

Ingenieurbüro für Strömungstechnik
Dr. - Ing. Jürgen Kraft

Schmiedeberger Str. 33, 01277 Dresden, Tel./Fax 0351/2515783
Funk 01729111295

Druckstoßberechnungen
an der Brunnenwasserförderung
Denklingen, Stubental zum HB

Die Berechnungen erfolgten im Auftrage von
Dr. Blasy - Dr. Overland
Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG
Moosstraße 3
82279 Eching am Ammersee

Dresden, den 21.03.2018

Inhaltsübersicht

	Seite
1. Aufgabenstellung	2
2. Lösungsweg	2
3. Ergebnisse der Druckstoßberechnungen	3
3.1 Betrieb ohne Druckstoßsicherungen	3
3.2 Druckbehälter am Brunnenkopf	4
4. Armaturen am Brunnenkopf	4
5. Auswahl und Einbindung des Druckbehälters	4
6. Zusammenfassung	5

Anlagen:

Bild 1

Bilder 1.1 bis 1.6

Bilder 2.1 bis 2.8

Eingabewerte für die Leitungen

Pumpenkennlinien

1. Aufgabenstellung

An der Brunnenwasserförderung Denklingen vom Brunnen Stubental bis zum Hochbehälter ist die Druckstoßgefährdung zu prüfen und gegebenenfalls sind Sicherungsmaßnahmen vorzuschlagen.

Folgende Unterlagen wurden benutzt:

- Anfrage vom 30.01.2018 (Dr. Blasy - Dr. Overland)
- Auftrag vom 02.03.2018 (Dr. Blasy - Dr. Overland)
- Längsschnitt (März 2018, Dr. Blasy - Dr. Overland)
- Pumpenkennlinien K8.70, $n = 2900 \text{ min}^{-1}$, $D2 = 143 \text{ mm}$ (Wilo)
- Massenträgheitsmoment Pumpe + Motor I = $0,0097 \text{ kgm}^2$ (Wilo)

2. Lösungsweg

Die beim An- und Abfahren der Brunnenpumpe, insbesondere beim unsanften Pumpenstopp durch Stromausfall, in der Leitung zum Hochbehälter auftretenden Druckschwingungen wurden auf einem Computer simuliert. Das Computerprogramm integriert die für Stoßwellenvorgänge in Leitungen geltenden partiellen Differentialgleichungen nach der Charakteristikenmethode. Es gestattet die Schwingungs- und Stoßvorgänge in den Rohrleitungen dynamisch auf dem Bildschirm zu verfolgen.

Um diese eigentlich bewegten Bilder auf dem Papier mitzuteilen, wurden sie zu besonders interessierenden Zeitpunkten angehalten und ausgedruckt.

Während des Rechnerlaufs werden Zustandswerte, wie Druck, Durchsatz und gegebenenfalls Behälterfüllstände in einer Datei protokolliert und können anschließend als Funktionen über der Zeit dargestellt werden.

Die Variantenrechnungen zur Untersuchung der Druckschwingungsvorgänge in den Leitungen liefen folgendermaßen ab:

Ausgehend von einem hydrostatischen Zustand für das gefüllte System, wurde zum Zeitpunkt $t = 0$ die Pumpe im Brunnen Stubental gestartet.

Um einen stationären Betriebszustand als Ausgangssituation für den Pumpenstopp zu erhalten, wurde bis $t = 300 \text{ s}$ gewartet. Zu diesem Zeitpunkt erfolgte dann der unsanfte Pumpenstopp durch Abschalten des Stromes. Dabei tourte die Pumpe entsprechend ihrem Massenträgheitsmoment und dem bremsenden Moment der Förderung ab.

Dieses Szenarium wurde zur Quantifizierung der Druckstoßgefährdung und zur Dimensionierung der Druckstoßdämpfungsmaßnahmen benutzt.

Die Ergebnisse der Druckstoßberechnungen sind in Plots der hydraulischen Linie zu bestimmten Zeitpunkten mitgeteilt oder als zeitliche Verläufe von Druck und Durchsatz an ausgewählten Stellen.

Zu den Plots der hydraulischen Linie noch folgende Erläuterungen: Auf der Abszisse ist jeweils die Leitungslänge von der Pumpe im Brunnen Stubental bis zum Auslauf in den Hochbehälter dargestellt (vergl. Bild 1). Die Ordinate enthält die Druckhöhe in mWS. Bezugspunkt 0 mWS sind 700 mNN. Der Darstellungsbereich geht bis 200 mWS.

Um einen schnellen Überblick über die Zulässigkeit der Druckschwingungen zu erhalten, ist am unteren Rand der Darstellung die Topographie der Leitungsführung eingetragen.

Der örtliche manometrische Druck in der Leitung ergibt sich immer aus der Differenz zwischen der Lage der hydraulischen Linie und der zugehörigen Topographie. Wird also durch die hydraulische Linie während der Schwingungen die untere Begrenzung angeschnitten, so bedeutet das Unterdruck im betroffenen Leitungsabschnitt, möglicherweise sogar Verdampfung. Die obere Begrenzung, um die Druckbelastbarkeit PN 16 verschoben, ist in dem gewählten Darstellungsmaßstab nicht sichtbar. Solange also die hydraulische Linie die Darstellung nach oben nicht verläßt, besteht kein Problem mit Überdruck.

Die grafische Füllung der kritischen Bereiche ist so programmiert, daß sie beim Eindringen der hydraulischen Linie gelöscht wird. Damit hat man auch nach dem Abklingen der Schwingungen noch eine auswertbare Darstellung der maximalen Grenzwertüberschreitungen. Am oberen Rand in der Mitte der Darstellung läuft eine Zeitzählung für den Vorgang in Sekunden, die mit 0 beim Start der Pumpe beginnt. In dem über der besprochenen Darstellung befindlichen länglichen, schmalen Kasten wird gegebenenfalls der aktuelle Wasserinhalt angeschlossener Druckstoßdämpfungsbehälter prozentual angezeigt. Man könnte sich diesen Kasten nach links hochgeklappt als Füllstandsanzeige vorstellen.

Um auch für Bereiche, in denen die Grenzwerte nicht überschritten werden, eine Darstellung der Schwingungsbreite zu erhalten, wurde folgendes Verfahren benutzt:

Kurz vor dem Pumpenstopp wurde die hydraulische Linie beiderseits durch eine etwas gröbere Punktierung eingeschlossen, die dann bei der nachfolgenden Bewegung gelöscht wird.

3. Ergebnisse der Druckstoßberechnungen

Bild 1 zeigt das verwendete Modell für die Berechnungen. Die blauen Ziffern sind Leitungs-Nummern. Sie stellen den Bezug zu der im Anhang befindlichen Datei EINFEST.INC dar, welcher Einzelheiten zu den Eingabewerten der Leitungen entnommen werden können.

Für die Förderung standen unterschiedliche Pumpen und Motore zur Auswahl. Hier wurde die Pumpe mit dem größten Durchsatz und der Motor mit dem geringste Massenträgheitsmoment für die Berechnung ausgewählt, weil damit die größtmögliche Druckstoßgefährdungen erfasst wird. Jede andere Kombination der vorgeschlagenen Pumpen und Motore ist dann bedenkenlos einsetzbar.

3.1 Betrieb ohne Druckstoßsicherungen

Zunächst wurde untersucht, ob das System eventuell ohne Druckstoßsicherungen auskommt. Dazu wurde der Druckbehälter im Bild 1 deaktiviert.

Bild 1.1 zeigt den stationären Betrieb kurz vor dem Pumpenstopp. Es fließen 24 l/s durch die Leitung bis zum Hochbehälter.

Bild 1.2 zeigt die durch den unsanften Pumpenstopp ausgelöste Druckabsenkungswelle in der Brunnensteigleitung.

Bild 1.3 zeigt anhand der gelöschten Punktierung die gesamte Schwingungsbreite der hydraulischen Linie nach dem Pumpenstopp. Die Leitung gerät ohne Druckbehälter in den Unterdruck bis zur Verdampfung, was keinesfalls zulässig ist.

Bild 1.4 zeigt den Durchsatz der Brunnenpumpe.

Bild 1.5 zeigt den Druckverlauf an der Brunnenpumpe auf einer Höhe von 709,73 mNN.

Bild 1.6 zeigt den Druckverlauf am Brunnenkopf auf einer Höhe von 753,08 mNN.

3.2 Druckbehälter am Brunnenkopf

Um die Verdampfung in der Leitung zu verhindern und die Belastungen an der Brunnenpumpe zu verringern, ist der Anschluß eines Druckstoßdämpfungsbehälters am Brunnenkopf notwendig. Dieser muß wegen der Nullförderhöhe der K8.70 von 115,1 mWS die Druckstufe PN 10 haben.

Aus Variantenrechnungen wurde ein Membrandruckbehälter mit 600 Litern Gesamtvolumen als optimal gefunden.

Bild 2.1 zeigt wieder den stationären Betrieb kurz vor dem Pumpenstopp. Es fließen 24 l/s durch die Leitung. In dem oberen schmalen Kasten ist die Füllstandsmarkierung des Druckbehälters zu sehen.

Bild 2.2 zeigt die durch den unsanften Pumpenstopp ausgelöste Druckabsenkungswelle in der Brunnensteigleitung, deren weitere Ausbreitung durch den angeschlossenen Druckbehälter stark gedämpft wird.

Bild 2.3 zeigt anhand der gelöschten Punktierung die gesamte Schwingungsbreite der hydraulischen Linie nach dem Pumpenstopp mit dem 600-Liter Druckbehälter.

Bild 2.4 zeigt den Durchsatz der Brunnenpumpe.

Bild 2.5 zeigt den Druckverlauf an der Brunnenpumpe auf einer Höhe von 709,73 mNN.

Bild 2.6 zeigt den Druckverlauf am Brunnenkopf auf 753,08 mNN.

