

Abnahmeversuche an Kreiselpumpen

(VDI-Kreiselpumpenregeln)

DIN
1944

Acceptance Tests on Centrifugal Pumps
(VDI Rules for Centrifugal Pumps)

Vorbemerkung

In dieser Norm wird empfohlen, mit Massen statt mit Gewichten (im Sinne von Gewichtskräften nach DIN 1305) und mit spezifischen Energien statt mit Förderhöhen zu rechnen. Trotzdem werden in den vorliegenden Regeln beide Rechenverfahren für eine Übergangszeit noch nebeneinander gestellt. Wo sich die Gleichungen bei beiden Rechenverfahren voneinander unterscheiden, stehen an erster Stelle die Gleichungen, in denen Gewichte, Wichten und Förderhöhen vorkommen, dahinter diejenigen, in denen mit Massen, Dichten und spezifischen Energien gerechnet wird. Im Text stehen jeweils die Größen der zweiten Gruppe in Klammern hinter denen der ersten. Wer sich für den Gebrauch eines dieser beiden Rechenverfahren entschieden hat, der braucht die zum anderen Rechenverfahren gehörenden Textstellen und Gleichungen nicht zu beachten.

Es wird aus Gründen der Einfachheit und Zweckmäßigkeit empfohlen, beim Rechnen mit Gewichtskräften und Förderhöhen wie bisher die technischen Einheiten (kp für die Kraft, kp/m^2 für den Druck und kp/m^3 für die Wichte) zu benutzen, beim Rechnen mit Massen und spezifischen Energien dagegen die internationalen Einheiten ($\text{N} = \text{kg} \cdot \text{m/s}^2$ für die Kraft, $\text{N/m}^2 = \text{kg/m} \cdot \text{s}^2$ für den Druck und kg/m^3 für die Dichte). Es ergibt sich dann der praktische Vorteil, daß die Zahlenwerte für die Normwichte einer Flüssigkeit in kp/m^3 die gleichen sind wie die der Dichte in kg/m^3 . Die empfohlenen Einheiten sind in Tabelle 1 angegeben.

Die in diesem Normblatt verwendeten Begriffe, wie „Garantie“ und „Abnahme“, sind in technischem und nicht in rechtlichem Sinn zu verstehen. Die Begriffe „Garantie“ oder „garantieren“ bezeichnen also vertraglich festgelegte Werte als Grundlage für die Nachprüfung, sagen aber nichts darüber aus, welche Rechte und Pflichten entstehen, wenn diese Werte nicht erreicht oder eingehalten werden (siehe Absatz 1.2). Auch der Begriff „Abnahme“ hat hier keine rechtliche Bedeutung. Deshalb bedeutet auch ein erfolgreich durchgeführter Abnahmeversuch für sich allein noch nicht die „Abnahme“ im rechtlichen Sinn (siehe Abschnitt 7.2.6).

Inhalt

	Seite		Seite
1. Umfang und Geltungsbereich	3	4. Versuchsbedingungen	8
1.1. Umfang der Abnahmeregeln	3	4.1. Ort und Zeitpunkt der Versuche	8
1.2. Geltungsbereich der Abnahmeregeln	3	4.1.1. Ort der Versuche	8
2. Begriffe, Zeichen, Einheiten	3	4.1.2. Zeitpunkt der Versuche	8
3. Technische Garantien	4	4.2. Während des Abnahmeversuches zulässige Abweichungen von den vertraglich festgesetzten Werten	8
3.1. Allgemeine Festlegungen	4	4.2.1. Schwankungen um die Versuchsmittelwerte	8
3.1.1. Liefervertrag	4	4.2.2. Abweichungen der Versuchsmittelwerte von den Garantiewerten	8
3.1.2. Gegenstand der Garantie	4	4.2.3. Einhalten der Haltedruckhöhe (spezifischen Halteenergie) der Pumpe	8
3.1.3. Betriebsdaten	4	4.3. Versuchskosten	8
3.1.4. Antriebsmaschine	4	4.4. Wiederholung der Versuche	8
3.2. Hauptgarantien	4	5. Versuchsdurchführung	9
3.2.1. Umfang der Hauptgarantien	4	5.1. Versuchspersonal	9
3.2.2. Förderwert- und Wirkungsgradgarantien, Genauigkeitsstufen	4	5.1.1. Anforderungen	9
3.2.3. Förderwert- und Wirkungsgradgarantien der Genauigkeitsstufen I, II und III	5	5.1.2. Versuchsleiter	9
3.2.4. Garantien und Abnahmeversuch	6	5.2. Versuchsvorbereitungen	9
3.3. Erfüllung der Hauptgarantien	6	5.2.1. Unterlagen	9
3.3.1. Förderwerte	6	5.2.2. Versuchsprogramm	9
3.3.2. Wirkungsgrad	6	5.2.3. Versuchsgeräte	9
3.4. Zusätzliche Garantien	7	5.3. Das Messen	9
3.4.1. Zugelassene Haltedruckhöhe (zugelassene spezifische Halteenergie)	7	5.3.1. Vorversuche	9
3.4.2. Stabile Drosselkurve	7	5.3.2. Einstellen der Versuchspunkte	9
3.4.3. Nullförderhöhe (spezifische Nullförderarbeit)	7	5.3.3. Anzahl der Meßpunkte	10
3.4.4. Nulleistungsbedarf	7	5.3.4. Ablesen der Meßgeräte	10
3.4.5. Untere Grenzförderhöhe (untere spezifische Grenzförderarbeit) oder größter Förderstrom	7	5.3.5. Protokollblätter	10
3.4.6. Rücklaufdrehzahl	7	5.3.6. Auswerten	10
3.4.7. Ausmaß des Kavitationsverschleißes	7		
3.4.8. Leckverlust der Wellenabdichtungen	7		
3.4.9. Maschinenschallpegel der Pumpe	7		

(Fortsetzung umseitig)

Fachnormenausschuß Maschinenbau im Deutschen Normenausschuß (DNA)



Documents

Document Sharing Hub

6. Versuchsauswertung	10	8.1.3. Messen mit eichbaren Zählern	16
6.1. Meßwerte	10	8.1.4. Messen mit einem Schwebekörperdurchflußmesser	17
6.1.1. Mittelwertbildung von Meßwerten	10	8.1.5. Messen mit einem Meßschirm	17
6.1.2. Für die Versuchsauswertung notwendige Meßgrößen	10	8.1.6. Messen mit dem Allen-Salzgeschwindigkeits-Verfahren	18
6.2. Umrechnung der Versuchswerte auf Garantiegrundlage	11	8.1.7. Messen mit einem Drosselmeßgerät	19
6.2.1. Zweck der Umrechnung	11	8.1.8. Messen mit hydrometrischen Flügeln	19
6.2.2. Umrechnung der Versuchswerte auf die garantierte Drehzahl	11	8.1.9. Messen mit Staurohren	22
6.2.3. Umrechnung der Versuchswerte auf die garantierte Haltedruckhöhe (spezifische Halteenergie)	11	8.1.10. Messen mit einem Überfall	22
6.2.4. Umrechnung der Versuchswerte auf die garantierte Flüssigkeit	11	8.1.11. Messen mit dem Salzverdünnungsverfahren	23
6.3. Meßunsicherheiten	11	8.1.12. Messen mit einem induktiven Durchflußmeßgerät	24
6.3.1. Allgemeines	11	8.1.13. Ermitteln des Förderstromes aus Messungen nach dem thermodynamischen Meßverfahren	24
6.3.2. Ermitteln der durch die Meßunsicherheiten verursachten Streuungen	12	8.2. Förderhöhe (spezifische Förderarbeit)	24
6.3.3. Berücksichtigen der Meßunsicherheiten bei der Versuchsauswertung	12	8.2.1. Zusammensetzung der Förderhöhe (spezifischen Förderarbeit)	24
6.3.4. Ungültige Meßpunkte	12	8.2.2. Messen von Höhen	25
6.4. Erfüllung der Garantien	12	8.2.3. Messen von Druckhöhen (spezifischen Druckenergien)	26
6.4.1. Förderwerte	12	8.2.4. Geschwindigkeitshöhen (spezifische Geschwindigkeitsenergien)	28
6.4.2. Wirkungsgrad	12	8.2.5. Berechnen der Verlusthöhe (spezifischen Verlustenergie)	28
6.5. Zu erwartende Gesamtmeßunsicherheiten	13	8.3. Drehzahl	28
6.5.1. Genaue Ermittlung und Richtwerte	13	8.3.1. Meßprinzip	28
6.5.2. Richtwerte für Meßunsicherheiten	13	8.3.2. Meßgeräte und Einrichtungen	29
6.5.3. Meßunsicherheiten für die gemessenen Förderwerte und für den Wirkungsgrad	14	8.3.3. Wahl der Meßstelle	29
6.5.4. Meßunsicherheiten für die umgerechneten Förderwerte	14	8.3.4. Meßvorgang	29
7. Versuchsbericht	14	8.3.5. Versuchsauswertung	29
7.1. Ausarbeiten des Berichtes	14	8.4. Leistungsbedarf	29
7.2. Inhalt des Berichtes	14	8.4.1. Messen des Drehmomentes	29
7.2.1. Allgemeine Angaben über den Abnahmeversuch	14	8.4.2. Messen der aufgenommenen elektrischen Leistung	30
7.2.2. Angaben über die Pumpe	14	8.5. Pumpenverluste, Pumpenwirkungsgrade	30
7.2.3. Angaben über den Antrieb	15	8.5.1. Verluste und Wirkungsgrade	30
7.2.4. Angaben über die Versuchsdurchführung	15	8.5.2. Bestimmen des inneren Pumpenwirkungsgrades (thermodynamisches Meßverfahren)	31
7.2.5. Angaben über die Versuchsauswertung	15	8.5.3. Bestimmen des mechanischen Wirkungsgrades	38
7.2.6. Schlußfolgerungen	15	Erläuterung	39
8. Meßverfahren	15		
8.1. Förderstrom	15		
8.1.1. Übersicht über die Meßverfahren	15		
8.1.2. Messen mit einem Behälter	15		

1. Umfang und Geltungsbereich

1.1. Umfang der Abnahmeregeln

Die vorliegenden Regeln sind Grundlagen von allgemeiner Gültigkeit für Abnahmeversuche an Kreiselpumpen. Sie enthalten:

- eindeutige Definitionen aller Größen, die für die Beschreibung der Funktion einer Kreiselpumpe und für die Festlegung der Garantien für ihre Förderwerte (die hydraulische Größe der Pumpe) und für ihren Wirkungsgrad (die hydraulische Güte der Pumpe) benötigt werden;
- Festlegungen über die technischen Garantien und deren Erfüllung;
- Empfehlungen für das Vorbereiten und Durchführen von Abnahmeversuchen zwecks Prüfung der Garantien;
- Festlegungen für den Vergleich der Meßergebnisse mit den garantierten Werten und für die Schlußfolgerungen;
- Empfehlungen für das Abfassen des Versuchsberichtes;
- Beschreibungen der wichtigsten bei Abnahmeversuchen an Pumpen heute gebräuchlichen Meßverfahren sowie Beschreibung der Durchführung und der Auswertung von Versuchen unter Berücksichtigung der unvermeidlichen Meßunsicherheiten.

