieser Anteil konnte durch Verwendung der 5 gew.-%igen und der 20 gew.-%igen wässerigen Diammoniumhydrogenphosphatlösung gesenkt werden. Dies ergibt insgesamt eine Löschmittlersparnis von etwa 20 % bei Verwendung der 20 gew.-%igen und von etwa 15% bei Verwendung der 5 gew.-%igen wässerigen Diammoniumhydrogenphosphatlösung. Beim Löschen mit der 20 gew.-%igen wässerigen Diammoniumsulfatlösung ergibt sich ein geringfügiger Mehrverbrauch von etwa 4% .

5. DISKUSSION DER VERSUCHSERGEBNISSE

Betrachtet man die Ergebnisse der in diesem Forschungsauftrag durchgeführten Versuche mit drei übereinander angeordneten Probekörpern aus Preßspanmaterial in ihrer Gesamtheit, so lassen sich die nachfolgenden Schlußfolgerungen ziehen.

Beim Vergleich der Temperaturen, die an der Oberfläche der Probekörper bei Verwendung von vollentsalztem Wasser unmittelbar nach dem ersten Löschversuch gemessen wurden, mit denen, die bei Verwendung einer 20 gew.-%igen und einer 5 gew.-%igen wässerigen Diammoniumhydrogenphosphatlösung gemessen wurden, kann man bezüglich des Temperaturverlaufs in Abhängigkeit der Löschdauer keine großen Unterschiede feststellen. Sowohl bei Verwendung von Wasser als auch bei Verwendung der wässerigen Salzlösungen konnten Löscherfolge auch bei geringen Löschdauern bzw. bei Löschmittelmangel erzielt werden. Die Temperaturen betragen an der Oberfläche in allen drei Fällen etwa 300 °C für den oberen und mittleren Probekörper und bis 400 °C für den unteren Probekörper. Die Löschzeiten aller beim ersten Löschversuch abgelöschten Probekörper waren bei allen verwendeten Löschmitteln sehr niedrig und unterschieden sich nur wenig. Entsprechend war der zum Niederschlagen der Flammen benötigte Löschmittelanteil im Verhältnis zur gesamten Mindestlöschwassermenge klein und in erster Näherung unabhängig vom verwendeten Löschmittel.

Anhand der Großversuche und der Versuche mit den Holzkrippen wurde die verbesserte Löschwirkung bei Anwendung salzhaltiger wässriger Lösungen auf ein direktes Eingreifen der gelösten Salzteilchen in die Verbrennungsreaktion (Inhibitionseffekt) zurückgeführt. Die Tatsache, daß beim ersten erfolgreichen Löschversuch bei den Kleinversuchen sowohl bei den Temperaturen an der Oberfläche der Probekörper als auch bei den durchschnittlichen Löschzeiten und bei der zum Löschen benötigten Mindestlöschmittelmenge nur geringe Unterschiede auftraten, führt zu dem Schluß, daß Inhibitionseffekte beim Löschen mit salzhaltigen wässrigen Löschmitteln vernachlässigbar sind. Während des Löschvorgangs ist die kühlende Wirkung des Wassers allein bestimmend. Bei Verwendung einer 20 gew.-%igen wässrigen Diammoniumsulfatlösung konnte sogar eine leichte Verschlechterung der Löscheigenschaft beobachtet werden.

Nachdem die Flammen niedergeschlagen sind, muß weiterhin Löschmittel aufgebracht werden, um die Oberfläche der Probekörper unterhalb der Entzündungstemperatur zu halten. Wie schon zuvor festgestellt wurde, ist dieser Anteil an aufzubringender Löschmittelmenge erheblich größer. Durch Verwendung von 5 gew.-%iger bzw. 20 gew.-%iger wässriger Diammoniumhydrogenphosphatlösung konnte dieser Anteil bei allen Versuchen, bei denen die Probekörper mit dem ersten Löschversuch gelöscht wurden, gesenkt werden, sodaß insgesamt weniger Löschmittel verbraucht wurde. Vergleicht man die Innentemperaturen der beim ersten Löschversuch abgelöschten Probekörper zum Zeitpunkt vier Minuten nach dem ersten Löschversuch, so lassen sich im Rahmen der versuchstechnisch bedingten Meßgenauigkeit für die einzelnen Löschmittel keine Unterschiede feststellen. Das gleiche gilt für die maximalen Innentemperaturen. Die Aufheizung der Probekörper ist nur bei Anwendung der 20 gew.-%igen wässrigen Diammoniumhydrogenphosphatlösung etwas geringer. Hier hatte man eindeutigere Ergebnisse zugunsten der Salzlösungen erwartet.

Deutlichere Unterschiede traten bei den Meßwerten auf, die bei den Probekörpern gemessen wurden, die beim zweiten Löschversuch

abgelöscht worden sind. Durch das längere Aufheizen bedingt, wurden nach dem Ablöschen der Probekörper sehr hohe Innentemperaturen gemessen. Für niedrige Löschdauern lagen diese Temperaturwerte in der Nähe der maximal gemessenen Innentemperaturen, sodaß die Aufheizung in diesen Fällen niedriger war als bei den beim ersten Löschversuch abgelöschten Probekörpern. In den unten angeordneten Probekörpern sind die Innentemperaturen auch bei höheren Löschdauern unverändert hoch. Dies ist besonders beim Löschen mit der 20 gew.-%igen wässerigen Diammoniumsulfatlösung der Fall. Aufgrund der hohen Temperaturen im Innern der Probekörper waren nach dem zweiten Löschversuch unabhängig vom Löschmittel Glutnester in der verbleibenden Restmasse zu beobachten. Diese befanden sich vorwiegend an den Rändern. Von dort aus breiteten sich die Glutnester ins Innere der verbleibenden Restmasse aus, wodurch ein Glimmprozeß eingeleitet wurde. Bei Verwendung der beiden wässerigen Diammoniumhydrogenphosphatlösungen kam der Glimmprozeß in relativ kurzer Zeit zum Stillstand, wobei die Struktur der Restmasse erhalten blieb. Auch bei Verwendung der 20 gew.-%igen wässerigen Diammoniumsulfatlösung kam der Glimmprozeß von selbst zum Stillstand. Die Struktur der Restmasse wurde jedoch teilweise zerstört. Dagegen breitete sich die Glut nach dem Ablöschen mit Wasser in einzelnen Fällen unvermindert aus. Nach einer anfänglichen Abkühlphase stieg hier die Innentemperatur sprunghaft, bis auf Werte zwischen 600 °C und in einem Fall etwa 700 °C an. Der Glimmprozeß dauerte bis zur Veraschung der Restmasse an.

Anhand dieser Ergebnisse kann angenommen werden, daß insbesondere beim Löschen mit den beiden 5 gew.-%igen und 20 gew.-%igen wässerigen Diammoniumhydrogenphosphatlösungen die Oberfläche der Restmasse durch Imprägnierung chemisch so verändert wird, daß eine Ausbreitung der Glut nach dem Löschen verhindert wird. Beim Löschen mit Wasser fehlt diese Imprägnierung der Oberfläche. Hier muß deshalb zur Kühlung der Restmasse und zur Verhinderung der Glutbildung mehr Löschmittel aufgebracht werden. Daraus folgt, daß die Löschwirkung der wässerigen Salzlösungen mit der Glutbildung der Restmasse zunimmt. Bei einer starken Glutbildung der

Restmasse sind die wässerigen Salzlösungen wegen ihrer speziellen Löschwirkung am effektivsten. Hierbei ist die Löschwirkung von dem Verhältnis Oberfläche zu verbleibender Restmasse abhängig. Ist dieses Verhältnis klein, wie z.B. bei den ganzen Platten als Probekörper in /4/, so sind nur geringe Unterschiede in der Löschwirksamkeit im Vergleich zu reinem Wasser feststellbar. Wird dieses Verhältnis durch Vergrößerung der Oberfläche z.B. durch Verwendung der Preßspanstreifen als Probekörper erhöht, können Unterschiede in der Löschwirkung im Vergleich zu Wasser eindeutig nachgewiesen werden. Bei sehr großer Oberfläche im Verhältnis zur verbleibenden Restmasse, wie dies bei den Groß- und Krippenversuchen der Fall war, ist die Löschwirksamkeit der wässerigen Salzlösungen im Vergleich zu reinem Wasser wesentlich besser. Hier kommt die spezielle Löschwirkung der gelösten Salzteilchen, die Verhinderung der Glutausbreitung, voll zum Tragen. In der Praxis kann dieser Sachverhalt z.B. bei einem Zimmerbrand genutzt werden. Zuerst werden die Flammen mit normalem Löschwasser niedergeschlagen und danach erfolgt die Kühlung der Restmasse und das Ablöschen der Glutnester durch Zumischung von löschmittelsparenden Salzzusätzen.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurden anhand von Modellversuchen an drei übereinander angeordneten Probekörpern aus Preßspanmaterial Temperaturen an der Oberfläche und im Innern (9 mm Tiefe) gemessen. Gelöscht wurde mit Wasser, einer 5 gew.-%igen bzw. 20 gew.-%igen wässerigen Diammoniumhydrogenphosphatlösung sowie mit einer 20 gew.-%igen wässerigen Diammoniumsulfatlösung. Die Löschdauer betrug anfangs 2 s und wurde in Schrittweiten von jeweils 1 s bis auf 15 s erhöht. War das Löschwasser beim ersten Löscheversuch nicht ausreichend, so erfolgte 4 min später ein zweiter Löscheversuch mit derselben Löschdauer. Es wurden für jedes zu untersuchende Löschmittel drei Versuchsserien gefahren. Damit erhielt man für jeden Probekörper zwei Temperaturen an der Oberfläche und im Innern (9 mm) in

Abhängigkeit von der Löschdauer zum Zeitpunkt des ersten Löscheversuchs sowie zum Zeitpunkt 4 min nach dem ersten Löscheversuch und außerdem die durchschnittlich maximal auftretende Temperatur im Innern des Probekörpers. Mit zwei weiteren Versuchsserien ohne Temperaturmessung wurde die zum Löschen der Probekörper benötigte Zeit gemessen. Mit Hilfe der insgesamt fünf Versuchsserien wurden für jedes Löschmittel Häufigkeitsdiagramme über den Löscherfolg beim ersten Löscheversuch in Abhängigkeit von der Löschdauer erstellt.

Aufgrund der Versuche konnte nachgewiesen werden, daß beim Löschen mit wässrigen Salzlösungen chemische Löscheffekte bzw. Inhibitionseffekte vernachlässigt werden können. Für das Löschen ist allein der Kühleffekt des Wassers maßgebend. Bei Verwendung der 20 gew.-%igen wässrigen Diammoniumsulfatlösung konnte eine Verschlechterung der Löscheigenschaft im Vergleich zum reinen Wasser beobachtet werden. Trotzdem konnte bei Verwendung der beiden wässrigen Diammoniumhydrogenphosphatlösungen die Verringerung der Löschmittelmenge, die bei der Durchführung von Großversuchen ermittelt wurde, bestätigt werden. Anhand der in diesem Forschungsvorhaben durchgeführten Versuche wurde festgestellt, daß der Löschevorgang in zwei Phasen unterteilt werden muß, und zwar in eine relativ kurze Löschephase, in der mit einer verhältnismäßig geringen Löschmittelmenge im Vergleich zur gesamten benötigten Menge die Flammen niedergeschlagen werden, und in eine daran anschließende Abkühlphase zur Kühlung der Oberfläche, um Rückzündungen zu vermeiden. In der zweiten Phase wird die größte Löschmittelmenge benötigt. Hier konnten Einsparungen bei Verwendung der wässrigen Diammoniumhydrogenphosphatlösungen erreicht werden. Gleichzeitig wurde nach dem Löschen die Oberfläche der verbleibenden Restmasse chemisch so verändert, daß im Gegensatz zum Löschen mit Wasser eine Ausbreitung der sich an den Rändern befindlichen Glutnester zum Innern hin verhindert wurde.

7. FORMELZEICHEN

V_{\min}	Mindestlöschmittelmenge pro Flächeneinheit
$V_{l,\min}$	Zum Löschen benötigte Mindest- löschmittelmenge pro Flächeneinheit
$V_{k,\min}$	Zum Kühlen benötigte Mindest- löschmittelmenge pro Flächeneinheit

8. LITERATURVERZEICHNIS

- /1/ Fuchs, P.: Untersuchung der Löschwirkung verschiedener Löschmittel und Löschmethoden bei unterschiedlichen Brandgütern.
Forschungsbericht Nr.36
Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer, Arbeitskreis V - Unterausschuß "Feuerwehrangelegenheiten" (1979)
- /2/ Fuchs, P.: Untersuchung der Löschwirkung verschiedener Löschmittel und Löschmethoden bei unterschiedlichen Brandgütern. Teil II
Forschungsbericht Nr.41
Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer, Arbeitskreis V - Unterausschuß "Feuerwehrangelegenheiten" (1980)
- /3/ Widmann, P.: Untersuchung der Löschwirkung verschiedener Löschmittel und Löschmethoden bei unterschiedlichen Brandgütern. Teil III
Forschungsbericht Nr.44
Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer, Arbeitskreis V - Unterausschuß "Feuerwehrangelegenheiten" (1981)

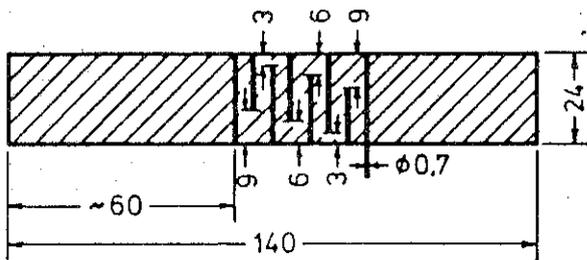
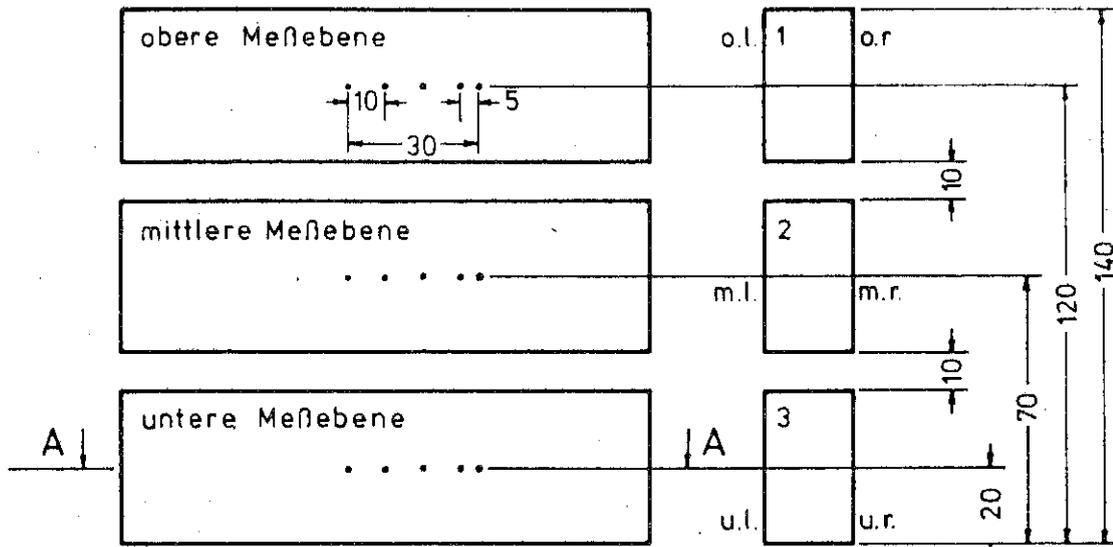
- /4/ Bodamer, M.: Untersuchung der Löschwirkung
verschiedener Löschmittel und Lösch-
methoden bei unterschiedlichen Brand-
gütern. Teil IV
Forschungsbericht Nr.48
Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien
der Bundesländer, Arbeitskreis V -
Unterausschuß "Feuerwehrangelegenheiten"
(1982)
- /5/ Fuchs, P.: Brand- und Löschversuche in natürlichem
Maßstab, um geeignete Löschmittel oder
Kombinationen von Löschmitteln zu finden,
die den bei der derzeitigen Brandbe-
kämpfung üblichen Wasserschaden
verringern könnten.
Forschungsbericht Nr.33
Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien
der Bundesländer, Arbeitskreis V -
Unterausschuß "Feuerwehrangelegenheiten"
(1978)

9. TABELLEN UND BILDER

Tabelle 1: Mindestlöschwassermenge der verwendeten Löschmittel

Löschmittel	Löscherfolg	Löschdauer s	v_{min} l/m ²	$v_{l,min}$ l/m ²	$v_{k,min}$ l/m ²	Mehr-oder Minderverbrauch %
vollentsalztes Wasser	bei 5 Versuchen positiv	14	2,16	0,6	1,56	---
20 Gew.% (NH ₄) ₂ SO ₄	bei 5 Versuchen positiv	15	2,24	0,7	1,54	+ 3,7 %
20 Gew.% (NH ₄) ₂ HPO ₄	bei 5 Versuchen positiv	10	1,72	0,54	1,18	- 20,4 %
5 Gew.% (NH ₄) ₂ HPO ₄	bei 5 Versuchen positiv	11	1,84	0,46	1,38	- 14,8 %

Probekörper

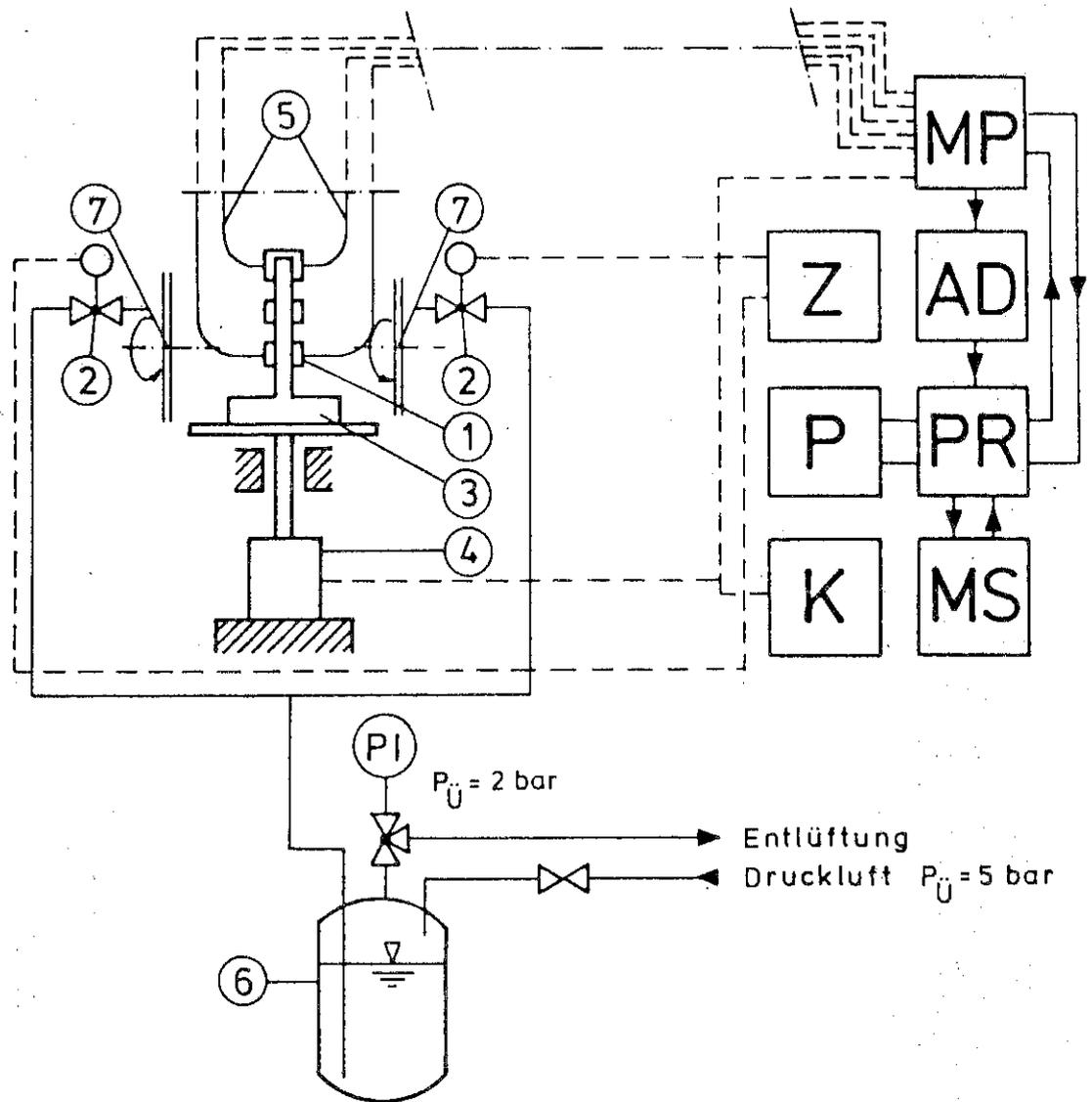


Thermoelemente

Typ NiCr-Ni (DIN 43710)
 $\phi 0,5$ mm

Schnitt A-A

Bild 1: Brandgutabmessungen und Lage der Thermoelemente



- 1 Brandgut
- 2 Magnetventil mit Düse
- 3 Halterung, Spiritusschale
- 4 Waage, Meßwertumformer
- 5 Thermoelemente (NiCr-Ni)
- 6 Druckbehälter
- 7 Chopper

- MP Multiplexer
- AD Analog-Digital-Wandler
- PR Prozeßrechner
- MS Magnetspeicher
- Z Zeitschaltuhr
- P Plotter
- K Kompensationsschreiber
- PI Druckanzeiger

— — — Datenleitung
 - - - - Steuerleitung

Bild 2: Schematische Darstellung der Versuchsanordnung

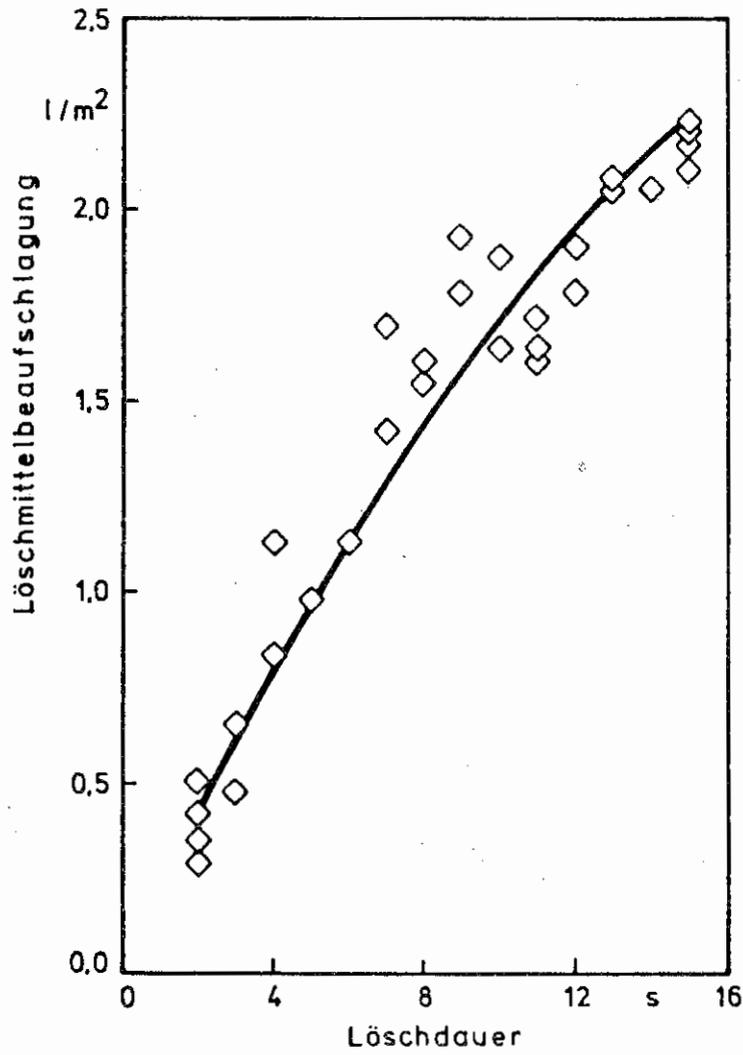


Bild 3: Löschmittelbeaufschlagung in Abhängigkeit der Löschdauer

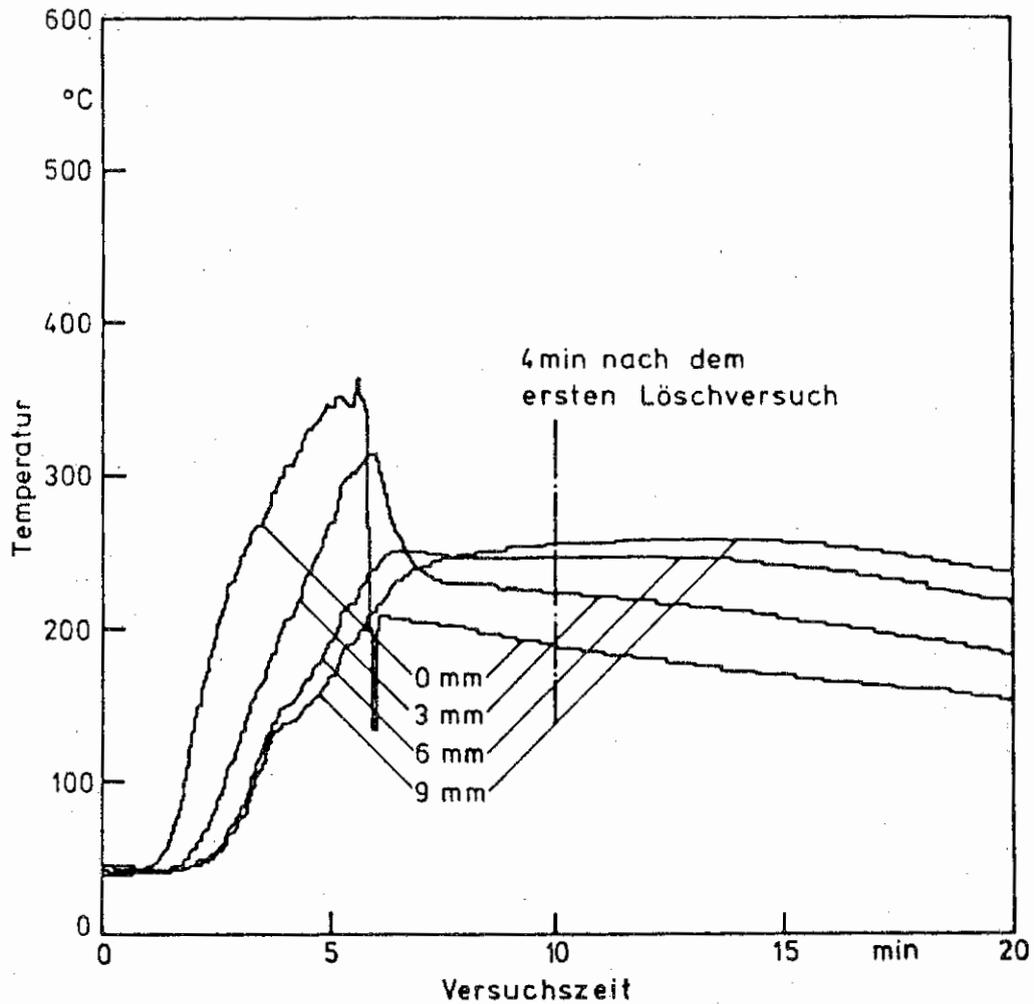


Bild 4a: Zeitlicher Temperaturverlauf in verschiedenen Tiefen eines beim ersten Löschversuch gelöschten oben angeordneten Probekörpers

