

DIN EN 16480

ICS 23.080

Entwurf

Einsprüche bis 2019-01-16
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 16480:2017-07

**Pumpen –
Kreiselpumpen –
Geforderte Mindesteffizienz für Wasserpumpen sowie Methoden zur
Qualifizierung und Verifizierung;
Deutsche und Englische Fassung prEN 16480:2017**

Pumps –
Rotodynamic Pumps –
Minimum required efficiency of water pumps and methods of qualification and verification;
German and English version prEN 16480:2017

Pompes –
Pompes rotodynamiques –
Rendement minimum requis des pompes à eau et méthodes de qualification et de vérification;
Version allemande et anglaise prEN 16480:2017

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2018-11-16 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nam@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Maschinenbau (NAM), 60498 Frankfurt am Main, Postfach 71 08 64, Lyoner Str. 18, 60528 Frankfurt am Main.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 154 Seiten

DIN-Normenausschuss Maschinenbau (NAM)

Nationales Vorwort

Dieser Norm-Entwurf enthält Festlegungen zur Berechnung eines Energieeffizienzkennwertes, dem Mindesteffizienzindex (MEI) sog. Wasserpumpen (ohne Antrieb). Dieser MEI ist das Ergebnis eines hier dargestellten Berechnungs-/Messverfahrens zur Bewertung der Energieeffizienz einer Pumpe im Anwendungsbereich der EU-Richtlinie 2009/125/EG und deren Umsetzung in Form der Verordnung (EU) Nr. 547/2012.

Er beinhaltet die Deutsche Fassung der vom Technischen Komitee CEN/TC 197 „Pumpen“ im Europäischen Komitee für Normung (CEN) ausgearbeiteten prEN 16480:2017.

Die nationalen Interessen bei der Erarbeitung werden vom Arbeitsausschuss NA 060-11-01 AA „Kreiselpumpen“ im Fachbereich „Pumpen“ des DIN-Normenausschusses Maschinenbau (NAM) wahrgenommen. Vertreter der Hersteller und Anwender von Pumpen sowie der Berufsgenossenschaften sind an der Erarbeitung beteiligt.

Dieser Norm-Entwurf konkretisiert einschlägige Anforderungen der Ökodesign-Richtlinie 2005/32/EG (und 2009/125/EG), insbesondere Anforderungen der Verordnung (EU) Nr. 547/2012 an erstmals im Europäischen Wirtschaftsraum (EWR) in Verkehr gebrachte Pumpen, um den Nachweis der Übereinstimmung mit diesen Anforderungen zu erleichtern.

Die im Abschnitt 2 zitierten Europäischen Normen sind als DIN-EN- bzw. DIN-EN-ISO-Normen mit gleicher Zählnummer veröffentlicht.

Für die in den Literaturhinweisen zitierten Internationalen Normen, sofern sie nicht als DIN-ISO-Normen mit gleicher Zählnummer veröffentlicht sind, gibt es keine nationalen Entsprechungen.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 16480:2017-07 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) redaktionelle Überarbeitung und Fehlerkorrekturen – im Besonderen:
- b) Abschnitt 1: Anwendungsbereich – Fließbild entfernt;
- c) Abschnitt 5: Text überarbeitet – Mehrdeutigkeit behoben;
- d) Anhang C: Bild C.3 korrigiert;
- e) Aufnahme eines informativen Anhangs ZA über den Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der Ökodesignrichtlinie 2009/125/EG.

Pumpen — Kreispumpen — Geforderte Mindesteffizienz für Wasserpumpen sowie Methoden zur Qualifizierung und Verifizierung

Pompes — Pompes rotodynamiques — Rendement minimum requis des pompes à eau et méthodes de qualification et de vérification

Pumps — Rotodynamic Pumps — Minimum required efficiency of water pumps and methods of qualification and verification

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokument-Stage: CEN-Umfrage
Dokument-Sprache: D

STD Version 2.9d

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe, Definitionen, Symbole und Abkürzungen	8
3.1 Begriffe und Definitionen	8
3.1.1 Auflistung der Größen mit Definitionen	9
3.1.2 Allgemeine Definitionen	10
3.2 Symbole und Abkürzungen	12
4 Mindest-Effizienzanforderungen und Mindest-Effizienzindex	15
4.1 Das Konzept des „Effizienzhauses“	15
4.2 Mathematische Darstellung der Mindest-Effizienzanforderungen	16
4.3 Mindest-Wirkungsgrad bei Teillast und Überlast	17
4.4 Mindest-Effizienzindex	18
5 Bestimmung des Wirkungsgrads einer Prüfpumpe	21
5.1 Allgemeines	21
5.2 Durchführung der Prüfung	21
5.3 Prüfbedingungen	22
5.4 Messunsicherheiten	23
5.4.1 Relevanz	23
5.4.2 Schwankungen	24
5.4.3 Statistische Auswertung der Gesamtmessunsicherheit	24
5.5 Auswertung der Prüfdaten	26
5.5.1 Umwandlung der Prüfergebnisse in die Nenndrehzahl oder die elektrische Nennfrequenz	26
5.5.2 Leistungskennlinien	27
5.5.3 Bestimmung der für die Qualifizierung oder Verifizierung relevanten Werte	28
5.5.4 Verfahren der Prüfung und/oder Bewertung von speziellen Pumpentypen	29
6 Nachweis des Mindest-Effizienzindex einer Pumpengröße	30
6.1 Allgemeine Bemerkungen	30
6.2 Bestimmung des Mindest-Effizienzindex einer Pumpengröße	31
7 Verifizierung des Mindest-Effizienzindex für eine Pumpengröße	32
7.1 Allgemeine Bemerkungen	32
7.2 Verfahren und Entscheidung	32
Anhang A (normativ) In den Anwendungsbereich fallende Pumpentypen	36
Anhang B (informativ) Allgemeine Bemerkungen zum Wirkungsgrad von Kreiselpumpen	38
Anhang C (informativ) Mittelwerte einer für den Mindest-Effizienzindex relevanten Größe	40
Anhang D (informativ) Empfohlene Verfahren für Hersteller bei der Bestimmung der Mittelwerte der hydraulischen Größen einer für den MEI relevanten Pumpengröße	46
D.1 Allgemeine Bemerkungen	46
D.2 Bestimmung des mittleren Wirkungsgrads einer Pumpengröße aus einer Prüfung an einer einzelnen Prüfpumpe	47