1.2. Geltungsbereich der Abnahmeregeln

Die Regeln gelten für alle Bauarten von Kreiselpumpen. Die Pumpe wird durch genau definierte Endquerschnitte, nämlich durch den Eintrittsquerschnitt und durch den Austrittsquerschnitt abgegrenzt.

Für Speicherpumpen ist die Norm DIN 4325 in Vorbereitung. Sie ist eine Übersetzung der IEC-Publikation 198, Internationale Regeln für Abnahmeversuche an Speicherpumpen in Kraftwerken, Ausgabe 1966.

Abnahmeversuche an Modellpumpen werden in diesen Regeln nicht behandelt.

In die Abnahmeregeln wurden nicht aufgenommen:

- Empfehlungen für das Abfassen kaufmännischer Vorschriften, einschließlich der Garantieklausel des Liefervertrages;
- Richtlinien für das Beurteilen der Konstruktion der Pumpe oder ihrer Einzelteile;
- Empfehlungen für die Wahl und die Prüfung der Werkstoffe.

2. Begriffe, Zeichen, Einheiten

Die Formelzeichen nach Tabelle 1 stimmen mit DIN 24260 „Kreiselpumpen und Kreiselpumpenanlagen — Begriffe, Zeichen, Einheiten“ überein. Bei den empfohlenen Einheiten stehen an erster Stelle die Einheiten, die ein kohärentes System bilden; benutzt man sie bei der Auswertung der im Text angegebenen Größengleichungen, so treten keine Umrechnungsfaktoren auf. In Klammern sind einige übliche Einheiten angegeben, die nicht kohärent sind, so daß Umrechnungsfaktoren einzusetzen sind.

Tabelle 1. Begriffe, Formelzeichen, Einheiten.

Begriff	Formelzeichen	Empfohlene Einheiten	
		technische	internationale (SI)
Förderstrom der Pumpe	Q	m^3/s , (m^3/h)	m^3/s
Förderhöhe der Pumpe	H	m	—
Spezifische Förderarbeit der Pumpe	Y	—	$\frac{\text{Nm}}{\text{kg}} = \text{m}^2/\text{s}^2$
Haltdruckhöhe der Pumpe	H_H	m	—
Spezifische Halteenergie der Pumpe	Y_H	—	$\frac{\text{Nm}}{\text{kg}} = \text{m}^2/\text{s}^2$
Verlustrhöhe	H_v	m	—
Spezifische Verlustarbeit	Y_v	—	$\frac{\text{Nm}}{\text{kg}} = \text{m}^2/\text{s}^2$
Geschwindigkeit der Förderflüssigkeit	v	m/s	m/s
Druck	p	kp/m^2 ($\text{kp}/\text{cm}^2 = \text{at}$)	N/m^2 , (bar)
Druckhöhe	p/γ	m	—
Spezifische Druckenergie	p/q	—	$\frac{\text{Nm}}{\text{kg}} = \text{m}^2/\text{s}^2$
Höhenlage	z	m	m
Förderleistung	P_Q	$\frac{\text{kp m}}{\text{s}}$, (kW)	$\frac{\text{kg m}^3}{\text{s}^3} =$ $= \frac{\text{Nm}}{\text{s}} = \text{W}$, (kW)
Leistungsbedarf	P	$\frac{\text{kp m}}{\text{s}}$, (kW)	$\frac{\text{kg m}^3}{\text{s}^3} =$ $= \frac{\text{Nm}}{\text{s}} = \text{W}$, (kW)
Pumpenwirkungsgrad	η	—	—
Drehzahl	n	1/s, (1/min)	1/s, (1/min)
Örtliche Fallbeschleunigung	g	m/s^2	m/s^2
Wichte	γ	kp/m^3	—
Dichte	ρ	—	kg/m^3
Kinematische Viskosität	ν	m^2/s	m^2/s
Isobare spezifische Wärmekapazität	c_p^*	—, (kcal/kp grd)	—
Isobare spezifische Wärmekapazität	c_p	—	$\text{Nm}/\text{kg grd}$ $= \text{m}^2/\text{s}^2 \text{ grd}$
Indizes		für eine Größe	
N		als Nennwert	
m		als mittleren Wert	
min		als Kleinstwert	
max		als GrößtWert	
mech		als mechanischer Wert	
s		im Eintrittsquerschnitt	
d		im Austrittsquerschnitt	
1		im saugseitigen Meßquerschnitt	
2		im druckseitigen Meßquerschnitt	

3. Technische Garantien

3.1. Allgemeine Festlegungen

3.1.1. Liefervertrag

Alle technischen Garantien und die Art ihrer Prüfung müssen bereits bei der Bestellung der Pumpe vereinbart und im Liefervertrag festgelegt sein.

3.1.2. Gegenstand der Garantie

Jedes genaue Einhalten und jedes genaue Nachprüfen einer Garantie ist mit mehr oder weniger hohen zusätzlichen Kosten verbunden. Garantien sollten deshalb auf diejenigen Größen beschränkt bleiben, von deren Einhaltung die einwandfreie Durchführung des Betriebes in der beabsichtigten Form abhängt. Die Festlegung der zu garantierenden Werte und der Genauigkeit der Abnahmeversuche, in denen sie nachgeprüft werden, sollte sich deshalb nach der Ausführung und dem Verwendungszweck der Pumpe richten; die Kosten der Abnahmeversuche sollten immer in einem wirtschaftlich vertretbaren Verhältnis zum Anschaffungspreis der Pumpe stehen.

In einem Liefervertrag können garantiert werden:

- die Förderwerte der Pumpe (Förderstrom und Förderhöhe bzw. spezifische Förderarbeit),
- der Wirkungsgrad der Pumpe.

Falls es für die beabsichtigte Betriebsweise für erforderlich gehalten wird, können zusätzlich weitere Betriebseigenschaften der Pumpe garantiert werden, wie:

- stabile Form der Drosselkurve,
- Nullförderhöhe (spezifische Nullförderarbeit),
- NulleLeistungsbedarf,
- untere Grenzförderhöhe (untere spezifische Grenzförderarbeit) oder größter Förderstrom,
- Rücklaufdrehzahl,
- Ausmaß des Kavitationsverschleißes,
- zugelassene Haltedruckhöhe (zugelassene spezifische Halteenergie)
- Leckverlust der Wellenabdichtungen,
- Maschinenschallpegel der Pumpe.

Alle Garantien beziehen sich nur auf die Pumpe. Diese wird als jener Teil der Pumpenanlage definiert, der vom Eintrittsquerschnitt A_s (oder Eintrittsquerschnitten) und vom Austrittsquerschnitt A_d (oder Austrittsquerschnitten) der Pumpe begrenzt wird. Bei Pumpen mit veränderlichen Bauteilen, die für die eigentliche Funktion der Pumpe nicht von Einfluß sind, wie z. B. Steigrohre von vertikalen Pumpen, sind die Förderwerte und der Wirkungsgrad normalerweise für die eigentliche Pumpe anzugeben. Bei Pumpen ohne eindeutige Begrenzung sind die Bezugsquerschnitte, saugseitig und druckseitig, im Liefervertrag klar zu definieren. Die Einlaufverluste sowie die Verluste in Steigrohren und im Krümmer können vom Pumpenlieferer gesondert angegeben und unter Angabe der Meßverfahren garantiert werden.

3.1.3. Betriebsdaten

Der Pumpenhersteller ist nicht verantwortlich für die Festlegung der Betriebsdaten und für die Anordnung der Pumpe, es sei denn, er hat sie als Teil des Auftrages übernommen. Dies gilt vor allem für die geordnete Zuströmung zur Pumpe. Soll der Pumpenhersteller die Betriebsdaten der Pumpe im Auftrag des Pumpenbestellers festlegen, so müssen ihm sämtliche für die Erledigung dieser Aufgabe notwendigen Unterlagen rechtzeitig übergeben werden; er soll die Möglichkeit haben, falls erforderlich, die Richtigkeit der Unterlagen zu überprüfen und eigene Messungen vorzunehmen.

3.1.4. Antriebsmaschine

Wird die Antriebsmaschine nicht vom Pumpenhersteller geliefert, so müssen ihm genaue Angaben über die Drehzahl, die Größe und den Verlauf des Drehmomentes bei der vorgesehenen Art des Anfahrens, das Schwungmoment und alle für die Pumpenauslegung wichtigen Eigenschaften der Antriebsmaschine gemacht werden. Bei regelbaren Antriebsmaschinen, regelbaren Kupplungen und regelbaren Getrieben müssen ihm genaue Unterlagen über die Regелеigenschaften dieser Teile zugänglich gemacht werden.

Wird beim Abnahmeversuch der Leistungsbedarf der Pumpe aus der aufgenommenen Leistung des Antriebsmotors ermittelt, so muß der Motorwirkungsgrad aus zuverlässigen Messungen berechnet werden, zu denen der Pumpenhersteller oder eine von ihm beauftragte Person eingeladen werden soll. Im beiderseitigen Einvernehmen kann für die Pumpenabnahme eine beglaubigte Motorabnahmekurve verwendet werden.