Chopper mit voller Öffnung der Segmente und
und einer Umdrehung von 750 U/min

Zündquelle : 40 ml Spiritus
Löschmittel : 20 gew.-% $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$
Löschdauer : 6 s
Meßstelle : oberer Probekörper, rechte Seite

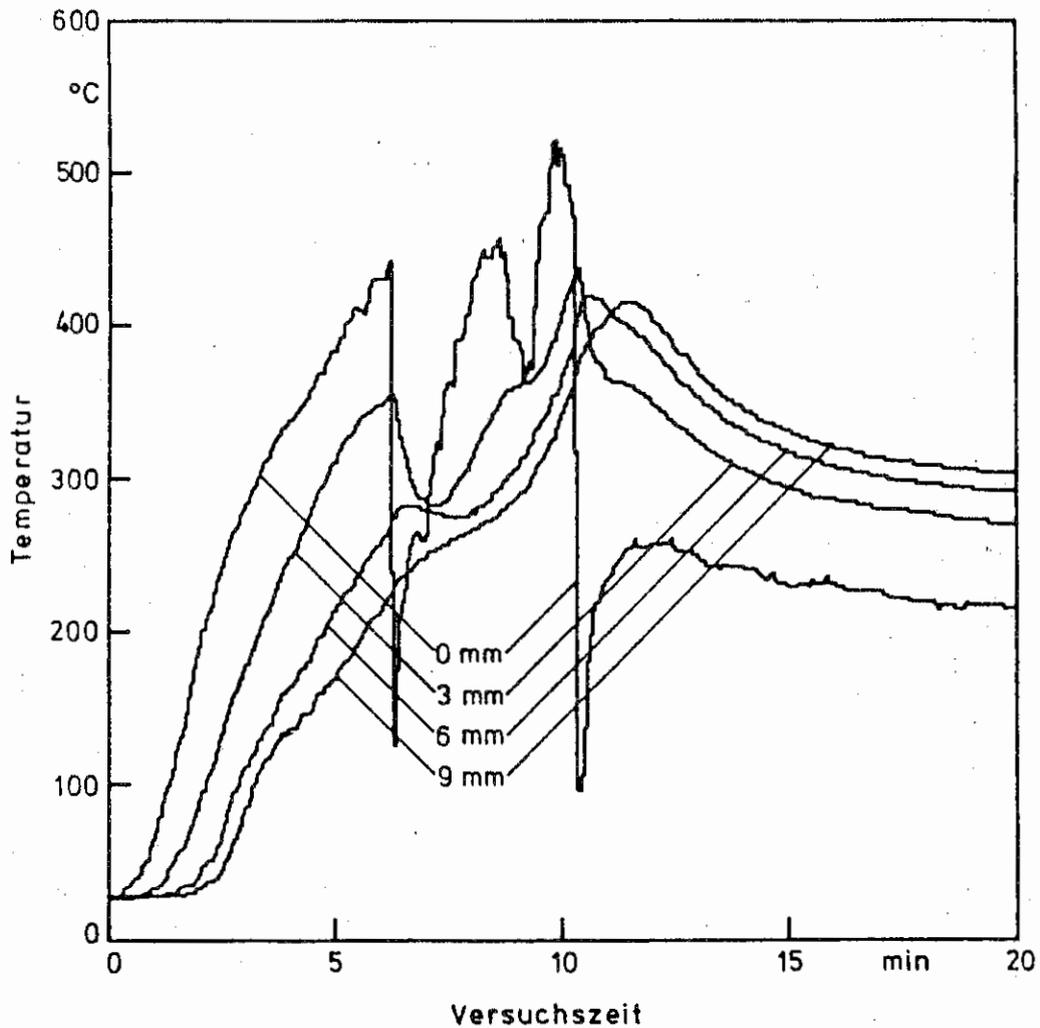


Bild 4b: Zeitlicher Temperaturverlauf in verschiedenen Tiefen eines beim zweiten Löschversuch gelöschten oben angeordneten Probekörpers

Chopper mit voller Öffnung der Segmente und einer Umdrehung von 750 U/min

Zündquelle : 40 ml Spiritus
Löschmittel : 20 gew.-% $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
Löschdauer : 6 s
Meßstelle : oberer Probekörper, rechte Seite

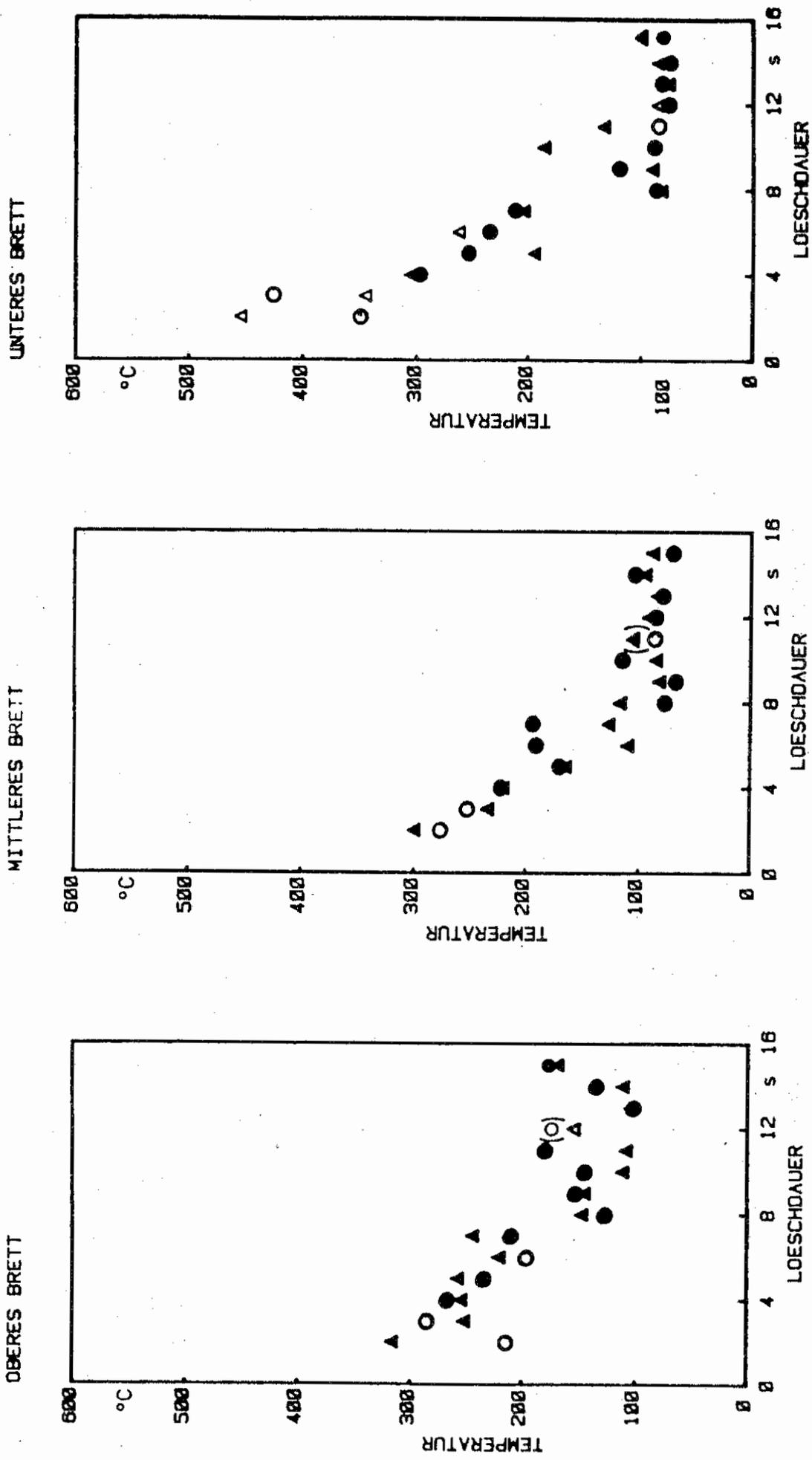


Bild 5 : Temperaturen in Abhängigkeit von der Löschdauer unmittelbar nach dem ersten Löscheversuch
Die Meßstelle befindet sich auf der linken Seite in 0 mm Tiefe
Löschmittel: vollentsalztes Wasser
△ 1. Versuchsserie / ○ 2. Versuchsserie / (△,○,▲,●) Temperaturwerte stimmen überein
(▲,●) erster Löscheversuch erfolgreich

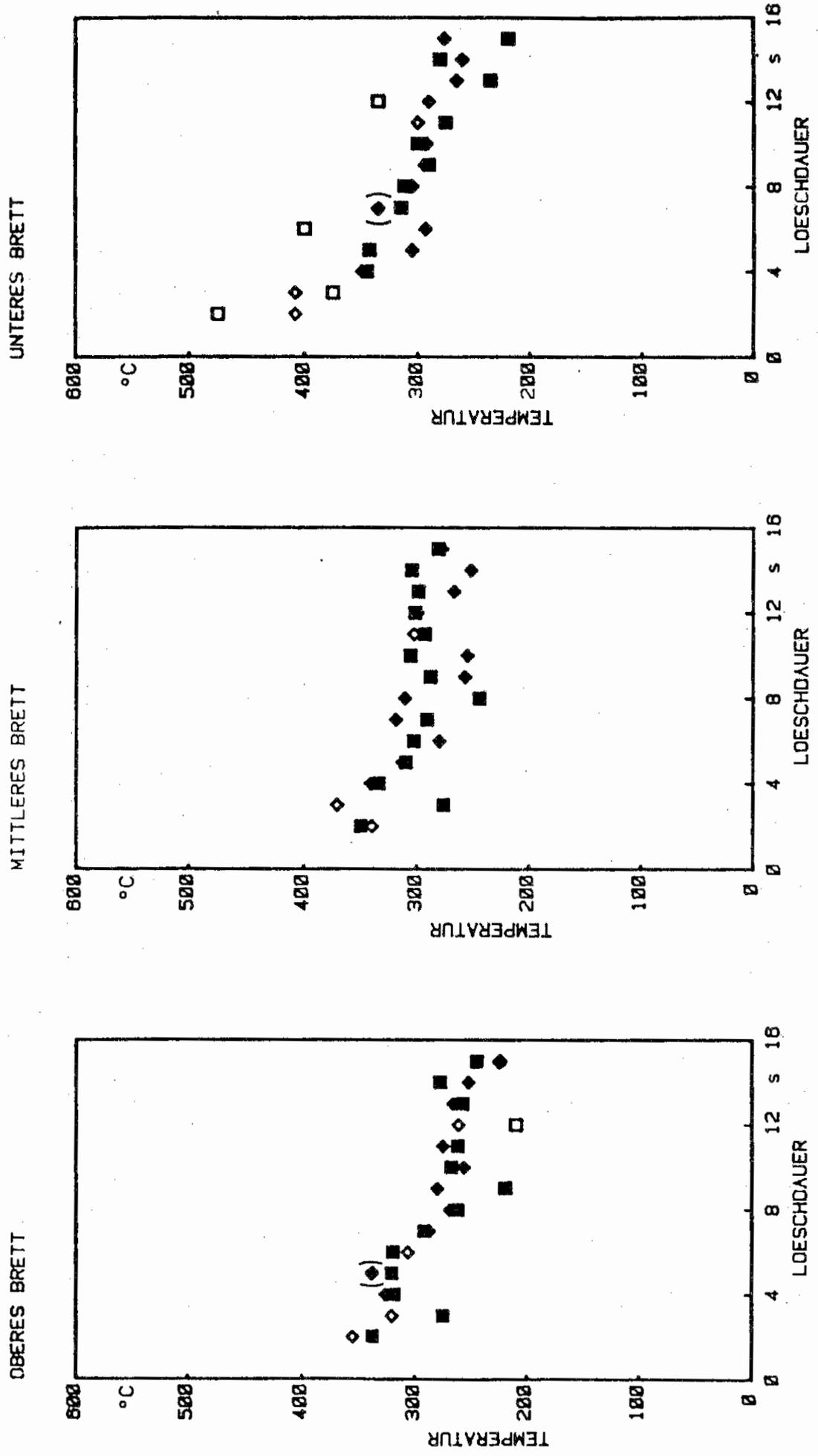


Bild 6 : Temperaturen in Abhängigkeit von der Löschdauer unmittelbar nach dem ersten Löschversuch.

Die Meßstelle befindet sich auf der rechten Seite in 0 mm Tiefe

Löschmittel: vollentsalztes Wasser

- 1. Versuchsserie / ◇ 2. Versuchsserie / (□,◇,◆) Temperaturwerte stimmen überein
- (◆,◆) erster Löschversuch erfolgreich

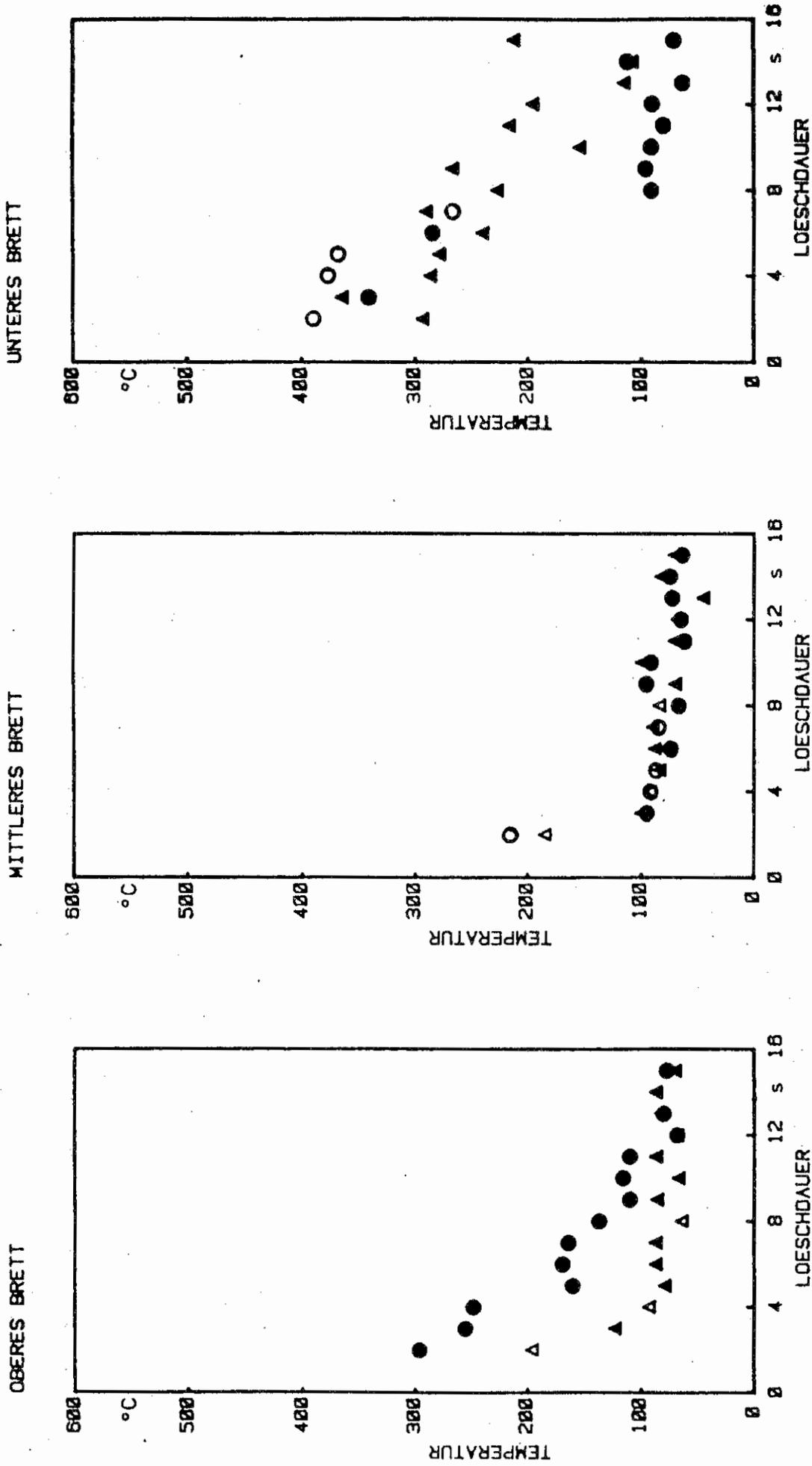


Bild 7 : Temperaturen in Abhängigkeit von der Löschdauer unmittelbar nach dem ersten Löscheversuch
Die Meßstelle befindet sich auf der linken Seite in 0 mm Tiefe
Löschemittel: 20 gew.-%ige wässrige Diammoniumhydrogenphosphatlösung
Δ 1. Versuchsreihe / O 2. Versuchsreihe / (Δ, O, ▲, ●) Temperaturwerte stimmen überein
(▲, ●) erster Löscheversuch erfolgreich

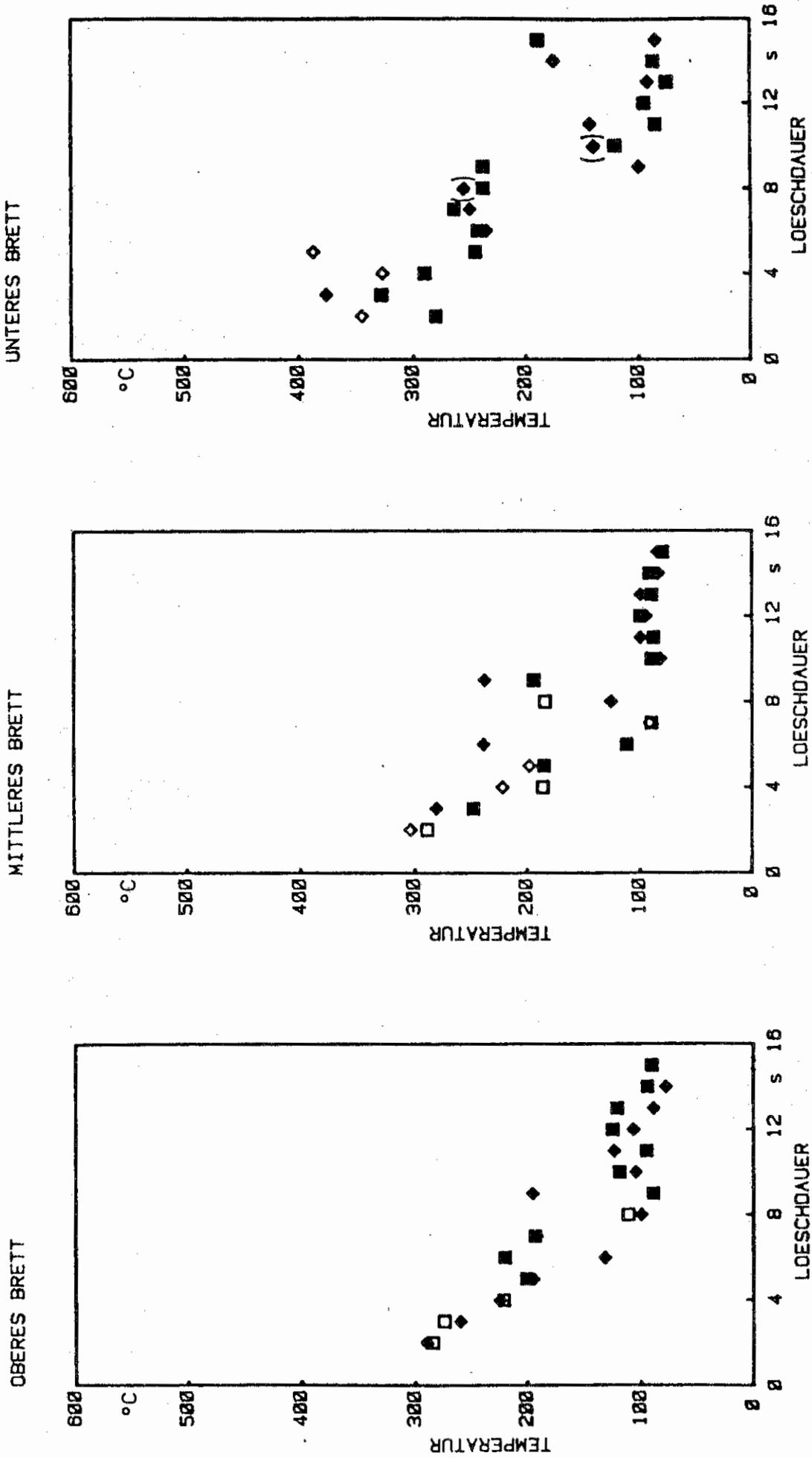


Bild 8 : Temperaturen in Abhängigkeit von der Löschdauer unmittelbar nach dem ersten Löscheversuch

Die Meßstelle befindet sich auf der rechten Seite in 0 mm Tiefe

Löschmittel: 20 gew.-%ige wässrige ammoniumhydrogenphosphatlösung

- 1. Versuchsserie / ◇ 2. Versuchsserie / (□, ◇) Temperaturwerte stimmen überein
- (■, ◆) erster Löscheversuch erfolgreich

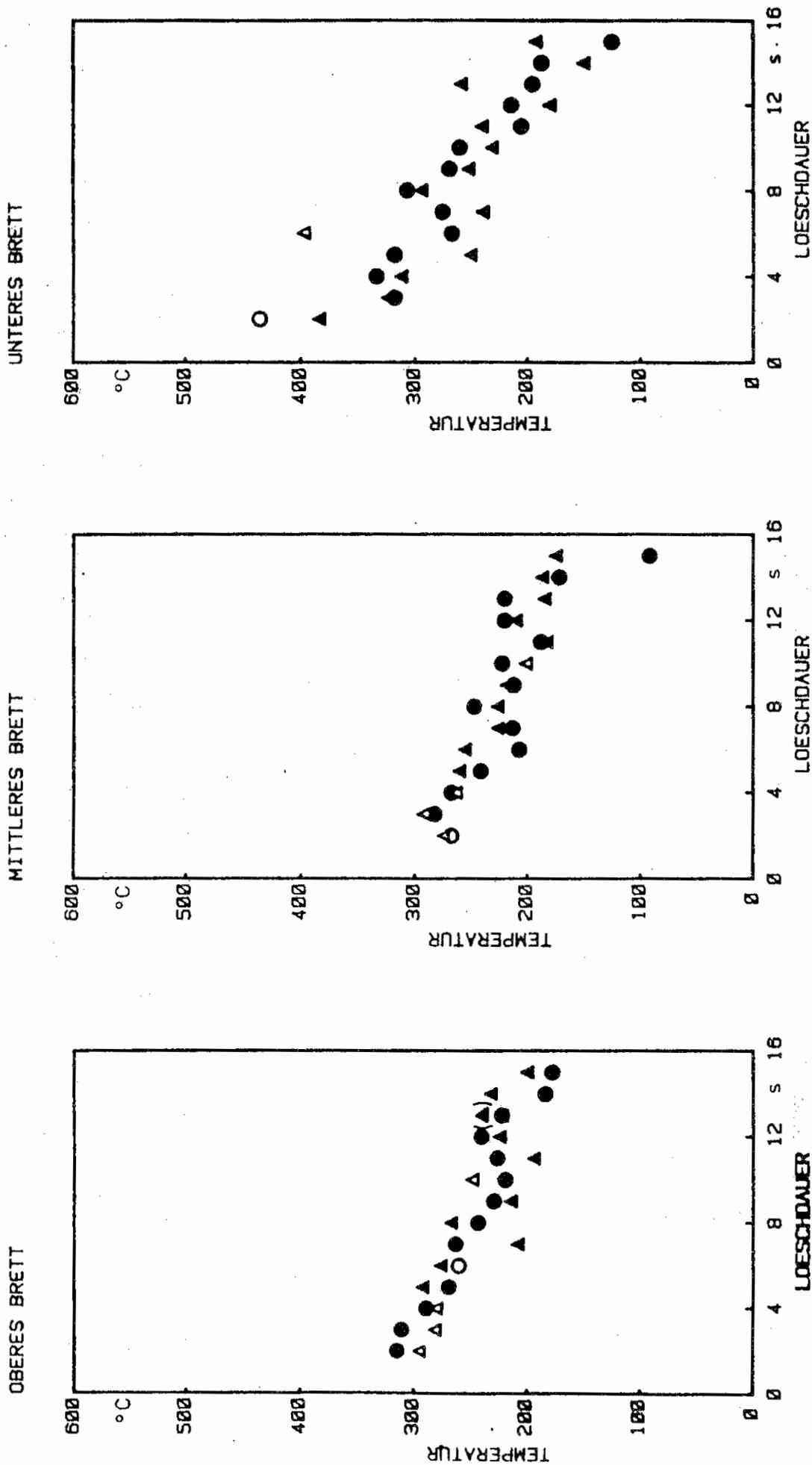


Bild 9 : Temperaturen in Abhängigkeit von der Löschdauer unmittelbar nach dem ersten Löscheversuch

Die Meßstelle befindet sich auf der linken Seite in 0 mm Tiefe
Löschmittel: 5 gew.-%ige wässrige Diammoniumhydrogenphosphatlösung

Δ 1. Versuchsserie / O 2. Versuchsserie / (Δ,O,▲,●) Temperaturwerte stimmen überein
(▲,●) erster Löscheversuch erfolgreich