D.3	Bestimmung des mittleren Wirkungsgrads einer Pumpengröße aus einer Stichprobe aus M Prüfpumpen	48
Anhang E (informativ)	Zahlenbeispiel	51
Anhang F (informativ)	Anwendung der mathematischen Statistik auf die Prüfungen	57
F.1	Zweck der Anwendung der Statistik im Rahmen der Qualifizierung und Verifizierung	57
F.2	Vertrauensintervall	58
F.3	Gesetz der Fehlerfortpflanzung	60
Anhang G (informativ)	Messunsicherheiten	67
G.1	Allgemeine Bemerkungen	67
G.2	Bestimmung der Gesamt-Messunsicherheiten des Wirkungsgrads	69
Anhang H (informativ)	Erläuterungen zur Methodik des Verifizierungsverfahrens und der Wahrscheinlichkeit der Ergebnisse	71
Anhang I (informativ)	Protokollierung der Prüfergebnisse im Prüfbericht	74
I.1	Anforderungen an den Prüfbericht	74
I.2	Pumpenprüfblatt	74
Anhang ZA (informativ)	Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der EU-Richtlinie 2009/125/EG zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte, durchgeführt auf der Grundlage der EU-Verordnung 547/2012	76
Literaturhinweise		77

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 16480:2017) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 197 „Pumpen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 16480:2016 ersetzen.

Dieses Dokument wurde im Rahmen eines Normungsauftrages erarbeitet, den die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EU-Richtlinien.

Zum Zusammenhang mit EU-Richtlinien siehe informativen Anhang ZA, der Bestandteil dieses Dokuments ist.

Einleitung

Zweck und Inhalt dieser Norm

Die in den Anwendungsbereich dieser Europäischen Norm fallenden Wasserpumpen werden gewöhnlich durch Pumpenhersteller in Serie mit großen bis sehr großen Stückzahlen produziert und verkauft. Die Leistungsmerkmale der von einem Hersteller produzierten Pumpen einer bestimmten Größe weisen aufgrund der Fertigungstoleranzen eine gewisse Streuung auf, werden jedoch durch Mittelwerte und Kurven beschrieben, die diese Größe repräsentieren.

Der Gesamtverbrauch an elektrischer Energie durch Wasserpumpen, die in Anwendungen verbaut sind, die im Anwendungsbereich dieser Europäischen Norm liegen, ist von der Gesamtanzahl der eingebauten Pumpen jeder Größe und von deren mittlerem Wirkungsgrad abhängig. Die Qualität einer Größe in Bezug auf deren mittleren Wirkungsgrad wird quantitativ durch den Mindest-Effizienzindex (MEI) beschrieben, der in dieser Norm definiert und verwendet wird. Um einen bestimmten Wert des Mindest-Effizienzindex (MEI) zu erhalten, ist ein entsprechender Mindestwert für den mittleren Wirkungsgrad der jeweiligen Größe erforderlich.

Diese Europäische Norm legt für jeden Pumpentyp und jede Pumpengröße im Anwendungsbereich dieser Norm den erforderlichen Mindestwert für den Wirkungsgrad in Abhängigkeit vom Wert des Mindest-Effizienzindex (MEI) fest. Darüber hinaus legt diese Norm fest, wie der durch den Hersteller angegebene Wert des Mindest-Effizienzindex (MEI) einer Pumpengröße durch eine unabhängige Institution verifiziert werden kann (z. B. im Rahmen der Marktüberwachung). Im Allgemeinen dürfen die Hersteller einer Pumpengröße selbst entscheiden, wie sie den angegebenen Wert des Mindest-Effizienzindex (MEI) einer bestimmten Größe nachweisen. Diese Norm beschreibt jedoch auch ein Verfahren, mit dem der Hersteller nachweisen kann, dass die Mittelwerte des Wirkungsgrads den Anforderungen bezüglich der Angabe eines bestimmten Werts des Mindest-Effizienzindex (MEI) entsprechen.

In der Regel beruht die Qualifizierung einer Pumpengröße in Bezug auf einen bestimmten MEI-Wert durch den Hersteller auf Prüfungen und Bewertungen einer Stichprobe aus Pumpen dieser Größe. Es ist unerlässlich, dass Prüfungen und Bewertungen zum Zwecke der Feststellung der Eignung (Qualifizierung) der entsprechenden Größe bestimmte Anforderungen erfüllen:

- Es muss möglich sein, aus den Prüfungen der Musterpumpen die Vertrauensintervalle für die entsprechenden Größen vorherzubestimmen, innerhalb derer mit einer ausreichend hohen Wahrscheinlichkeit die wahren Mittelwerte des Wirkungsgrads liegen, die für die Qualifizierung relevant sind. Nur auf diese Weise wird die Qualifizierung der Größe in Bezug auf einen erforderlichen und/oder angegebenen Wert des Mindest-Effizienzindex (MEI) sicherstellen, dass die angestrebte Energieeinsparungswirkung erreicht wird.
- Sofern eine Pumpengröße nach den in dieser Europäischen Norm beschriebenen Kriterien qualifiziert wurde, muss jede weitere Prüfung an einer oder mehreren Prüfpumpe(n) derselben Größe (mit einem vollen Laufraddurchmesser), die im Rahmen eines Verifizierungsverfahrens durchgeführt wird, mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit diese Qualifizierung bestätigen.

Aufgrund der technischen Anpassungsverfahren der einzelnen Pumpenbestandteile, z. B. Lager oder Wellendichtungen, wird die Leistung der Pumpe erst nach einer bestimmten Einlaufzeit erreicht.

Wege für den Nachweis und die Verifizierung des Mindest-Effizienzindex (MEI) einer Pumpengröße

Diese Europäische Norm beschreibt verschiedene Wege, wie Hersteller die Qualifizierung einer Pumpengröße für einen bestimmten Wert des Mindest-Effizienzindex (MEI) erreichen können und wie diese Qualifizierung durch eine unabhängige Institution verifiziert werden kann.

Dem Hersteller steht es im Allgemeinen frei, angemessene Verfahren für den Nachweis dafür zu wählen und anzuwenden, dass die Mittelwerte des Wirkungsgrads einer Größe mindestens den spezifischen Schwellenwerten für den Wirkungsgrad entsprechen. Diese spezifischen Schwellenwerte für den Wirkungsgrad stehen im Zusammenhang mit dem für die Größe anzugebenden Wert des Mindest-Effizienzindex (MEI). In dieser Norm wird beschrieben, auf welche Art diese Wirkungsgradwerte zu bestimmen sind. Sofern die durch einen Hersteller gewählte Art des Nachweises des MEI-Werts für eine Größe von der im nächsten Absatz aufgeführten Art abweicht, muss der Hersteller sämtliche Prüfungen, Bewertungen und/oder Berechnungen sowie die Verfahren dokumentieren, die zum Nachweis der berechtigten Angabe des MEI-Werts durchgeführt wurden.