3.2. Hauptgarantien

3.2.1. Umfang der Hauptgarantien

Die Garantien können die Förderwerte und den Wirkungsgrad umfassen, oder sie können sich nur auf die Förderwerte beschränken. In vielen Fällen ist ein genaues Einhalten der Förderwerte und des Wirkungsgrades der Pumpe nicht erforderlich. Wegen der unvermeidbaren Ungenauigkeiten bei der Herstellung einer Pumpe (Ungenauigkeiten bei der Anfertigung der Modelle, beim Abguß und bei der Bearbeitung der Teile usw.) können die Förderwerte und die Wirkungsgrade nicht genau verwirklicht werden. Diese Tatsache wird beim Abfassen der Garantien wie folgt berücksichtigt:

Bei der Garantie der Förderwerte werden

entweder bei einer gegebenen Drehzahl und einer gegebenen Förderhöhe (spezifischen Förderarbeit) der Förderstrom und seine zulässigen Abweichungen nach oben und unten garantiert

oder bei Pumpen, deren Drosselkurven sehr flach ver-

$$\text{laufen, wenn z. B. } \frac{Q_N |dH|}{H_N |dQ|} \leq 0,2 = 20\% \text{ ist,}$$

bei einer gegebenen Drehzahl und einem gegebenen Förderstrom die Förderhöhe (spezifische Förderarbeit) und ihre zulässigen Abweichungen nach oben und unten garantiert.

Bei der Garantie des Wirkungsgrades wird der Mindestwert des Wirkungsgrades garantiert, als zusätzliche Information kann der zu erwartende Wirkungsgrad angegeben werden; der Unterschied zwischen diesen beiden Wirkungsgraden berücksichtigt alle Unsicherheiten bei der Herstellung der Pumpe. Er kann, wenn nichts anderes angegeben wurde, mit $1/15$ der Pumpenverluste angenommen werden (s. Abschnitt 8.5). Werden keine Wirkungsgrad-Garantien abgegeben, so ist ein genannter Wirkungsgrad der zu erwartende Wirkungsgrad.

3.2.2. Förderwert- und Wirkungsgradgarantien, Genauigkeitsstufen

Um das Aufstellen von Ausschreibungsunterlagen und das Ausarbeiten von technischen Angeboten zu vereinheitlichen und damit zu erleichtern, werden die Hauptgarantien und die Abnahmeversuche in drei Genauigkeitsstufen I, II und III festgelegt, die sich durch den Umfang der Garantien, durch die Größe der Bautoleranzen der Förderwerte bei nichtregelbaren Pumpen, sowie durch den Umfang und die erforderliche Genauigkeit der Abnahmeversuche unterscheiden. Es braucht z. B. bei Pumpen mit einem niedrigen Leistungsbedarf weder das genaue Einhalten der Förderwerte noch das Erreichen der angegebenen Wirkungsgrades erforderlich zu sein. Das Förderwert- und Wirkungsgradgarantien

können dann mit größeren Bauleranzien garantiert werden; auf die Garantie des Wirkungsgrades kann ganz verzichtet werden, und als Folge davon können auch die Anforderungen an die Genauigkeit der Abnahmeversuche herabgesetzt werden. Für diese Pumpen ist die Genauigkeitsstufe III zu wählen. Bei Pumpen mit einem wesentlich größeren Leistungsbedarf werden solche vereinfachten Garantien nur in Ausnahmefällen zugelassen; in der Regel werden bei solchen Pumpen sowohl Förderwerte — diesmal mit einer kleineren Bauleranz — wie auch Wirkungs-

grade garantiert; an die Genauigkeit der Abnahmeversuche werden dann wesentlich höhere Anforderungen zu stellen sein. Für diese Pumpen ist die Genauigkeitsstufe II oder die Genauigkeitsstufe I zu wählen.

3.2.3. Förderwert- und Wirkungsgradgarantien der Genauigkeitsstufen I, II und III

Eine Empfehlung für das Abfassen von Hauptgarantien in den Genauigkeitsstufen I, II und III ist in Tabelle 2 zusammengestellt. Durch Angabe der Genauigkeitsstufe im

Tabelle 2. Förderwert- und Wirkungsgradgarantien.

	Genauigkeitsstufe ⁺⁾		
	III	II	I
3.2.3.1. Förderwertgarantie bei Pumpen mit nicht flach verlaufenden Drosselkurven $H(Q)$ für $n = \text{const.}$ $\frac{Q_N}{H_N} \left \frac{dH}{dQ} \right > 0,2$	Bei den Nennwerten der Drehzahl n_N und der Förderhöhe H_N (spezifischen Förderarbeit Y_N) und einer ausreichenden Halte-druckhöhe H_H (Halteenergie Y_H) muß der in Abnahmeversuchen ermittelte Förderstrom Q einer nicht regelbaren Pumpe zwischen den Grenzen 0,95 und 1,15 des im Liefervertrag vereinbarten Nennförderstromes Q_N liegen.	Bei den Nennwerten der Drehzahl n_N, der Halte-druckhöhe H_{HN} (Halteenergie Y_{HN}) und der Förderhöhe H_N (spezifischen Förderarbeit Y_N) muß der in Abnahmeversuchen ermittelte Förderstrom Q einer nicht regelbaren Pumpe zwischen den Grenzen 0,95 und 1,10 0,95 und 1,05 des im Liefervertrag vereinbarten Nennförderstromes Q_N liegen.	
3.2.3.2. Förderwertgarantie bei Pumpen mit flach verlaufenden Drosselkurven $H(Q)$ für $n = \text{const.}$ $\frac{Q_N}{H_N} \left \frac{dH}{dQ} \right \leq 0,2$	Bei den Nennwerten der Drehzahl n_N, des Förderstromes Q_N und einer ausreichenden Halte-druckhöhe H_H (Halteenergie Y_H) muß die in Abnahmeversuchen ermittelte Förderhöhe H (spezifische Förderarbeit Y) einer nicht regelbaren Pumpe zwischen den Grenzen 0,99 und 1,03 der im Liefervertrag vereinbarten Nennförderhöhe H_N (spezifischen Nennförderarbeit Y_N) liegen.	Bei den Nennwerten der Drehzahl n_N, der Halte-druckhöhe H_{HN} (Halteenergie Y_{HN}) und des Förderstromes Q_N muß die in Abnahmeversuchen ermittelte Förderhöhe H (spezifische Förderarbeit Y) einer nicht regelbaren Pumpe zwischen den Grenzen 0,99 und 1,02 0,99 und 1,01 der im Liefervertrag vereinbarten Nennförderhöhe H_N (spezifischen Nennförderarbeit Y_N) liegen.	
3.2.3.3. Anzahl der garantierten Betriebspunkte	1	1 oder mehrere	
3.2.3.4. Wirkungsgradgarantie Bemerkung: Jeder Wirkungsgrad, der nicht als garantierter Wirkungsgrad bezeichnet wird, ist ein zu erwartender Wirkungsgrad; er stellt nur eine zusätzliche Information dar.	Keine Wirkungsgradgarantie. Bei einer vereinbarten Förderhöhe H (spezifischen Förderarbeit Y) darf der vereinbarte Leistungsbedarf der Pumpe oder die vereinbarte Nennleistung der Antriebsmaschine nicht überschritten werden.	Bei den Nennwerten der Drehzahl n_N und der Halte-druckhöhe H_{HN} (Halteenergie Y_{HN}) muß der in Abnahmeversuchen ermittelte Wirkungsgrad den garantierten Wert erreichen oder überschreiten. Der Wirkungsgrad kann garantiert werden: a) für die einzelnen garantierten Betriebspunkte, b) für den garantierten Förderbereich, und zwar als mittlerer gewichteter Wirkungsgrad, als mittlerer arithmetischer Wirkungsgrad, als mittlerer planimetrischer Wirkungsgrad.	
3.2.3.5. Durchführung der Abnahmeversuche	Auf einem Prüffeld mit kaltem Wasser oder mit der Förderflüssigkeit bei voller oder verminderter Drehzahl oder in der Anlage unter den vereinbarten Betriebsbedingungen.		
3.2.3.6. Zulässige Meßunsicherheit für:			
den Förderstrom f_Q	$\pm 3,0\%$	$\pm 2,0\%$	$\pm 1,5\%$
die Förderhöhe f_H (spezifische Förderarbeit f_Y)	$\pm 2,0\%$	$\pm 1,5\%$	$\pm 1,0\%$
den Leistungsbedarf f_P	$\pm 2,0\%$	$\pm 1,5\%$	$\pm 1,0\%$
den Wirkungsgrad f_η	entfällt	$\pm 3,0\%$	

⁺⁾ Die Bezeichnungen A, B und C des Normentwurfs wurde im III, II und I geändert

Liefervertrag werden für nicht regelbare Pumpen die Bauleranzen für die Förderwerte und für alle Kreiselpumpen die für das Nachprüfen der Garantie verlangte Meßgenauigkeit des Abnahmeversuches eindeutig festgelegt. Jede im beidseitigen Einvernehmen beschlossene Abweichung von den entsprechenden Empfehlungen muß im Liefervertrag beschrieben werden.

3.2.4. Garantien und Abnahmeversuch

Bei der Festlegung der Garantien und des Abnahmeversuches sind alle Größen, die die Garantien beeinflussen, wie Drehzahl, Haltedruckhöhe (spezifische Halteenergie) und Förderflüssigkeit anzugeben. Diese Größen können betriebs- oder prüfbedingte sein.

Bei Pumpen, die andere Flüssigkeiten als kaltes Wasser fördern, die aber mit reinem kaltem Wasser abgenommen werden sollen, sind die für kaltes Wasser gültigen Garantiewerte anzugeben. Konservierungsmittel, die weder die Wichte (Dichte) noch die Viskosität des Wassers meßbar verändern, können verwendet werden.

3.3. Erfüllung der Hauptgarantien

3.3.1. Förderwerte

Die Garantie für die Förderwerte einer nicht regelbaren Pumpe ist erfüllt, wenn bei der vereinbarten Drehzahl, der vereinbarten Haltedruckhöhe (spezifischen Halteenergie) und der vereinbarten Förderhöhe (spezifischen Förderarbeit) der im Abnahmeversuch ermittelte Förderstrom zwischen den beiden im Vertrag festgesetzten Grenzen liegt. Die Spanne zwischen den beiden Grenzen ist für jede Genauigkeitsstufe I, II und III in Tabelle 2, Abschnitt 3.2.3.1, angegeben. Falls erforderlich, kann die Garantie auch für mehrere Förderhöhen (spezifische Förderarbeiten) abgegeben werden.

Der Förderstrom Q ist das von der Pumpe in der Zeiteinheit durch den Austrittsquerschnitt (Druckstutzen) geförderte nutzbare Flüssigkeitsvolumen. Flüssigkeitsströme, die vor dem Austrittsquerschnitt für Fremdzwecke entnommen werden, müssen bei der Ermittlung des Förderstromes der Pumpe berücksichtigt werden. Es ist immer, selbst bei merklicher Kompression der Förderflüssigkeit, das Volumen des saugseitigen Zustandes zu nehmen.