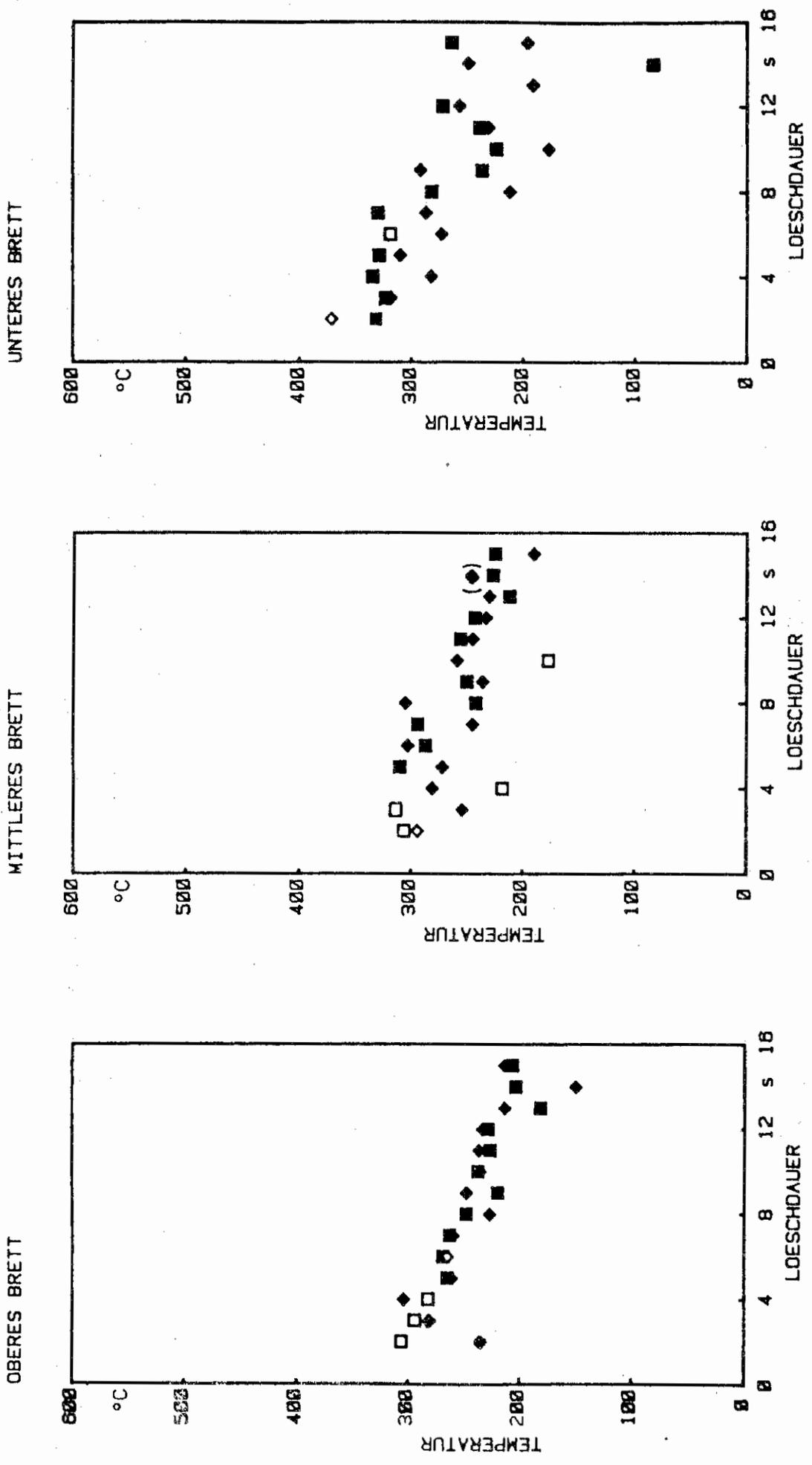


Bild 10: Temperaturen in Abhängigkeit von der Löschdauer unmittelbar nach dem ersten Löscheversuch
 Die Meßstelle befindet sich auf der rechten Seite in 0 mm Tiefe
 Löschmittel: 5 gew.-%ige wässrige Diammoniumhydrogenphosphatlösung
 ◻ 1. Versuchsserie / ◻ 2. Versuchsserie / (◻, ◻) Temperaturwerte stimmen überein.
 (■, ◆) erster Löscheversuch erfolgreich

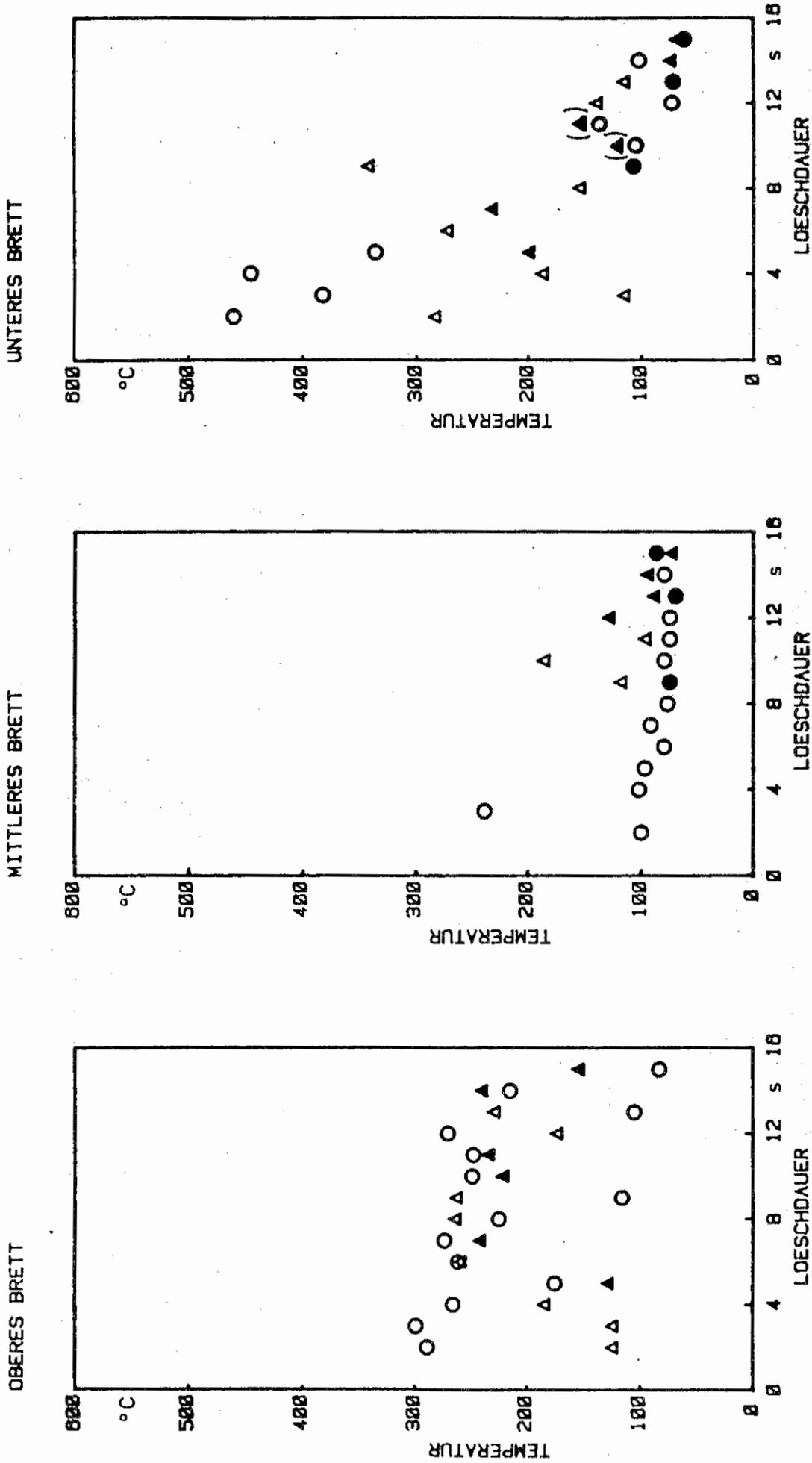


Bild 11: Temperaturen in Abhängigkeit von der Löschdauer unmittelbar nach dem ersten Löscheversuch

Die Meßstelle befindet sich auf der linken Seite in 0 mm Tiefe

Löschmittel: 20 gew.-%ige wässrige Diammoniumsulfatlösung

△ 1. Versuchsserie / ○ 2. Versuchsserie / (△,○,▲,●) Temperaturwerte stimmen überein

(▲,●) erster Löscheversuch erfolgreich

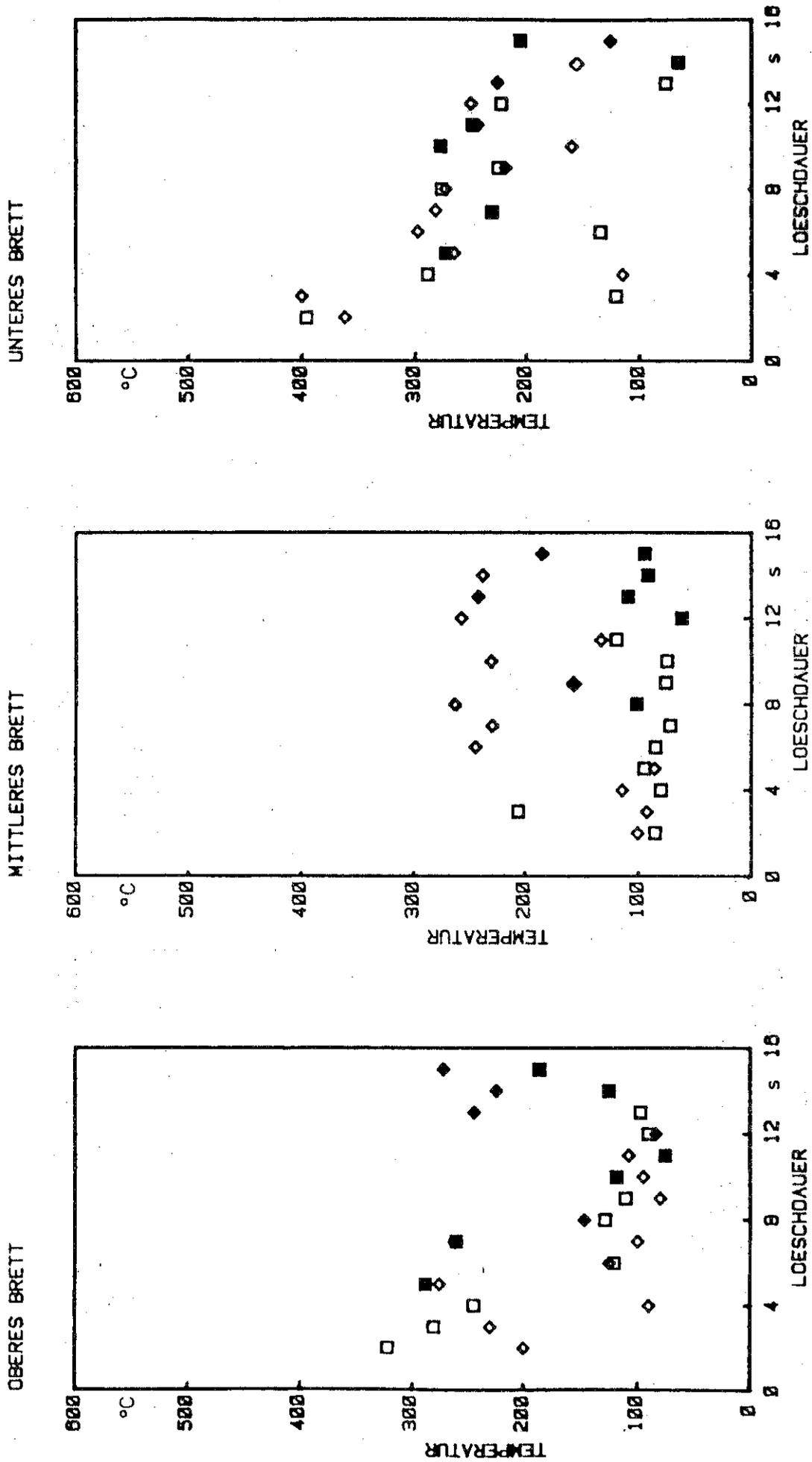


Bild 12: Temperaturen in Abhängigkeit von der Löschdauer unmittelbar nach dem ersten Löscheversuch

Die Meßstelle befindet sich auf der rechten Seite in 0 mm Tiefe

Löschmittel: 20 gew.-%ige wässrige Diammoniumsulfatlösung

□ 1. Versuchsserie / ◇ 2. Versuchsserie / (□, ◇, ■, ◆) Temperaturwerte stimmen überein

(■, ◆) erster Löscheversuch erfolgreich

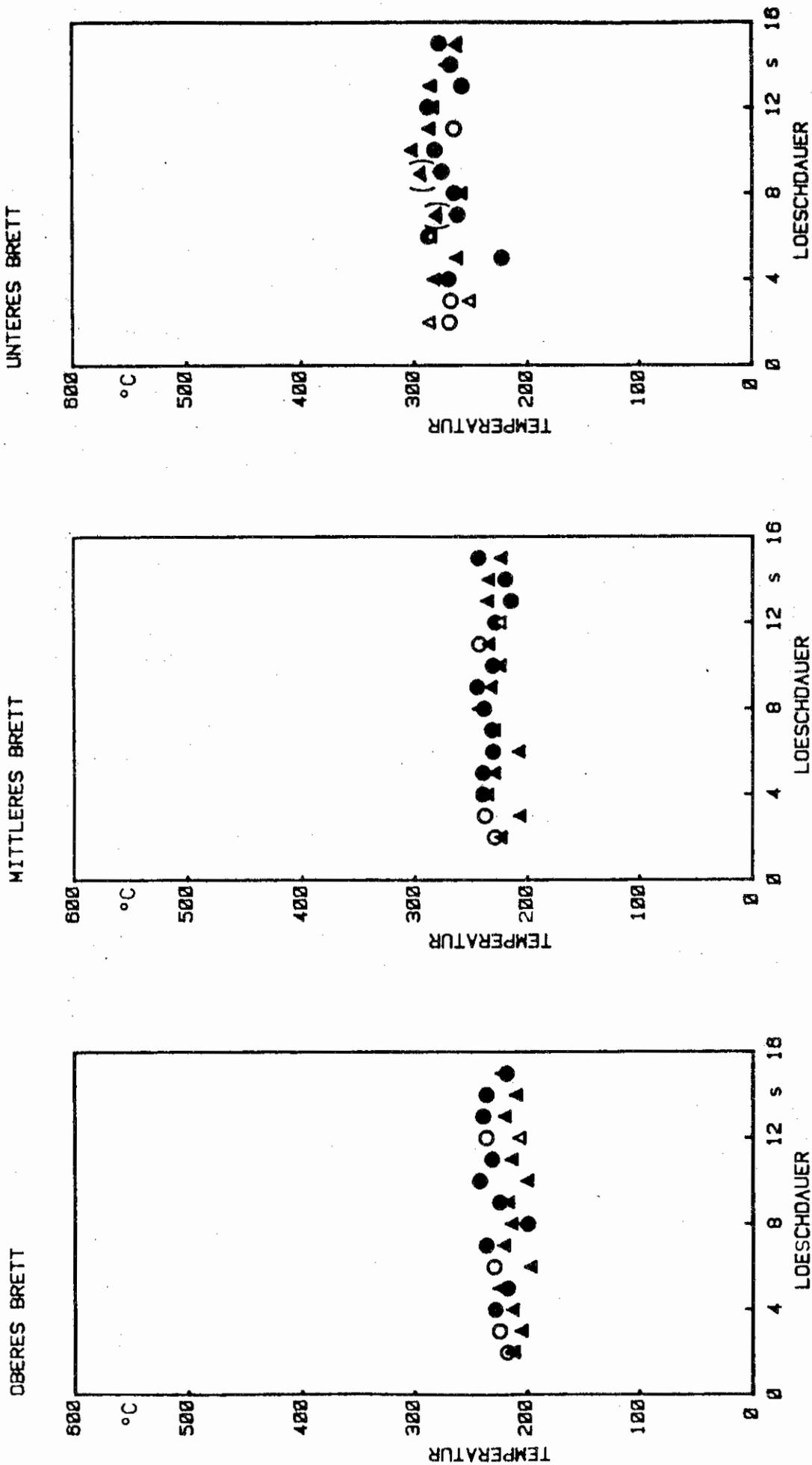


Bild 13: Temperaturen in Abhängigkeit von der Löschdauer unmittelbar nach dem ersten Löscheversuch

Die Meßstelle befindet sich auf der linken Seite in 9 mm Tiefe

Löschmittel: vollentsalztes Wasser

△ 1. Versuchsreihe / O 2. Versuchsreihe / (△, O, ▲, ●) Temperaturwerte stimmen überein

(▲, ●) erster Löscheversuch erfolgreich

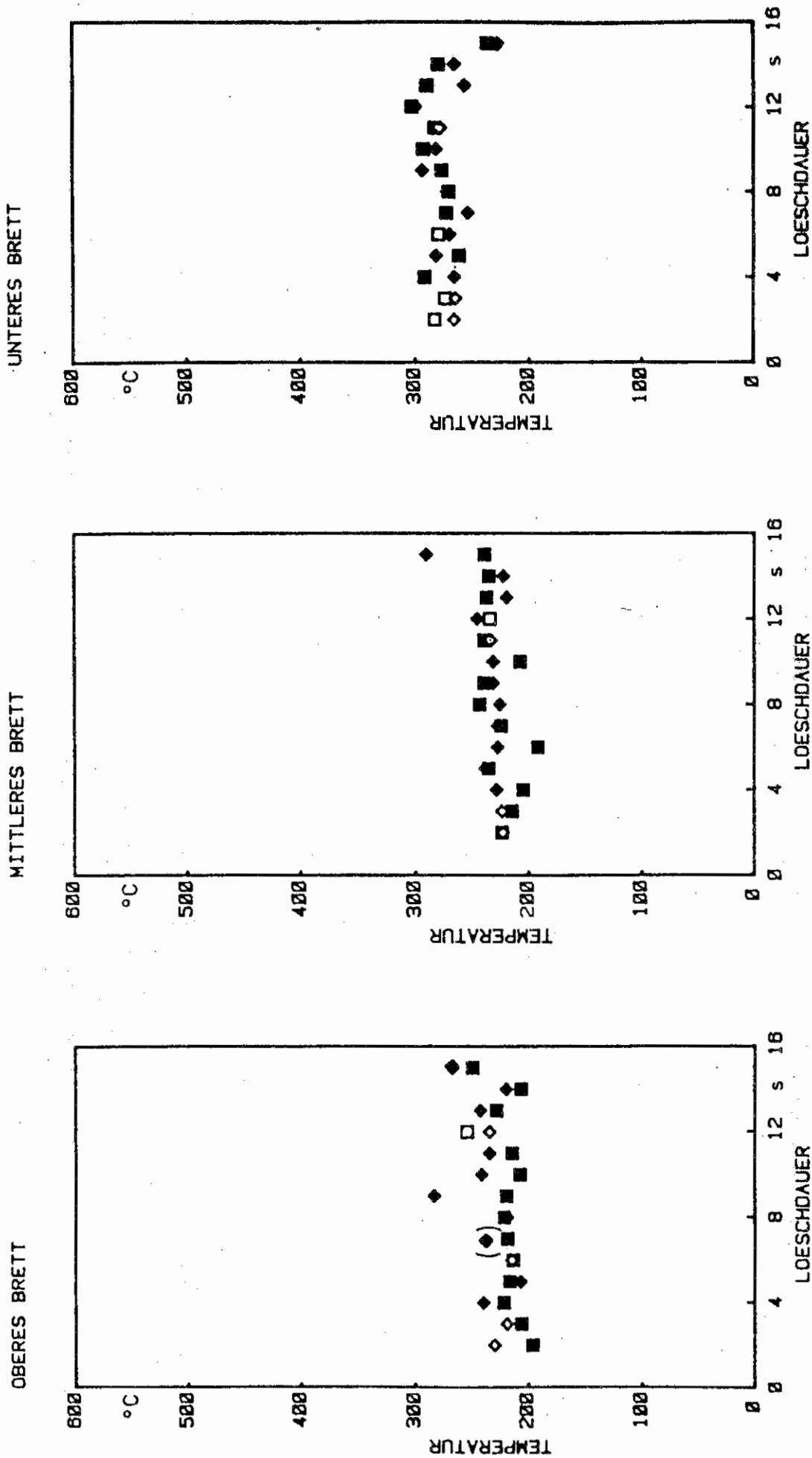


Bild 14: Temperaturen in Abhängigkeit von der Löschdauer unmittelbar nach dem ersten Löscheversuch

Die Meßstelle befindet sich auf der rechten Seite in 9 mm Tiefe

Löschmittel: vollentsalztes Wasser

□ 1. Versuchsreihe / ◇ 2. Versuchsreihe / (□, ◇, ■, ◆) Temperaturwerte stimmen überein

(■, ◆) erster Löscheversuch erfolgreich

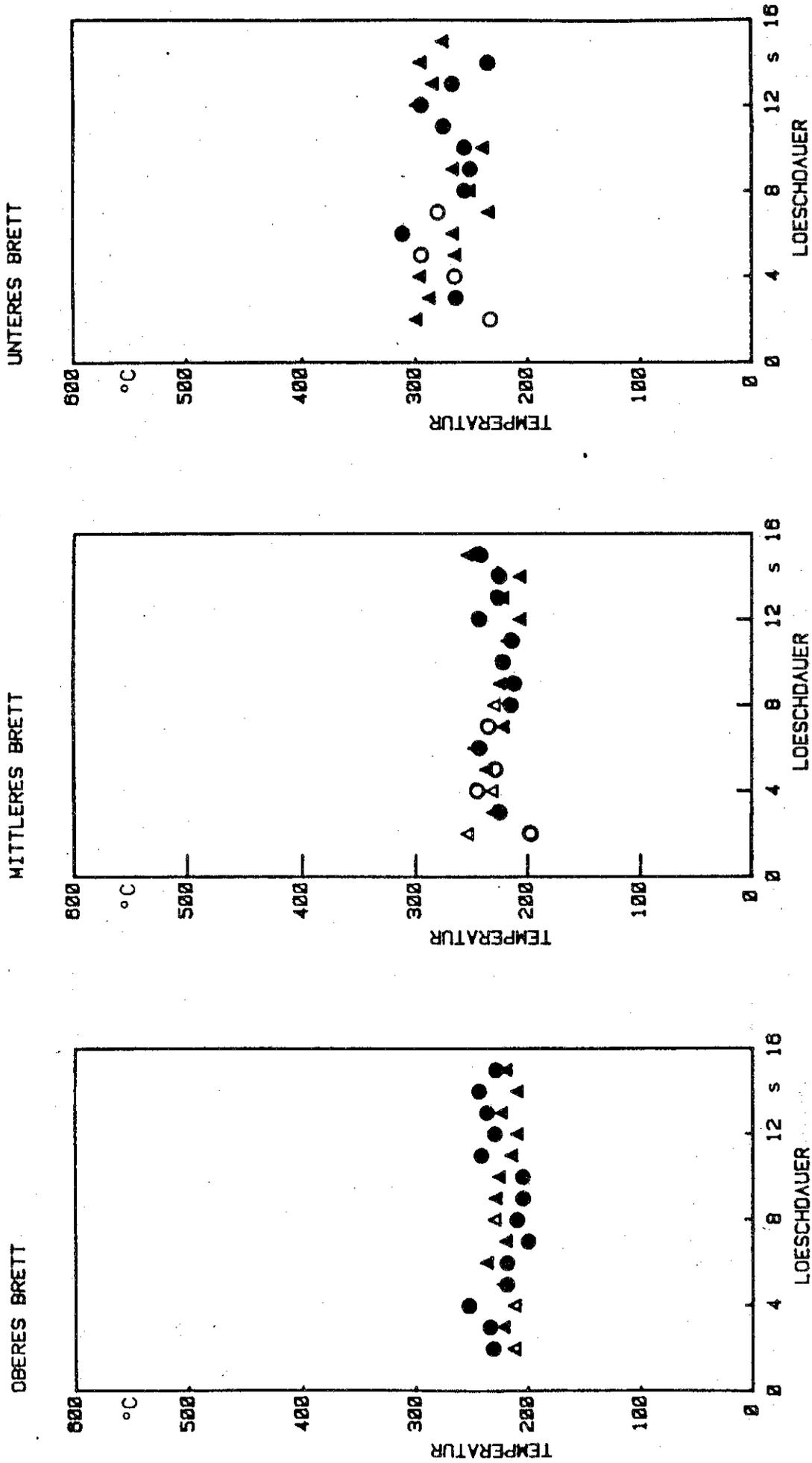


Bild 15: Temperaturen in Abhängigkeit von der Löschdauer unmittelbar nach dem ersten Löscheversuch

Die Meßstelle befindet sich auf der linken Seite in 9 mm Tiefe

Löschmittel: 20 gew.-%ige wässrige Diammoniumhydrogenphosphatlösung

Δ 1. Versuchsserie / O 2. Versuchsserie / (Δ,O,▲,●) Temperaturwerte stimmen überein

(▲,●) erster Löscheversuch erfolgreich

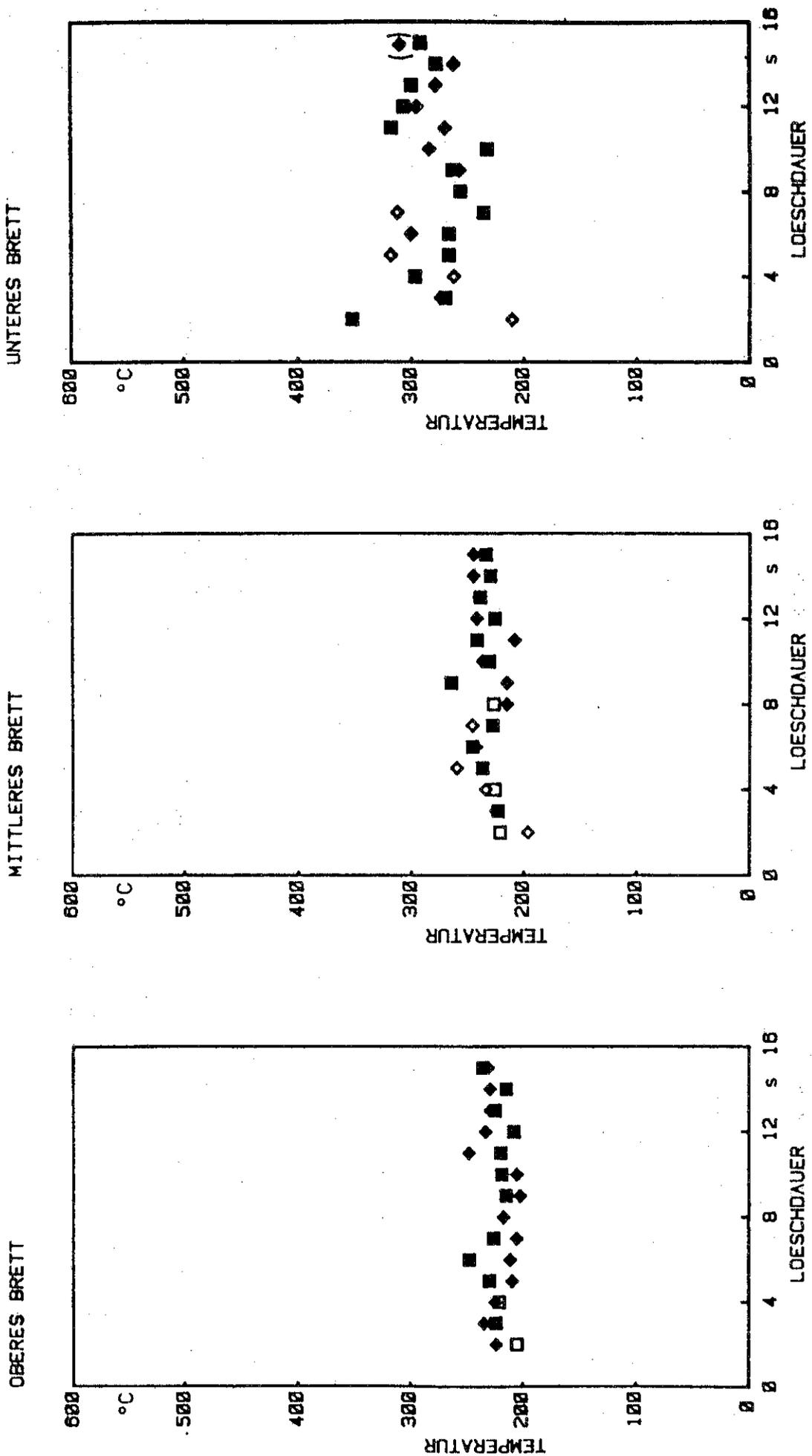


Bild 16: Temperaturen in Abhängigkeit von der Löschdauer unmittelbar nach dem ersten Löscheversuch
Die Meßstelle befindet sich auf der rechten Seite in 9 mm Tiefe
Löschemittel: 20 gew.-%ige wässrige Diammoniumhydrogenphosphatlösung
□ 1. Versuchsserie / ◇ 2. Versuchsserie / (□, ◇, ■, ◆) Temperaturwerte stimmen überein
(■, ◆) erster Löscheversuch erfolgreich