Sofern sich der Hersteller dafür entscheidet, die mittleren Leistungswerte einer Größe mithilfe eines der in Anhang D dieser Norm beschriebenen Verfahren zu bestimmen, muss er Prüfungen entsprechend den Anforderungen in Anhang C dieser Norm und Bewertungen nach Anhang C dieser Norm durchführen sowie nachweisen, wie in Abschnitt 7 dieser Norm beschrieben, dass die Kriterien für das Erreichen eines bestimmten Werts des Mindest-Effizienzindex (MEI) für die Größe erfüllt wurden. Die Prüfbedingungen, Ergebnisse der Versuchsauswertung und die Erfüllung der Kriterien werden dokumentiert und aufbewahrt. Die notwendige Zeitdauer, über welche die Dokumentation für die Behörden zur Bestätigung der Konformität aufbewahrt werden muss, ist rechtlich festgelegt.

Die unabhängige Institution führt entsprechend den Anforderungen nach 5.2 bis 5.4 dieser Norm Prüfungen an Pumpen der betreffenden Größen durch, nimmt Bewertungen nach 5.5 dieser Norm vor und wendet die Methodik und Vorgehensweise nach Abschnitt 4 dieser Norm an.

Einer unabhängigen Institution stehen nach dieser Norm zwei festgelegte Vorgehensweisen zur Verifizierung des durch den Hersteller angegebenen Werts des Mindest-Effizienzindex (MEI) zur Verfügung:

- 1) Wenn der unabhängigen Institution nach Aufforderung die Qualifizierungsdokumentation durch den Hersteller vorgelegt wird, beruht der durch die unabhängige Institution ausgeführte Verifizierungsablauf auf der Dokumentation der durch den Hersteller durchgeführten und dokumentierten Prüfungen und Bewertungen. In diesem Fall wird die Dokumentation durch die unabhängige Institution auf ihre Übereinstimmung mit den Anforderungen und Kriterien dieser Norm überprüft.
- 2) Sofern nach Aufforderung keine Dokumentation durch den Hersteller vorgelegt wird oder wenn die durch den Hersteller nach Aufforderung vorgelegte Dokumentation nicht als Nachweis des angegebenen MEI-Werts anerkannt wird, führt die unabhängige Institution entsprechend den Anforderungen nach Anhang C dieser Norm Prüfungen an Pumpen der betreffenden Größen durch, nimmt Bewertungen nach 5.5 dieser Norm vor und wendet die Methodik und Vorgehensweise nach Abschnitt 4 dieser Norm an.

Relevanz der Abschnitte dieser Norm für Hersteller und unabhängige Institutionen

Abschnitt 4 beschreibt Nennwerte der Mindest-Effizienzanforderungen für einen bestimmten Wert des Mindest-Effizienzindex (MEI) und ist im Allgemeinen bei Anwendung dieser Norm relevant.

Abschnitt 5 legt Prüfverfahren, Prüfbedingungen und Bewertungen fest und ist anzuwenden

- durch einen Hersteller, sofern dieser beschließt, die Mittelwerte einer Größe durch Prüfungen an Musterpumpen dieser Größe zu bestimmen (z. B. durch Verfahren, die in Anhang D beschrieben sind),
- durch eine unabhängige Institution, sofern der Mindest-Effizienzindex (MEI) einer Pumpengröße nach der in Abschnitt 7 aufgeführten Vorgehensweise zu verifizieren ist.

Abschnitt 6 beschreibt die Vorgehensweise, die durch einen Hersteller anzuwenden ist, wenn spezifische Schwellenwerte des Wirkungsgrads für einen bestimmten Wert des Mindest-Effizienzindex (MEI) einer Größe zu bestimmen sind und wenn durch die Erfüllung der Kriterien für die Mittelwerte des Wirkungsgrads die berechnete Angabe des MEI-Werts nachzuweisen ist.

Abschnitt 7 beschreibt die Methodik und die Vorgehensweise, die durch eine unabhängige Institution anzuwenden sind, sofern der durch den Hersteller angegebene Mindest-Effizienzindex (MEI) einer Größe durch Prüfungen an Pumpen dieser Größe durch Dritte verifiziert werden muss.

Anhang C behandelt die Mittelwerte einer Pumpengröße, die für Hersteller zum Nachweis daraufhin relevant sind, dass die Pumpengröße einen bestimmten Wert des Mindest-Effizienzindex (MEI) erreicht.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm legt Leistungsanforderungen (Methoden und Verfahren zur Prüfung und Berechnung) zur Bestimmung des Mindest-Effizienzindex (MEI) von Wasserpumpen in Kreispumpenbauart mit Stopfbuchsen zum Pumpen von sauberem Wasser einschließlich von Produkten, in welche diese Pumpen integriert sind, fest.

Die Pumpentypen und Pumpengrößen, die von dieser Norm abgedeckt sind, werden im Anhang A beschrieben. Diese Pumpen werden als Pumpen für Drücke bis 16 bar bei Pumpen mit axialem Eintritt und bis 25 bar bei mehrstufigen Pumpen für Temperaturen zwischen -10°C und $+120^{\circ}\text{C}$ und mehrstufigen Tauchpumpen der Größe 4" oder 6" bei Betriebstemperaturen in einem Bereich zwischen 0°C und 90°C ausgelegt und hergestellt.

Darüber hinaus legt diese Norm fest, wie der durch den Hersteller angegebene Wert des Mindest-Effizienzindex (MEI) einer Pumpengröße durch die Marktüberwachung verifiziert werden kann.