Bild 2.7 zeigt die Leistungsaufnahme der Brunnenpumpe.

Bild 2.8 zeigt die Reaktion des Druckbehälters anhand seines Wasserinhaltes.

4. Armaturen am Brunnenkopf

Bei den Untersuchungen hat sich gezeigt, dass die dynamischen Belastungen der Brunnenpumpe mit der Installation des Druckstoßbehälters ausreichend gering gehalten werden können und ein zusätzliches Rückschlagventil am Brunnenkopf nicht erforderlich ist.

5. Auswahl und Einbindung des Druckbehälters

Dem Stande der Technik entsprechend wird ein Membrandruckbehälter vorgeschlagen.

Da es sich im vorliegenden Falle um eine Trinkwasserförderung handelt, ist die ständige Durchströmung des Druckbehälters gegen Verkeimung erforderlich.

Bild 2.9 zeigt dazu einen Lösungsvorschlag.

Damit der Druckbehälter optimal arbeitet, sollte er unter dem Druck der ruhenden Leitung eine etwa 50 %-ige Wasserfüllung haben. Dazu ist er vor dem Einbau mit einem Vordruck von 1,37 bar zu versehen. Nach der Einbindung in das System stellt sich dann die gewünschte Wasserfüllung ein.

Die Hersteller garantieren eine Druckhaltung ihrer Behälter für ein Jahr. Danach muß ein Reset durchgeführt werden, d.h. der Behälter ist vom Netz zu trennen und wasserseitig drucklos zu machen. Entsprechende Ventile müssen vorhanden sein. Dann wird der Vordruck kontrolliert und bei Abweichungen über das dafür vorgesehene Ventil wieder hergestellt. Zur Signalisierung von Membranschäden sollte im Gasraum des Behälters eine Lecksonde installiert sein.

Die Druckstufe des Behälters muß PN 10 sein, damit er bei versehentlicher Absperrung der Leitung hinter der Behältereinbindung die Nullförderhöhe der Pumpe aushält.

6. Zusammenfassung

Die dynamischen Computersimulationen der Druckstoßvorgänge beim Start und Stopp der Pumpe im Brunnen Stubental haben zu folgenden Ergebnissen geführt:

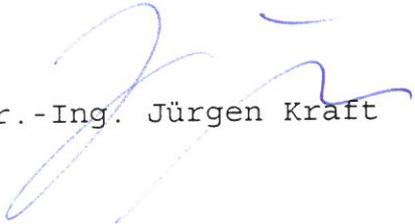
Ohne besondere Vorkehrungen zur Druckstoßdämpfung gerät die Leitung in den Unterdruck bis zur Verdampfung. Das ist nicht zulässig.

Daher ist eine Druckstoßsicherung mit einem 600 Liter Membrandruckbehälter in der Brunnenstube notwendig.

Damit der Druckbehälter optimal arbeitet, sollte er unter dem Druck der ruhenden Leitung eine etwa 50 %-ige Wasserfüllung haben. Dazu ist er vor dem Anschluß mit einem Vordruck von 1,37 bar zu versehen.

Die Druckstufe des Behälters muß PN 10 betragen.

Er ist so an die vom Brunnen abgehende Leitung anzubinden, dass er bei Förderung ständig von einem Teilstrom durchflossen wird.


Dr.-Ing. Jürgen Kraft

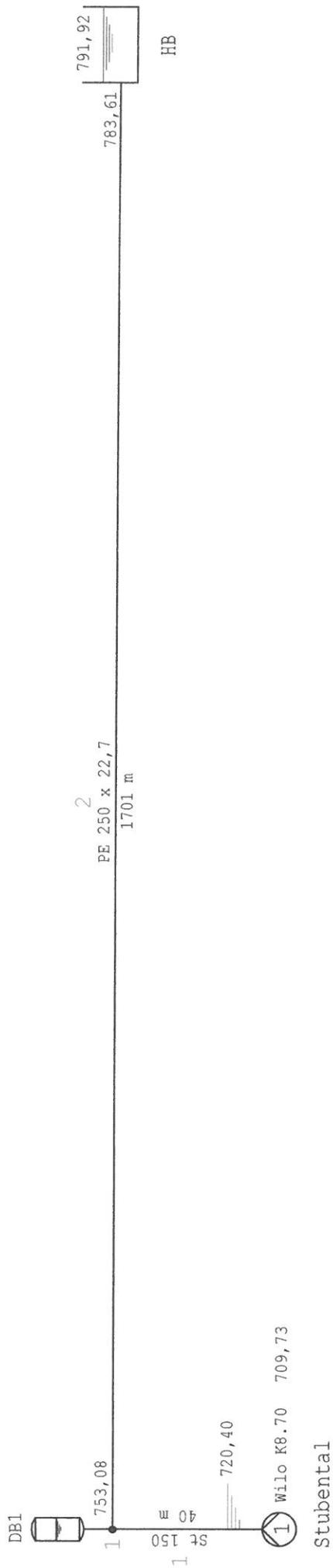


Bild 1: Modellierung der Brunnenwasserförderung Denklingen

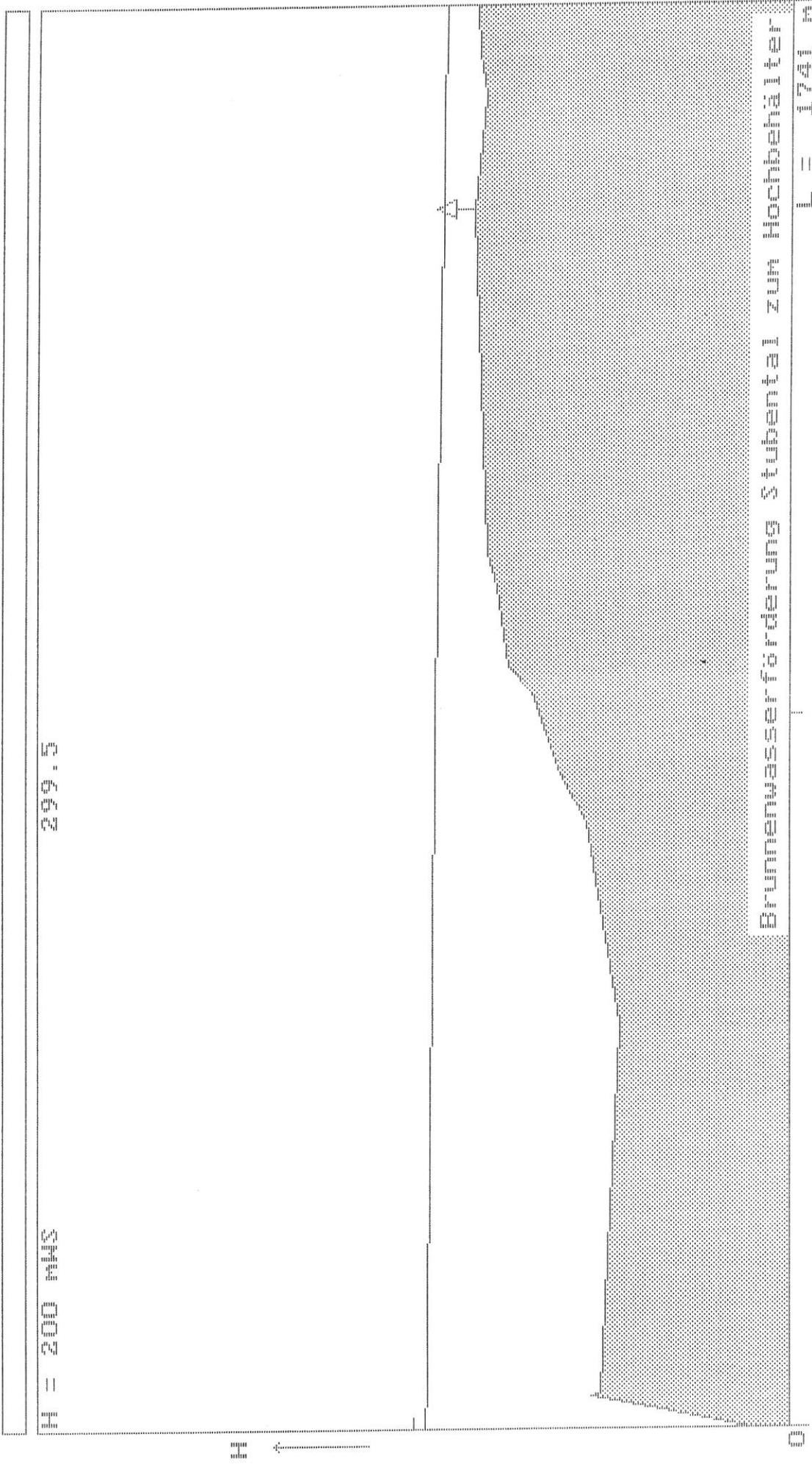


Bild 1.1: Stationäre Förderung. Es fließen 24 l/s durch die Leitung zum Hochbehälter.