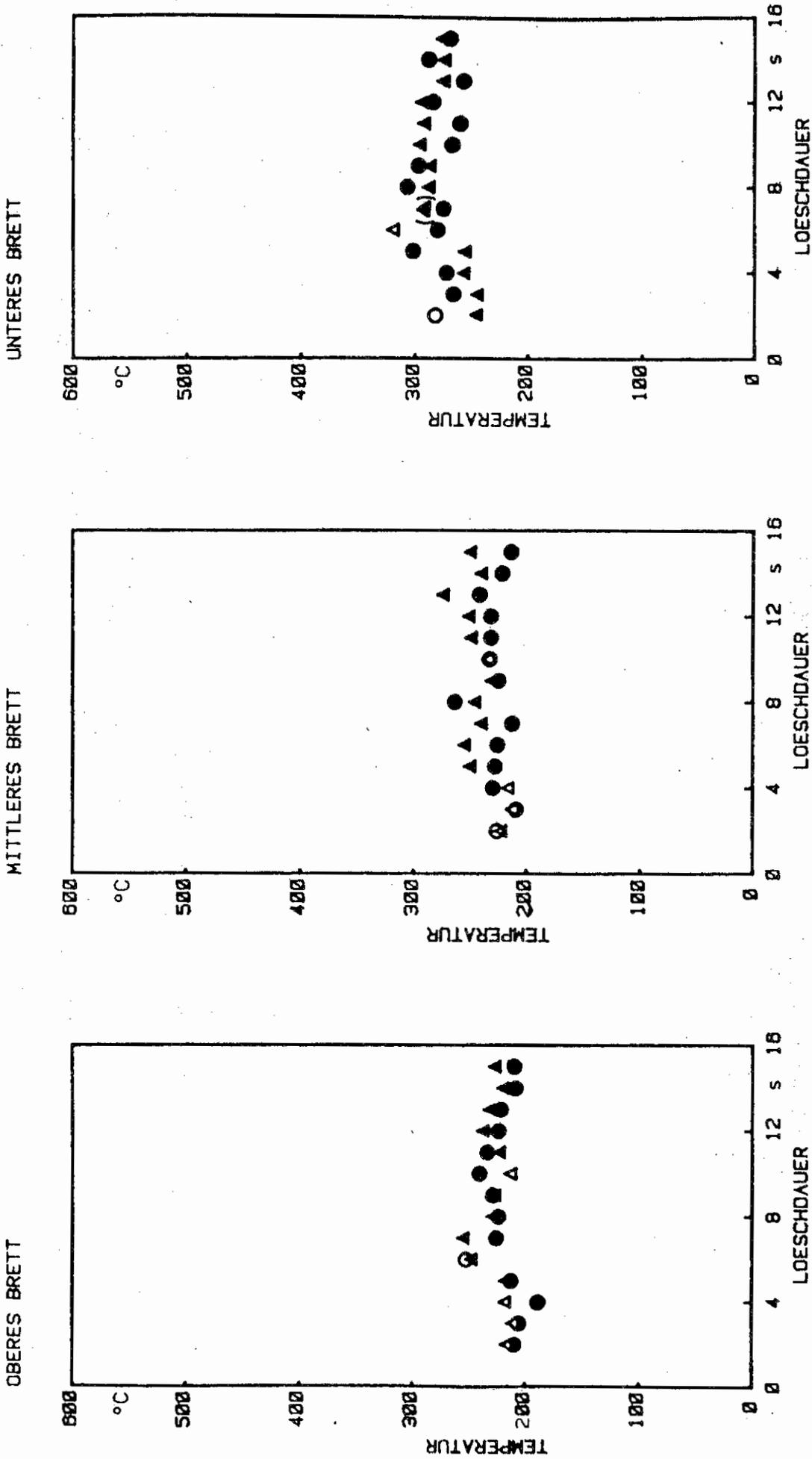


Bild 17: Temperaturen in Abhängigkeit von der Löschdauer unmittelbar nach dem ersten Lösversuch
Die Meßstelle befindet sich auf der linken Seite in 9 mm Tiefe
Löschmittel: 5 gew.-%ige wässrige Diammoniumhydrogenphosphatlösung
▲ 1. Versuchsserie / ● 2. Versuchsserie / (▲, ●) Temperaturwerte stimmen überein
(▲, ●) erster Lösversuch erfolgreich

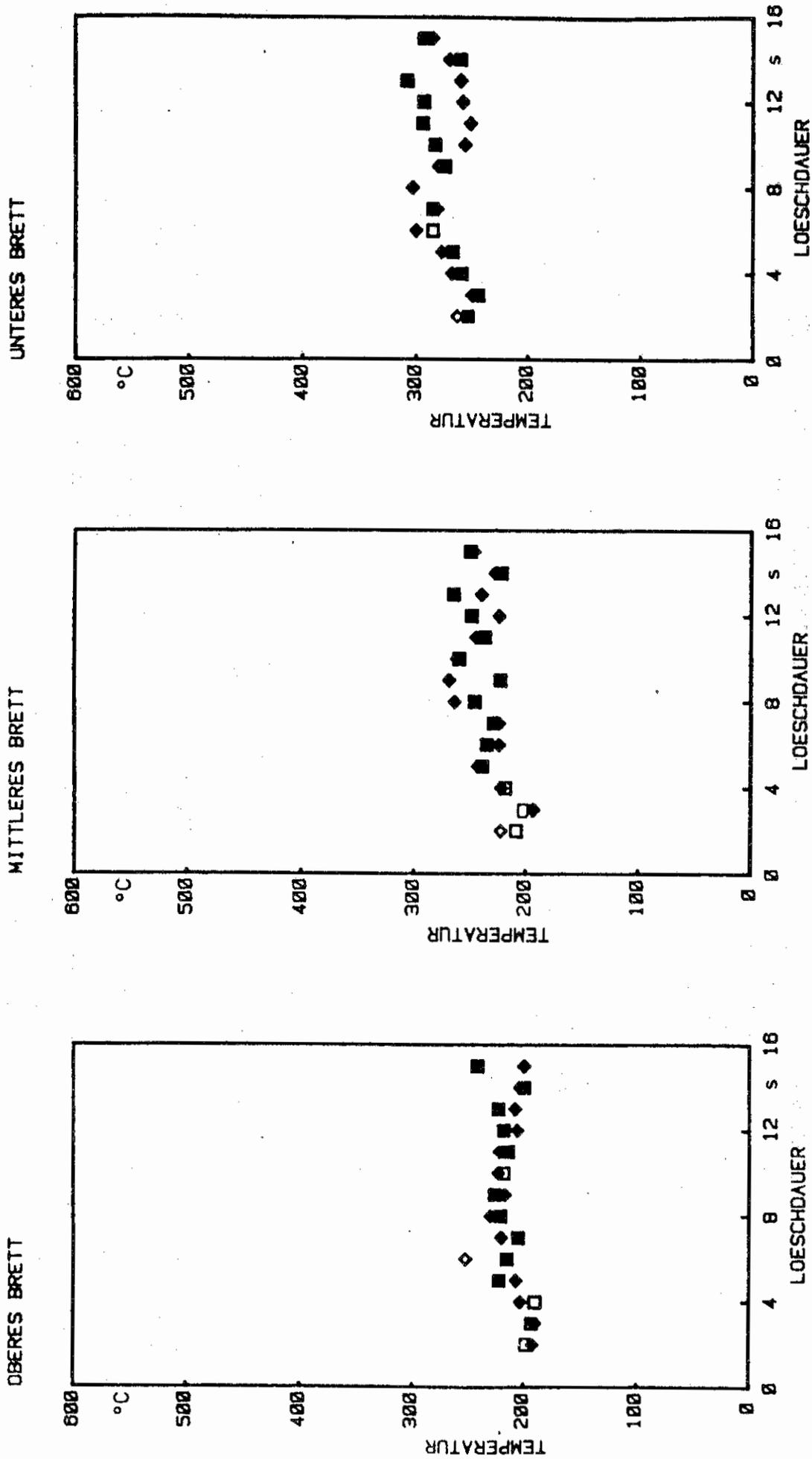


Bild 18: Temperaturen in Abhängigkeit von der Löschdauer unmittelbar nach dem ersten Löscheckversuch

Die Meßstelle befindet sich auf der rechten Seite in 9 mm Tiefe

Löschmittel: 5 gew.-%ige wässrige Diammoniumhydrogenphosphatlösung

□ 1. Versuchsserie / ◇ 2. Versuchsserie / (□, ◇, ■, ◆) Temperaturwerte stimmen überein
(■, ◆) erster Löscheckversuch erfolgreich

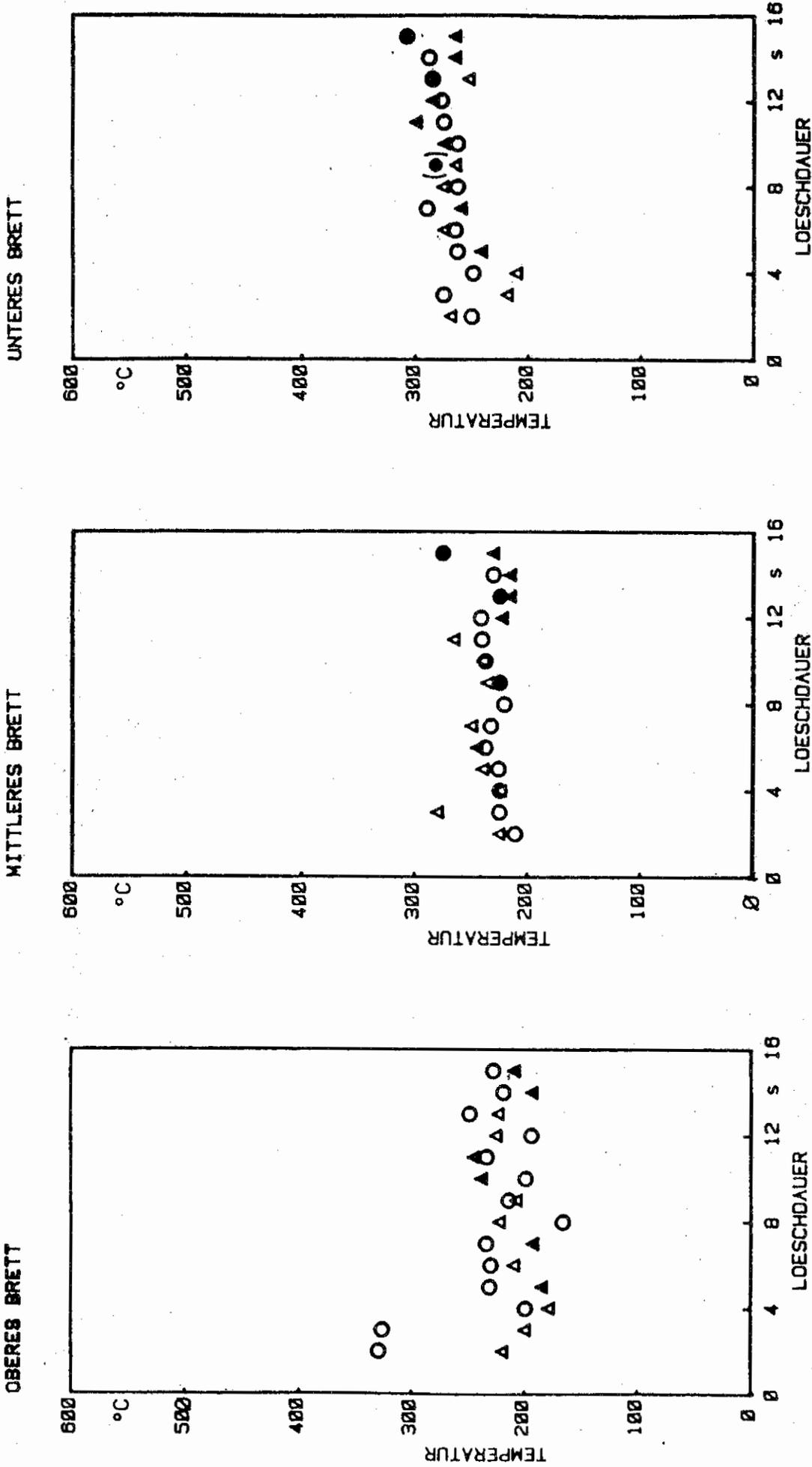


Bild 19: Temperaturen in Abhängigkeit von der Löschdauer unmittelbar nach dem ersten Löschkversuch
Die Meßstelle befindet sich auf der linken Seite in 9 mm Tiefe
Löschmittel: 20 gew.-%ige wässrige Diammoniumsulfatlösung
△ 1. Versuchsreihe / O 2. Versuchsreihe / (△, O, ▲, ●) Temperaturwerte stimmen überein
(▲, ●) erster Löschkversuch erfolgreich

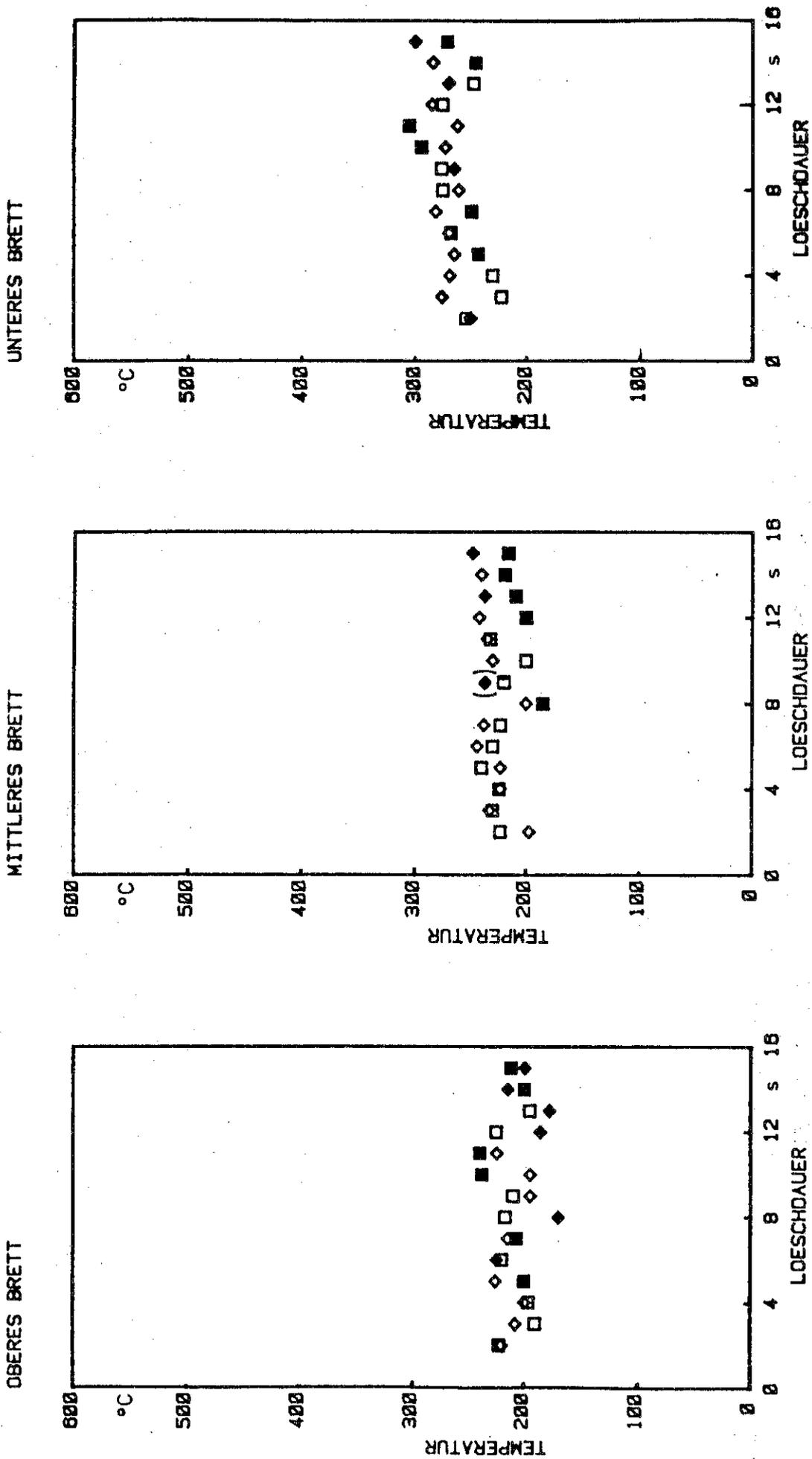


Bild 20: Temperaturen in Abhängigkeit von der Löschdauer unmittelbar nach dem ersten Löscheversuch

Die Meßstelle befindet sich auf der rechten Seite in 9 mm Tiefe

Löschmittel: 20 gew.-% wässrige Diammoniumsulfatlösung

□ ◇ 1. Versuchsserie / (□, ◇, ■, ◆) Temperaturwerte stimmen überein
(■, ◆) erster Löscheversuch erfolgreich

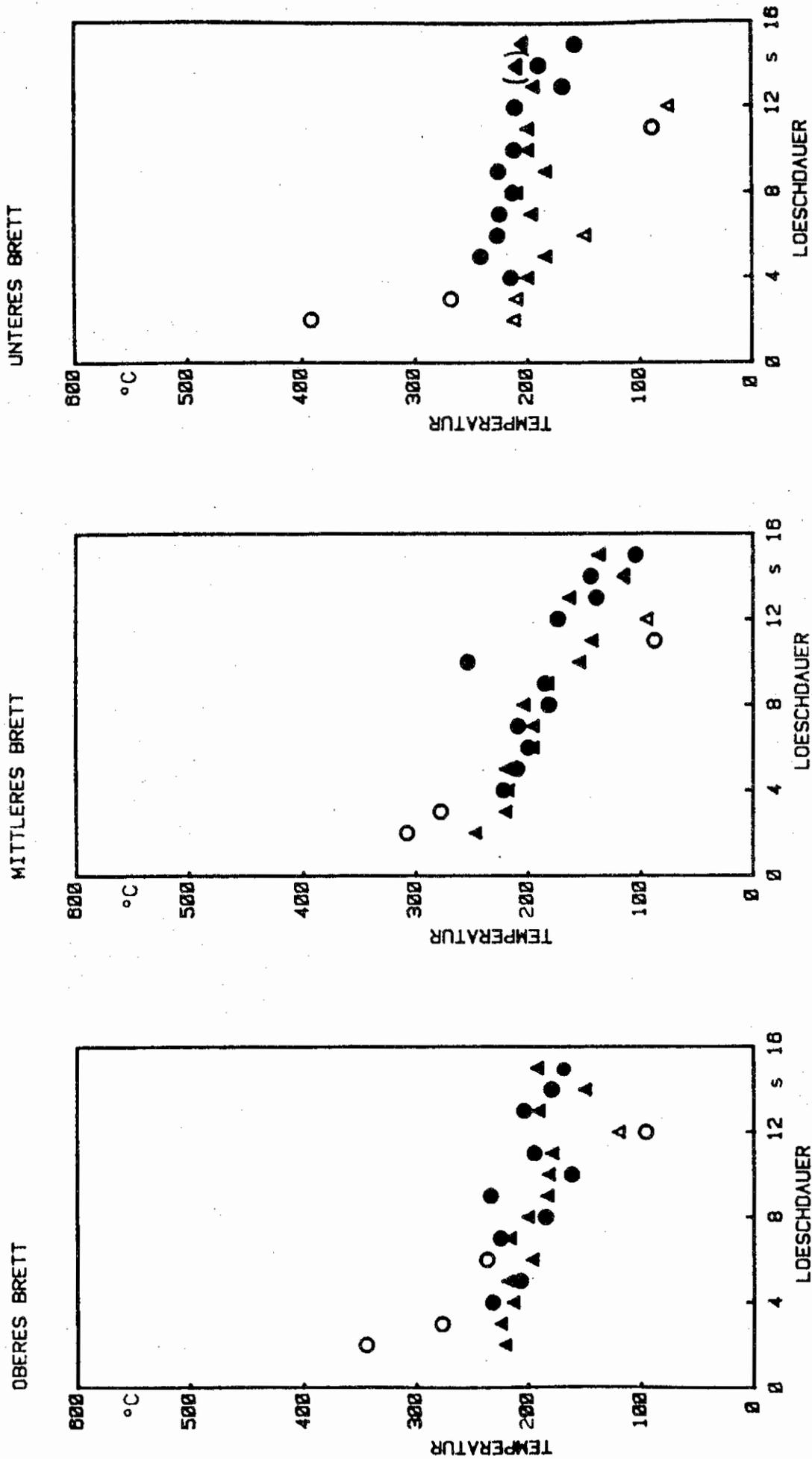


Bild 21: Temperaturen in Abhängigkeit von der Löschdauer 4 min nach dem ersten Lösversuch

Die Meßstelle befindet sich auf der linken Seite in 0 mm Tiefe

Löschmittel: vollentsalztes Wasser

Δ 1. Versuchsserie / ● 2. Versuchsserie / (Δ, ●) Temperaturwerte stimmen überein

(▲, ●) erster Lösversuch erfolgreich

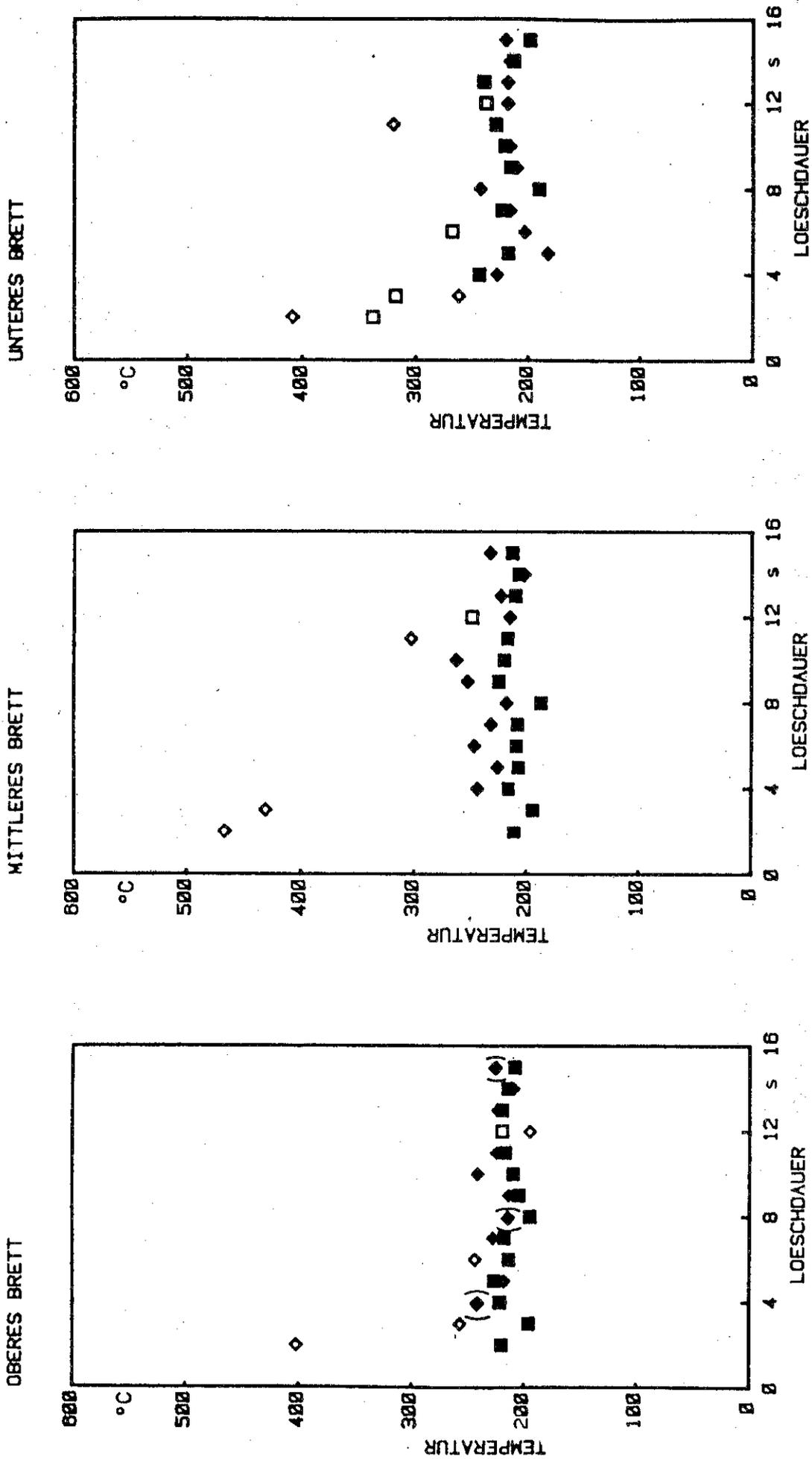


Bild 22: Temperaturen in Abhängigkeit von der Löschdauer 4 min nach dem ersten Lösversuch
Die Meßstelle befindet sich auf der rechten Seite in 0 mm Tiefe
Löschmittel: vollentsalztes Wasser
□ 1. Versuchsserie / ◇ 2. Versuchsserie / (□, ◇, ■, ◆) Temperaturwerte stimmen überein
(■, ◆) erster Lösversuch erfolgreich