Selbst wenn es dem Hersteller einer Pumpengröße überlassen wird zu entscheiden, wie der Bemessungswert des Mindest-Effizienzindex (MEI) nachgewiesen wird, legt diese Norm dennoch ein Verfahren zum Nachweis fest, dass dieser Bemessungswert die Anforderungen innerhalb der Vertrauensintervalle mit einer ausreichend hohen Wahrscheinlichkeit erfüllt.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN ISO 9906, *Kreispumpen — Hydraulische Abnahmeprüfungen — Klassen 1, 2 und 3 (ISO 9906)*

ISO 31, *General principles concerning quantities, units and symbols*

3 Begriffe, Definitionen, Symbole und Abkürzungen

3.1 Begriffe und Definitionen

Für die Anwendung dieser Europäischen Norm gelten die Begriffe nach EN ISO 9906 und die folgenden Begriffe:

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: verfügbar unter <http://www.iso.org/obp>

3.1.1 Auflistung der Größen mit Definitionen¹⁾

3.1.1.1

Reynolds-Zahl

dimensionslose Zahl, die ein Maß für das Verhältnis zwischen Trägheits- und Viskositätskräften bietet und in der Folge die relative Bedeutung dieser beiden Arten von Kräften für gegebene Strömungsbedingungen quantitativ bestimmt. In dieser Norm wird sie durch folgende Gleichung definiert:

$$Re = \frac{D_{\text{imp}} \cdot u}{\nu}$$

Dabei ist u die Umfangsgeschwindigkeit am Außendurchmesser des Laufrades D_{imp} .

3.1.1.2

Förderstrom

Volumenstrom

externer Förderstrom der Pumpe, d. h. der Förderstrom, der vom Auslaufstutzen der Pumpe in das Rohr gefördert wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Pumpenbedingte Verluste oder Teilströme, d. h.:

- der für die hydraulische Entlastung des Axialschubs erforderliche Förderstrom;
- Kühlung der Lager der eigentlichen Pumpe;
- Wasservorlage bis zur Packung.

Anmerkung 2 zum Begriff: Leckströme aus Armaturen/Formstücken, innere Leckströme usw. sind im Förderstrom nicht mit einzurechnen. Für andere Zwecke entnommene Ströme, wie etwa Kühlung der Motorlager und Kühlung eines Getriebekastens (Lager, Ölkühler) usw., sind dagegen im Förderstrom mit einzurechnen.

Anmerkung 3 zum Begriff: Ob und wie diese Ströme berücksichtigt werden müssen, hängt von ihrem Entnahmepunkt bzw. dem Messquerschnitt ab.

3.1.1.3

Leistungsaufnahme des Motors

von der Antriebsmaschine der Pumpe aufgenommene Leistung

3.1.1.4

Pumpenwirkungsgrad

$$\eta = \frac{P_{\text{hyd}}}{P_2} = \frac{\text{Hydraulikleistung}}{\text{Leistungsaufnahme der Pumpe}}$$

3.1.1.5

Wirkungsgrad des Antriebs

$$\eta_{\text{dr}} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{\text{Leistungsaufnahme der Pumpe}}{\text{Leistungsaufnahme des Motors}}$$

1) 3.1.1 liefert spezifische Definitionen von Begriffen – in Abweichung von EN ISO 9906 – basierend auf ISO 31 gemeinsam mit jedweden zugehörigen Symbolen, die zugeordnet wurden.

3.1.1.6

Gesamtwirkungsgrad

$$\eta_{\text{tot}} = \frac{P_{\text{hyd}}}{P_1} = \frac{\text{Pumpenleistung}}{\text{Leistungsaufnahme des Motors}}$$

3.1.1.7

spezifische Drehzahl

Maßzahl, die den Laufradtyp (radial, halbaxial, axial) bei Kreiselpumpen kennzeichnet

$$n_S = n_N \cdot \frac{\sqrt{Q_{\text{BEP}}}}{H_{\text{BEP}}^{0,75}}$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei mehrstufigen Pumpen ist H_{BEP} die Förderhöhe je Stufe, die sich aus der Teilung der Gesamtförderhöhe der Pumpe am Bestpunkt durch die Anzahl der Stufen ergibt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die spezifische Drehzahl einer einzelnen Pumpe oder die mittlere spezifische Drehzahl einer Pumpengröße ist ein (maßbezogener) Wert, der die Laufradform (radial, halbaxial, axial) der Pumpe oder der Pumpengröße beschreibt. Der Zahlenwert der spezifischen Drehzahl wird durch die Gleichung nach 3.2.7 unter Verwendung spezieller Einheiten für die in dieser Gleichung verwendeten Größen definiert. Wie in Abschnitt 4 beschrieben, ist die spezifische Drehzahl einer der Parameter, von denen die Nennwerte der Mindest-Effizienzanforderungen abhängig sind.

3.1.1.8

Mindest-Effizienzindex (MEI)

Wert, der die Mindest-Effizienzanforderungen in Bezug auf die Qualifikationskriterien bestimmt und dadurch ein Maß für die Qualität einer Pumpengröße in Bezug auf den Wirkungsgrad darstellt

Anmerkung 1 zum Begriff: Dimensionslose Maßeinheit für den Wirkungsgrad einer hydraulischen Pumpe bei BEP, PL und OL.

Anmerkung 2 zum Begriff: Der Wert für MEI ist das Ergebnis einer statistischen Analyse der Leistungsfähigkeit einer großen Anzahl kommerziell verfügbarer Pumpengrößen und entspricht den unterschiedlichen „Quartilen“ der statistischen Verteilung.

Beispielsweise entspricht $\text{MEI} = 0,40$ einem Performance Level des Wirkungsgrads, welchen 40 % der auf dem Markt verfügbaren Pumpen nicht erreichen.

3.1.2 Allgemeine Definitionen

3.1.2.1

Qualifizierung

Vorgang, in welchem der Hersteller der Pumpengröße die Erfüllung der durch diese Norm festgelegten Kriterien für den Wirkungsgrad mithilfe geeigneter Verfahren nachweist

Anmerkung 1 zum Begriff: Im Allgemeinen beziehen sich die Qualifikationskriterien auf die Mittelwerte der Pumpengröße, die für den vollen Laufraddurchmesser gelten und die durch Prüfungen und Bewertungen von Pumpen der entsprechenden Größe bestimmt werden. Diese Mittelwerte des Wirkungsgrads und deren Vertrauensintervalle werden mit den Nennwerten der Mindest-Effizienzanforderungen verglichen. Zudem sind diese Werte von Parametern abhängig (siehe Abschnitt 4), deren Werte zum Teil aus den Prüfungen gewonnen wurden und die nur mit einer gewissen Unsicherheit oder Toleranz bestimmt werden. Daher werden zu Vergleichszwecken mit den Mittelwerten im Rahmen des Qualifizierungsverfahrens sogenannte spezifische Schwellenwerte für den Wirkungsgrad bestimmt und genutzt.