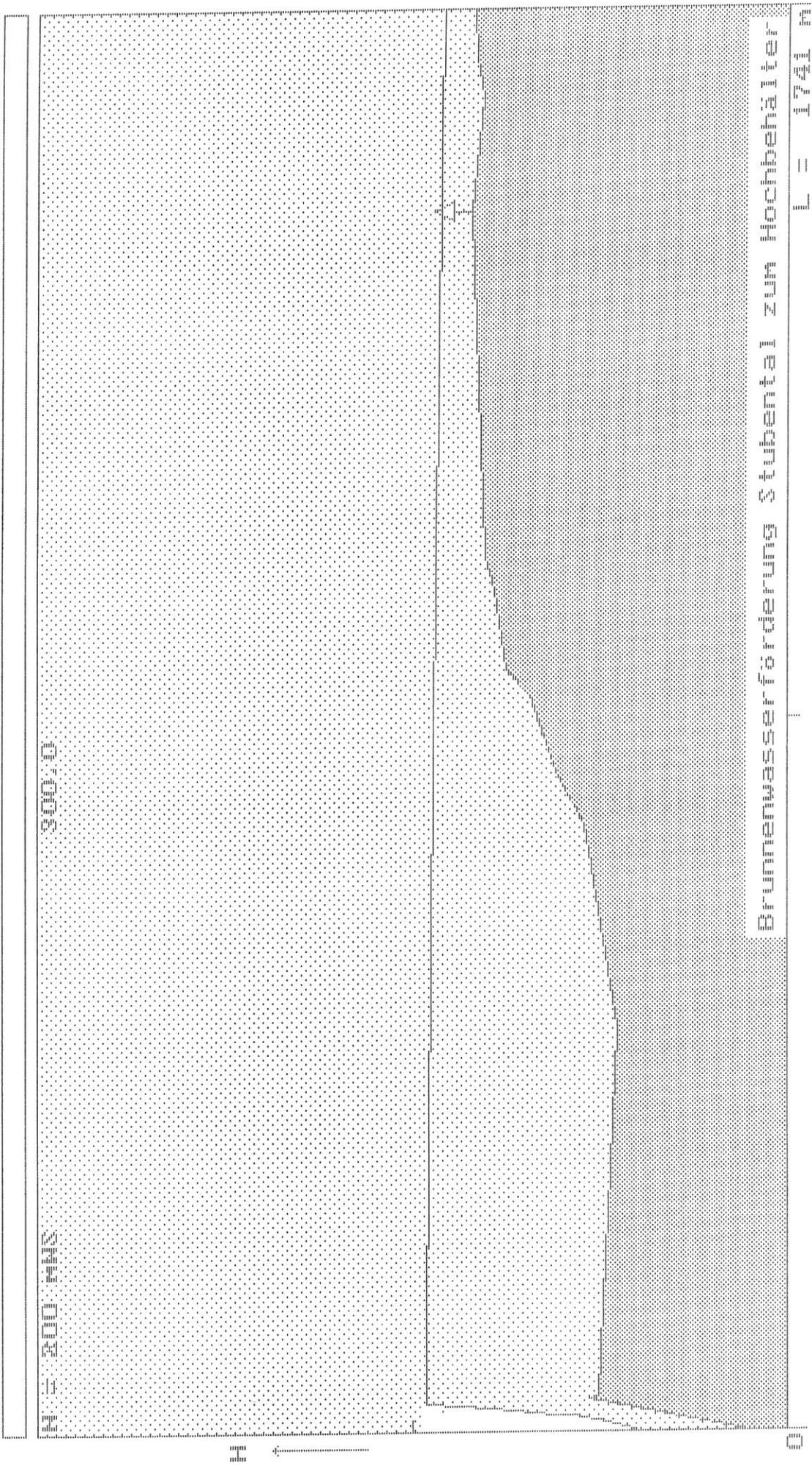


Abb. 1.2: Durch den ununterbrochenen Subentale Brunnensertörung

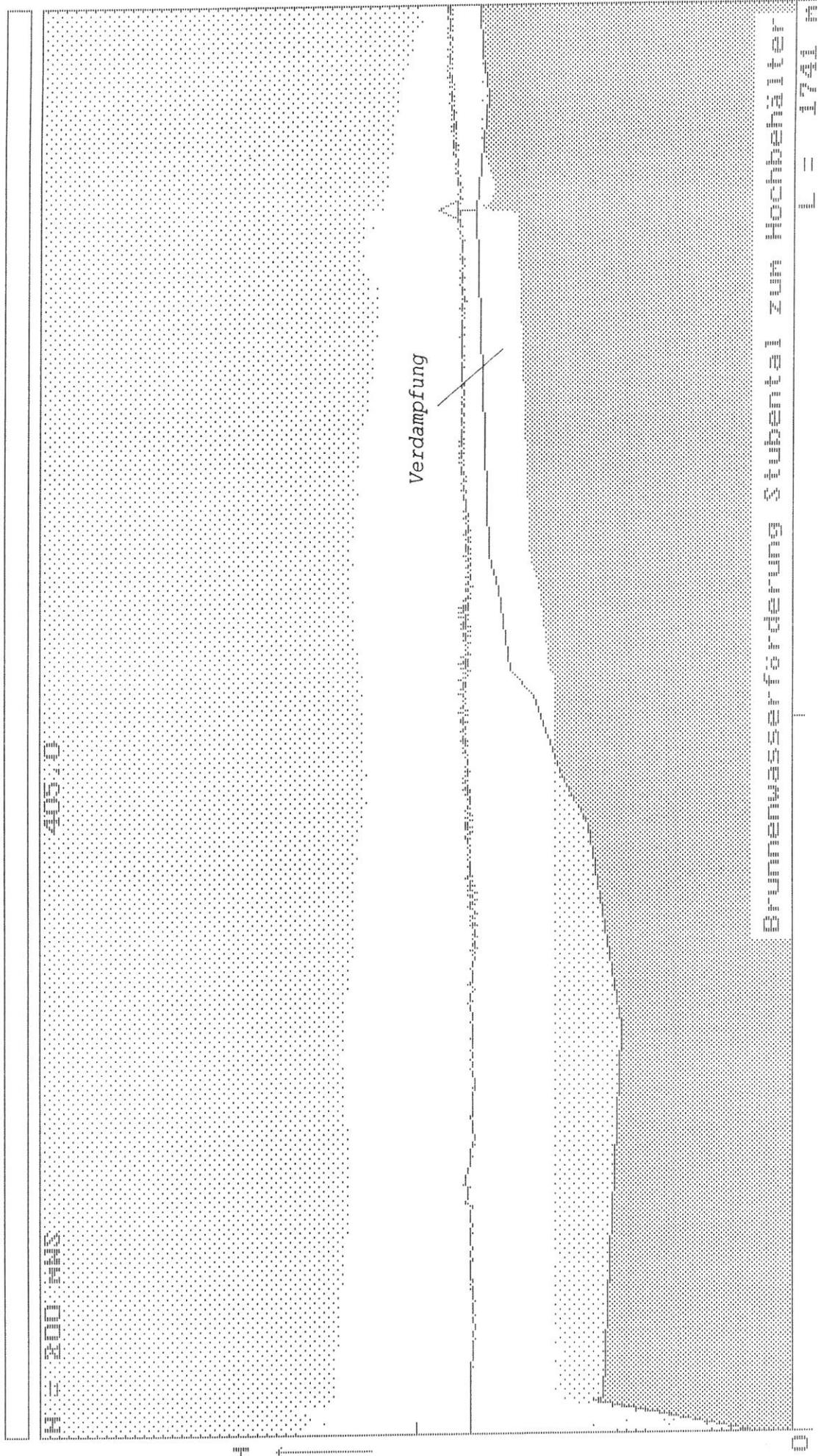


Bild 1.3: Maximale Schwingungsbreite der