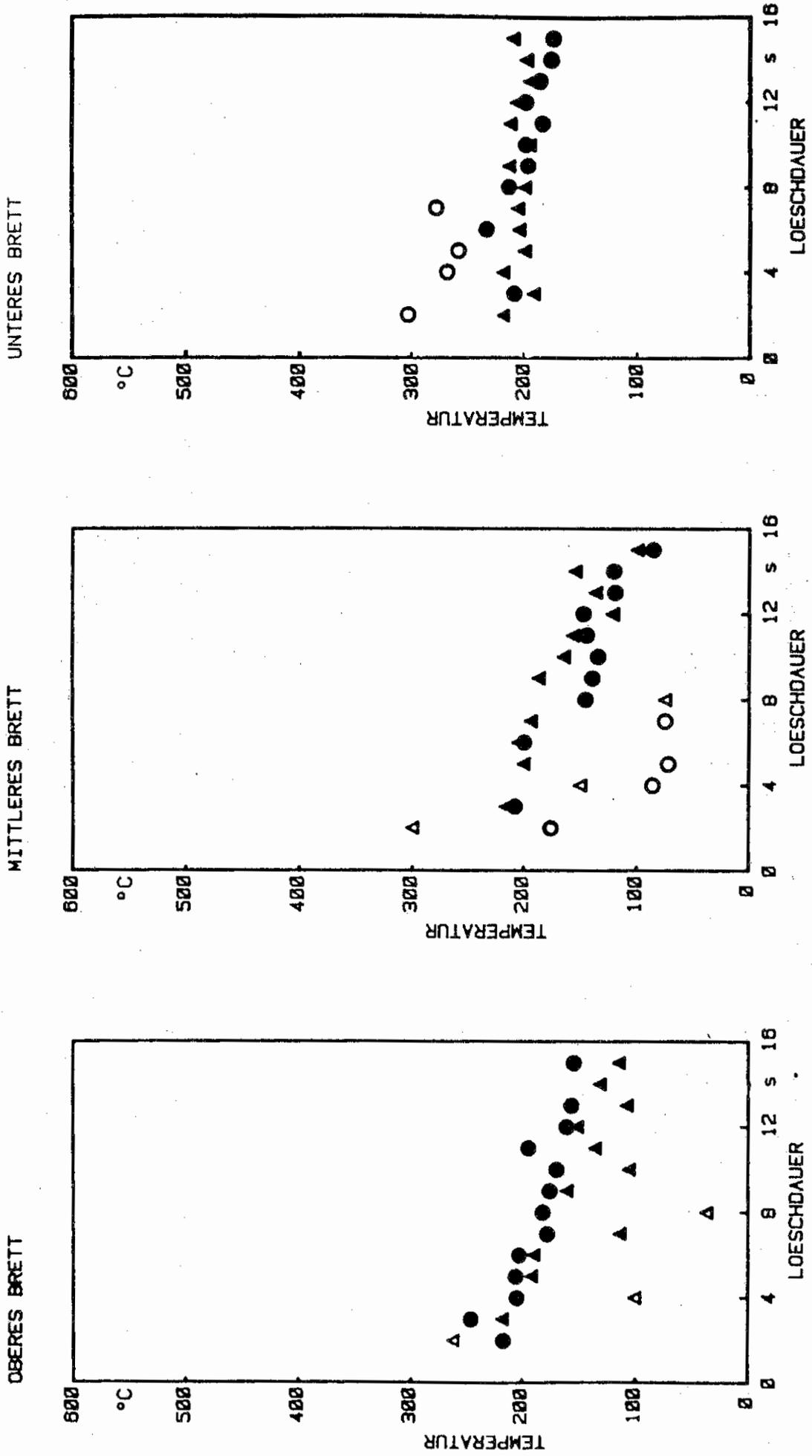


Bild 23: Temperaturen in Abhängigkeit von der Löschdauer 4 min nach dem ersten Löscheversuch.
 Die Meßstelle befindet sich auf der linken Seite in 0 mm Tiefe
 Löschmittel: 20 gew.-%ige wässrige Diammoniumhydrogenphosphatlösung
 ▲ 1. Versuchsserie / ● 2. Versuchsserie / (▲,●) Temperaturwerte stimmen überein
 (▲,●) erster Löscheversuch erfolgreich

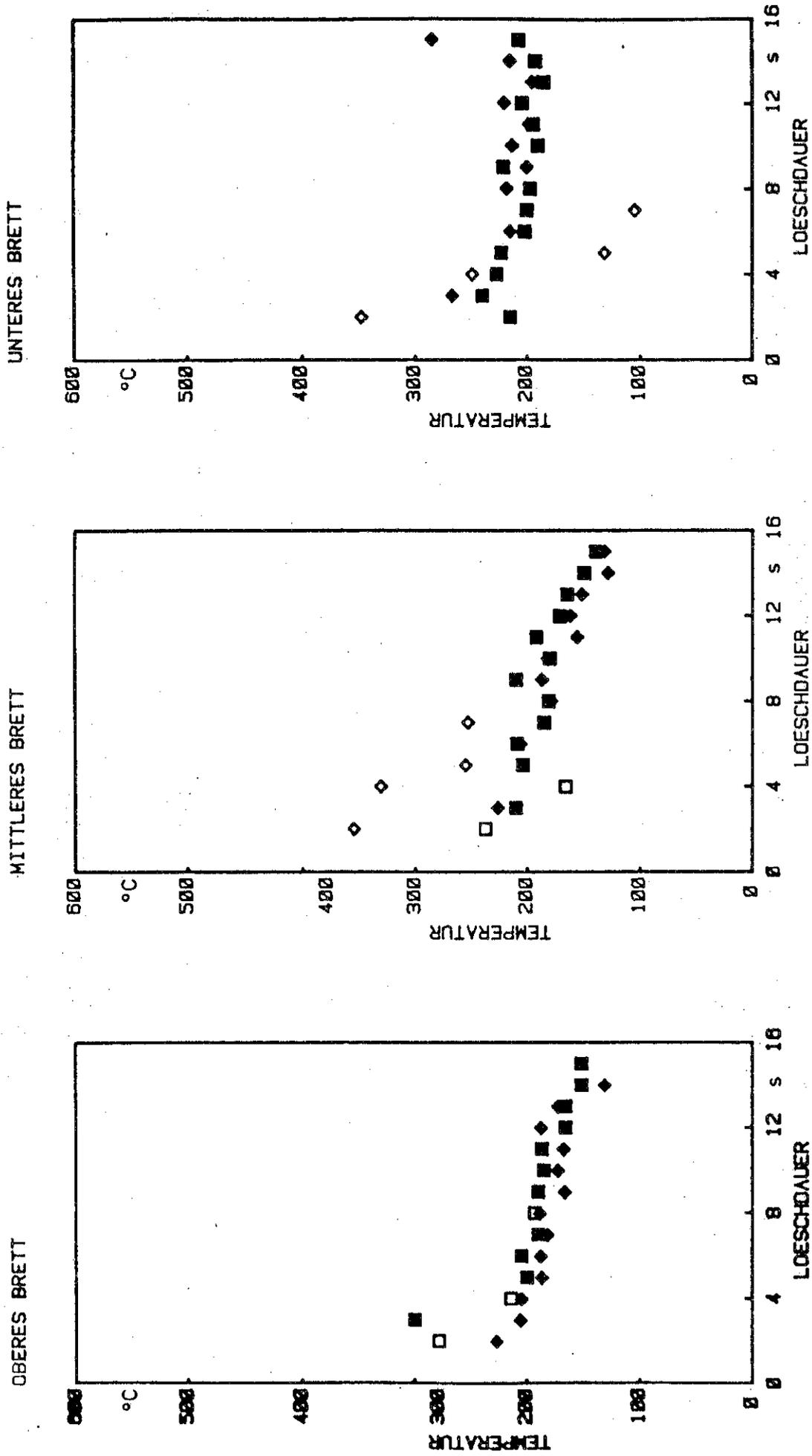


Bild 24: Temperaturen in Abhängigkeit von der Löschdauer 4 min nach dem ersten Löscheversuch
Die Meßstelle befindet sich auf der rechten Seite in 0 mm Tiefe
Löschmittel: 20 gew.-%ige wässrige Diammoniumhydrogenphosphatlösung
□ 1. Versuchsreihe / ◇ 2. Versuchsreihe / (□, ◇, ■, ◆) Temperaturwerte stimmen überein
(■, ◆) erster Löscheversuch erfolgreich

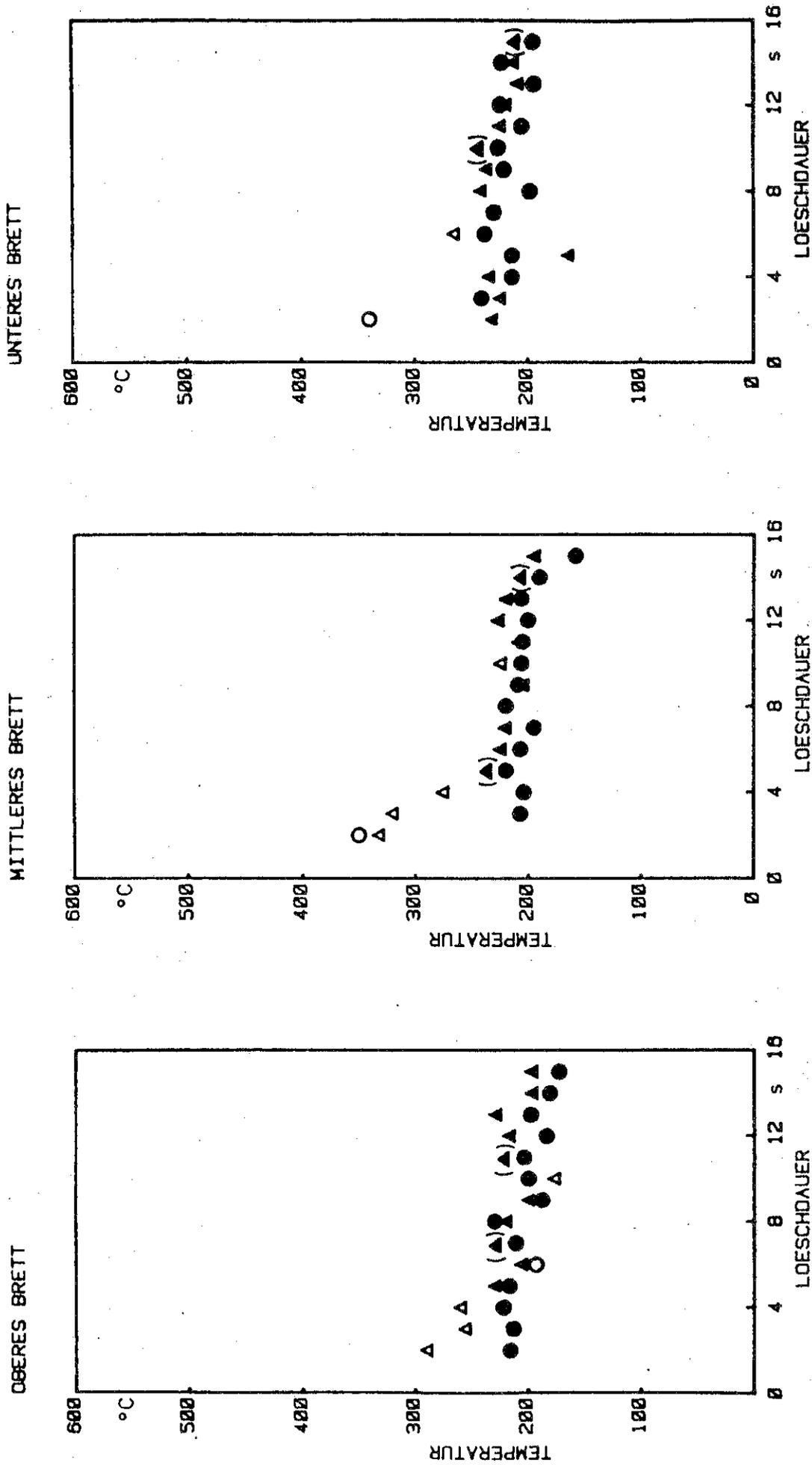


Bild 25: Temperaturen in Abhängigkeit von der Löschdauer 4 min nach dem ersten Löscheversuch
Die Meßstelle befindet sich auf der linken Seite in 0 mm Tiefe
Löschemittel: 5 gew.-%ige wässrige Diammoniumhydrogenphosphatlösung
Δ 1. Versuchsserie / ● 2. Versuchsserie / (Δ, O, ●) Temperaturwerte stimmen überein
(▲, ●) erster Löscheversuch erfolgreich

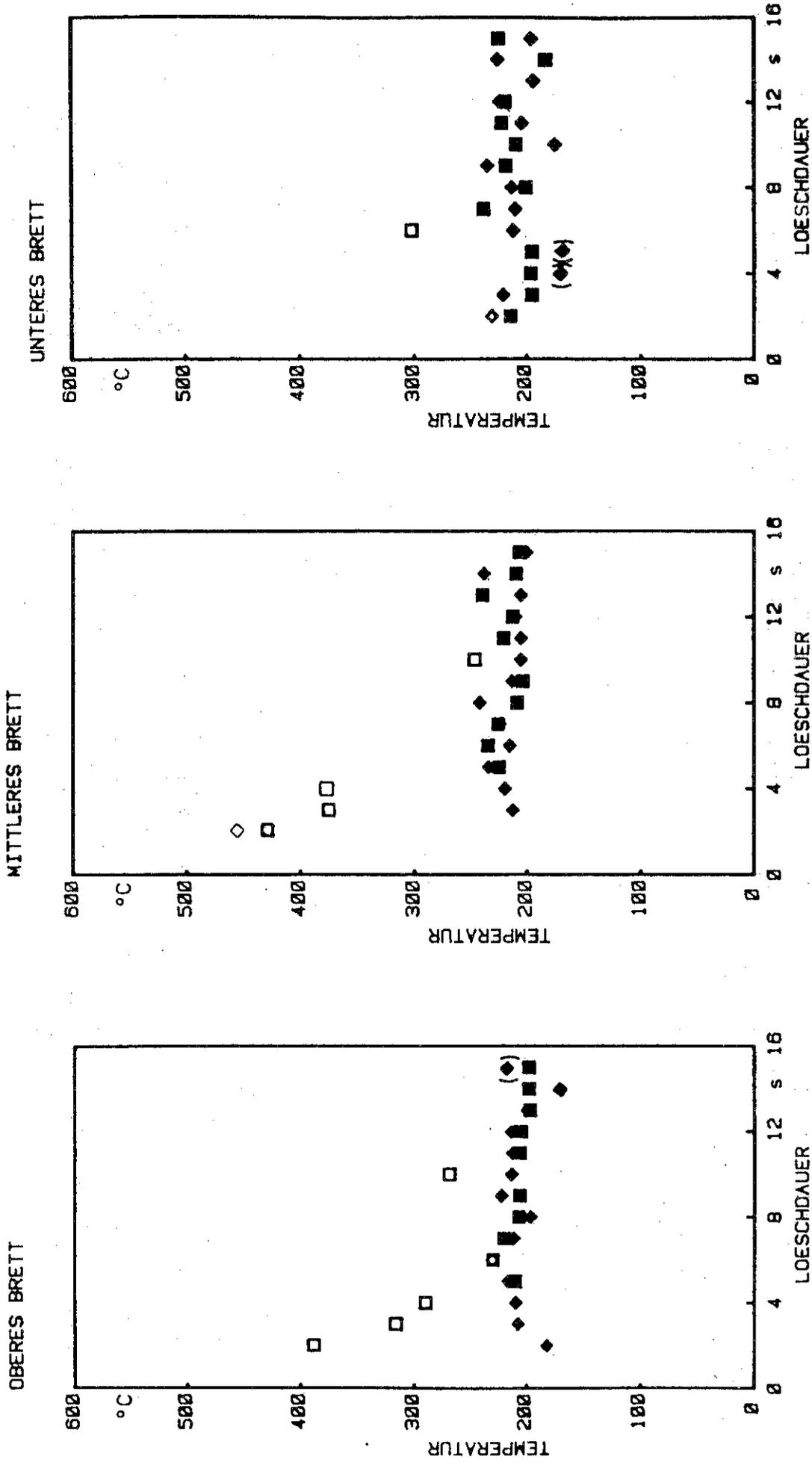


Bild 26: Temperaturen in Abhängigkeit von der Löschdauer 4 min nach dem ersten Löscheversuch

Die Meßstelle befindet sich auf der rechten Seite in 0 mm Tiefe

Löschmittel: 5 gew.-%ige wässrige Diammoniumhydrogenphosphatlösung

□ 1. Versuchsreihe / ◇ 2. Versuchsreihe / (□, ◇, ■, ◆) Temperaturwerte stimmen überein

(■, ◆) erster Löscheversuch erfolgreich

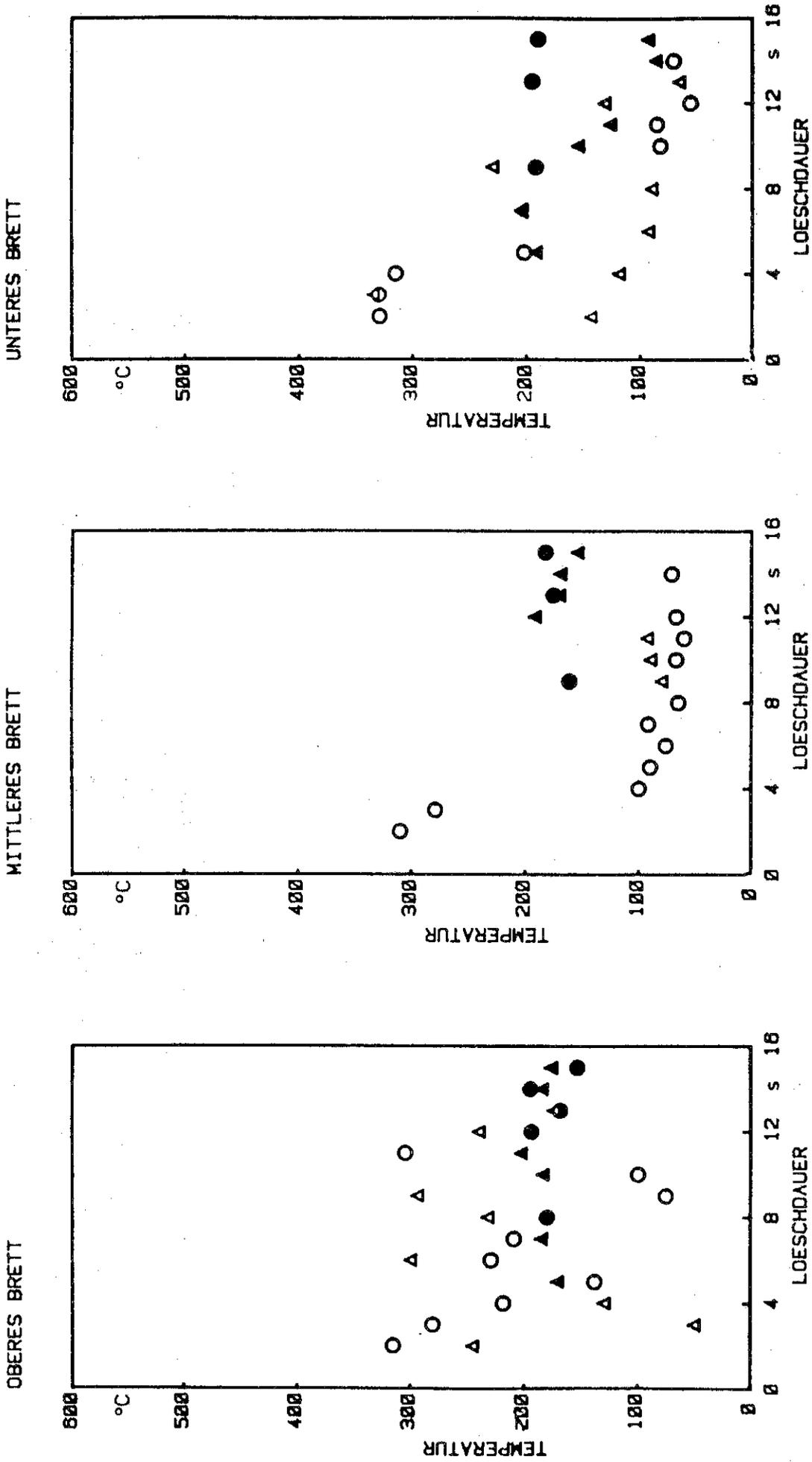


Bild 27: Temperaturen in Abhängigkeit von der Löschdauer 4 min nach dem ersten Lösversuch
Die Meßstelle befindet sich auf der linken Seite in 0 mm Tiefe
Löschmittel: 20 gew.-%ige wässrige Diammoniumsulfatlösung
△ 1. Versuchsserie / O 2. Versuchsserie / (△,▲,●) Temperaturwerte stimmen überein
(▲,●) erster Lösversuch erfolgreich

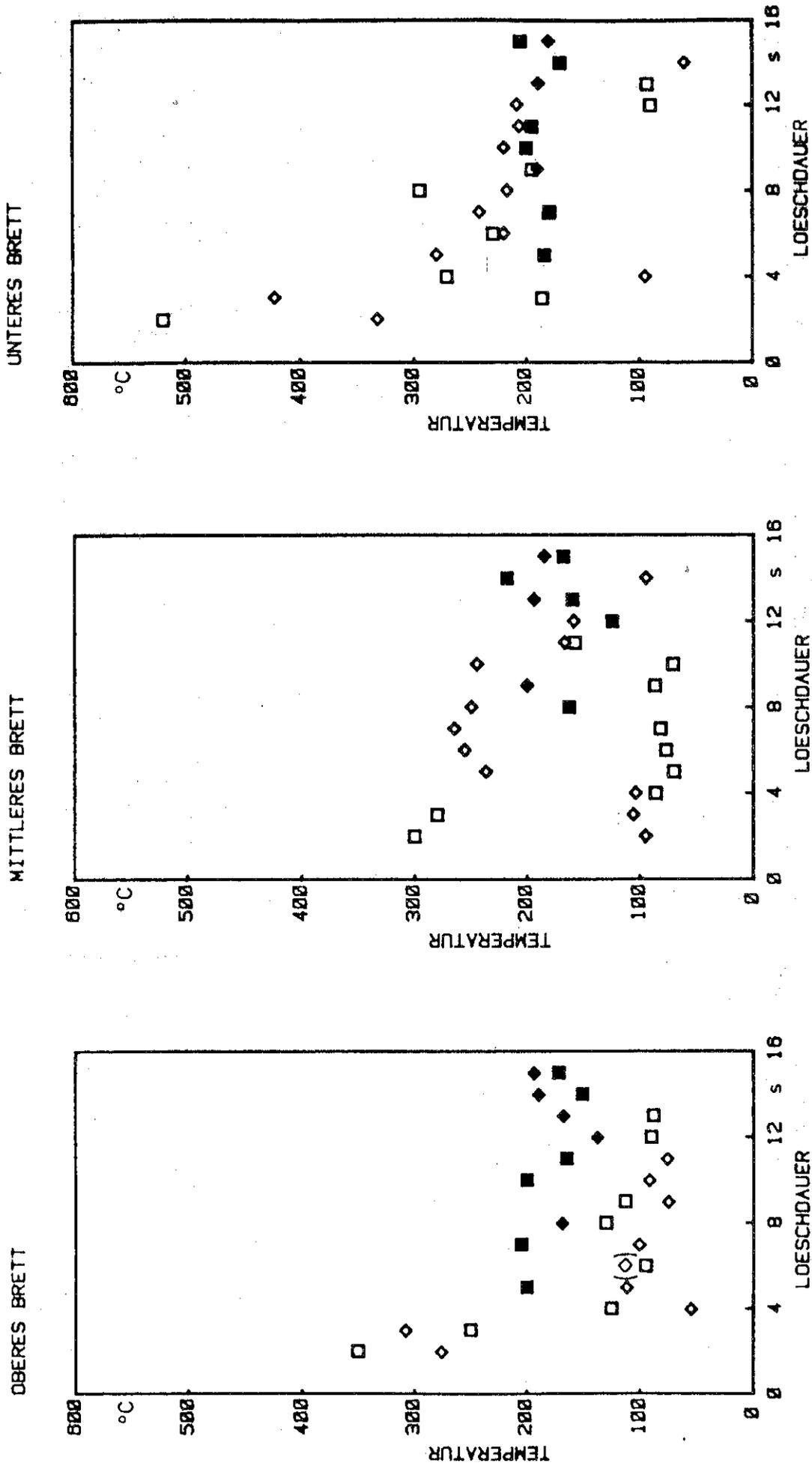


Bild 28: Temperaturen in Abhängigkeit von der Löschdauer 4 min nach dem ersten Lösversuch

Die Meßstelle befindet sich auf der rechten Seite in 0 mm Tiefe

Löschmittel: 20 gew.-%ige wässrige Diammoniumsulfatlösung

□ 1. Versuchsserie / ◇ 2. Versuchsserie / (□, ◇, ■, ◆) Temperaturwerte stimmen überein
(■, ◆) erster Lösversuch erfolgreich