3.1.2.2

Verifizierung

Vorgang, in welchem eine unabhängige Institution das Ergebnis der Qualifizierung im Rahmen der Marktüberwachung prüft

Anmerkung 1 zum Begriff: In diesem Fall werden die Prüfungen und die Auswertung der Prüfdaten nach Abschnitt 5 dieser Europäischen Norm durchgeführt. Die Entscheidung wird nach der in Abschnitt 7 dieser Europäischen Norm beschriebenen Vorgehensweise getroffen.

3.1.2.3

unabhängige Institution/Marktüberwachung

der Marktüberwachung/Marktaufsicht zur Verifizierung der vom Hersteller angegebenen MEI-Werte unterstellte Organisation

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Organisationen werden im Allgemeinen „unabhängige Institutionen“ genannt, unabhängig von der speziellen Art der Institution (Nichtregierungsorganisation (NGO), neutrales Institut, Marktüberwachungsbehörden oder Ähnliches).

3.1.2.4

Mindest-Effizienzanforderung ($\eta_{\min, \text{requ}}$)

Wert für den Wirkungsgrad, der erreicht werden muss, um einen bestimmten MEI-Wert zu erfüllen

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Wert der Mindest-Effizienzanforderung hängt von bestimmten Eigenschaften der Pumpengröße (Pumpentyp, Nenndrehzahl, Förderstrom am Bestpunkt und spezifische Drehzahl) sowie vom Mindest-Effizienzindex (MEI) ab. Bei einer bestimmten Pumpengröße sind am Bestpunkt sowie bei festgelegten Betriebspunkten bei Teillast bzw. Überlast verschiedene Mindest-Effizienzanforderungen relevant.

3.1.2.5

spezifische Schwellenwerte für den Wirkungsgrad ($\eta_{\text{threshold}}$)

Werte, die durch Abzug der Gesamtterolanz aus den Mindest-Effizienzanforderungen berechnet werden

3.1.2.6

Pumpengröße

durch bestimmte Maße gekennzeichnete und in den Katalogen des Herstellers gezeigte Auswahl an Pumpen (z. B. Nenndurchmesser des Austrittsflanschs und Nenndurchmesser des Laufrades bei Pumpen mit axialem Eintritt und mehrstufigen Pumpen, äußerer Nenn-Gehäusedurchmesser bei mehrstufigen Tauchpumpen)

Anmerkung 1 zum Begriff: In einem Q - H -Diagramm deckt jede Pumpengröße einen bestimmten Bereich von Q - und H -Werten ab. Innerhalb dieses Bereichs kann jeder Betriebspunkt (Pflichtpunkt) durch eine Pumpe der entsprechenden Größe bedient werden, indem deren Q - H -Kurve durch Beschneiden des Laufrades angepasst wird, d. h. durch Verringerung des äußeren Laufraddurchmessers auf einen geeigneten Wert. Die Obergrenze des durch eine Pumpengröße abgedeckten Q - H -Bereichs wird durch den vollen Laufraddurchmesser bestimmt, der dieser Pumpengröße entspricht.

3.1.2.7

voller Laufraddurchmesser einer Pumpengröße

Laufrad mit maximalem Durchmesser, für welchen Leistungsmerkmale in den Katalogen eines Wasserpumpenherstellers für eine Pumpengröße angegeben werden

3.1.2.8

am Bestpunkt, BEP

Betriebspunkt, an welchem der höchste Wert für den Wirkungsgrad der Pumpen bei Nenndrehzahl erreicht wird

3.1.2.9

Teillast, PL

bestimmter Betriebspunkt im Bereich der Betriebspunkte mit niedrigerem Förderstrom als am Bestpunkt, bei Nenndrehzahl

3.1.2.10

Überlast, OL

bestimmter Betriebspunkt im Bereich der Betriebspunkte mit höherem Förderstrom als am Bestpunkt, bei Nenndrehzahl

3.2 Symbole und Abkürzungen

Tabelle 1 liefert eine alphabetische Liste der verwendeten Symbole und Tabelle 2 eine Liste der Indizes. Soweit möglich entsprechen diese Größen, Definitionen und Symbole, die in dieser Norm verwendet werden jenen, in EN ISO 9906. Größen, Definitionen und Symbole die in EN ISO 9906 verwendet werden jedoch in dieser Norm nicht benötigt werden sind in 3.2 sowie Tabellen 1 und 2 nicht aufgeführt, wobei diese Tabellen einige Größen, Definitionen und Symbole enthalten, die nicht in EN ISO 9906 verwendet werden.

In diesem Dokument werden alle Gleichungen einheitlich in SI-Einheiten angegeben.

Tabelle 1 — Alphabetische Auflistung der als Symbole verwendeten Grundbuchstaben

Symbol	Größe	Einheit
<i>A</i>	Fläche	m ²
<i>C</i>	Konstante	keine
<i>D</i>	Durchmesser	m
<i>e</i>	Messunsicherheit, relativer Wert	keine
<i>f</i>	Frequenz	s ⁻¹ , Hz
<i>g</i>	Fallbeschleunigung	m/s ²
<i>H</i>	Förderhöhe der Pumpe	m
<i>k</i>	Anzahl der Ablesewerte der Messgeräte oder Anzahl der Musterpumpen	keine
<i>m</i>	Masse	kg
<i>M</i>	Anzahl der Pumpen einer Stichprobe	keine
<i>n</i>	Drehzahl	s ⁻¹ , min ⁻¹
<i>N</i>	Anzahl der Ablesewerte der Messgeräte	keine
<i>n_s</i>	spezifische Drehzahl	min ⁻¹
<i>p</i>	Druck	Pa
<i>p</i>	Wahrscheinlichkeit	keine
<i>P</i>	Leistung	W
<i>Q</i>	Förderstrom (Volumenstrom)	m ³ /s
<i>s</i>	Standardabweichung einer Stichprobe	entsprechend der spezifischen Größe
<i>t</i>	Toleranzfaktor, relativer Wert	keine
<i>t</i>	Zeit	s
<i>t</i>	Student-Faktor	keine
<i>T</i>	Drehmoment	Nm
<i>u</i>	Umfangsgeschwindigkeit	m/s
<i>U</i>	mittlere Geschwindigkeit	m/s
<i>U</i>	Spannung	V
<i>v</i>	lokale Geschwindigkeit	m/s
<i>V</i>	Volumen	m ³
<i>x</i>	allgemeine Größe	entsprechend der spezifischen Größe
<i>y</i>	allgemeine Größe	entsprechend der spezifischen Größe
<i>z</i>	Abstand über der Bezugsebene	m
<i>z</i>	Anzahl der hergestellten Pumpen	keine
<i>η</i>	Effizienz, Wirkungsgrad	keine
<i>θ</i>	Temperatur	°C
<i>ν</i>	Kinematische Viskosität	m ² /s
<i>ρ</i>	Dichte	kg/m ³
<i>ω</i>	Winkelgeschwindigkeit	rad/s
<i>σ</i>	Standardabweichung der Normalverteilung	entsprechend der spezifischen Größe

ANMERKUNG Für eine Kurzbeschreibung der im Anwendungsbereich angegebenen Pumpentypen, siehe Anhang B.