Bei Pumpen, deren Drosselkurven sehr flach verlaufen, wenn z. B. $\frac{Q_N}{H_N} \cdot \left| \frac{dH}{dQ} \right| \leq 0,2 = 20\%$ ist, kann die Garantie wie folgt lauten:

Die Garantie für die Förderwerte einer nicht regelbaren Pumpe ist erfüllt, wenn bei der vereinbarten Drehzahl, der vereinbarten Haltedruckhöhe (spezifischen Halteenergie) und dem vereinbarten Förderstrom die im Abnahmeversuch ermittelte Förderhöhe (spezifische Förderarbeit) zwischen den beiden im Vertrag festgelegten Grenzen liegt. Die Spanne zwischen den beiden Grenzen ist für jede Genauigkeitsstufe I, II und III in Tabelle 2, Abschnitt 3.2.3.2, angegeben. Falls erforderlich, kann die Garantie auch für mehrere Förderströme abgegeben werden.

Die Förderhöhe H der Pumpe ist die von der Pumpe auf die Förderflüssigkeit übertragene nutzbare mechanische Arbeit bezogen auf das Gewicht, also

$$H = (z_d - z_s) + \frac{p_d - p_s}{\gamma} + \frac{v_d^2 - v_s^2}{2g}$$

Bei Berücksichtigung der Kompressibilität ist für die Wichte γ einzusetzen

$$\gamma_m = \frac{\gamma_d + \gamma_s}{2}$$

Die spezifische Förderarbeit Y der Pumpe ist die von der Pumpe auf die Förderflüssigkeit übertragene nutzbare

mechanische Arbeit bezogen auf die Masse, also

$$Y = g(z_d - z_s) + \frac{p_d - p_s}{\rho} + \frac{v_d^2 - v_s^2}{2}$$

Bei Berücksichtigung der Kompressibilität ist für die Dichte ρ einzusetzen

$$\rho_m = \frac{\rho_d + \rho_s}{2}$$

Wenn das letzte Glied einen wesentlichen Anteil der Förderhöhe (spezifischen Förderarbeit) der Pumpe ausmacht und die Geschwindigkeitsverteilung in den Endquerschnitten nicht gleichmäßig ist, gilt Abschnitt 8.2.

Wird der Antriebsmotor vom Pumpenhersteller geliefert, so kann die Angabe der Drehzahl in den vorstehenden Garantieförmulierungen durch die Angabe der Frequenz, der Spannung und Polzahl ersetzt werden.

Die Haltedruckhöhe H_H der Pumpe ist die kleinste, um die Verdampfungsdruckhöhe p_D/γ verminderte Energiehöhe $\frac{p_s + p_b}{\gamma} + \frac{v_s^2}{2g}$ in Mitte Eintrittsquerschnitt, bei der die Pumpe mit der Nenndrehzahl n_N , dem Nennförderstrom Q_N (der Nennförderhöhe H_N) und der im Liefervertrag definierten Förderflüssigkeit dauernd betrieben werden kann:

$$H_H = \left(\frac{p_s + p_b - p_D}{\gamma} + \frac{v_s^2}{2g} \right)_{\min}$$

Die spezifische Halteenergie Y_H der Pumpe ist der kleinste Wert der um die Verdampfungsdruckenergie $\frac{p_D}{\rho}$ verminderten

spezifischen Energie $\frac{p_s + p_b}{\rho} + \frac{v_s^2}{2}$ in Mitte Eintrittsquerschnitt, bei der die Pumpe mit der Nenndrehzahl n_N , dem Nennförderstrom Q_N (der spezifischen Nennförderarbeit Y_N) und mit der im Liefervertrag definierten Förderflüssigkeit dauernd betrieben werden kann:

$$Y_H = \left(\frac{p_s + p_b - p_D}{\rho} + \frac{v_s^2}{2} \right)_{\min}$$

3.3.2. Wirkungsgrad

Der Wirkungsgrad η der Pumpe ist definiert als das Verhältnis P_Q/P , also der Förderleistung $P_Q = \gamma_s Q H$ (bzw. $P_Q = \rho_s Q Y$) zum Leistungsbedarf P , der an der Pumpenkupplung oder an der Pumpenwelle zu messen ist.

Die Garantie für den Wirkungsgrad ist erfüllt, wenn die Bedingungen nach Tabelle 2, Abschnitt 3.2.3.4 erfüllt sind.

Der mittlere gewichtete Wirkungsgrad für die vorgeschriebenen Werte des Förderstromes oder der Förderhöhe (spezifischen Förderarbeit) ergibt sich als Verhältnis der Summe der Produkte aus Wirkungsgrad η und dazugehörigem „Gewicht“ G zur Summe der „Gewichte“; es ist also

$$\eta_g = \frac{\eta_1 G_1 + \eta_2 G_2 + \dots + \eta_i G_i}{G_1 + G_2 + \dots + G_i}$$

Der mittlere arithmetische Wirkungsgrad für die vorgeschriebenen Werte des Förderstromes oder der Förderhöhe (spezifischen Förderarbeit) ergibt sich aus dem mittleren gewichteten Wirkungsgrad mit $G_1 = G_2 = \dots = G_i = 1$ zu

$$\eta_a = \frac{\eta_1 + \eta_2 + \dots + \eta_i}{i}$$

Der mittlere planimetrische Wirkungsgrad im vorgeschriebenen Bereich des Förderstromes oder der Förderhöhe (spezifischen Förderarbeit), ergibt sich als mittlere Höhe der Wirkungsgradkurve im Garantiebereich:

$$\eta_t = \frac{Q_2}{Q_2 - Q_1} \int_{Q_1}^{Q_2} \eta \, dQ$$

3.4. Zusätzliche Garantien

3.4.1. Zugelassene Haltedruckhöhe (zugelassene spezifische Halteenergie)

Die zugelassene Haltedruckhöhe H_{HZ} (zugelassene spezifische Halteenergie Y_{HZ}) ist jene Haltedruckhöhe (spezifische Halteenergie), bei der die Pumpe in der vereinbarten Anordnung (mit liegender oder stehender Welle, mit Zulauf zum Laufrad der 1. Stufe von unten oder oben) mit der Nenndrehzahl n_N und dem Nennförderstrom Q_N dauernd betrieben werden kann, obwohl unter dem Einfluß der Kavitation bereits

- entweder a) die Förderhöhe (spezifische Förderarbeit) der ersten Stufe um einen vereinbarten Betrag zurückgegangen ist,
 oder b) der Wirkungsgrad der ersten Stufe um einen vereinbarten Betrag sich verschlechtert hat,
 oder c) die visuell festgestellten Kavitationsgebilde an der Eintrittskante der Laufradschaufel ein vereinbartes Ausmaß erreicht haben.

Die Art und die Werte der Garantie sind im Liefervertrag festzulegen; wenn nichts anderes vereinbart wird, sind sie für reines kaltes Wasser (vgl. Abschnitt 3.2.4) anzugeben.

Die Garantie für die zugelassene Haltedruckhöhe H_{HZ} (zugelassene spezifische Halteenergie Y_{HZ}) ist erfüllt, wenn im Abnahmeversuch bei der im Liefervertrag vereinbarten zugelassenen Haltedruckhöhe (zugelassenen spezifischen Halteenergie), der vereinbarten Nenndrehzahl, dem vereinbarten Nennförderstrom, der vereinbarten Pumpenanordnung und dem vereinbarten Meßverfahren, bezogen auf die erste Stufe der Pumpe,

- entweder a) der Abfall der Förderhöhe
 oder b) der Abfall des Wirkungsgrades
 oder c) die visuell zu beobachtende Ausbreitung der Kavitationszone
 den jeweils vereinbarten Betrag nicht überschreiten.

3.4.2. Stabile Drosselkurve

Die Drosselkurve der Pumpe $H(Q)$ bzw. $Y(Q)$ ist der Zusammenhang zwischen dem Förderstrom Q und der Förderhöhe H (spezifischen Förderarbeit Y) der Pumpe für eine gleichbleibende Drehzahl n .

Die Garantie für die stabile Form der Drosselkurve ist erfüllt, wenn diese mit abnehmendem Förderstrom eine ständige Zunahme der Förderhöhe (spezifischen Förderarbeit) ergibt.

3.4.3. Nullförderhöhe (spezifische Nullförderarbeit)

Die Nullförderhöhe der Pumpe H_0 (spezifische Nullförderarbeit Y_0) ist die Förderhöhe (spezifische Förderarbeit) bei der Nenndrehzahl n_N , der im Liefervertrag angegebenen Förderflüssigkeit und dem Förderstrom $Q = 0$.

Die Garantie für die Nullförderhöhe (spezifische Nullförderarbeit) ist erfüllt, wenn diese innerhalb der im Vertrag festgelegten Grenzwerte liegt.

3.4.4. Nulleistungsbedarf

Der Nulleistungsbedarf P_0 der Pumpe ist der Leistungsbedarf bei der Nenndrehzahl n_N , der im Liefervertrag angegebenen Förderflüssigkeit und dem Förderstrom $Q = 0$. Die Garantie für den Nulleistungsbedarf einer nichtregelbaren Pumpe ist erfüllt, wenn bei der vereinbarten Drehzahl und der vereinbarten Haltedruckhöhe (spezifischen Halteenergie) der im Abnahmeversuch ermittelte Wert den im Liefervertrag festgelegten Grenzwert nicht überschreitet.

3.4.5. Untere Grenzförderhöhe (untere spezifische Grenzförderarbeit) oder größter Förderstrom

Die untere Grenzförderhöhe H_{min} der Pumpe (untere spezifische Grenzförderarbeit Y_{min}) ist die kleinste zulässige Förderhöhe (spezifische Förderarbeit), bei der die Pumpe dauernd, ohne Schaden zu nehmen, fördern kann. Der größte Förderstrom Q_{max} der Pumpe ist der größte zulässige Förderstrom, den die Pumpe dauernd, ohne Schaden zu nehmen, fördern kann.

Die Garantie für die untere Grenzförderhöhe (untere spezifische Grenzförderarbeit) oder für den größten Förderstrom ist erfüllt, wenn bei der vereinbarten Drehzahl und der für diesen Punkt vereinbarten Haltedruckhöhe (spezifischen Halteenergie) die Pumpe, ohne Überschreitung der vereinbarten Grenzwerte des Leistungsbedarfs, dauernd betriebssicher arbeitet.