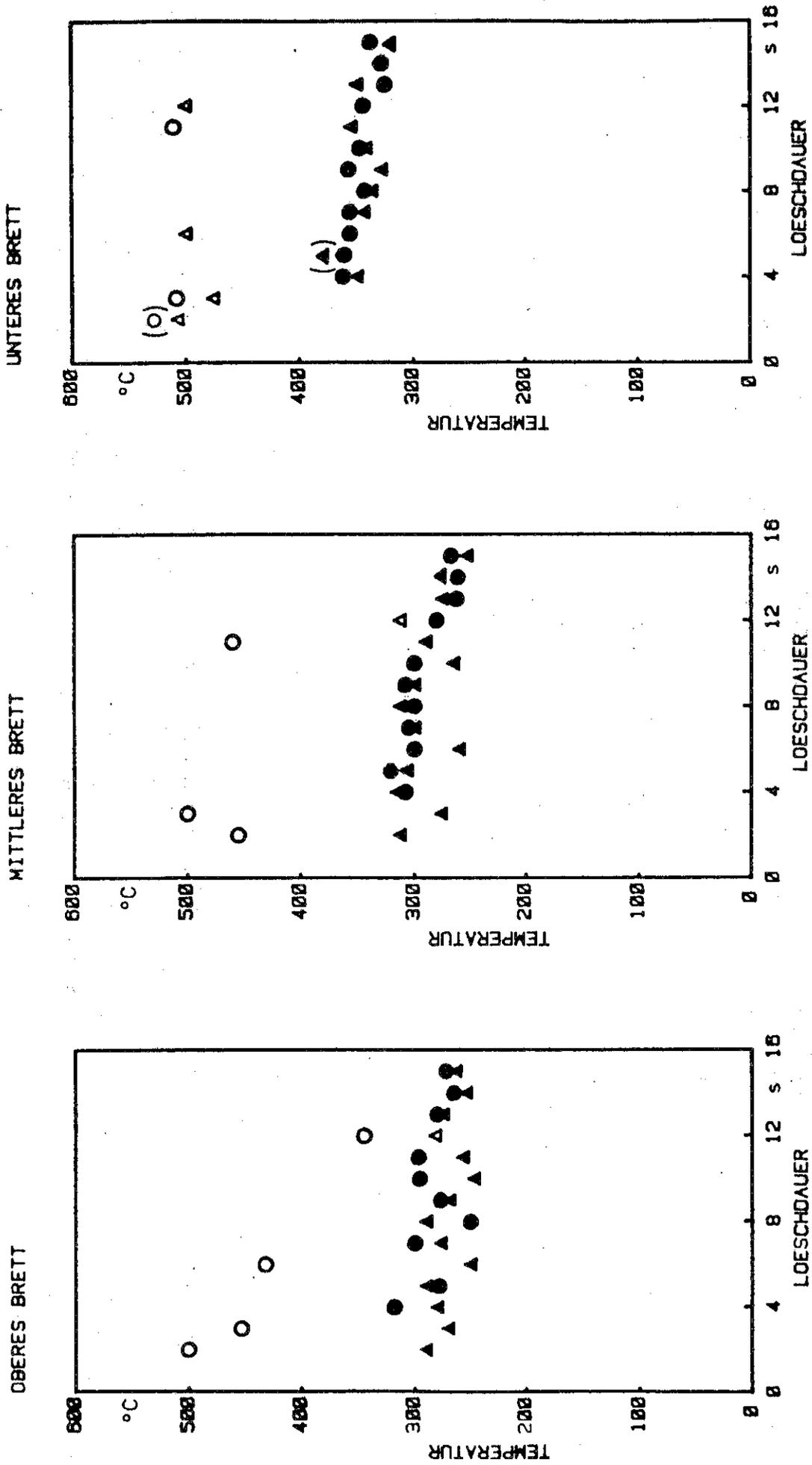


Bild 29: Temperaturen in Abhängigkeit von der Löschdauer 4 min nach dem ersten Löscheversuch
 Die Meßstelle befindet sich auf der linken Seite in 9 mm Tiefe
 Löschmittel: vollentsalztes Wasser
 ▲ 1. Versuchsserie / ○ 2. Versuchsserie / (▲,○,▲,●) Temperaturwerte stimmen überein
 (▲,●) erster Löscheversuch erfolgreich

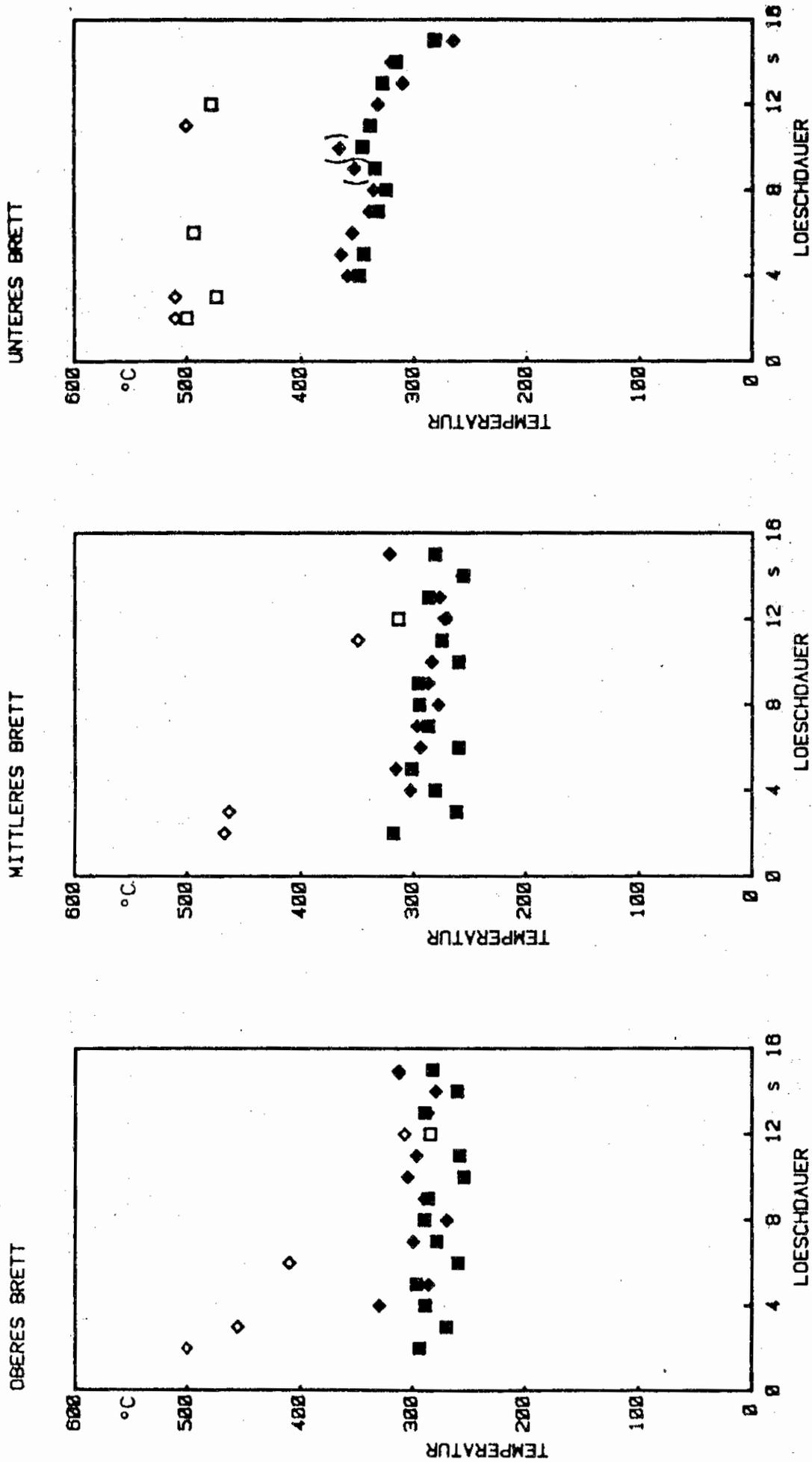


Bild 30: Temperaturen in Abhängigkeit von der Löschdauer 4 min nach dem ersten Löscheversuch
Die Meßstelle befindet sich auf der rechten Seite in 9 mm Tiefe
Löschmittel: vollentsalztes Wasser
□ 1. Versuchsserie / ◇ 2. Versuchsserie / (□, ■, ◆) Temperaturwerte stimmen überein
(■, ◆) erster Löscheversuch erfolgreich

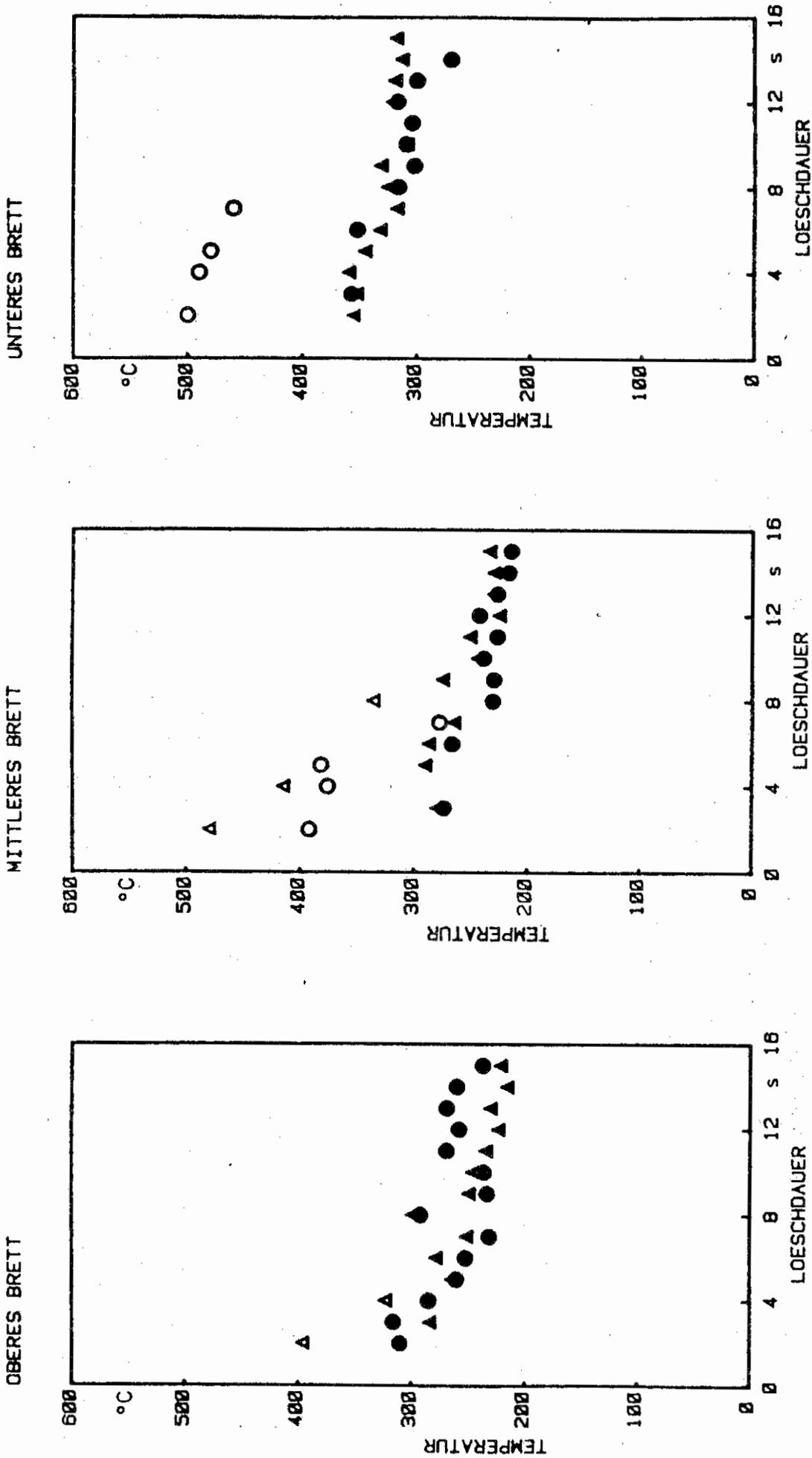


Bild 31: Temperaturen in Abhängigkeit von der Löschdauer 4 min nach dem ersten Lösversuch
Die Meßstelle befindet sich auf der linken Seite in 9 mm Tiefe
Löschmittel: 20 gew.-%ige wässrige Diammoniumhydrogenphosphatlösung
△ 1. Versuchsserie / ○ 2. Versuchsserie / (△,○,▲,●) Temperaturwerte stimmen überein
(▲,●) erster Lösversuch erfolgreich

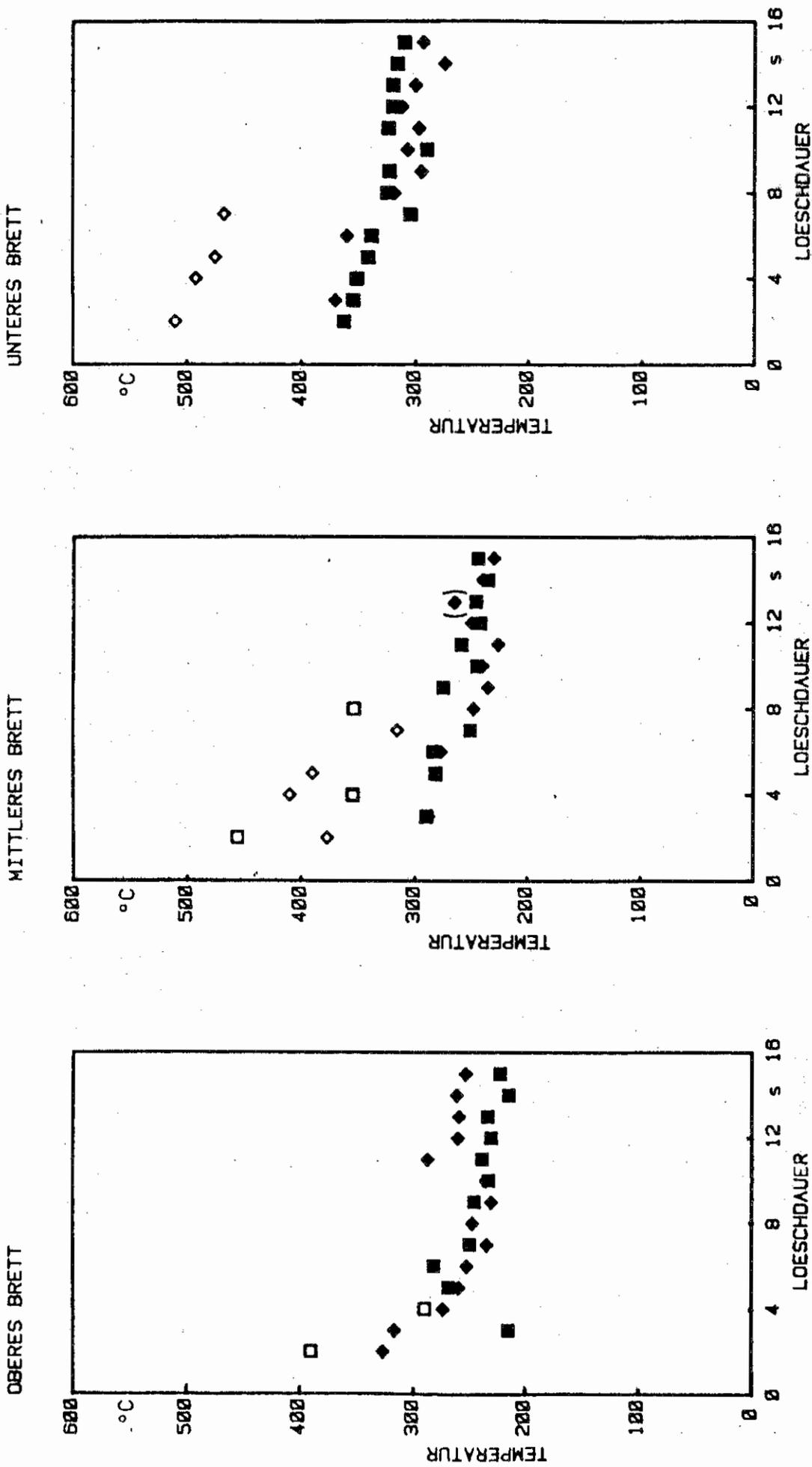


Bild 32: Temperaturen in Abhängigkeit von der Löschdauer 4 min nach dem ersten Lösversuch

Die Meßstelle befindet sich auf der rechten Seite in 9 mm Tiefe

Löschmittel: 20 gew.-%ige wässrige Diammoniumhydrogenphosphatlösung

- ◇ 1. Versuchsserie / (◇, ■, ◆) Temperaturwerte stimmen überein
- 2. Versuchsserie / (◇, ■, ◆) erster Lösversuch erfolgreich

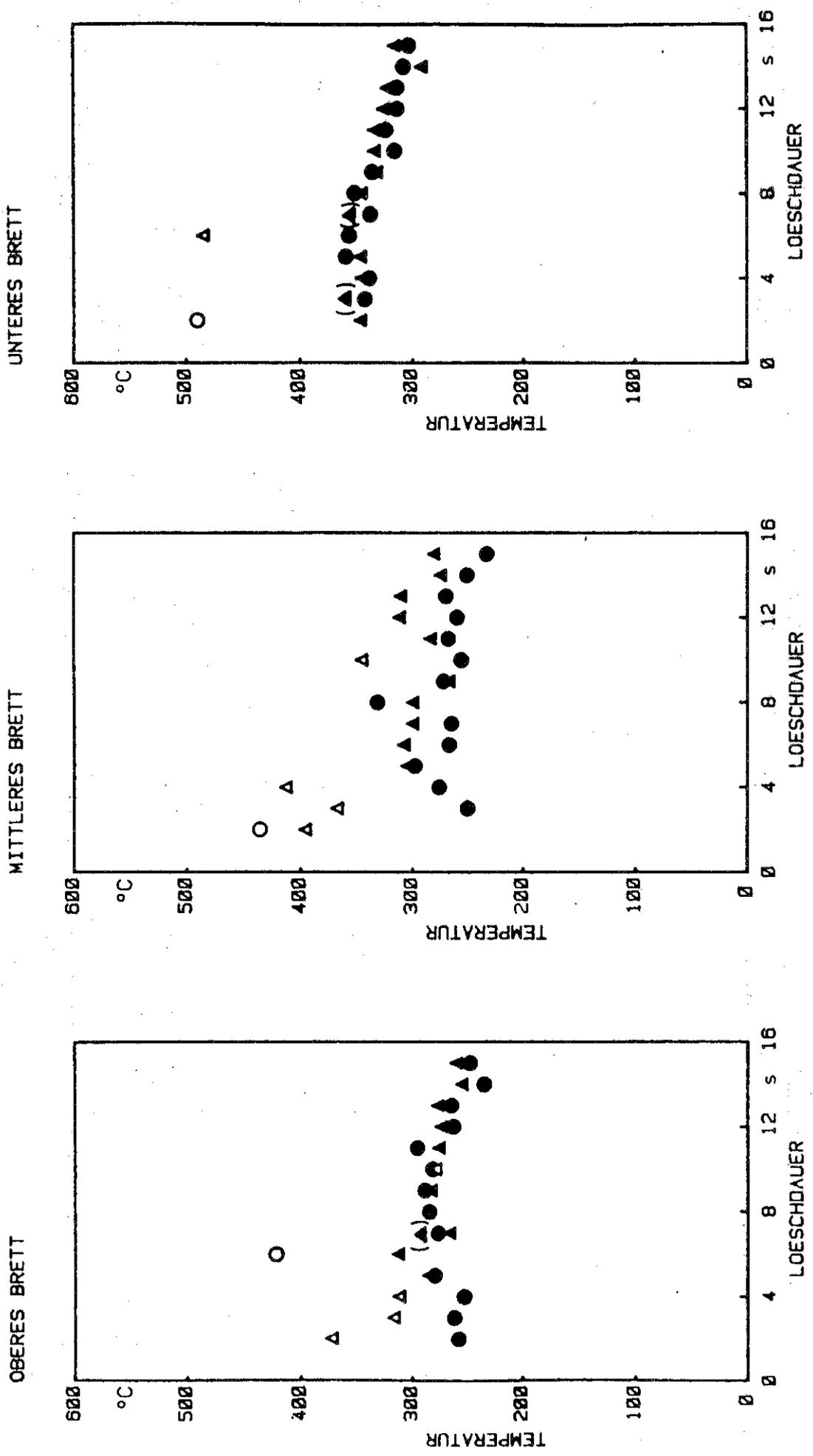


Bild 33: Temperaturen in Abhängigkeit von der Löschdauer 4 min nach dem ersten Lösversuch
Die Meßstelle befindet sich auf der linken Seite in 9 mm Tiefe
Löschmittel: 5 gew.-%ige wässrige Diammoniumhydrogenphosphatlösung
Δ 1. Versuchsserie / ● 2. Versuchsserie / (Δ, ●) Temperaturwerte stimmen überein
(▲, ●) erster Lösversuch erfolgreich

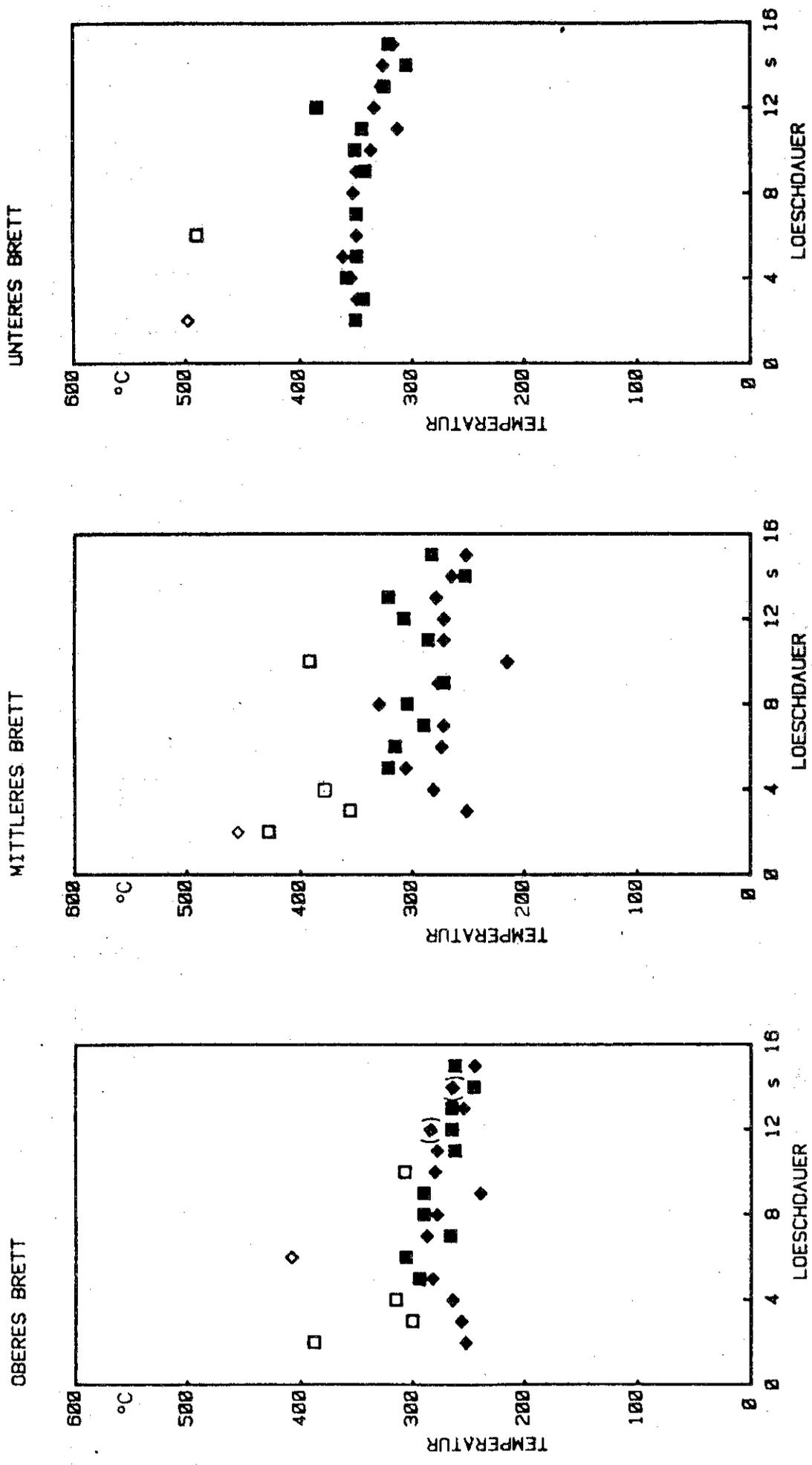


Bild 34: Temperaturen in Abhängigkeit von der Löschdauer 4 min nach dem ersten Löscheversuch
 Die Meßstelle befindet sich auf der rechten Seite in 9 mm Tiefe
 Löschmittel: 5 gew.-%ige wässrige Diammoniumhydrogenphosphatlösung
 □ 1. Versuchsreihe / ◇ 2. Versuchsreihe / (□,◇,■,◆) Temperaturwerte stimmen überein
 (■,◆) erster Löscheversuch erfolgreich

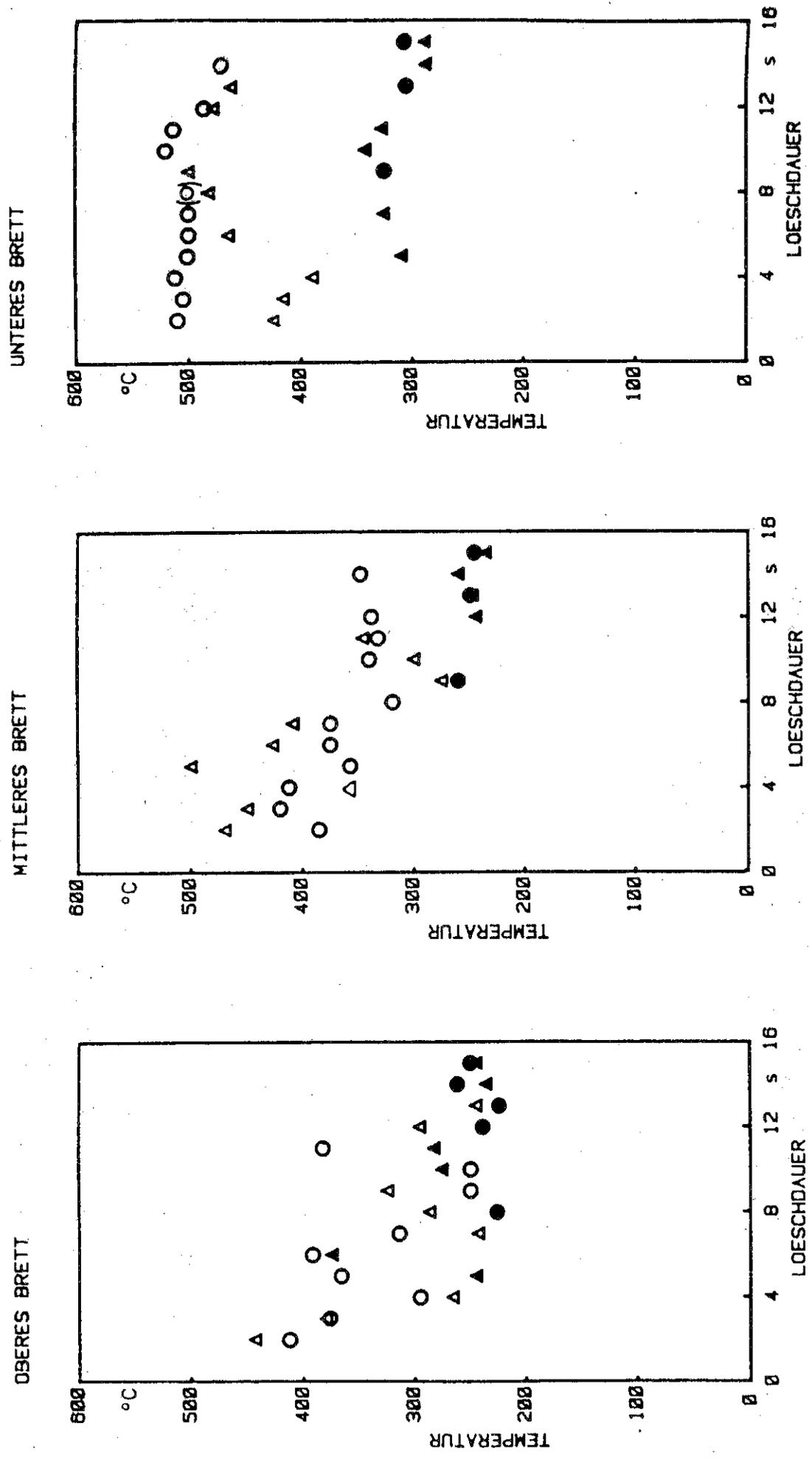


Bild 35: Temperaturen in Abhängigkeit von der Löschdauer 4 min nach dem ersten Löscheversuch