Tabelle 2 — Auflistung der als Indizes verwendeten Buchstaben und Ziffern

Index	Bedeutung
1	elektrisch
2	mechanisch
abs	absolut
amb	Umgebung
annual	je Jahr
curve	auf der Ausgleichskurve
BEP	am Bestpunkt
dr	Motor/Antrieb
D	Bezugspunkt
exp	experimentell bestimmt
G	garantiert
H	Förderhöhe der Pumpe
I	Benummerungsindex
J	Benummerungsindex
imp	Laufgrad
man	Herstellung
max	maximal zulässig
mean	Mittelwert einer Pumpenbaureihe
min,requ	mindest erforderlich
N	Nenn-
OL	Überlast(ung)
Pd	vorher festgelegt
P	Leistung
PL	Teillast
Q	Förderstrom (Volumenstrom)
R	zufällig, Zufalls-
S	spezifisch, systematisch
sync	synchron
tot	gesamt
true	wahrer Wert
T	Drehmoment
T	übertragen
v	Dampf
x	der Menge x
y %	für die Wahrscheinlichkeit von y %
η	Effizienz, Wirkungsgrad
hyd	hydraulisch

4 Mindest-Effizienzanforderungen und Mindest-Effizienzindex

4.1 Das Konzept des „Effizienzhauses“

Um das Ziel der Energieeinsparung durch den Austausch von Pumpen mit einer geringeren Energieeffizienz durch Pumpen zu erreichen, die in Bezug auf das Erfüllen der Kriterien der Mindest-Effizienzanforderungen qualifiziert wurden, sind zwei wichtige Aspekte zu berücksichtigen:

- 1) Die erforderlichen Mindestwerte von η_{BEP} müssen durch die Mittelwerte der Pumpengrößen erreicht werden, die die Qualifizierungsprüfung bestanden haben und die in großen Stückzahlen hergestellt und verkauft werden. Deshalb müssen diese Mittelwerte durch angemessene Verfahren bestimmt und anschließend mit erforderlichen Mindestwerten verglichen werden, die auf allgemeinen physikalischen Zusammenhängen (siehe Anhang B) sowie auf der statistischen Auswertung bereits bestehender Pumpen beruhen, die bezüglich der Konstruktion und der Fertigungsqualität dem neuesten Stand der Technik entsprechen (siehe 4.2 und 4.3).
- 2) Nicht nur der η_{BEP} -Wert ist für den Energieverbrauch und die Energieeinsparungen durch Pumpen relevant, sondern auch der Wirkungsgrad in den Teillast- und Überlast-Betriebsbereichen. Dies hat zwei Ursachen:

Das Produktprogramm eines Pumpenherstellers ist für einen bestimmten Pumpentyp — aus ökonomischen Gründen — in eine begrenzte Anzahl verschiedener Pumpengrößen unterteilt, von denen jede einen bestimmten Bereich des Förderstroms Q und der Förderhöhe der Pumpe H abdeckt. Dies führt dazu, dass nicht für jeden Q - H -Betriebspunkt (d. h. der durch den Pumpennutzer festgelegte Betriebspunkt, der im Allgemeinen der wahrscheinlichste Betriebspunkt ist) einer Pumpenanwendung eine Pumpengröße vorliegt, bei der der Bestpunkt mit dem erforderlichen Betriebspunkt identisch ist. Die Auswahl der „besten“ Größe für eine bestimmte Anwendung führt häufig dazu, dass sich der Betriebspunkt nur nahe der konstruktiven Auslegung befindet, d. h. im Teillast- oder Überlastbereich der gewählten Größe. (Für weitere Informationen zu den Aspekten der Pumpenauswahl, siehe Anhang B.)

Selbst wenn der Bestpunkt einer Pumpengröße genau mit einem erforderlichen Betriebspunkt zusammenfällt, wird die Pumpe im Normalfall in einem bestimmten Betriebsbereich betrieben und nicht ausschließlich an diesem Betriebspunkt. Dies kann sich aus Änderungen oder Schwankungen des hydraulischen Widerstandes des Stromkreises ergeben (entweder durch eine sich ändernde Anforderung an den Förderstrom des Systems oder durch Langzeitwirkungen, wie z. B. eine innere Verkrustung der Rohre verursacht), oder, im Falle des Parallelbetriebs von Pumpen, durch sich verändernde Betriebsbedingungen, wenn eine unterschiedliche Anzahl von Pumpen in Betrieb ist.

Daher beruht die Qualifizierung einer Pumpengröße in Bezug auf die Mindest-Effizienzanforderungen auf dem sogenannten Konzept des „Effizienzhauses“, das die beiden Kriterien A und B umfasst.

Kriterium A ist die Mindest-Effizienzanforderung am Bestpunkt (BEP) der Pumpengröße:

A.

$$(\eta_{\text{BEP}})_{\text{mean}} \geq (\eta_{\text{BEP}})_{\text{min,requ}} \quad (1)$$

Kriterium B ist die Mindest-Effizienzanforderung bei festgelegten Betriebspunkten der Pumpengröße unter Teillast (PL) und Überlast (OL):

B.

$$(\eta_{\text{PL}})_{\text{mean}} \geq (\eta_{\text{PL}})_{\text{min,requ}} \quad (2)$$