hydraulischen Linie nach den Pumpentopp

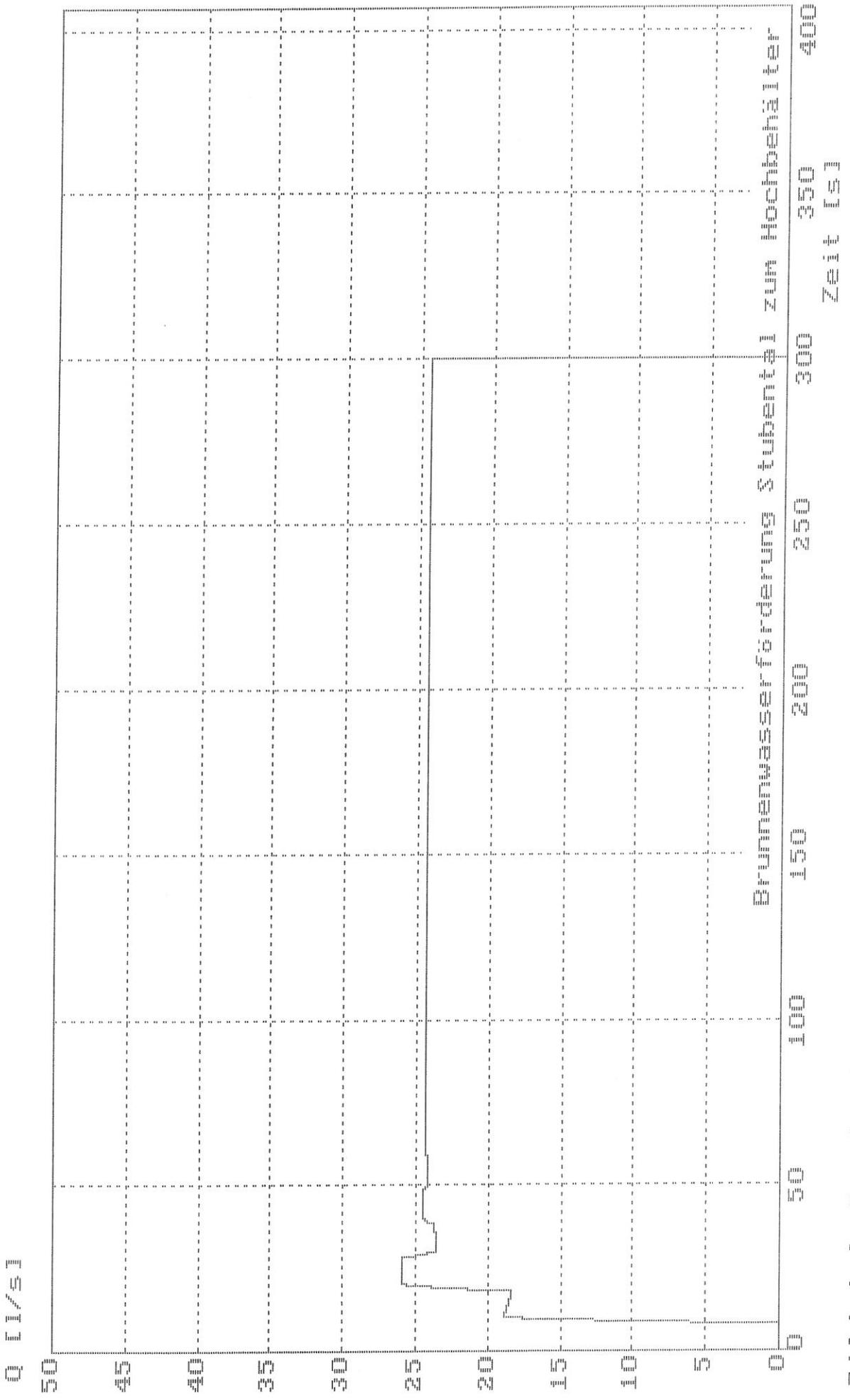


Bild 1.4: Durchsatz der Brunnenpumpe

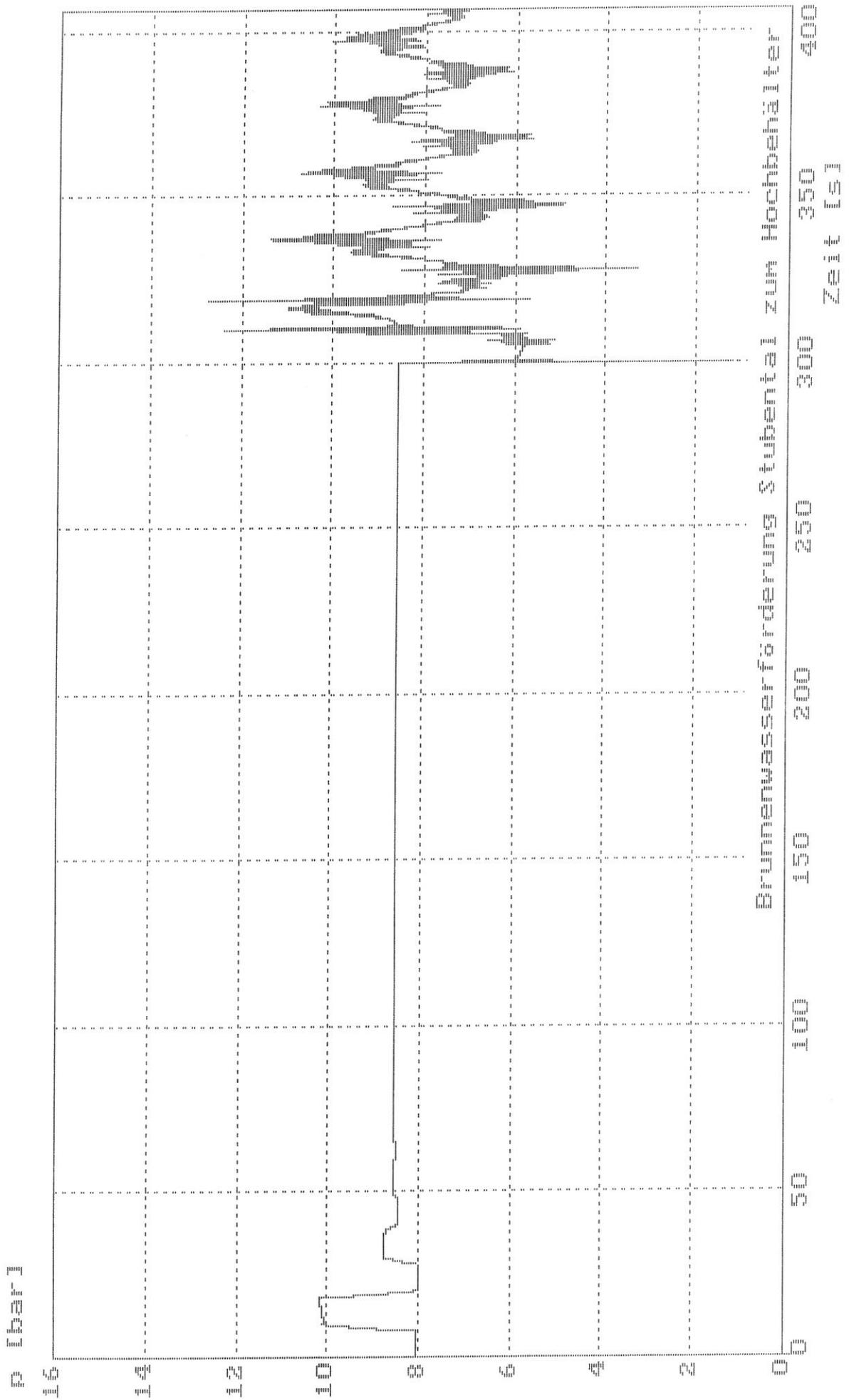
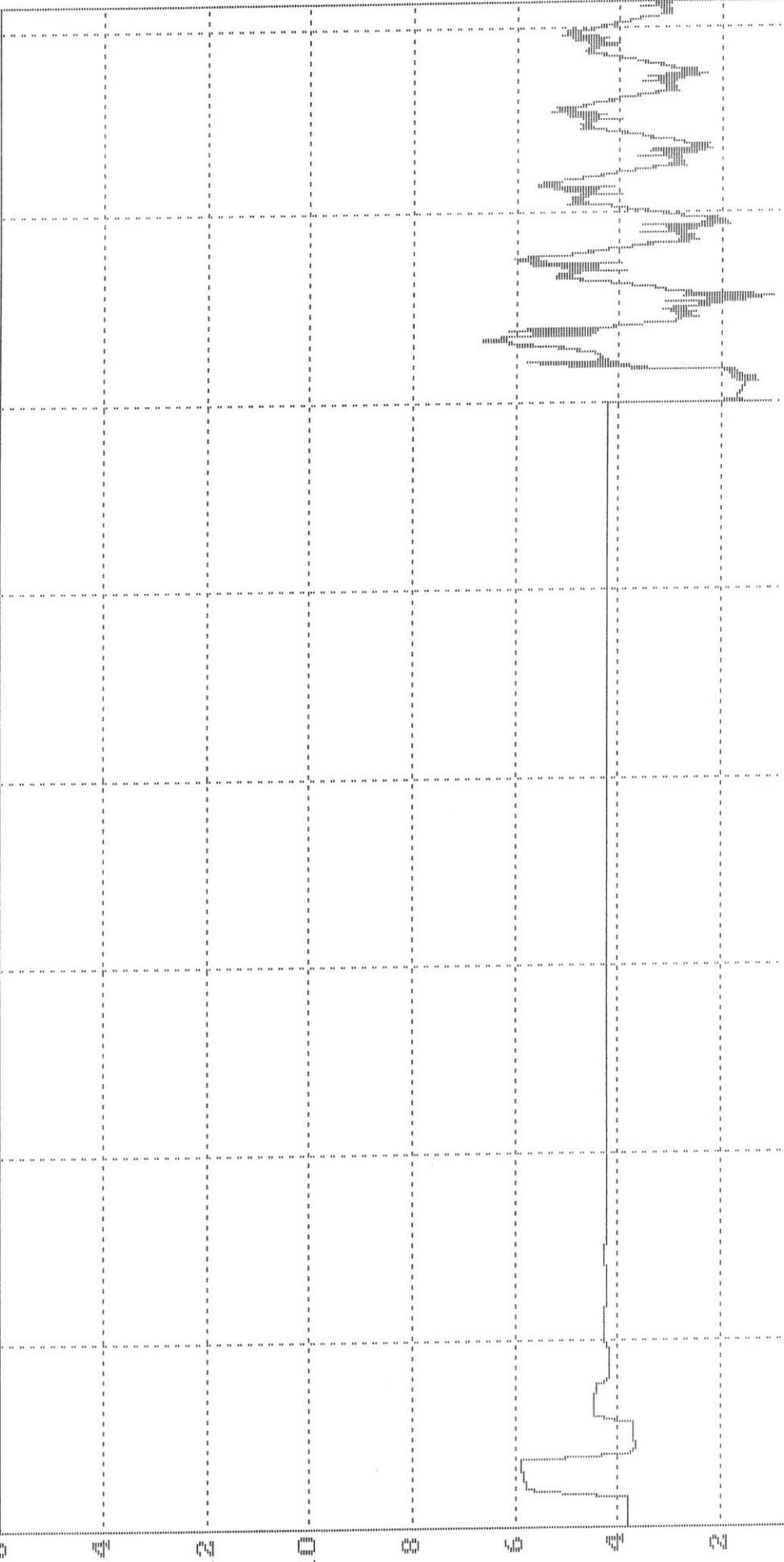