Die Meßstelle befindet sich auf der linken Seite in 9 mm Tiefe

Löschmittel: 20 gew.-%ige wässrige Diammoniumsulfatlösung

△ 1. Versuchsreihe / ○ 2. Versuchsreihe / (△,○,▲,●) Temperaturwerte stimmen überein

(▲,●) erster Löscheversuch erfolgreich

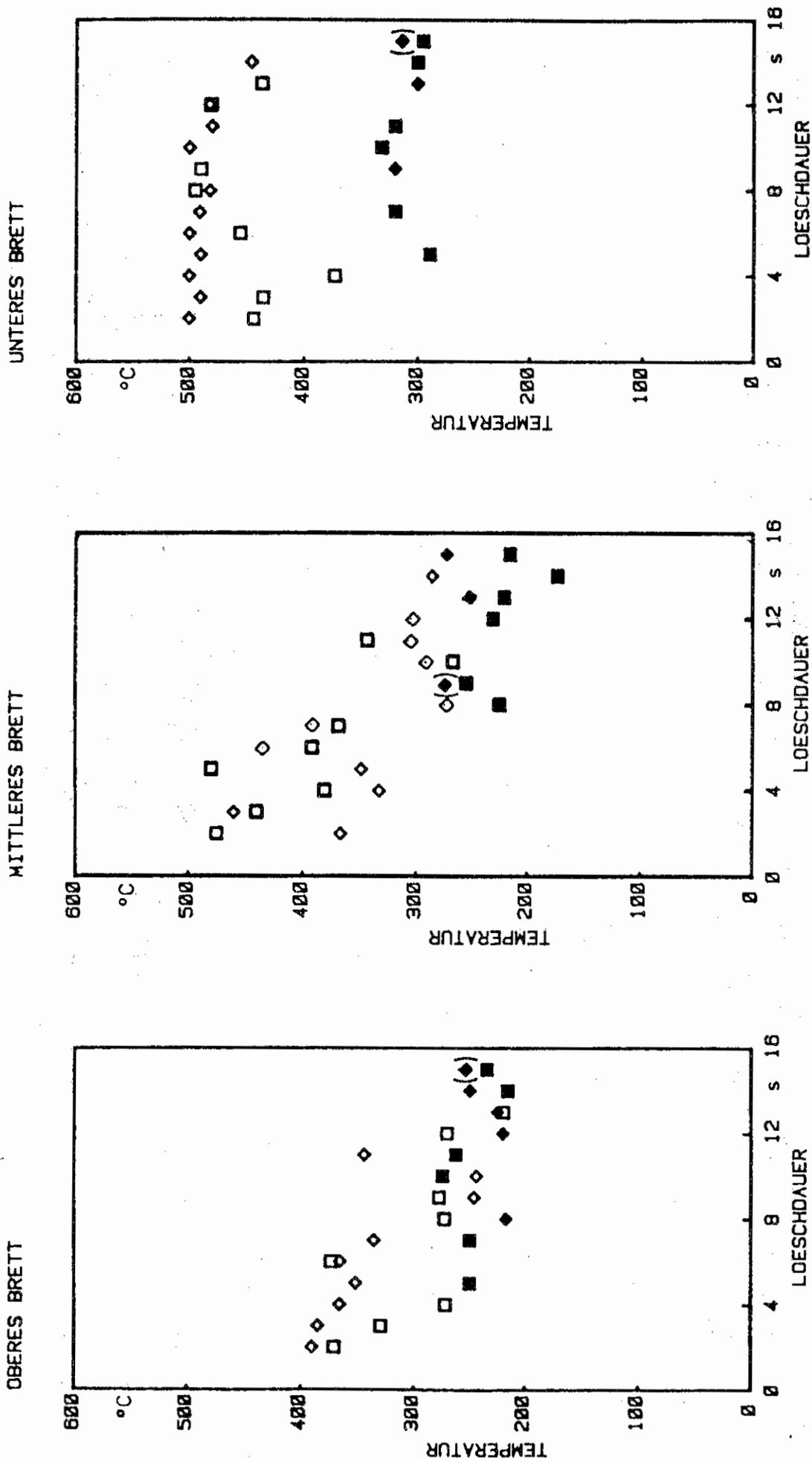


Bild 36 : Temperaturen in Abhängigkeit von der Löschdauer 4 min nach dem ersten Lösversuch

Die Meßstelle befindet sich auf der rechten Seite in 9 mm Tiefe

Löschmittel: 20 gew.-%ige wässrige Diammoniumsulfatlösung

□ 1. Versuchsreihe / ◇ 2. Versuchsreihe / (□,◇,■,◆) Temperaturwerte stimmen überein

(■,◆) erster Lösversuch erfolgreich

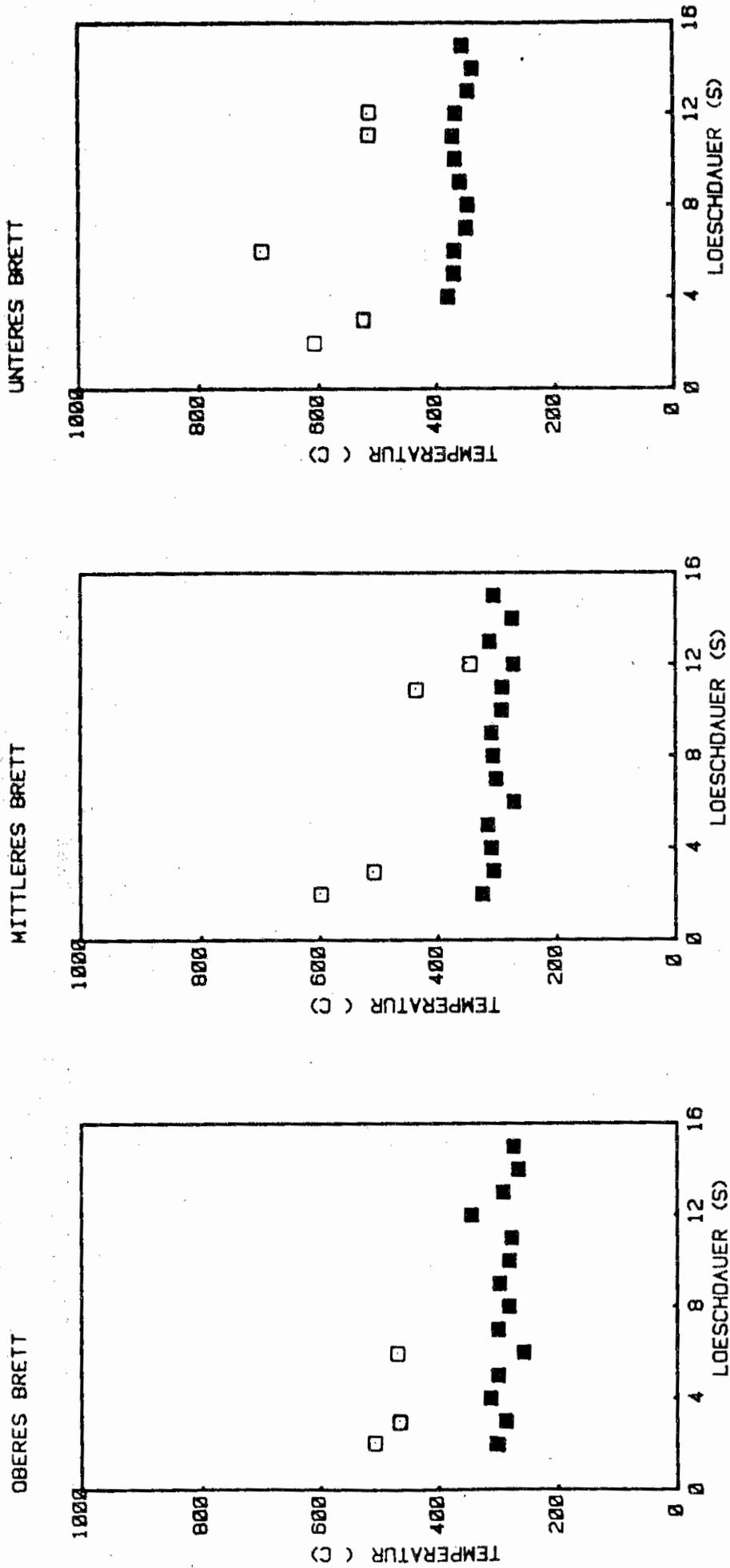


Bild 37: Maximale durchschnittliche Innentemperatur in Abhängigkeit von der Löschdauer
Löschmittel: vollentsalztes Wasser
■ erstes Löschen erfolgreich

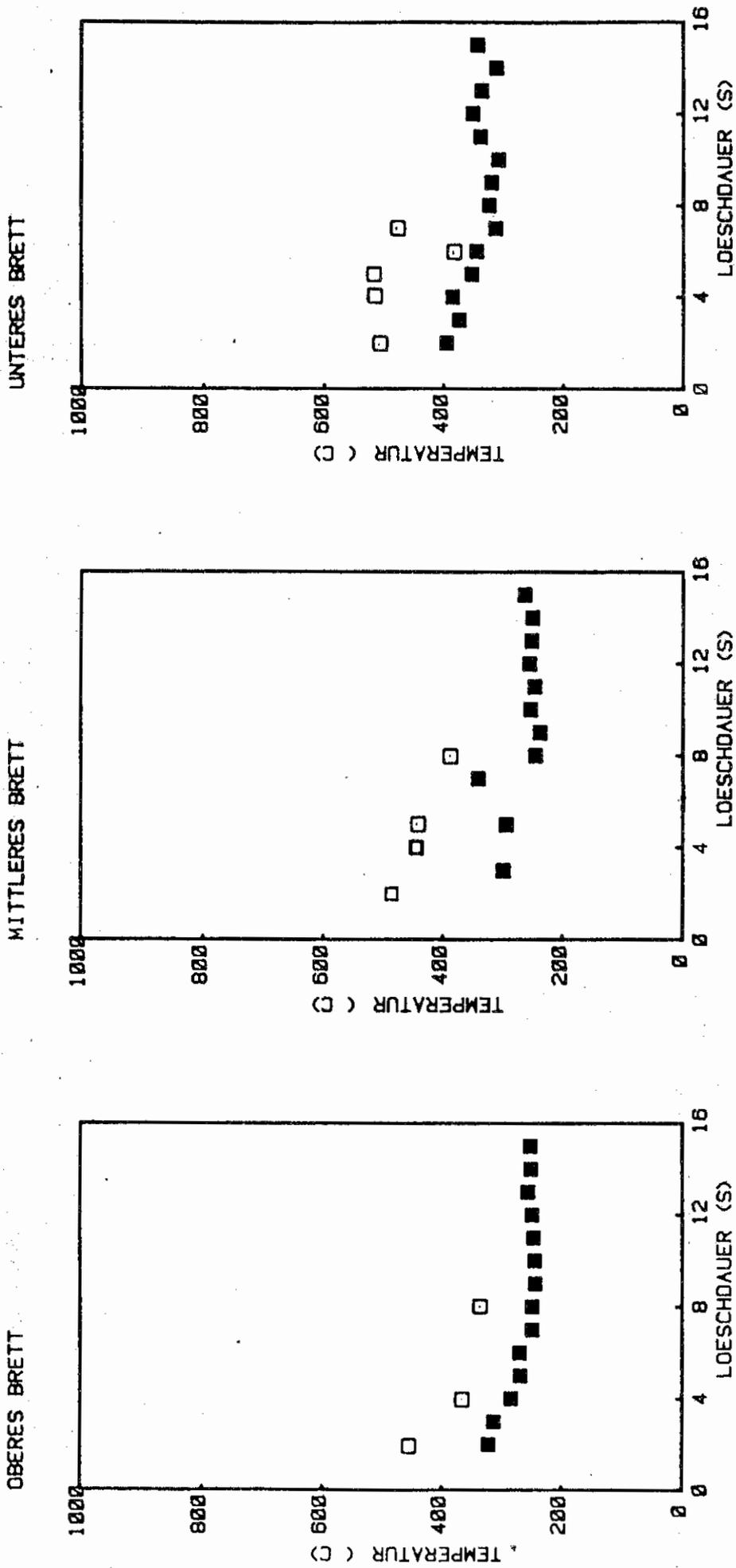


Bild 38: Maximale durchschnittliche Innentemperatur in Abhängigkeit von der Löschdauer
Löschmittel: 20 gew.-%ige Diammoniumhydrogenphosphat
■ erstes Löschen erfolgreich

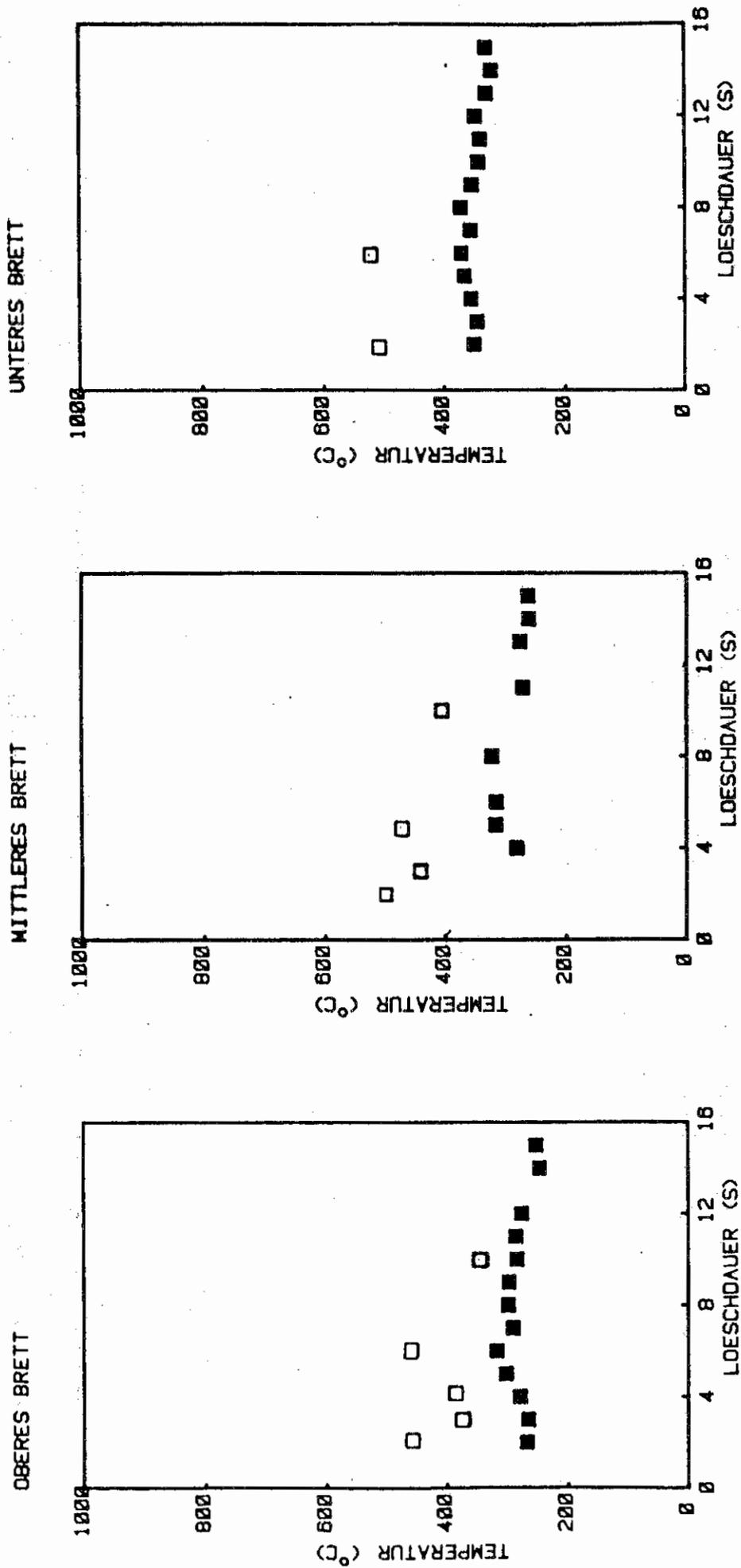
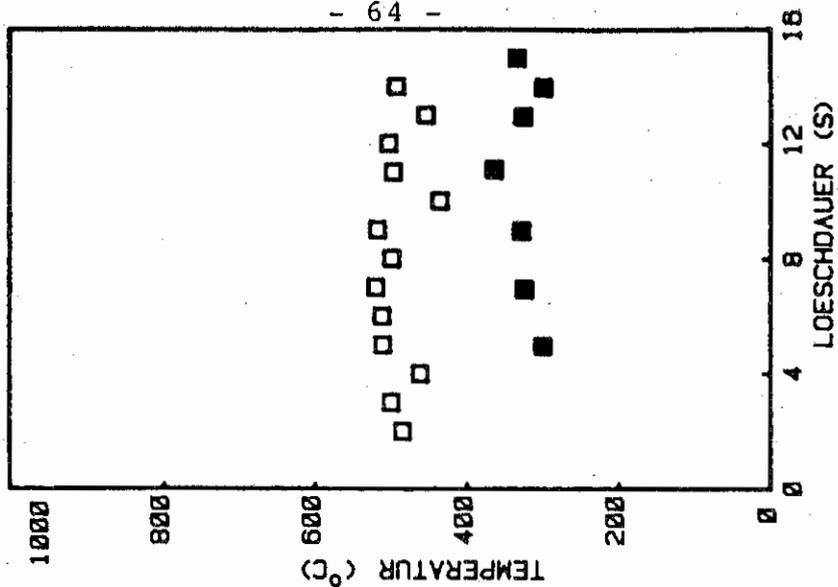
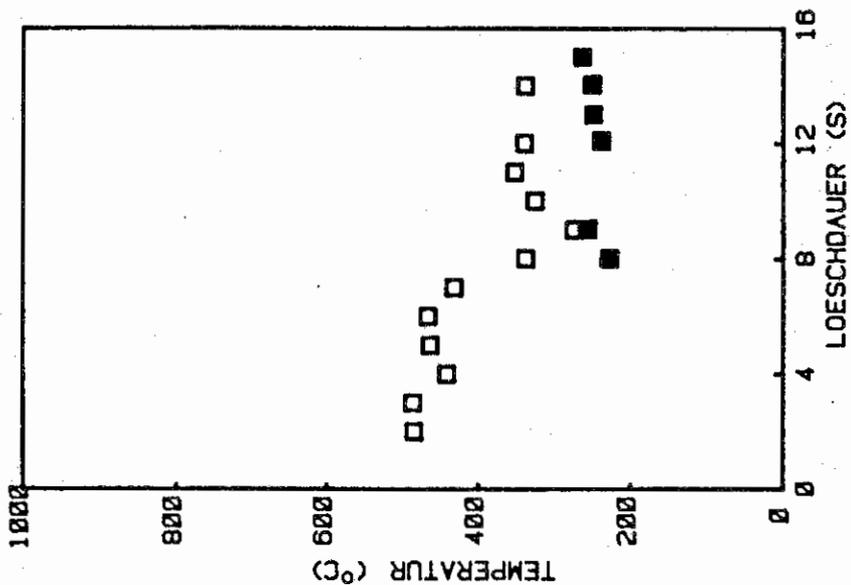


Bild 39: Maximale durchschnittliche Innentemperatur in Abhängigkeit von der Löschdauer
Löschmittel: 5 gew.-%ige Diammoniumhydrogenphosphat
■ erstes Löschen erfolgreich

UNTERES BRETT



MITTLERES BRETT



OBERES BRETT

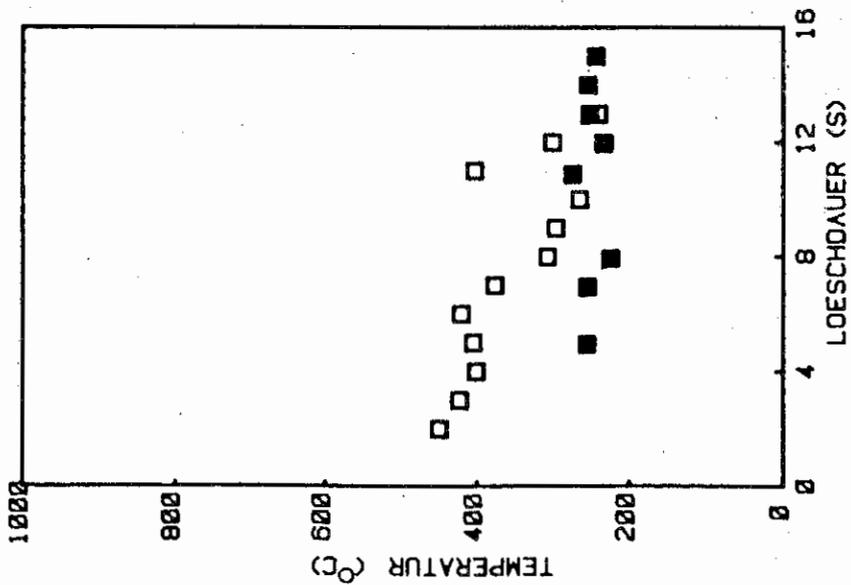


Bild 40: Maximale durchschnittliche Innentemperatur in Abhängigkeit von der Löschdauer
Löschmittel: 20 gew.-%ige Diammoniumsulfatlösung
■ erstes Löschen erfolgreich

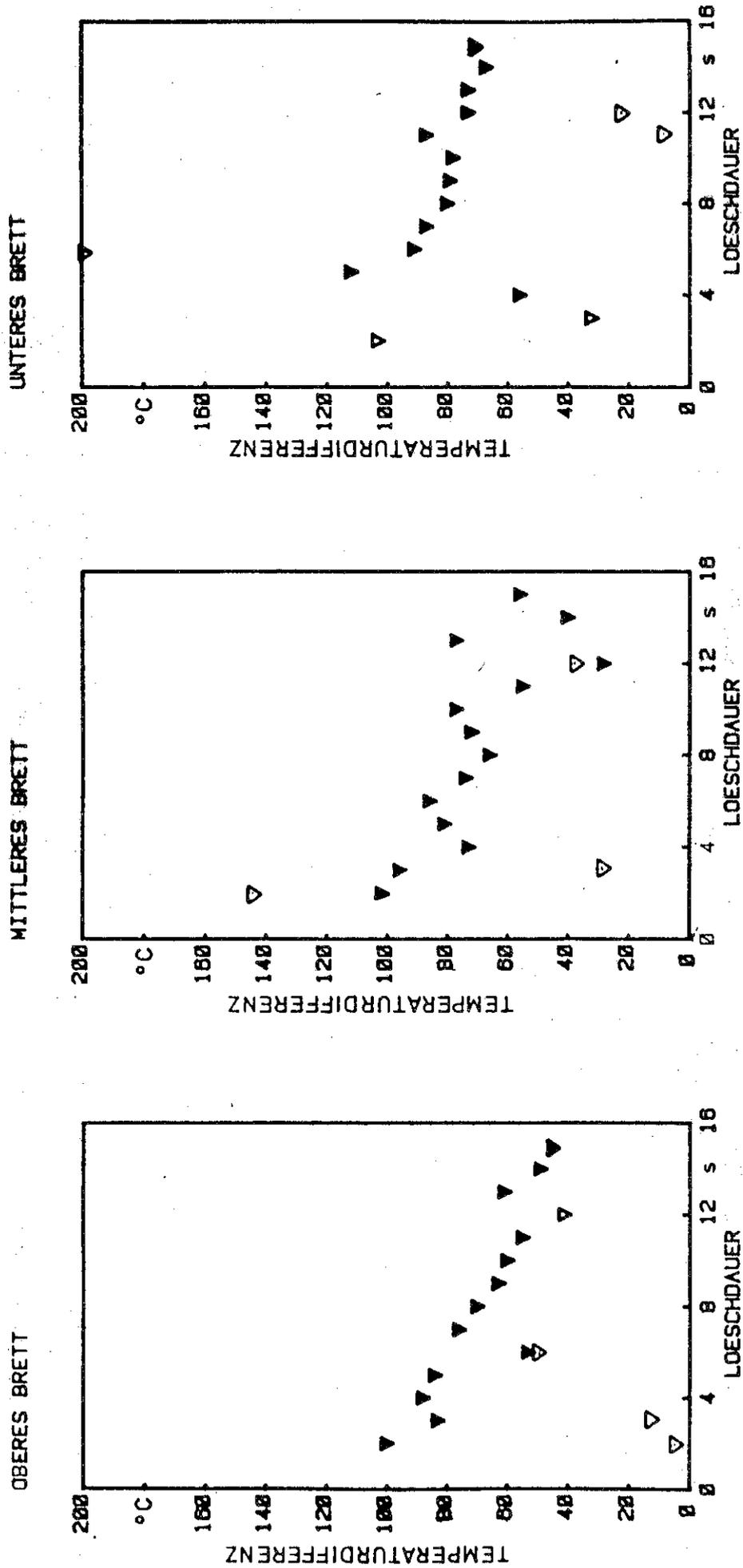


Bild 41: Durchschnittliche Aufheizung der Probekörper dargestellt durch die Temperaturdifferenzen zwischen der maximalen Innentemperatur und der Innentemperatur unmittelbar nach dem Löschen in Abhängigkeit von der Löschdauer
Löschmittel: vollentsalztes Wasser
▼ erster Löschversuch erfolgreich