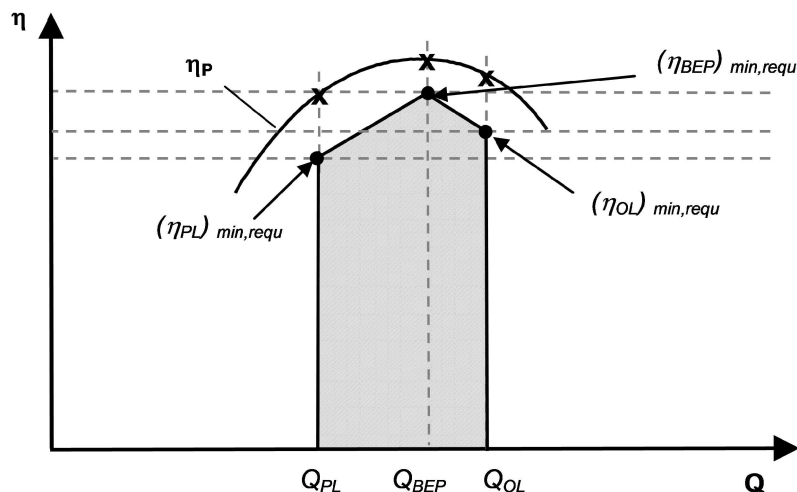
$$(\eta_{\text{OL}})_{\text{mean}} \geq (\eta_{\text{OL}})_{\text{min,requ}} \quad (3)$$

In dieser Norm sind die Betriebspunkte, die für den Wirkungsgrad in den Bereichen der Teillast und der Überlast repräsentativ sein müssen, mit $Q_{PL} = 0,75 Q_{BEP}$ und $Q_{OL} = 1,1 Q_{BEP}$ festgelegt.

Alle Wirkungsgradwerte bezüglich der vorstehend angegebenen Kriterien sind Mittelwerte der Pumpengröße und sind für Pumpen dieser Größe mit vollem Laufraddurchmesser anzusetzen.

Als Folge daraus muss die Kurve des mittleren Wirkungsgrads der Größe ein hohes Maximum und eine große Breite aufweisen, um die Qualifizierungskriterien zu erfüllen.

In Bild 2 sind die beiden Kriterien in Form eines Q - η -Diagramms dargestellt. Um die Qualifizierung zu erhalten, darf die Kurve des mittleren Wirkungsgrads der Größe, deren Maximum am Bestpunkt liegt, nicht in das „Dach“ des „Effizienzhauses“ eindringen.



Legende

η Pumpenwirkungsgrad

Bild 1 — „Effizienzhaus“ — erläuternde Darstellung

4.2 Mathematische Darstellung der Mindest-Effizienzanforderungen

Die Werte der Mindest-Effizienzanforderungen an Pumpengrößen, die die Qualifizierungskriterien A und B erfüllen, beruhen auf wissenschaftlichen Analysen des erreichbaren Wirkungsgrads von Kreiselpumpen sowie auf einer statistischen Auswertung der Daten aus verschiedenen Fragebögen, die im Jahr 2007 an europäische Pumpenhersteller gesendet wurden.

Die zusammengetragenen Daten umfassen alle in den Anwendungsbereich dieser Europäischen Norm fallenden Pumpentypen. Die spezifische Drehzahl n_s der die Datenbank bildenden Pumpen liegt in einem Bereich von 6 bis $110,5 \text{ min}^{-1}$, der Bereich der Förderströme beim Bestpunkt Q_{BEP} beträgt 1,8 bis $1\,200 \text{ m}^3/\text{h}$. Bei den durch die europäischen Pumpenhersteller bereitgestellten Daten wurde davon ausgegangen, dass sie für den vollen Durchmesser der jeweiligen Pumpengrößen gültig sind.

In Bezug auf die allgemeine physikalische Abhängigkeit der erreichbaren Mittelwerte des Wirkungsgrads von den Hauptparametern (siehe Anhang B) wurden die zusammengetragenen Daten für jeden durch den Anwendungsbereich abgedeckten Pumpentyp und jede abgedeckte Nenndrehzahl entsprechend einer Darstellung in der Form $\eta_{BEP} = f(n_s, Q_{BEP})$ geordnet. Diese Korrelation ist durch eine mathematische Gleichung beschrieben (siehe nachstehende Angabe). Die Form dieser Gleichung beruht auf zuvor durchgeführten Untersuchungen. Die verschiedenen Schritte, die durchzuführen sind, um aus den zusammengetragenen Daten die quantitative Beschreibung der Gleichung $\eta_{BEP} = f(n_s, Q_{BEP})$ in Form einer dreidimensionalen quadratischen polynomen Approximation zu bilden, sind im Abschlussbericht der Auswertungsstudie ausführlicher dargestellt.

Die mathematische Gleichung zur Beschreibung der Relation $\eta_{\text{BEP}} = f(n_s, Q_{\text{BEP}})$ ist wie folgt:

$$\eta_{\text{BEP}} = -11,48 \times (\ln(n_s))^2 - 0,85 \times (\ln(Q_{\text{BEP}}))^2 - 0,38 \times \ln(n_s) \times \ln(Q_{\text{BEP}}) + 88,59 \ln(n_s) + 13,46 \times \ln(Q_{\text{BEP}}) - C \quad (4)$$

mit

η_{BEP} in [%];

n_s in [min^{-1}];

Q_{BEP} in [m^3/h];

C: eine Konstante, in [%], die vom Mindest-Effizienzindex (MEI) abhängt, siehe 4.4.

Das nach Gleichung (4) berechnete Ergebnis ist auf die erste Dezimalstelle zu runden.

Der mathematische Gültigkeitsbereich der Gleichung ist wie folgt:

$$6 \text{ min}^{-1} \leq n_s \leq 120 \text{ min}^{-1}$$

$$2 \text{ m}^3/\text{h} \leq Q_{\text{BEP}} \leq 1\,000 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Der physikalische Gültigkeitsbereich der Gleichung ist wie folgt:

$$\eta_{\text{BEP}} \leq 88 \%$$

ANMERKUNG 1 Die Begrenzung des physikalischen Gültigkeitsbereichs auf einen Höchstwert von η_{BEP} ergibt sich aus der Tatsache, dass die hydraulischen und mechanischen Verluste bei kommerziell ausgelegten und hergestellten Kreiselpumpen nicht unter eine Untergrenze sinken können.

ANMERKUNG 2 Eine weitere Verringerung der Verluste würde spezielle Maßnahmen bei Auslegung und Herstellung erfordern, die zu nicht annehmbarem Aufwand und nicht annehmbaren Kosten führen und/oder mit weiteren Anforderungen an den Pumpenbetrieb inkompatibel wären, z. B. mit einer guten Kavitationsleistung und geringen Geräusch- und Schwingungspegeln.