Bild 1.5: Druckwert mit der Pumpenpumpe auf 709,79 mm

151 1127 444 80' 52" 100 300 400 500 600 700 800 900

Zeit 151

000 050 100 150 200 250 300 350 400 450 500 550 600 650 700 750 800 850 900



m

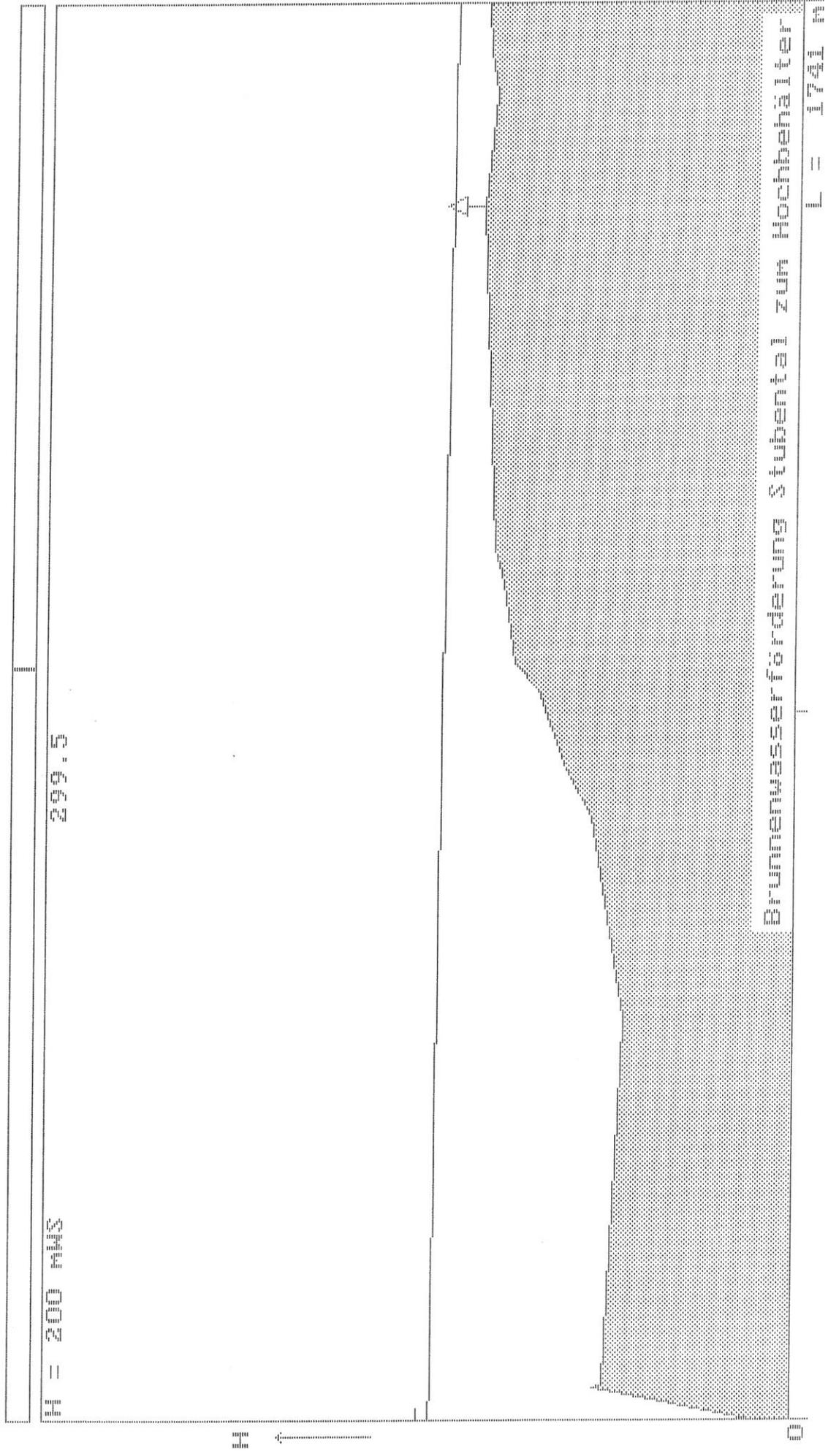


Bild 2.1: Stationäre Förderung. Es fließen 24 l/s durch die Leitung zum Hochbehälter.

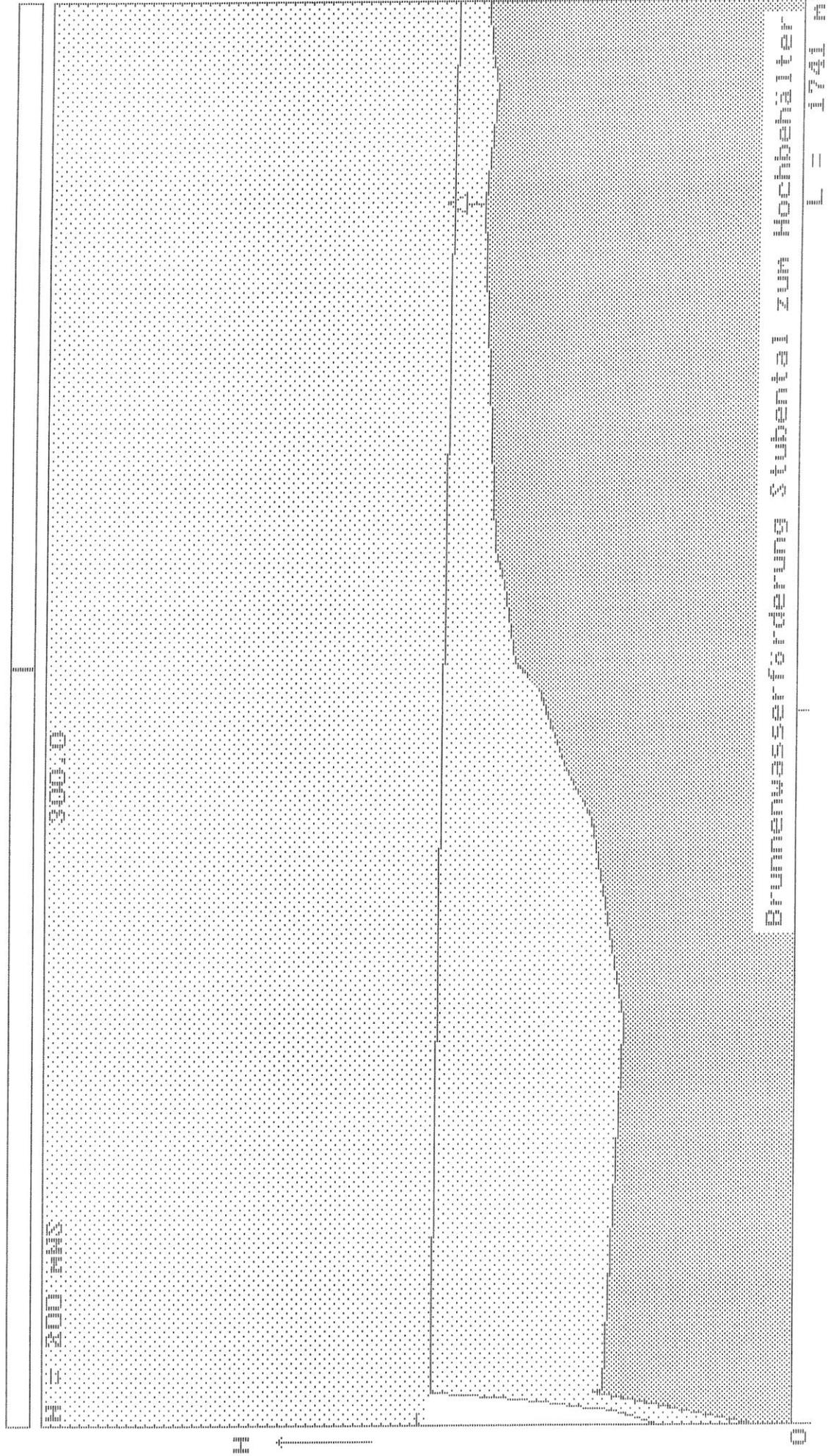


Bild 2.2: Durch den unanfertigen Pumpenstopp ausgelöste Druckabnahmewelle

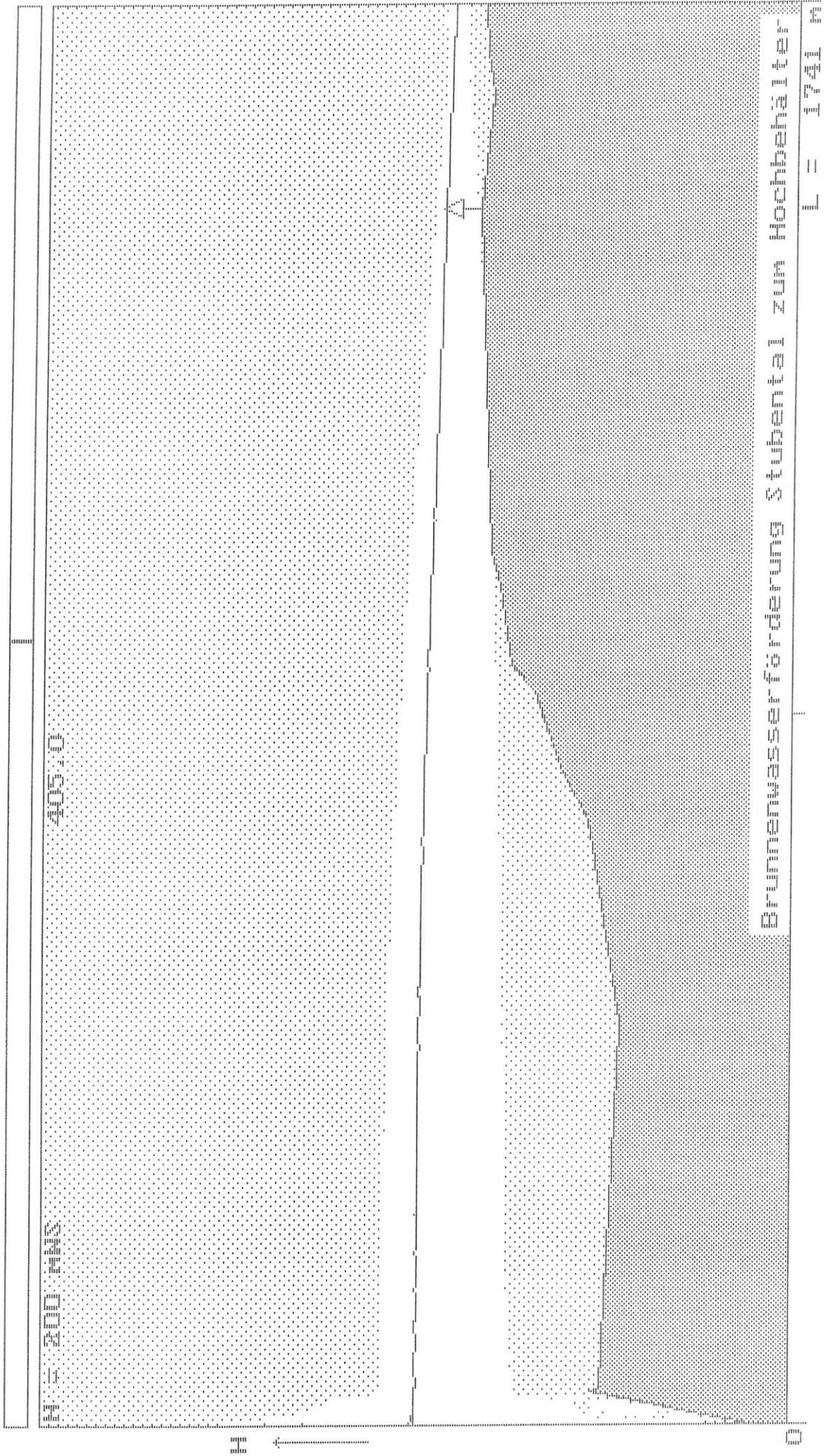


Bild 2.3: Maximale Schwingungsbreite der hydraulischen Linie nach dem Pumpenstopp mit 600 Liter Druckbehälter