3.4.6. Rücklaufdrehzahl

Die Rücklaufdrehzahl der Pumpe n_R ist die höchste Drehzahl, die eine rückwärtslaufende Pumpe bei Ausfall der Antriebsenergie bei einer angegebenen Förderhöhe (spezifischen Förderarbeit) erreichen kann.

Die Garantie für die Rücklaufdrehzahl ist erfüllt, wenn bei der für diesen Fall vereinbarten Förderhöhe (spezifischen Förderarbeit) und der vereinbarten Haltedruckhöhe (spezifischen Halteenergie) die im Versuch ermittelte Rücklaufdrehzahl innerhalb der im Liefervertrag festgelegten Grenzwerte liegt.

3.4.7. Ausmaß des Kavitationsverschleißes

Der Kavitationsverschleiß ist die durch Kavitation (Dampfbildung bei örtlicher Unterschreitung des Verdampfungsdrucks der Förderflüssigkeit mit nachfolgender schlagartiger Kondensation) an den Pumpeninnenteilen abgetragene Materialmenge; sie kann ermittelt werden

- a) durch Aufmaß,
 b) aus dem Gewichtsverlust,
 c) aus dem Verbrauch an Auftragschweißgut bei der Ausbesserung,
 d) aus dem Zeitaufwand für die Ausbesserung.

Die Garantie für das Ausmaß des Kavitationsverschleißes ist erfüllt, wenn innerhalb der vereinbarten Betriebsdauer bei den vereinbarten Betriebsverhältnissen das ermittelte Ausmaß des Kavitationsverschleißes den im Liefervertrag garantierten Wert nicht überschreitet.

3.4.8. Leckverlust der Wellenabdichtungen

Der Leckverlust Q_L ist das aus den Wellenabdichtungen je Zeiteinheit entweichende Flüssigkeitsvolumen. Die Garantie für den Leckverlust der Wellenabdichtungen ist erfüllt, wenn bei den vereinbarten Betriebsverhältnissen der gemessene Wert innerhalb der im Liefervertrag festgelegten Grenzwerte liegt.

3.4.9. Maschinenschallpegel der Pumpe

Der einzuhaltende, bezogene und nach DIN 45632 nachzuweisende Maschinenschallpegel der Pumpe kann, unter Angabe des Meßortes, seiner akustischen Eigenschaften, der Meßanordnung und der bei der Messung einzustellenden Betriebsverhältnisse, zwischen Betreiber und Hersteller vereinbart und vom Hersteller garantiert werden.

Die Garantie ist erfüllt, wenn bei den vereinbarten Abnahmeverhältnissen der in dB(A) gemessene bezogene Maschinenschallpegel der Pumpe den im Liefervertrag garantierten Wert nicht überschreitet. Bei der Versuchsauswertung ist die Meßunsicherheit mit ± 1 dB(A) zu berücksichtigen.

4. Versuchsbedingungen

4.1. Ort und Zeitpunkt der Versuche

Ort und Zeitpunkt der Versuche sollten schon im Liefervertrag vereinbart werden.

4.1.1. Ort der Versuche

Abnahmeversuche können durchgeführt werden:

- a) auf einem Prüffeld des Herstellers, des Betreibers oder eines neutralen Institutes,
- b) in der Anlage.

Soll der Abnahmeversuch in der Anlage durchgeführt werden, so ist schon bei der Planung der Pumpenanlage die Möglichkeit für genaue Messungen, wie sie für den Abnahmeversuch vorgesehen sind, zu berücksichtigen (siehe Abschnitt 6.5). Es wird empfohlen, auch die Meßverfahren im Liefervertrag zu vereinbaren. Im Liefervertrag ist ferner zu erwähnen, daß die Abnahmeversuche nach den vorliegenden Regeln durchgeführt werden; alle vereinbarten Abweichungen von diesen Regeln sind unmißverständlich anzugeben.

4.1.2. Zeitpunkt der Versuche

Der Zeitpunkt der Versuche muß mit allen an den Versuchen Beteiligten rechtzeitig vereinbart werden. Abnahmeversuche auf einem Prüffeld finden vor dem Aufstellen der Pumpe in der Anlage statt. Der Zeitpunkt für die Versuche sollte vom Pumpenhersteller, im Einvernehmen mit dem Leiter des Prüffeldes, dem Pumpenbetreiber möglichst früh vorgeschlagen werden.

Abnahmeversuche in der Anlage finden nach der Übergabe der Pumpe an den Betreiber, nach einem vereinbarten Probelauf oder/und nach einer vereinbarten Einschulung des Betriebspersonals statt. Der Zeitpunkt der Abnahmeversuche sollte vom Betreiber dem Pumpenhersteller möglichst früh vorgeschlagen werden. Abnahmeversuche sollten möglichst bald nach der Übergabe der Pumpe an den Betreiber stattfinden; sie müssen spätestens vor Ablauf der Garantiefrist abgeschlossen sein. Bei Pumpen, die aggressive oder stark verunreinigte Flüssigkeiten fördern, die einen erhöhten Verschleiß der Pumpenteile verursachen können, sollten die Abnahmeversuche nur dann nach einem längeren Betrieb durchgeführt werden, wenn die Pumpe wieder in den neuwertigen Zustand gebracht worden ist.

4.2. Während des Abnahmeversuches zulässige Abweichungen von den vertraglich festgesetzten Werten

Der Abnahmeversuch sollte mit den im Liefervertrag festgelegten Werten für die Drehzahl, Förderhöhe (spezifische Förderarbeit) und Haltedruckhöhe (spezifische Halteenergie) und mit der darin genannten Flüssigkeit durchgeführt werden. Wird der Versuch nicht mit der Betriebsflüssigkeit, sondern mit kaltem Wasser vorgenommen, so müssen die für kaltes Wasser gültigen Garantiewerte vor Beginn der Versuche vorliegen.

Während der Versuche auftretende Schwankungen sollten sich in den nachstehend angegebenen Grenzen halten.

4.2.1. Schwankungen um die Versuchsmittelwerte

Nach Erreichen eines Beharrungszustandes wird bei konstanter Drehzahl, konstanter Förderhöhe (spezifischer Förderarbeit) und konstanter Leistungsaufnahme abgelesen. Diese Werte dürfen, um die in Abschn. 6.5 angegebenen Richtwerte für die Meßunsicherheiten nicht zu überschreiten, während der Messung eines Betriebspunktes höchstens in folgenden Grenzen schwanken:

- a) Drehzahl um nicht mehr als $\pm 0,5\%$ der mittleren Drehzahl,
- b) Förderhöhe (spezifische Förderarbeit) um nicht mehr als $\pm 1,0\%$ der mittleren Förderhöhe (spezifischen Förderarbeit),

- c) Leistungsaufnahme um nicht mehr als $\pm 1,5\%$ der mittleren Leistungsaufnahme.

4.2.2. Abweichungen der Versuchsmittelwerte von den Garantiewerten

Während des ganzen Abnahmeversuches muß für jeden zu messenden Betriebspunkt der Quotient H_x/n_x^2 bzw. Y_x/n_x^2 möglichst genau mit dem aus den garantierten Werten ermittelten Wert H_{xN}/n_N^2 bzw. Y_{xN}/n_N^2 übereinstimmen (siehe Abschnitt 6.2.2); es können dabei geändert werden:

- a) beim Prüfen der Förderwerte: die Drehzahl um höchstens $+5\%$, -50% , die Förderhöhe (spezifische Förderarbeit) um höchstens $+11\%$, -75% ;
- b) beim Prüfen der Wirkungsgrade: die Drehzahl um höchstens $+5\%$, -10% ; die Förderhöhe (spezifische Förderarbeit) um höchstens $+11\%$, -19% .

Bei einer Drehzahlerhöhung gegenüber dem in der Garantie genannten Wert darf die neue erforderliche Haltedruckhöhe (spezifische Halteenergie) der Pumpe nicht unterschritten werden.

Ist es wegen der Gegebenheiten des Prüffeldes notwendig, beim Abnahmeversuch von der Garantiedrehzahl um mehr als die oben angegebenen Beträge abzuweichen, so ist Abschnitt 5.3.2 und Abschnitt 6.2.2, vorletzter Absatz, zu beachten.

4.2.3. Einhalten der Haltedruckhöhe (spezifischen Halteenergie) der Pumpe

Die im Liefervertrag genannten Haltedruckhöhen (spezifischen Halteenergien) der Pumpe, die eine Voraussetzung für die abgegebenen Garantiewerte in jedem Betriebspunkt sind, dürfen während der Abnahmeversuche nicht unterschritten werden. Liegt die Versuchsdrehzahl über (unter) der garantierten Drehzahl, so muß der Abnahmeversuch mit einer entsprechend erhöhten (erniedrigten) Haltedruckhöhe (spezifischen Halteenergie) durchgeführt werden. Allgemein gültige, zuverlässige Formeln für das Umrechnen der Haltedruckhöhe (spezifischen Halteenergie) sind nicht bekannt. Näherungsformeln können in beiderseitigem Einvernehmen im Liefervertrag festgelegt werden.

4.3. Versuchskosten

Der Umfang der Abnahmeversuche (Abschn. 5.2.2) und die Frage der Kosten für ihre Durchführung sollten vor Abschluß des Liefervertrages, spätestens aber vor Genehmigung des Versuchsprogramms zwischen Betreiber und Hersteller geklärt und vereinbart werden.

Bei Abnahmeversuchen auf dem Prüffeld des Herstellers sind zusätzliche Kosten (Abschn. 3.2) entweder im Pumpenangebot gesondert aufzuführen oder in einem eigenen Angebot zu nennen.

Bei Abnahmeversuchen außerhalb des Lieferwerkes sind die Versuchskosten vom Betreiber zu tragen.

Die Kosten für die Versuchsteilnehmer werden von demjenigen übernommen, der sie entsendet.

Über die Übernahme oder die Aufteilung der Kosten für die Heranziehung eines neutralen Sachverständigen müssen sich beide Parteien vor seiner Bestellung verständigen.