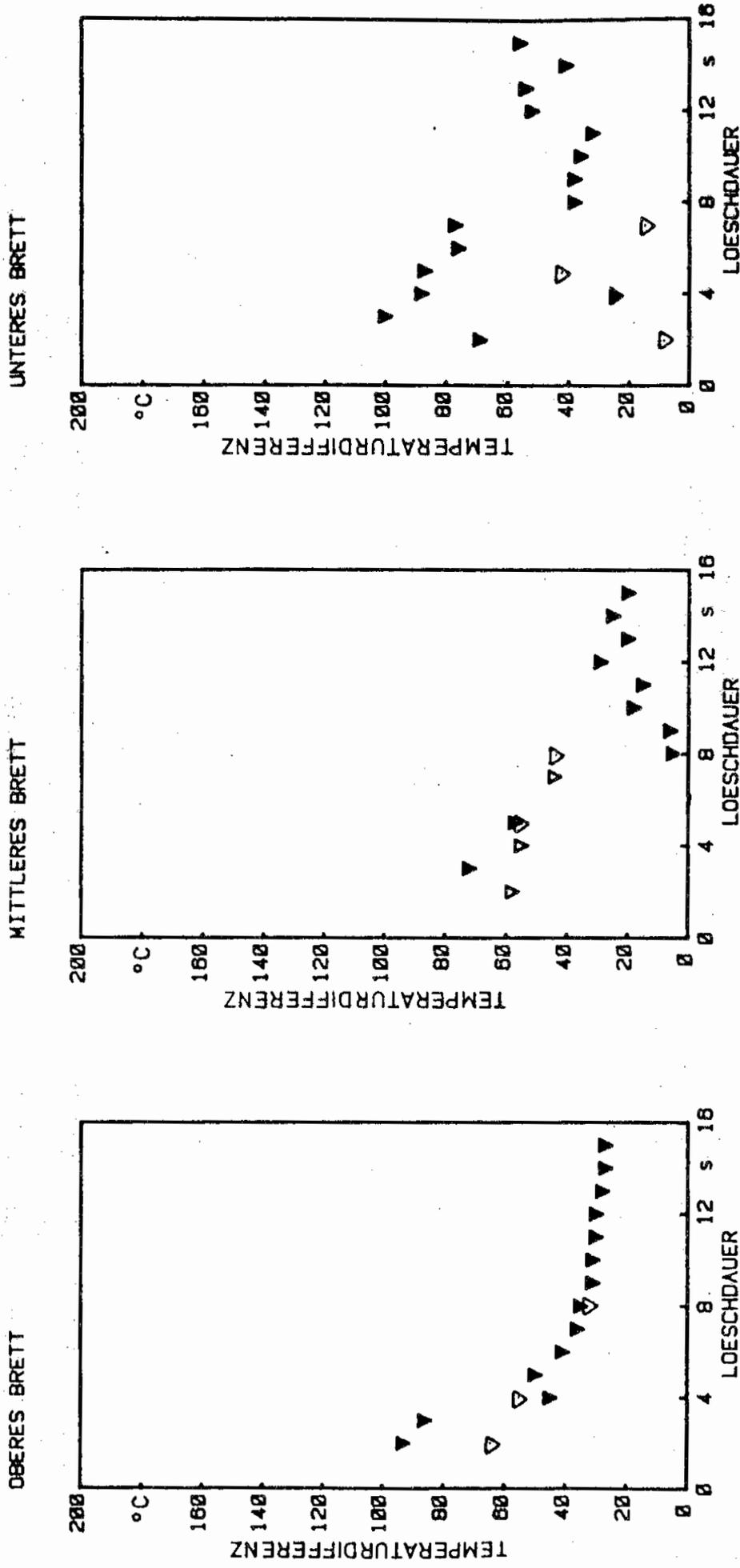


Bild 42: Durchschnittliche Aufheizung der Probekörper dargestellt durch die Temperaturdifferenzen zwischen der maximalen Innentemperatur und der Innentemperatur unmittelbar nach dem Löschen in Abhängigkeit von der Löschdauer
Löschmittel: 20 gew.-%ige wässrige Diammoniumhydrogenphosphatlösung
▼ erster Löschversuch erfolgreich

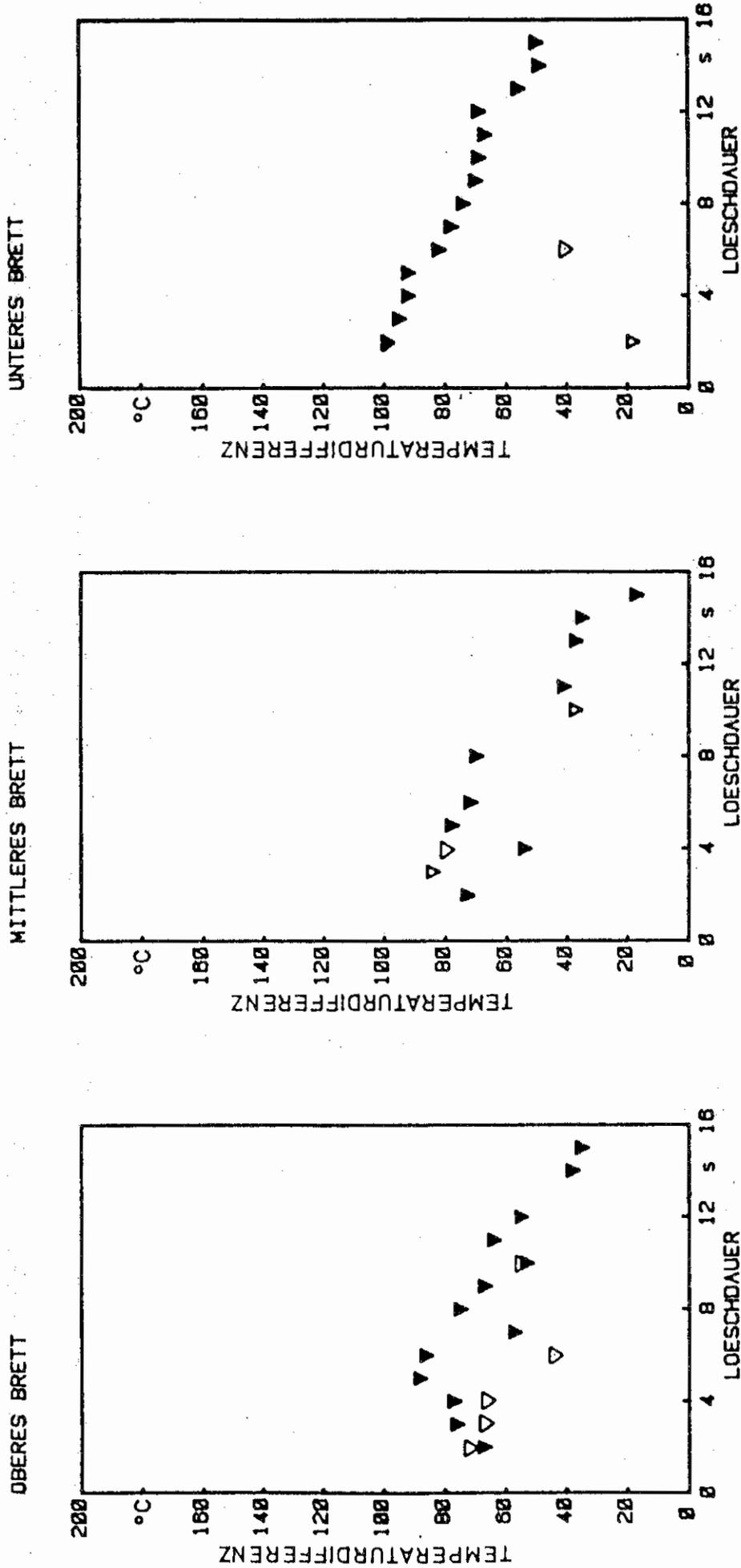
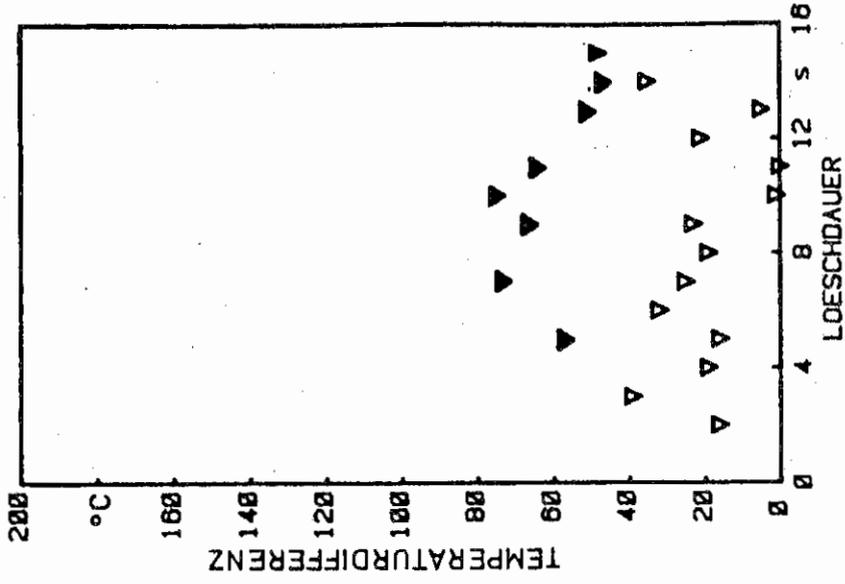
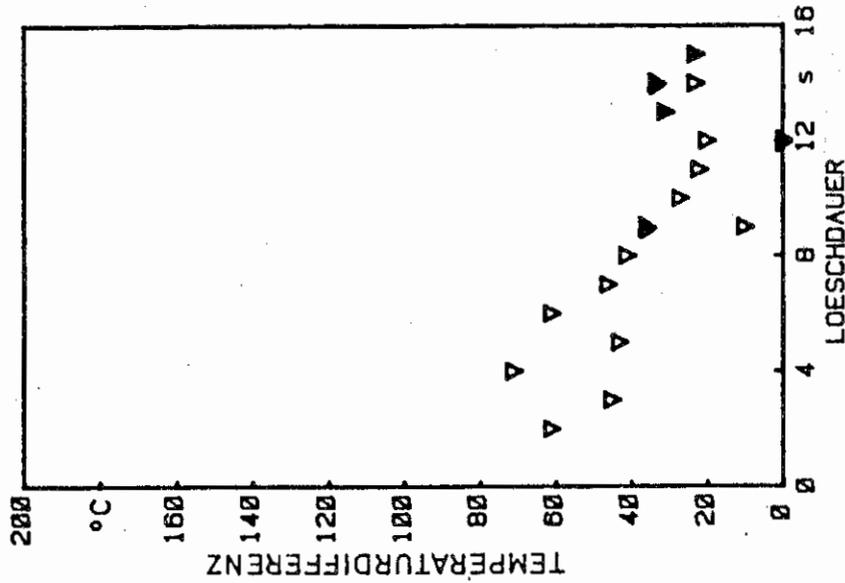


Bild 43: Durchschnittliche Aufheizung der Probekörper dargestellt durch die Temperaturdifferenzen zwischen der maximalen Innentemperatur und der Innentemperatur unmittelbar nach dem Löschen in Abhängigkeit von der Löschdauer
Löschmittel: 5 gew.-%ige wässrige Diammoniumhydrogenphosphatlösung
▼ erster Löschversuch erfolgreich

UNTERES BRETT



MITTLERES BRETT



OBERES BRETT

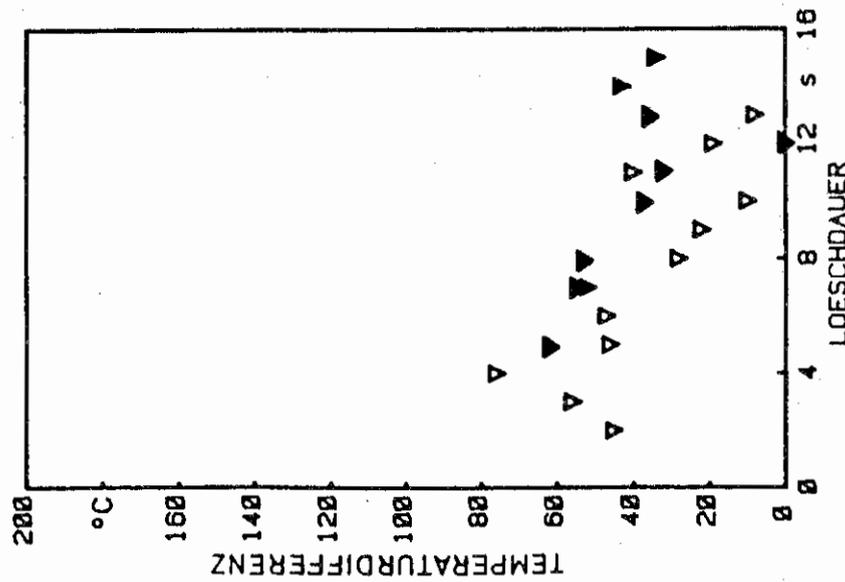


Bild 44: Durchschnittliche Aufheizung der Probekörper dargestellt durch die Temperaturdifferenzen zwischen der maximalen Innentemperatur und der Innentemperatur unmittelbar nach dem Löschen in Abhängigkeit von der Löschdauer
Löschmittel: 20 gew.-%ige wässrige Diammoniumsulfatlösung
▼ erster Löschversuch erfolgreich

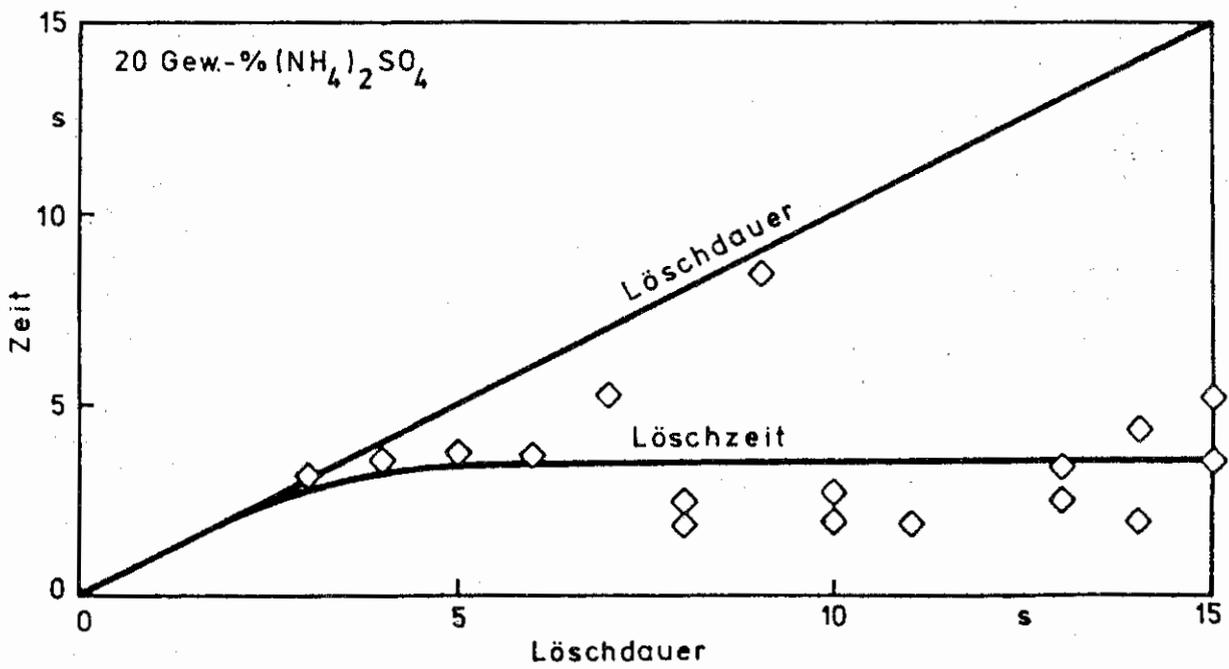
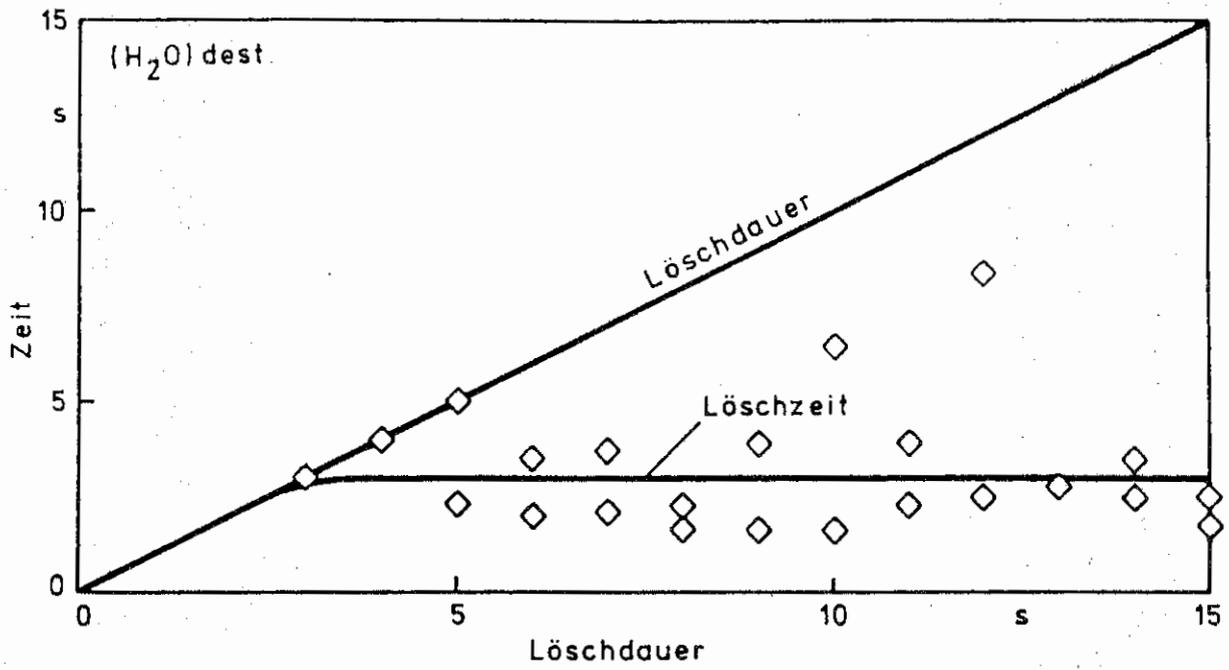


Bild 45: Tatsächlich aufzuwendende Löschzeit

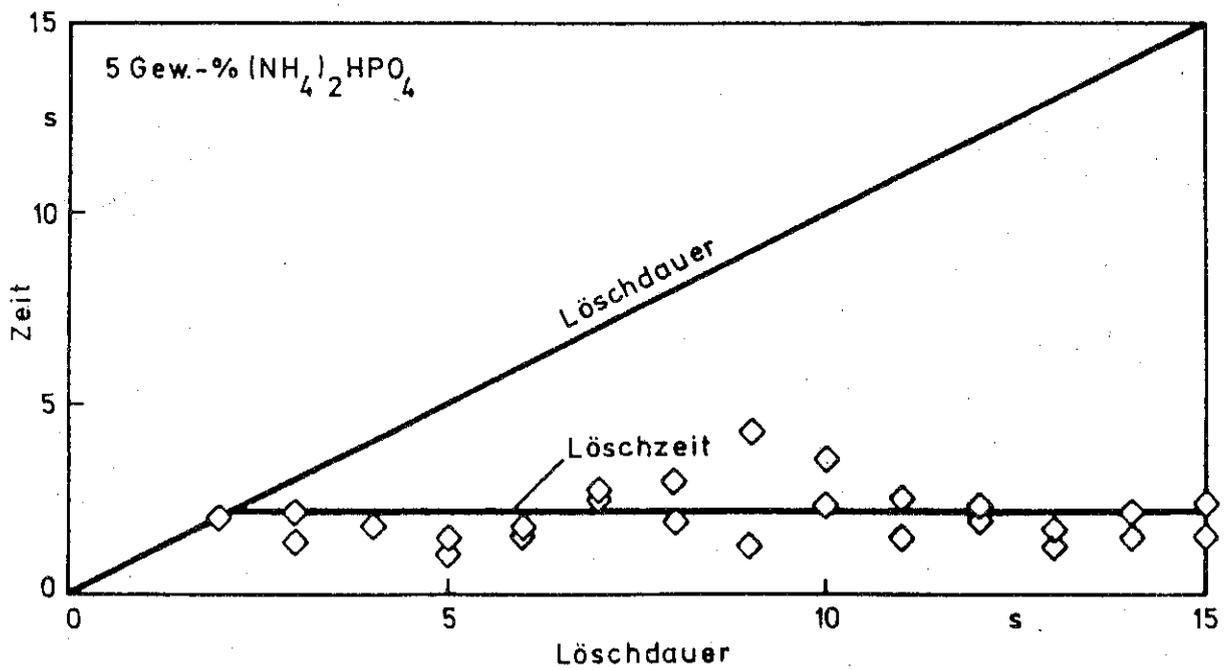
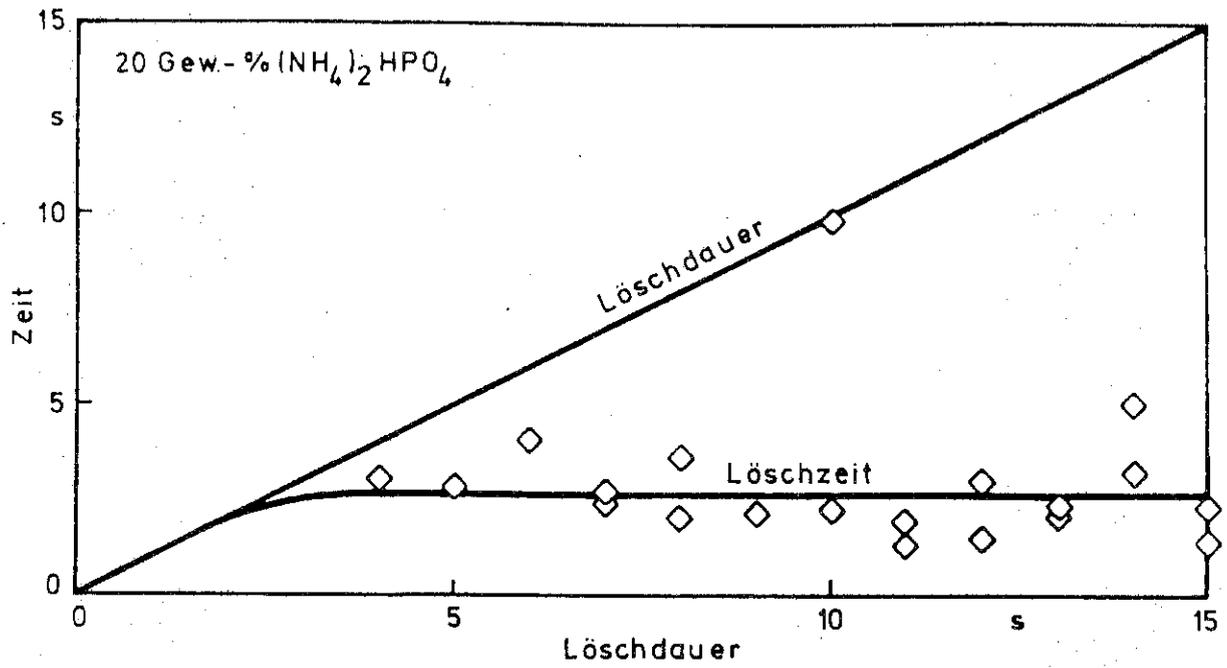


Bild 46: Tatsächlich aufzuwendende Löschzeit

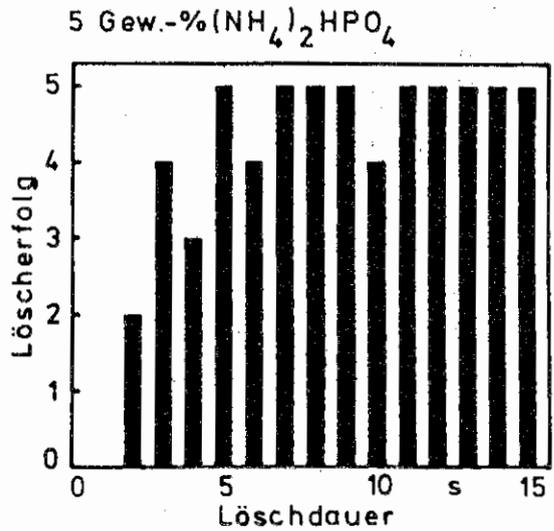
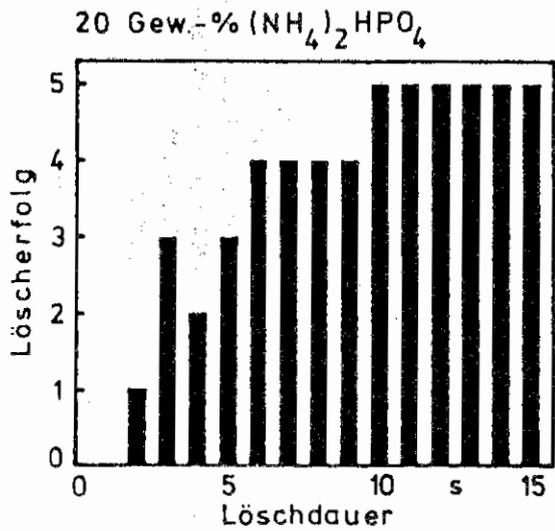
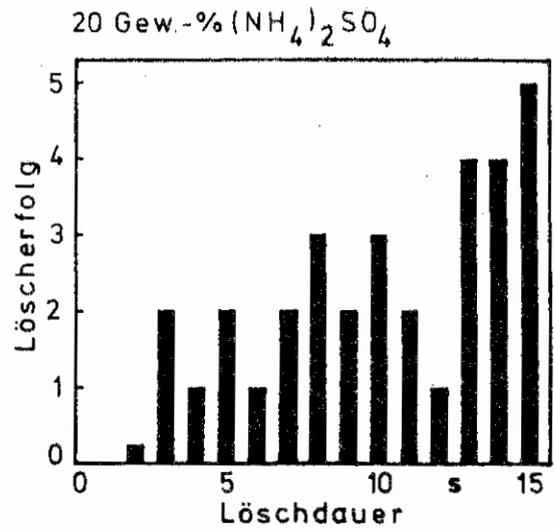
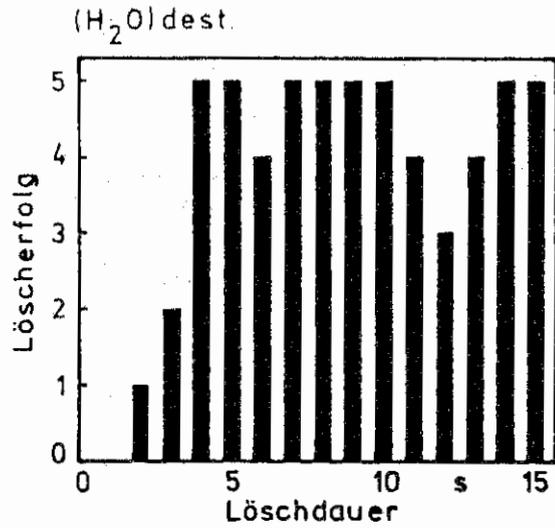


Bild 47: Häufigkeit der nach dem ersten Löschversuch gelöschten Versuchsanordnungen