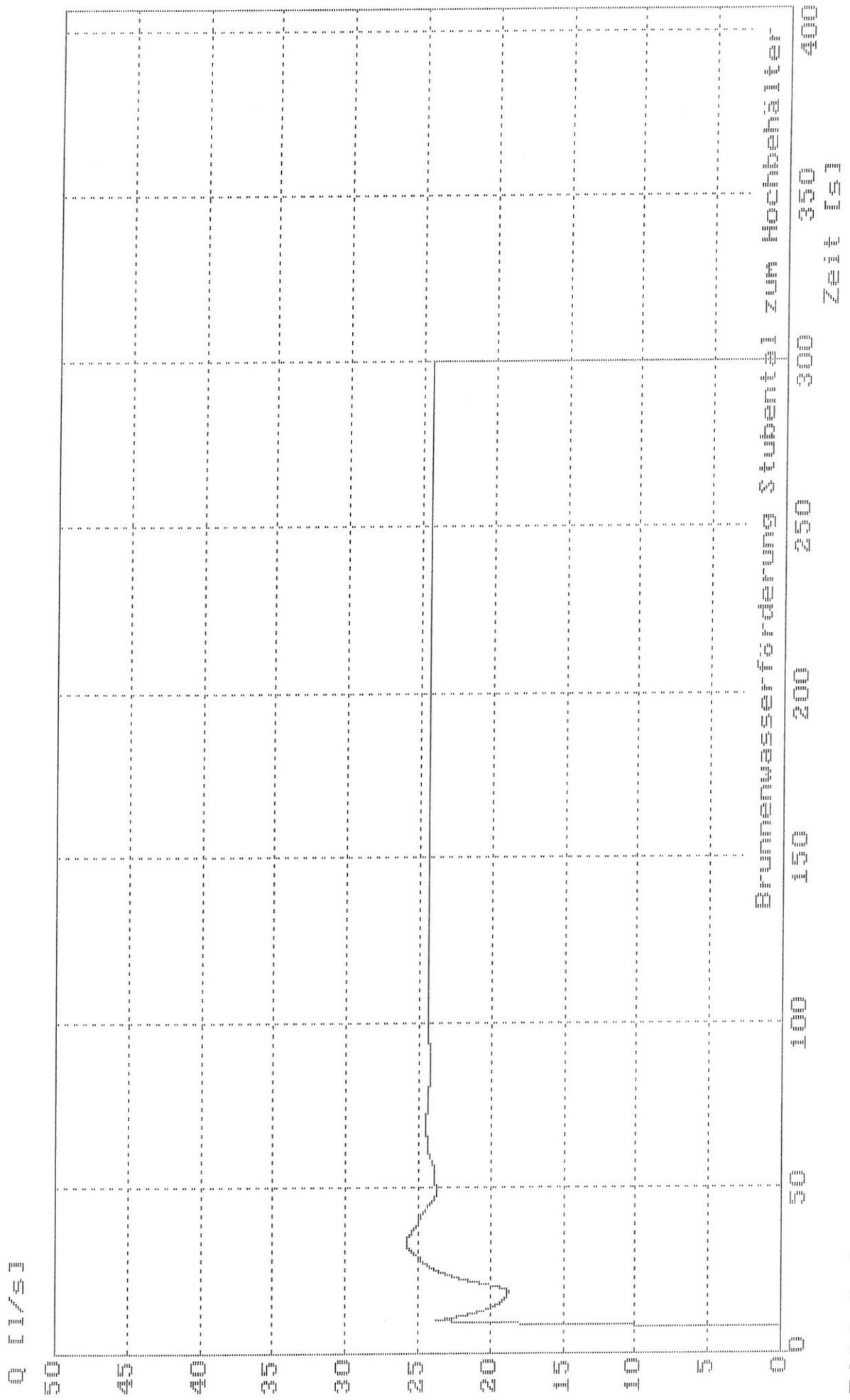


Bild 2.4: Durchsatz der Brunnenpumpe

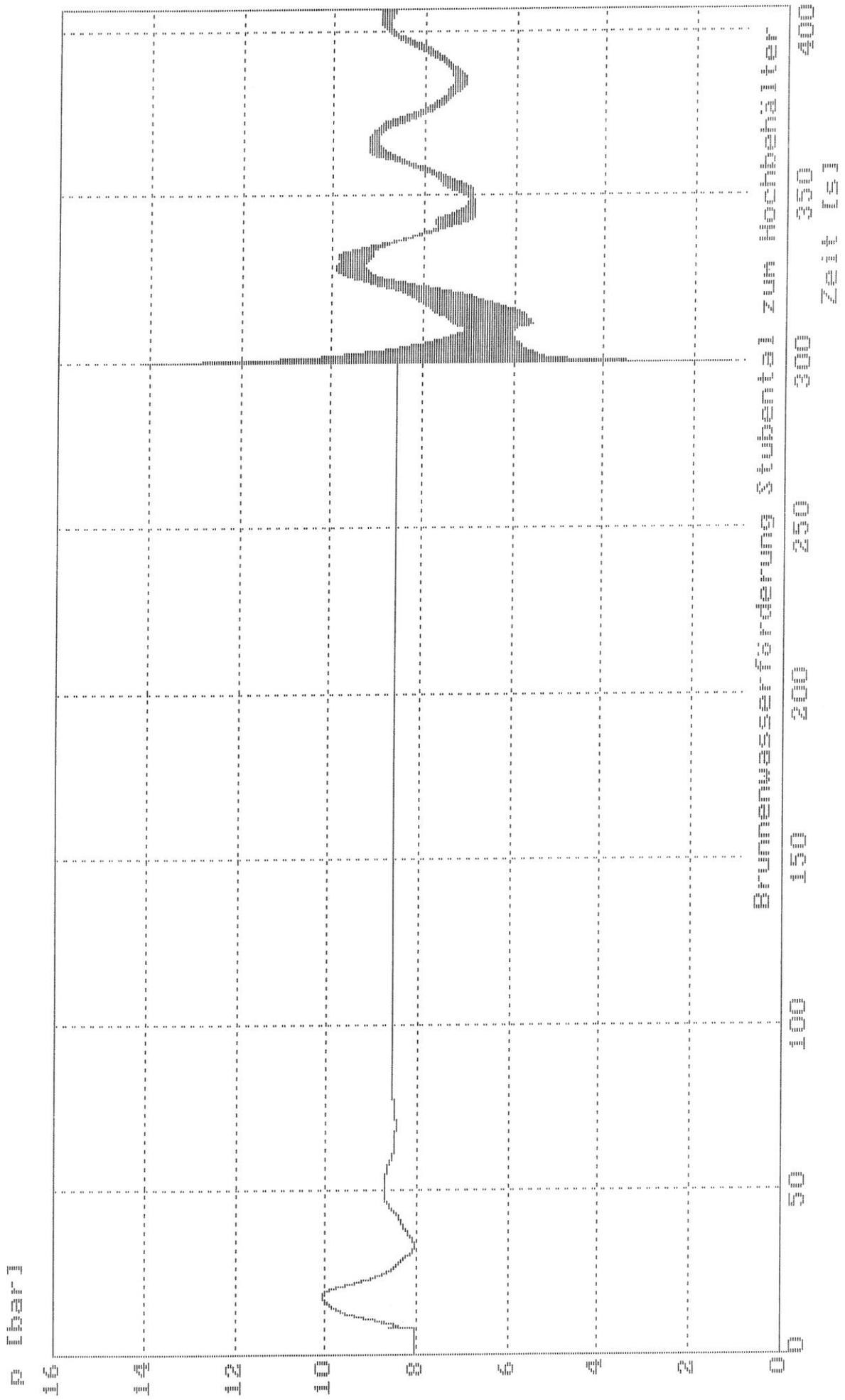


Bild 2.5: Druckverlauf an der Brunnepumpe auf 709,73 mm

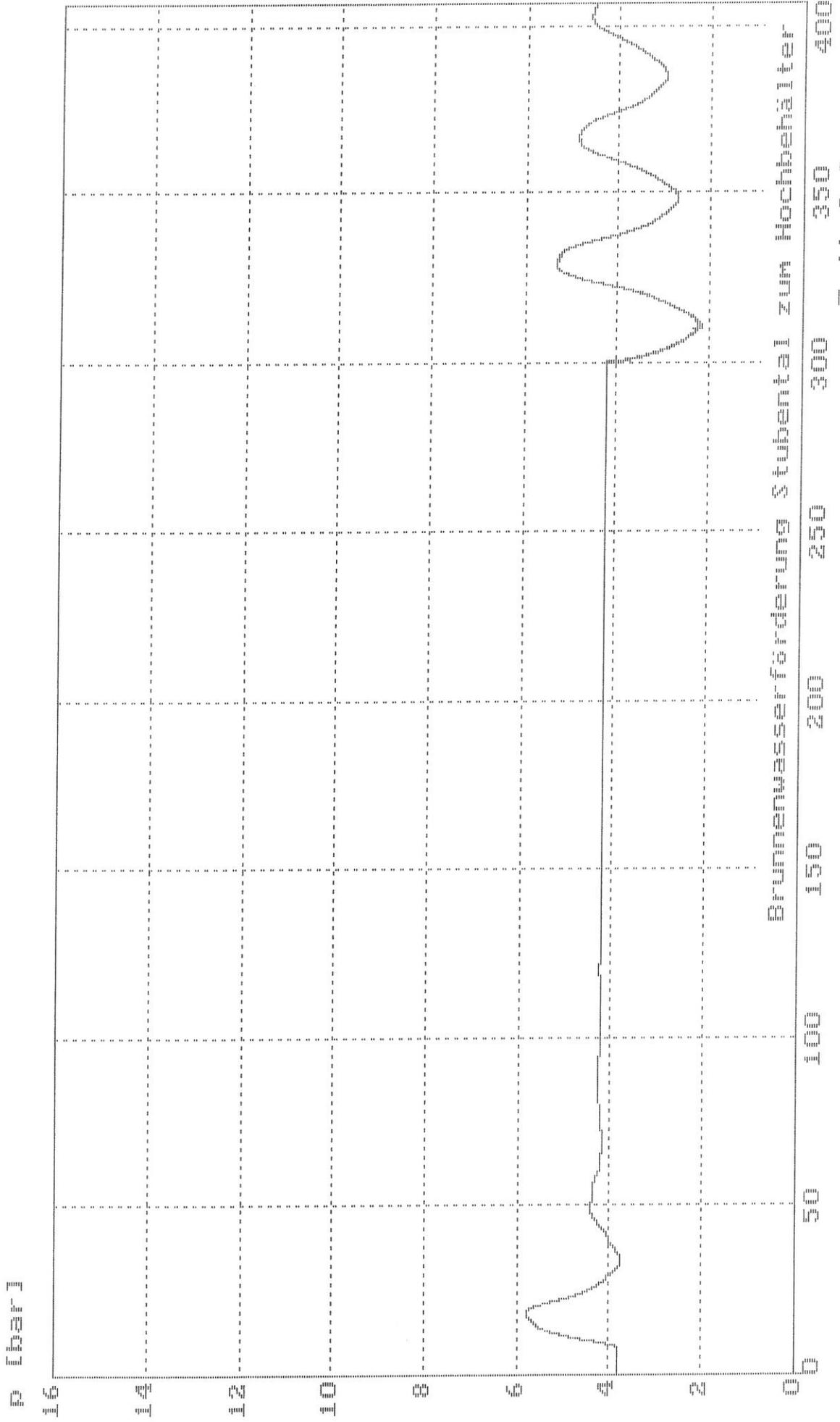


Bild 2.6: Druckverlauf am Druckkopf bei Drummkopf auf 750,00 mm

CS1 1127

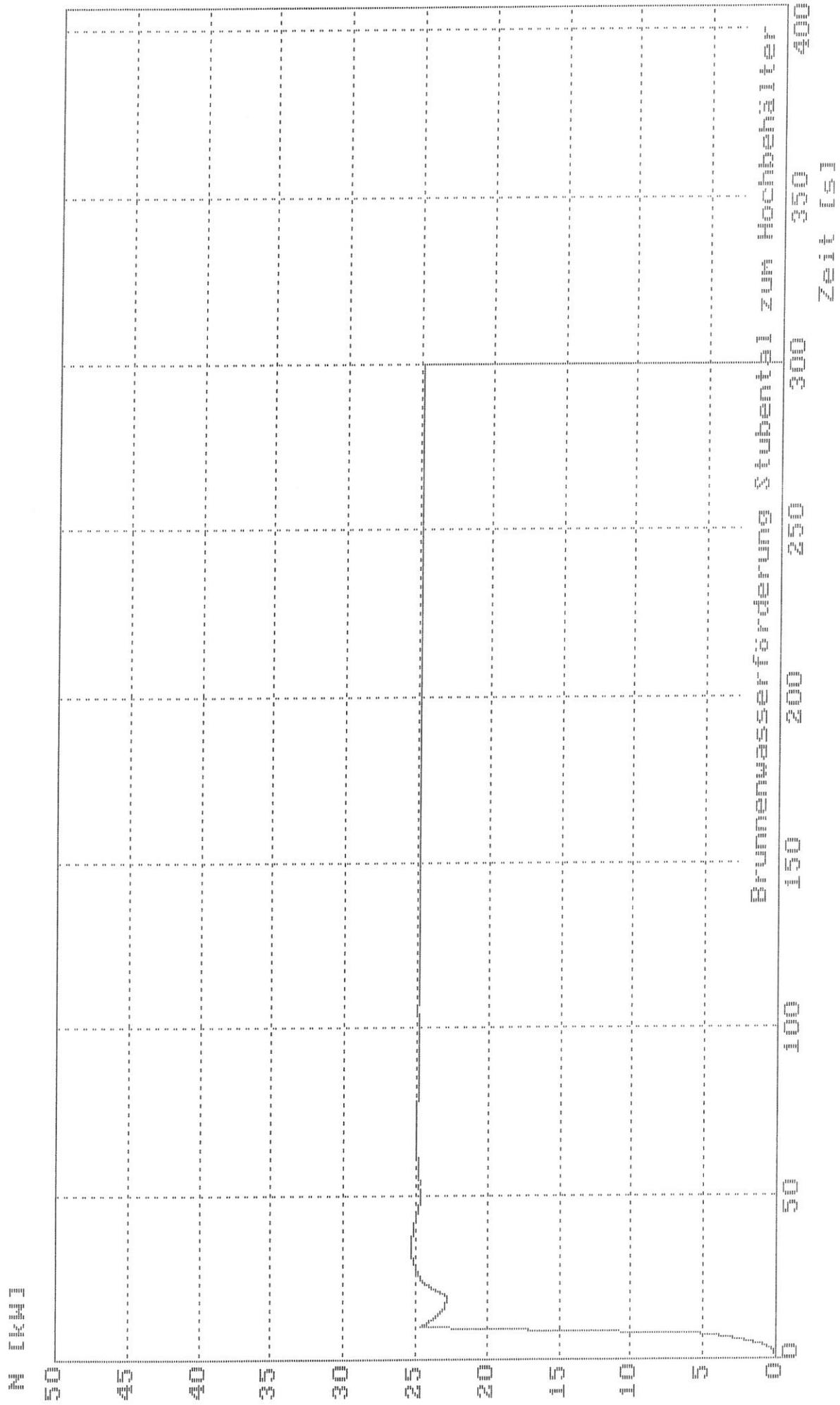


Bild 2.7: Leistungsaufnahme der Brunnenpumpe