4.4. Wiederholung der Versuche

Sowohl der Hersteller als auch der Betreiber haben das Recht, bei Vorliegen von begründeten Zweifeln an der Richtigkeit oder an der ausreichenden Genauigkeit der Messungen die Wiederholung der Versuche zu verlangen. Wenn über die Aufteilung der Kosten für einen solchen Wiederholungsversuch keine Einigung erzielt wird, so kann von der in Abschn. 4.3 beschriebenen Regelung abgegangen werden. Die Versuchskosten müssen dann von derjenigen Partei übernommen werden, die die Wiederholung verlangt hat, wenn die neuen Messungen die geforderten Zweifeln nicht bestätigt haben.

5. Versuchsdurchführung

5.1. Versuchspersonal

5.1.1. Anforderungen

Die Unsicherheit einer Messung hängt nicht nur von der Güte der verwendeten Meßgeräte ab, sondern auch vom Können und von der Geschicklichkeit des Personals, das die Meßgeräte während der Versuche bedient und abliest. Die Auswahl des mit den Messungen zu betrauenden Personals muß ebenso sorgfältig vorgenommen werden wie die Auswahl der zu verwendenden Geräte.

Für das Bedienen und das Ablesen komplizierter Meßgeräte sollten grundsätzlich Fachleute mit ausreichender Meßerfahrung herangezogen werden. Mit dem Ablesen einfacher Geräte können auch solche Hilfskräfte betraut werden, von denen, nach einer vorhergehenden kurzen Einweisung (Schulung), angenommen werden kann, daß das Ablesen mit der notwendigen Sorgfalt und der verlangten Genauigkeit durchgeführt wird.

5.1.2. Versuchsleiter

Verantwortlich für die gesamte Versuchsdurchführung ist der Versuchsleiter, der im gegenseitigen Einvernehmen zwischen Hersteller und Betreiber benannt wird. Der Versuchsleiter muß eine ausreichende Meßerfahrung besitzen; er kann entweder ein Angehöriger der Herstellerfirma oder ein Angehöriger der Betreiberfirma oder ein unabhängiger, neutraler Sachverständiger sein.

Während der Versuche sind alle mit den Messungen betrauten Personen dem Versuchsleiter unterstellt. Er leitet und überwacht die Messungen und berichtet über Versuchsbedingungen und Versuchsergebnisse. Er ist für die Messungen, für die Versuchsauswertung und für die Ausarbeitung des Versuchsberichtes verantwortlich. Er entscheidet in allen Fragen, die sich im Zusammenhang mit den Messungen und ihrer Durchführung ergeben. Bei Abnahmeversuchen in einer Anlage ist er von dem für die Durchführung eines reibungslosen Betriebes verantwortlichen Betriebsingenieur zu unterstützen.

5.2. Versuchsvorbereitungen

5.2.1. Unterlagen

Dem Versuchsleiter sind rechtzeitig alle für die Vorbereitung und die Durchführung der Versuche notwendigen Unterlagen zu übergeben, wie Schnittzeichnungen und Betriebsanweisungen für die Pumpe, Auszüge aus dem Liefervertrag, enthaltend die garantierten Leistungswerte und die Betriebsbedingungen, Pläne der Versuchseinrichtung mit den Meßgeräten, Eichprotokolle der verwendeten Meßgeräte usw.

5.2.2. Versuchsprogramm

Der Versuchsleiter stellt ein Versuchsprogramm auf und legt es beiden Parteien zur Stellungnahme und zur Genehmigung vor. Das Programm wird zweckmäßigerweise in einer Vorbesprechung erläutert. Das Versuchsprogramm sollte enthalten:

- a) die gewählten Meßverfahren und Meßgeräte für das Messen der Drehzahl, der Förderhöhe (spezifischen Förderarbeit), des Förderstromes und der aufgenommenen Leistung oder für das Messen der Drehzahl, der Förderhöhe (spezifischen Förderarbeit) und der Verlustleistung, gegebenenfalls des Entlastungswasserstromes;
- b) die Anzahl und die Lage der Versuchspunkte, sowie die Festlegung des für ihre Einstellung notwendigen Einstellvorganges, bei regelbaren Pumpen die Anzahl und die Stellung der Regeleinrichtungen;
- c) Anzahl und Dauer der Ablesungen oder Aufzeichnungen für jeden Versuchspunkt;
- d) Lage und Ausführung aller Meßstellen, also auch solcher, die für etwaige Kontrollmessungen benötigt werden;

- e) bei mehreren gleichen Pumpen die Anzahl und die Fabrikationsnummern derjenigen Pumpen, an denen die Abnahmeversuche vorgenommen werden sollen;
- f) bei Abnahmeversuchen mit anderen Flüssigkeiten als reinem Wasser, Anzahl und Zeitpunkt der zu entnehmenden Flüssigkeitsproben und die Art ihrer Untersuchungen (Prüfung der Dichte, Viskosität, Art und Grad der Verschmutzung usw.);
- g) bei Abnahmeversuchen mit einer von der Garantie abweichenden Drehzahl die Formeln für das Umrechnen der garantierten Werte auf die neue Drehzahl.

5.2.3. Versuchsgeräte

5.2.3.1. Beschaffen und Aufstellen der Geräte

Bei der Wahl der Meßverfahren (s. Abschn. 8) sind auch die dazu erforderlichen Meß- und Registriergeräte festzulegen. Wenn der Abnahmeversuch nicht auf dem Prüffeld des Herstellers durchgeführt wird, müssen, falls nichts anderes vereinbart wurde, die Meß- und Registriergeräte vom Betreiber oder seinem Beauftragten gestellt und angeschlossen werden. Der ordnungsgemäße Anschluß und das richtige Funktionieren dieser Geräte muß vom Versuchsleiter, im Beisein von Vertretern der beiden Parteien, geprüft werden. Der ordnungsmäßige Anschluß und das richtige Funktionieren der Meßgeräte bei der Prüfung müssen im Versuchsbericht vermerkt werden. Alle für die Versuche notwendigen Geräte sind mit Angabe ihrer Hersteller, der Fabrikationsnummer und des Fabrikationsjahres im Versuchsbericht anzugeben. Das Prüfen der Geräte kann mit dem Einweisen des Bedienungspersonals verbunden werden.

5.2.3.2. Eichen der Meßgeräte

Alle Meßgeräte sollten vor den Versuchen und gegebenenfalls auch nach den Versuchen an Ort und Stelle geeicht¹⁾ werden. Auf eine Eichung kann verzichtet werden, wenn über die Eichung des Gerätes ein Eichzeugnis, das von beiden Parteien anerkannt wurde, vorliegt; alle Eichprotokolle sind unter Angabe der Eichstelle, ihrer Nummer und des Datums der Eichung, im Versuchsbericht anzugeben.

5.2.3.3. Höhenbezugspunkt

Bei Abnahmeversuchen in einer Anlage müssen alle Höhenbezugspunkte einnivelliert und ihre Höhen deutlich und dauerhaft gekennzeichnet werden. Für das Nivellieren sind nach Möglichkeit die in der Anlage vorhandenen, amtlichen Höhenmarken mit zu verwenden. Alle bei den Messungen benutzten Höhenkoten sind in eine Skizze, die dem Versuchsbericht beigelegt wird, einzutragen.

5.3. Das Messen

5.3.1. Vorversuche

Vor dem eigentlichen Abnahmeversuch sind einige Vorversuche vorzunehmen, um das richtige Funktionieren der Meßgeräte zu prüfen, das Versuchspersonal zu schulen und den einzelnen Gruppen des Meßpersonals die Gelegenheit zu geben, sich aufeinander abzustimmen.

Alle oder einzelne Vorversuche, bei denen alle für einen Hauptversuch geltenden Bedingungen erfüllt sind, können vom Versuchsleiter als Meßpunkte des Abnahmeversuches gewertet werden.

5.3.2. Einstellen der Versuchspunkte

Alle Messungen müssen in Beharrungszuständen vorgenommen werden; es muß deshalb nach jeder neuen Einstellung solange mit dem Ablesen gewartet werden, bis sich der neue Beharrungszustand eingestellt hat.

¹⁾ Die Begriffe „Eichung“ und „Eichen“ sind in diesem Zusammenhang nicht auf das Eichn im Sinne der Eichordnung beschränkt.

Die Messungen sollten mit der im Liefervertrag angegebenen Drehzahl oder mit einer Drehzahl, die von der vertraglich festgelegten Drehzahl nicht mehr als um den in Abschnitt 4.2.2 genannten Betrag abweicht, durchgeführt werden. Reicht bei einem Abnahmeversuch auf einem Prüfstand die Antriebsleistung nicht aus und muß der Abnahmeversuch mit einer stark verminderten Drehzahl vorgenommen werden, so sind die garantierten Werte auf diese verminderte Drehzahl umzurechnen. Die Formel für das Umrechnen der Werte muß im Liefervertrag, spätestens aber beim Aufstellen des Versuchsprogramms (Abschnitt 5.2.2) in beiderseitigem Einvernehmen festgelegt werden. Dies gilt auch für das Einstellen der dazugehörigen Haltedruckhöhe (spezifischen Halteenergie) der Pumpe (siehe Abschnitt 6.2.3).

Prüffelder, auf denen nur Förderhöhen (spezifische Förderarbeiten) eingestellt werden können, die größer sind als die garantierten Förderhöhen (spezifischen Förderarbeiten), sollten für Abnahmeversuche nicht benutzt werden. In einem solchen Falle müßte die Pumpe mit einer Drehzahl betrieben werden, die höher ist als die garantierte Drehzahl. Die gewünschte Förderhöhe (spezifische Förderarbeit) kann durch Drosselung des druckseitigen Regel- und Absperrorganes eingestellt werden; soll eine Förderhöhe (spezifische Förderarbeit) eingestellt werden, die kleiner ist als die Förderhöhe (spezifische Förderarbeit) bei ganz geöffnetem Regel- und Absperrorgan, so kann eine an die Druckleitung hinter dem Wasserstrommeßgerät angeschlossene Umgehungsleitung geöffnet werden. Die Benutzung eines Drosselorganes in der Saugleitung zum Einstellen der Förderhöhe (spezifischen Förderarbeit) sollte grundsätzlich vermieden werden; solche Drosselorgane können nur für das Einstellen der Haltedruckhöhe (spezifischen Halteenergie) benutzt werden, und zwar nur dann, wenn dadurch die Zuströmung zur Pumpe nicht unzulässig gestört wird.

5.3.3. Anzahl der Meßpunkte

Beim Prüfen des Garantiewertes für einen einzigen Pumpenbetriebspunkt, sollten vier bis fünf Meßpunkte (so viele Meßpunkte, daß eine eindeutige Kurve gezeichnet werden kann) aufgenommen werden, und zwar

ein Meßpunkt möglichst nahe dem Garantiepunkt und weitere Meßpunkte in Gebieten größerer und kleinerer Förderhöhen (spezifischen Förderarbeiten).

Beim Prüfen der Garantiewerte für einen ganzen Bereich der Drosselkurve, muß die Anzahl der Meßpunkte entsprechend erhöht werden, damit die Kurve eindeutig bestimmt ist. Sie sollte die Zahl 7 nicht unterschreiten; es sollten fünf Meßpunkte innerhalb des garantierten Bereiches und je ein Meßpunkt oberhalb und unterhalb dieses Bereiches liegen.

Bei regelbaren Pumpen gilt diese Festlegung für jede Einstellung der Regeleinrichtung.

5.3.4. Ablesen der Meßgeräte

Das Ablesen der Meßgeräte während einer Meßreihe muß gleichzeitig durchgeführt werden; abgelosen werden kann

entweder fortlaufend, in gleichen, vorher festgelegten Zeitabständen

oder auf ein einziges, an allen Meßstellen gut wahrnehmbares Zeichen hin.

Die Meßdauer für jeden Betriebspunkt muß so groß gewählt werden, daß eine genügende Anzahl von Ablesungen vorgenommen werden kann. Für die Auswertung wird aus allen Ablesungen der arithmetische Mittelwert gebildet; offensichtliche Fehlmessungen sind dabei auszuschneiden.

5.3.5. Protokollblätter

An jedem Meßplatz muß ein eigenes Protokollblatt geführt werden; die Protokollblätter jedes Meßplatzes müssen durchnummeriert werden. Sie müssen außer den Ableser-

ten die Nummer des Versuchspunktes, die Zeit für den Beginn und für das Ende des Versuches und alle für die Beurteilung der Messung wichtigen Wahrnehmungen enthalten.

Alle Protokollblätter sind mit zwei Durchschriften — je eine für den Betreiber und den Hersteller — zu führen; alle Protokollblätter und Registrierstreifen werden, falls erforderlich, vom Versuchsleiter und von den Vertretern der beiden Parteien abgezeichnet. Die Originale der Protokolle und die Streifen von registrierenden Meßgeräten übernimmt der Versuchsleiter oder derjenige, der mit dem Auswerten der Versuche betraut wurde.

5.3.6. Auswerten

Nach Abschluß der Messungen und Überprüfen aller Aufzeichnungen durch beide Parteien, sind einige charakteristische Meßpunkte an Ort und Stelle, bevor die Meßeinrichtungen abgebaut werden, näherungsweise auszuwerten, um Fehlmessungen festzustellen und die Messungen sofort wiederholen zu können. Das Wiederholen einer Messung kann auch von jeder der beiden Parteien verlangt werden, wenn berechtigte Zweifel an ihrer Richtigkeit oder ausreichenden Genauigkeit vorgebracht werden. Wird über die Art der Durchführung solcher neuen Messungen keine Einigung erzielt, kann die Frage zur Entscheidung einem für beide Parteien maßgebenden Schiedsrichter unterbreitet werden.

6. Versuchsauswertung

6.1. Meßwerte

6.1.1. Mittelwertbildung von Meßwerten

Die Meßwerte sind nach Abschnitt 5 unter Anwendung der in Abschnitt 8 angegebenen Meßverfahren aufzunehmen. Einzelheiten über das Auswerten von Versuchen sind im Abschnitt 8 für jedes Meßverfahren angegeben.

6.1.2. Für die Versuchsauswertung notwendige Meßgrößen

Für das Auswerten eines Abnahmeversuches und das Prüfen der Garantien werden folgende Meßgrößen benötigt:

6.1.2.1. Förderstrom Q

Der Förderstrom Q wird

entweder unmittelbar gemessen (Abschn. 8.1)

oder mit den gemessenen Werten für die Förderhöhe H (spezifische Förderarbeit Y) (Abschn. 8.2), dem Leistungsbedarf P (Abschn. 8.4) und dem nach dem thermodynamischen Meßverfahren ermittelten Wirkungsgrad $\eta = \eta_1 \eta_m$ (Abschn. 8.5) berechnet.

6.1.2.2. Förderhöhe H , spezifische Förderarbeit Y

Die Förderhöhe der Pumpe ist

$$H = (z_d - z_s) + \frac{1}{\gamma_m} (p_d - p_s) + \frac{1}{2g} (v_d^2 - v_s^2)$$

Die spezifische Förderarbeit der Pumpe ist

$$Y = g (z_d - z_s) + \frac{1}{\rho_m} (p_d - p_s) + \frac{1}{2} (v_d^2 - v_s^2)$$

oder, wenn der Meßquerschnitt 1 in der Saugleitung vor dem Saugstutzen und der Meßquerschnitt 2 in der Druckleitung hinter dem Druckstutzen angeordnet werden müssen:

$$H = (z_2 - z_1) + \frac{1}{\gamma_m} (p_2 - p_1) + \frac{1}{2g} (v_2^2 - v_1^2) + (H_{v1,s} + H_{vd,2})$$

$$Y = g (z_2 - z_1) + \frac{1}{\rho_m} (p_2 - p_1) + \frac{1}{2} (v_2^2 - v_1^2) + (Y_{v1,s} + Y_{vd,2})$$

Gemessen werden:

die Höhendifferenz ($z_2 - z_1$) nach Abschn. 8.2.2, die

Differenz der Druckhöhen $\frac{1}{\gamma_m} (p_2 - p_1) \approx \frac{1}{\gamma_1} (p_2 - p_1)$

bzw.

die Differenz der spezifischen Druckenergien

$\frac{1}{\rho_m} (p_2 - p_1) \approx \frac{1}{\rho_1} (p_2 - p_1)$ nach Abschn. 8.2.3.

Es ist $\gamma_m = \frac{1}{2} (\gamma_1 + \gamma_2)$ und $\rho_m = \frac{1}{2} (\rho_1 + \rho_2)$.

Bei der geringen Kompressibilität der meisten Flüssigkeiten kann oft $\gamma_2 \approx \gamma_1$ und $\rho_2 \approx \rho_1$ angenommen werden.

Gerechnet werden:

die Differenz der Geschwindigkeitshöhen $\frac{1}{2g} (v_2^2 - v_1^2)$ bzw.

die Differenz der spezifischen Geschwindigkeitsenergien $\frac{1}{2} (v_2^2 - v_1^2)$ mit den mittleren Geschwindigkeiten $v_1 = \frac{Q}{A_1}$

und $v_2 = \frac{Q}{A_2}$ die Verlusthöhe $H_{v1,s}$ bzw. die spezifische Verlustarbeit $Y_{v1,s}$ zwischen dem Meßquerschnitt 1 und dem Saugstutzen, und die Verlusthöhe $H_{v2,d}$ bzw. die spezifische Verlustarbeit $Y_{v2,d}$ zwischen dem Druckstutzen und dem Meßquerschnitt 2 mit einer vorher vereinbarten Formel.

Bei geraden Rohrstrecken zwischen 1 und s und zwischen d und 2 können die Verlusthöhen mit der Formel von Prandtl-Colebrook berechnet werden.

6.1.2.3. Drehzahl n , Netzfrequenz

Die Drehzahl n oder die Netzfrequenz werden nach Abschn. 8.3 gemessen.

6.1.2.4. Leistungsbedarf P

Der Leistungsbedarf P wird ermittelt

entweder aus der gemessenen aufgenommenen und mit dem Motorwirkungsgrad multiplizierten Leistung des Antriebselektromotors nach Abschn. 8.4.2

oder aus dem an der Pumpenkupplung gemessenen Drehmoment M und der gemessenen Drehzahl n (oder der Winkelgeschwindigkeit ω) nach Abschn. 8.4.1.

6.1.2.5. Pumpenwirkungsgrad η

Der Pumpenwirkungsgrad kann berechnet werden

entweder aus den gemessenen Werten des Förderstromes Q , der Förderhöhe H (spezifischen Förderarbeit Y), des Leistungsbedarfs P und der gemessenen oder einer Tabelle entnommenen Wichte γ (Dichte ρ):

$$\eta = \frac{\gamma Q H}{P} = \frac{\rho Q Y}{P}$$

oder aus dem nach Abschn. 8.5.2 thermodynamisch gemessenen inneren Wirkungsgrad η_i und dem nach Abschn. 8.5.3 ermittelten mechanischen Wirkungsgrad η_{mech} :

$$\eta = \eta_i \eta_{\text{mech}}$$

6.2. Umrechnung der Versuchswerte auf Garantiegrundlage

6.2.1. Zweck der Umrechnung

Zweck der Umrechnung ist es festzustellen, ob die Garantie auch bei den den Garantiegrundlagen entsprechenden Betriebsbedingungen erfüllt wäre.

6.2.2. Umrechnung der Versuchswerte auf die garantierte Drehzahl

Alle Meßwerte, die bei einer von der im Liefervertrag vereinbarten Nenndrehzahl n_N abweichenden Drehzahl n ermittelt werden, müssen auf die Nenndrehzahl n_N umgerechnet werden.

Sind die Drehzahlabweichungen von der Nenndrehzahl n_N nicht größer als die in Abschn. 4.2.2 angegebenen zulässigen Abweichungen, so können die aus den Messungen ermittelten Werte des Förderstromes Q , der Förderhöhe H , (spezifischen Förderarbeit Y), des Leistungsbedarfs P und des Wirkungsgrades η wie folgt umgerechnet werden:

$$Q_U = Q \left(\frac{n_N}{n} \right)$$

$$H_U = H \left(\frac{n_N}{n} \right)^2$$

$$Y_U = Y \left(\frac{n_N}{n} \right)^2$$

$$P_U = P \left(\frac{n_N}{n} \right)^3$$

$$\eta_U = \eta$$

Sind die Drehzahlabweichungen von der Nenndrehzahl n_N größer als die in Abschn. 4.2.2 angegebenen zulässigen Abweichungen, so muß die Formel für die Umrechnung der gemessenen Werte auf die Nenndrehzahl im Liefervertrag spätestens bei der Aufstellung des Versuchsprogrammes im beiderseitigen Einvernehmen festgelegt werden.