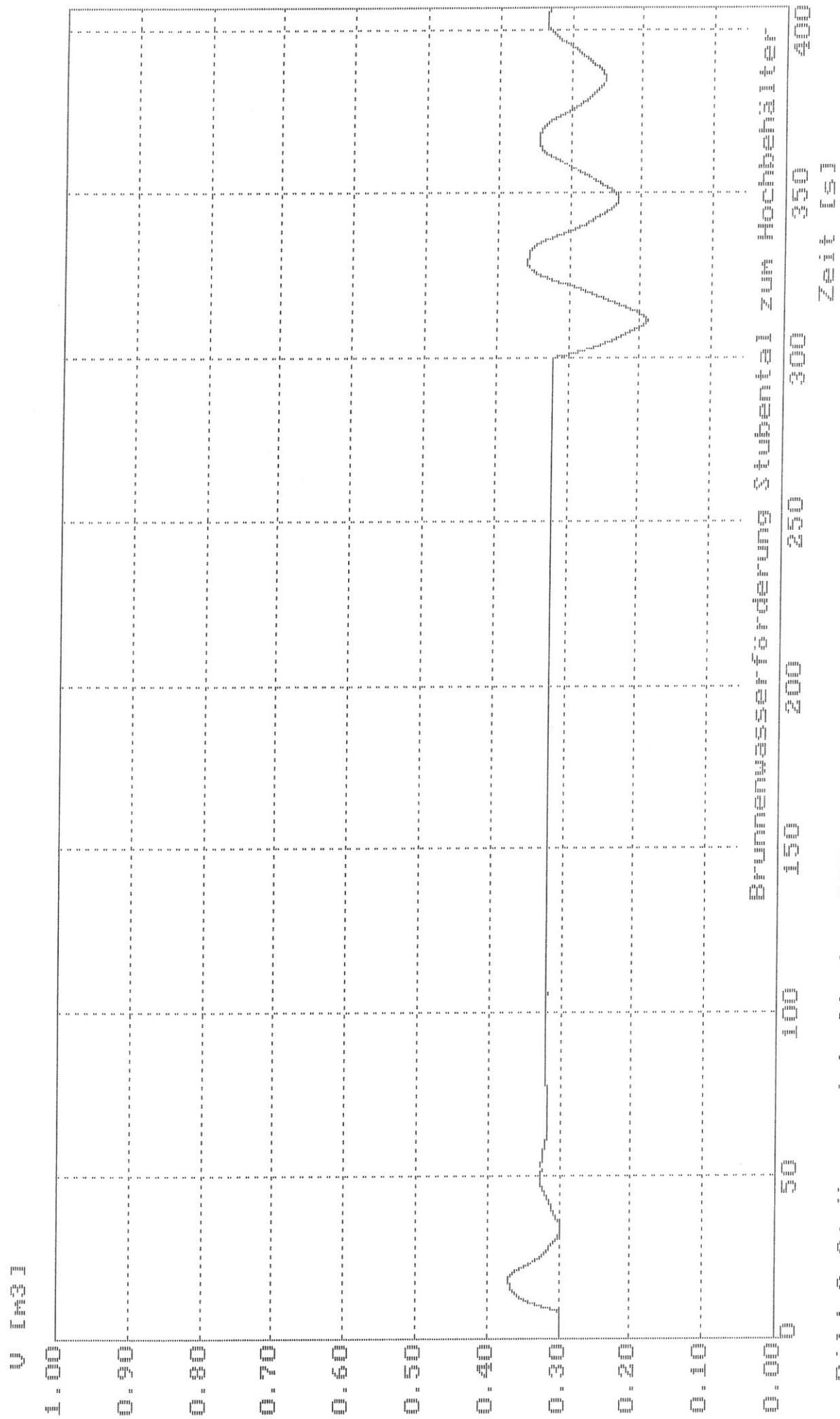


Bild 2.8: Wasserinhalt des 600 Liter Druckbehälters

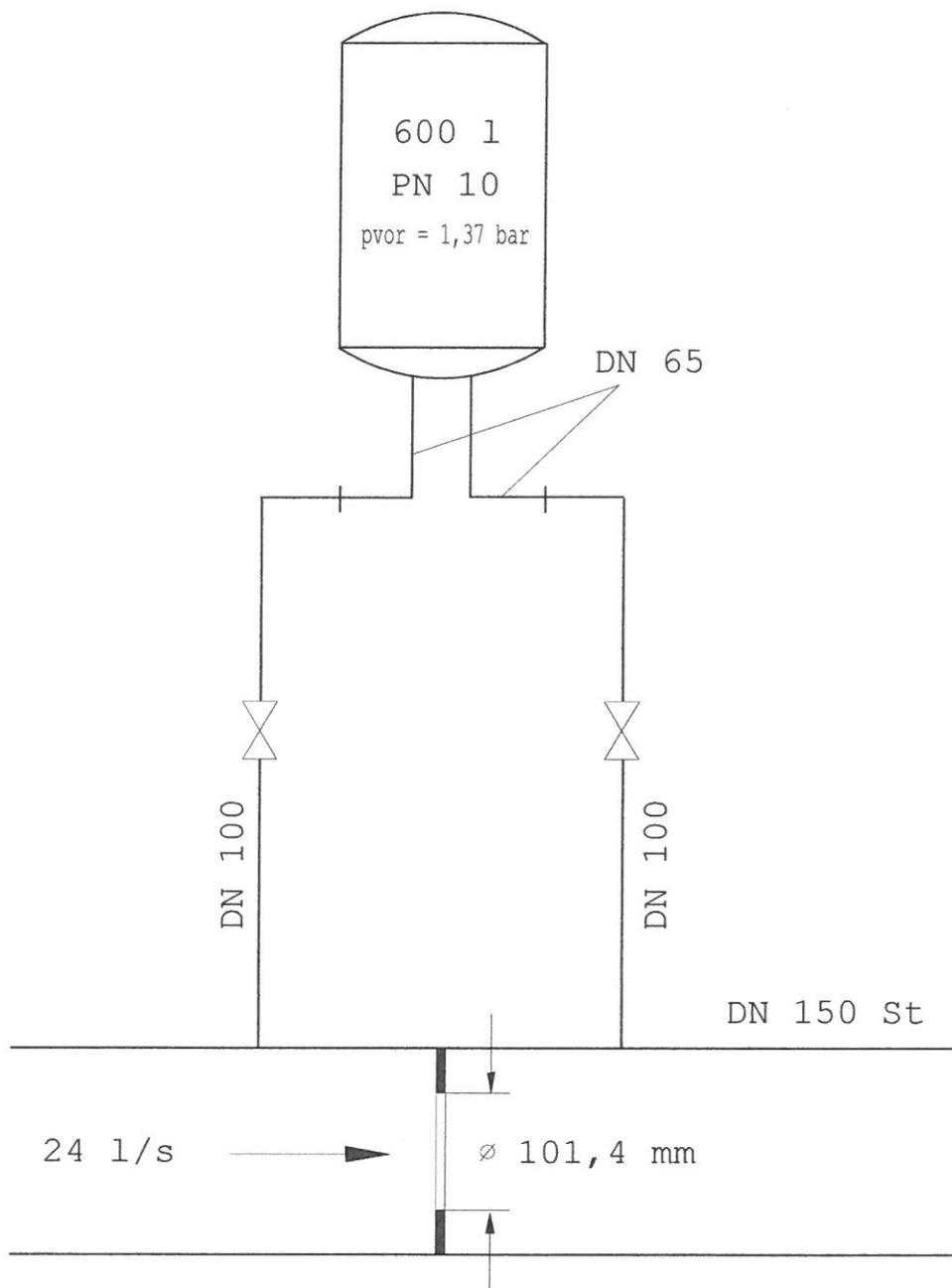


Bild 2.9: Einbindung des Druckbehälters

Projekt:
 Projektnummer:

Erstellt am: 2017-09-08
 Erstellt durch: -, -

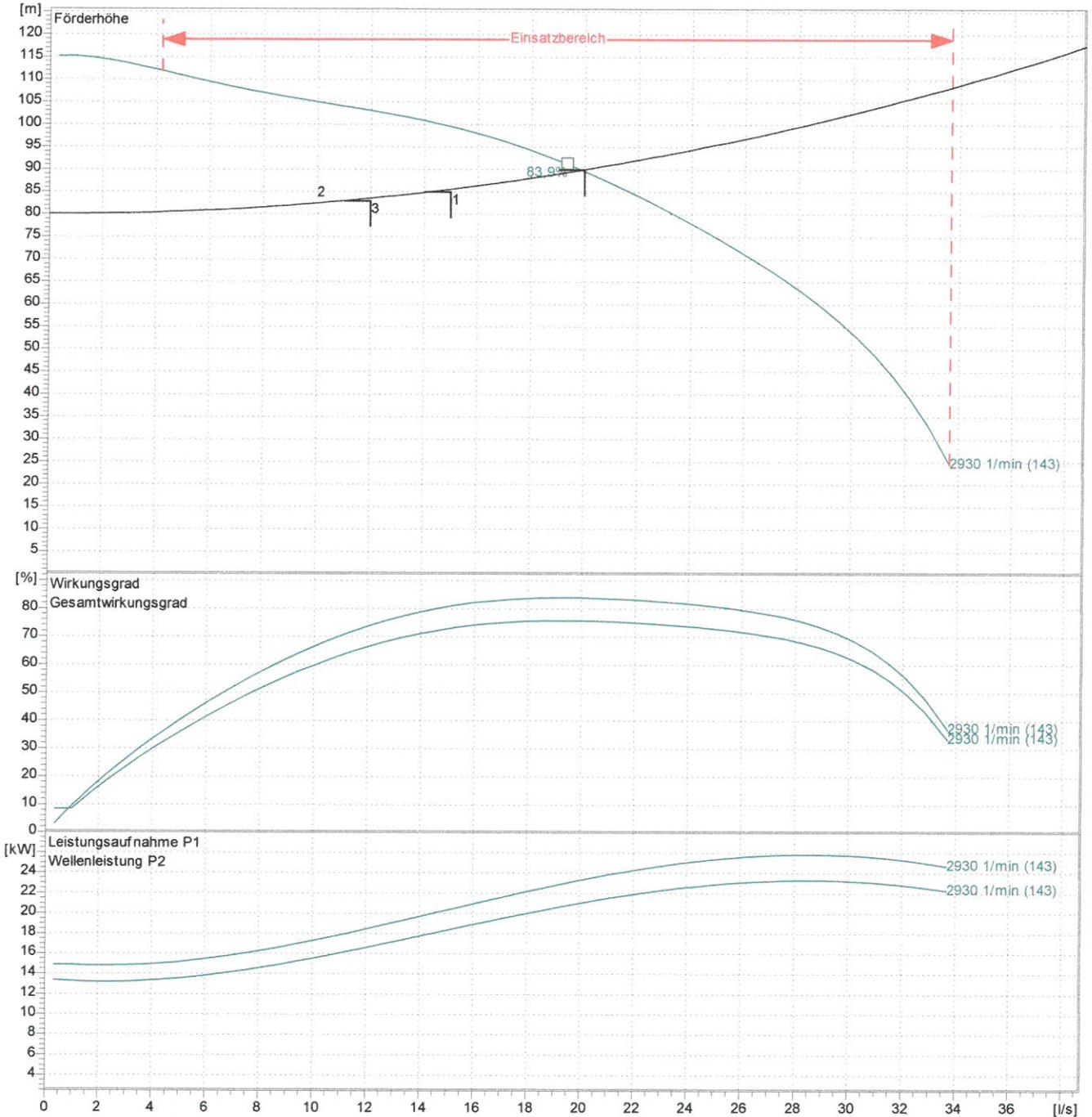


Kennlinien
 Unterwassermotorpumpe

Pumpe
 K8.70

Stufen
 4

Motor
 NU 511-4/30



Pumpe			Betriebspunktdaten		
Stufenzahl	4				
Laufgrad Ø	ausgelegt 143	mm	Volumenstrom	19,89	l/s
Nennzahl	2900	1/min	Förderhöhe	89,9	m
Frequenz	50	Hz	Wellenleistung	P ₂ 21	kW
Laufgradtyp	Halbaxialrad		Pumpenwirkungsgrad	83,9	%
Motor			Leistungsaufnahme	P ₁ 23,5	kW
Bemessungsleistung	30	kW	NPSH - Wert der Pumpe	4,4	m
Gew. Explosionsschutz	--		Drehzahl	2930	1/min