Wird der Antriebsmotor vom Pumpenhersteller mitgeliefert und werden im Liefervertrag statt der Drehzahl die Frequenz und die Spannung angegeben, so sind in den vorstehend genannten Umrechnungsformeln anstelle von n die gemessene Frequenz f und anstelle von n_N die Nennfrequenz f_N einzusetzen.

6.2.3. Umrechnung der Versuchswerte auf die garantierte Haltedruckhöhe (spezifische Halteenergie)

Meßwerte, die bei einer von der Garantie abweichenden Haltedruckhöhe (spezifischen Halteenergie) ermittelt wurden, können auf die garantierte Haltedruckhöhe (spezifische Halteenergie) nicht umgerechnet werden, da keine zuverlässigen Umrechnungsformeln bekannt sind. Es ist:

$$H_H = \frac{p_s + p_b - p_D}{\gamma} + \frac{v_s^2}{2g}$$

$$Y_H = \frac{p_s + p_b - p_D}{\rho} + \frac{v_s^2}{2}$$

6.2.4. Umrechnung der Versuchswerte auf die garantierte Flüssigkeit

Meßwerte, die mit einer von der Garantie abweichenden Flüssigkeit, z. B. mit einer Flüssigkeit anderer Viskosität ermittelt werden, können auf die in der Garantie angegebene Flüssigkeit nicht umgerechnet werden, da keine zuverlässigen Umrechnungsformeln bekannt sind.

6.3. Meßunsicherheiten

6.3.1. Allgemeines

Jede Messung ist zwangsläufig mit Meßunsicherheiten behaftet, auch dann, wenn die benutzten Meßverfahren, Geräte und Auswertungsvorschriften genau den vorliegenden Abnahmeregeln entsprechen. Bei einem Vergleich der Versuchsergebnisse mit den garantierten Werten muß diese Meßunsicherheit in geeigneter Weise berücksichtigt werden. Es sei hervorgehoben, daß die Meßunsicherheit nur die bei jeder Messung unvermeidbaren Fehler berücksichtigt; sie hat mit der Pumpe und damit mit den garantierten Werten nichts zu tun. Streng genommen, können die wahrscheinlichen Meßunsicherheiten erst bei Vorliegen der ausgewerteten Meßergebnisse abgeschätzt werden. Die bei günstigen Bedingungen zu erwartenden Meßunsicherheiten für die einzelnen Meßwerte, mit denen die Meßunsicherheit für den Förderstrom, f_Q , für die Förderhöhe, f_H , für die spezifische Förderarbeit, f_Y , für den Leistungsbedarf, f_P , und für den Wirkungsgrad, f_η , ermittelt werden, sind in Abschn. 6.3.2 für die Genauigkeitsstufen I, II und III zusammengestellt.

6.3.2. Ermitteln der durch die Meßunsicherheiten verursachten Streuungen

In einem Diagramm erscheint jeder Meßpunkt als Ellipse, wenn die Meßunsicherheiten für beide Koordinatengrößen berücksichtigt werden. Die Achsen dieser Ellipsen stellen die größten bei der Meßunsicherheit zu erwartenden Streuungen dar; sie werden als Produkt aus der Meßunsicherheit und dem Meßwert der betrachteten Meßgröße gefunden.

Die Streuungen betragen dann:

für den Förderstrom	$\pm f_{Qx} Q_x$
für die Förderhöhe	$\pm f_{Hx} H_x$
für die spezifische Förderarbeit	$\pm f_{Yx} Y_x$
für den Leistungsbedarf	$\pm f_{Px} P_x$
für den Wirkungsgrad	$\pm f_{\eta x} \eta_x$

Der zeichnerische Aufwand kann wesentlich vermindert werden, wenn näherungsweise die Fläche jeder Meßunsicherheitsellipse durch die vier Endpunkte ihrer beiden Hauptachsen ersetzt wird.

6.3.3. Berücksichtigen der Meßunsicherheiten bei der Versuchsauswertung

Um jeden auf die Garantiegrundlagen nach Abschn. 6.2 umgerechneten Meßpunkt sind im betreffenden Diagramm nach Abschn. 6.3.2 entweder eine Ellipse oder deren Hauptachsen zu zeichnen. Es ist dann

wenn die Meßunsicherheiten durch Ellipsenflächen berücksichtigt werden, eine stetig verlaufende obere Grenzkurve und eine stetig verlaufende untere Grenzkurve so zu zeichnen, daß sie die Ellipsen entweder berühren oder schneiden, siehe Bild 1 und 2.

oder

wenn die Meßunsicherheiten jeweils durch vier Endpunkte der Ellipsenhauptachsen berücksichtigt werden, eine stetig verlaufende obere Grenzkurve und eine stetig verlaufende untere Grenzkurve so zu zeichnen, daß in jedem Meßpunkt jede der beiden Grenzkurven zumindest eine der beiden Hauptachsen schneidet oder berührt, siehe Bild 3 und 4.

Das Versuchsergebnis ist danach ein Meßstreifen, eingeschlossen von den beiden genannten Grenzkurven.

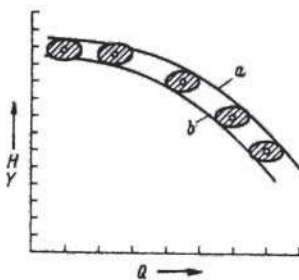


Bild 1. bei einer $H(Q)$ -Kurve ($Y(Q)$ -Kurve)
a obere Grenzkurve
b untere Grenzkurve

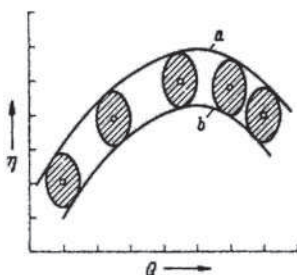


Bild 2. bei einer $\eta(Q)$ -Kurve
a obere Wirkungsgradgrenzkurve
b untere Wirkungsgradgrenzkurve

Bild 1 und 2. Berücksichtigung der Meßunsicherheiten durch Ellipsen

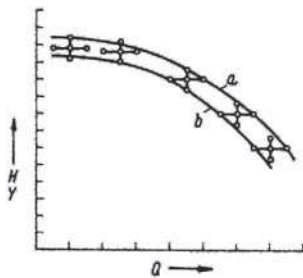


Bild 3. bei der $H(Q)$ -Kurve ($Y(Q)$ -Kurve) des Bildes 1
a und b wie Bild 1

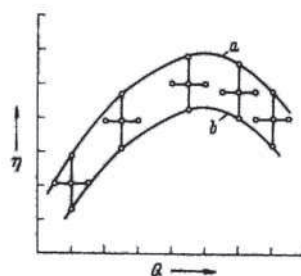


Bild 4. bei der $\eta(Q)$ -Kurve des Bildes 2
a und b wie Bild 2

Bild 3 und 4. Ersatz der Meßunsicherheits-Ellipsen durch ihre Hauptachsen

6.3.4. Ungültige Meßpunkte

Außerhalb eines Meßstreifens liegende Meßpunkte sind ungültig. Sind mehr als $\frac{1}{4}$ aller Meßpunkte ungültig, so haben die Abnahmeversuche die für die Auswertung verwendete Meßunsicherheit überschritten. In einem solchen Fall muß in beiderseitigem Einvernehmen entschieden werden,

ob die bei der Versuchsauswertung angewendeten Meßunsicherheiten entsprechend vergrößert werden, oder

ob die Abnahmeversuche, gegebenenfalls unter Verwendung anderer Meßverfahren und Meßgeräte, wiederholt werden.

6.4. Erfüllung der Garantien

6.4.1. Förderwerte

Die Garantie für die Förderwerte ist erfüllt, wenn im Q, H -Diagramm (Q, Y -Diagramm) die Strecke, die nach Abschn. 3.3.1 die garantierten Förderwerte darstellt, von mindestens einer der beiden in Abschn. 6.3.3 beschriebenen Grenzdrosselkurven geschnitten oder berührt wird, siehe Bild 5 bis 8.

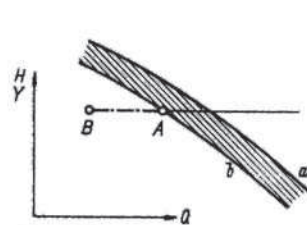


Bild 5. Untere Grenzdrosselkurve b geht bei A durch den größten Wert der Förderstromgarantie

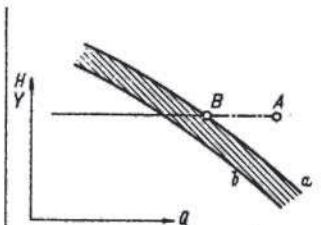


Bild 6. Obere Grenzdrosselkurve a geht bei B durch den kleinsten Wert der Förderstromgarantie

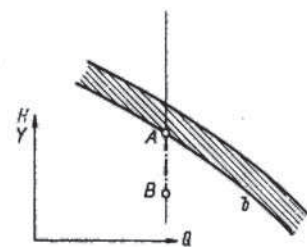


Bild 7. Untere Grenzdrosselkurve b geht bei A durch den größten Wert der Förderhöhengarantie (spezifischen Förderarbeitgarantie)

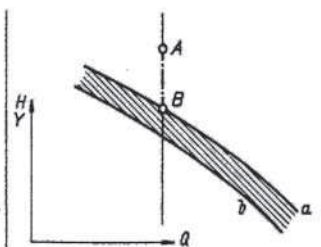


Bild 8. Obere Grenzdrosselkurve a geht bei B durch den kleinsten Wert der Förderhöhengarantie (spezifischen Förderarbeitgarantie)

Bild 5 bis 8. Grenzfall der Erfüllung der Förderwertgarantie

6.4.2. Wirkungsgrad

Die Garantie für den Wirkungsgrad ist erfüllt,

wenn die obere Wirkungsgradgrenzkurve im betreffenden Bereich über den garantierten Wirkungsgraden verläuft, siehe Bild 9, Felder A und B,

oder

wenn die mit der oberen Wirkungsgradgrenzkurve nach der in der Garantie (Abschn. 3.3.2) definierten Art ermittelten Werte die garantierten Werte erreichen oder überschreiten.

Die Garantie für den Wirkungsgrad ist überschritten,

wenn die untere Wirkungsgradgrenzkurve im betreffenden Bereich über den garantierten Wirkungsgraden verläuft, siehe Bild 9, Feld A,

oder

wenn die mit der unteren Wirkungsgradgrenzkurve nach der in der Garantie (Abschn. 3.3.2) definierten Art ermittelten Werte die garantierten Werte überschreiten.