Unter der Annahme, dass keine weiteren Begrenzungen vorliegen, gilt Gleichung (4) für alle in den Anwendungsbereich dieser Europäischen Norm fallenden Pumpentypen, die klares kaltes Wasser fördern. Im Falle von mehrstufigen Pumpen (MS) gilt sie für eine Mindeststufenzahl von 3, im Falle von mehrstufigen Tauchpumpen (MSS) für eine Mindeststufenzahl von 9. Im Allgemeinen gilt die Gleichung für den vollen Laufraddurchmesser einer Pumpengröße.

Die Wirkungsgradwerte betreffen ausschließlich den Pumpenwirkungsgrad und nicht den Gesamtwirkungsgrad, dies gilt sogar im Falle von direktgekoppelten Motor-Pumpenaggregaten.

4.3 Mindest-Wirkungsgrad bei Teillast und Überlast

Die durch die Hersteller bereitgestellten Pumpendaten wurden auch bei ausgewählten Betriebspunkten mit Teillast ($0,75 Q_{\text{BEP}}$) und Überlast ($1,10 Q_{\text{BEP}}$) bewertet.

Koeffizienten der Teil- und Überlast definiert durch

$$x_{\text{PL}} = \frac{\eta_{\text{PL}}}{\eta_{\text{BEP}}}; x_{\text{OL}} = \frac{\eta_{\text{OL}}}{\eta_{\text{BEP}}} \quad (5)$$

wurden für jeden Pumpentyp berechnet. Als Mittelwerte dieser Koeffizienten ergaben sich für als gute Näherungswerte für alle Pumpentypen $x_{\text{PL}} = 0,947$ und $x_{\text{OL}} = 0,985$.

Unter Anwendung der unter 4.2 für η_{BEP} beschriebenen Gleichung sind die Mindest-Effizienzanforderungen für die ausgewählten Betriebspunkte bei Teil- und Überlast wie folgt:

$$(\eta_{PL})_{\min, \text{requ}} = 0,947 \times (\eta_{BEP})_{\min, \text{requ}} \quad (6)$$

$$(\eta_{OL})_{\min, \text{requ}} = 0,985 \times (\eta_{BEP})_{\min, \text{requ}} \quad (7)$$

4.4 Mindest-Effizienzindex

Durch Variieren der Konstanten C in der Gleichung für η_{BEP} werden die sich aus Gleichung (4) ergebenden und für konstante Werte von Q_{BEP} in einem n_s - $\eta_{\min, \text{requ}}$ -Diagramm abgebildeten Kurven in vertikaler Richtung verschoben (siehe Bild 3 für ein Beispiel). Unter Anwendung eines ausgewählten Werts von C für einen Pumpentyp und eine Drehzahl, die innerhalb des Anwendungsbereichs liegen, werden die bereits bestehenden und durch europäische Hersteller gefertigten Pumpen dieses Typs in einen Prozentsatz der Gesamtanzahl der bereits die entsprechenden Mindest-Effizienzanforderungen (in Bezug auf die Kriterien A und B) erfüllenden Pumpengrößen und den (ergänzenden) Prozentsatz der Pumpengrößen aufgeteilt, die diese Anforderungen nicht erfüllen und daher auf dem Markt durch Pumpen ersetzt werden, die in Bezug auf die Kriterien A und B qualifiziert sind. Die quantitativen Auswirkungen der Qualifizierungskriterien (die abschließend durch den Wert C bestimmt werden) auf den Markt und die Energieeinsparungswirkungen sind durch den Mindest-Effizienzindex (MEI) gekennzeichnet. In der statistischen Auswertung wurde der Mindest-Effizienzindex (MEI) so bestimmt, dass sein Wert, multipliziert mit 100, den Prozentsatz der bestehenden Pumpen angibt, die für den entsprechenden Wert C nicht die Qualifizierungskriterien A und B erfüllen. Um zu diesen Ergebnissen zu gelangen, wurden die durch die Pumpenhersteller für jede Pumpe bereitgestellten Daten als repräsentativ für die Gesamtanzahl der Pumpen der entsprechenden Größe mit vollem Laufraddurchmesser angenommen.

Der (wie vorstehend beschrieben definierte) Mindest-Effizienzindex ist ein Maß für die Qualität einer Pumpengröße in Bezug auf den Wirkungsgrad. An der Untergrenze $MEI = 0$ können die entsprechenden Wirkungsgrade der Pumpengrößen auf einem geringen Auslegungs- und Herstellungsniveau erreicht werden. Bei Werten von $MEI > 0,7$ können die entsprechenden Wirkungsgrade der Pumpengrößen nur durch eine sehr spezielle hydraulische Auslegung, die ausschließlich auf einen hohen Wirkungsgrad abzielt, keine weiteren hydraulischen Aspekte, wie z. B. eine gute Kavitationsleistung, berücksichtigt und zusätzlich durch außergewöhnliche Maßnahmen in Bezug auf die mechanische Auslegung und Herstellung erreicht werden. Daher sind MEI-Werte über 0,7 praktisch nicht für in Massenproduktion gefertigte Pumpen erreichbar.

ANMERKUNG Die maximalen Auswirkungen der Verringerung des Energieverbrauchs durch Einsatz von Pumpen mit hohem MEI werden nur erreicht, wenn die Pumpen für die jeweilige Aufgabe sorgfältig ausgewählt werden (siehe Anhang B).

Tabelle 3 enthält die Werte von C für die durch den Anwendungsbereich abgedeckten Pumpentypen und für verschiedene Werte des Mindest-Effizienzindex (MEI).

Tabelle 3 — Werte für die Konstante C für verschiedene Werte des Mindest-Effizienzindex (MEI)

	Mindest-Effizienzindex						
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70
C (ESOB 1450)	132,58	130,68	129,35	128,07	126,97	126,10	124,85
C (ESOB 2900)	135,60	133,43	131,61	130,27	129,18	128,12	127,06
C (ESCC 1450)	132,74	131,20	129,77	128,46	127,38	126,57	125,46
C (ESCC 2900)	135,93	133,82	132,23	130,77	129,86	128,80	127,75
C (ESCCi 1450)	136,67	134,60	133,44	132,30	131,00	130,32	128,98
C (ESCCi 2900)	139,45	136,53	134,91	133,69	132,65	131,34	129,83
C (MS-V 2900)	138,19	135,41	134,89	133,95	133,43	131,87	130,37
C (MSS 2900)	134,31	132,43	130,94	128,79	127,27	125,22	123,84

Beispiele für Wirkungsgradwerte, die sich für bestimmte MEI-Werte aus Gleichung (4) ergeben, sind in den Bildern 3 und 4 dargestellt.

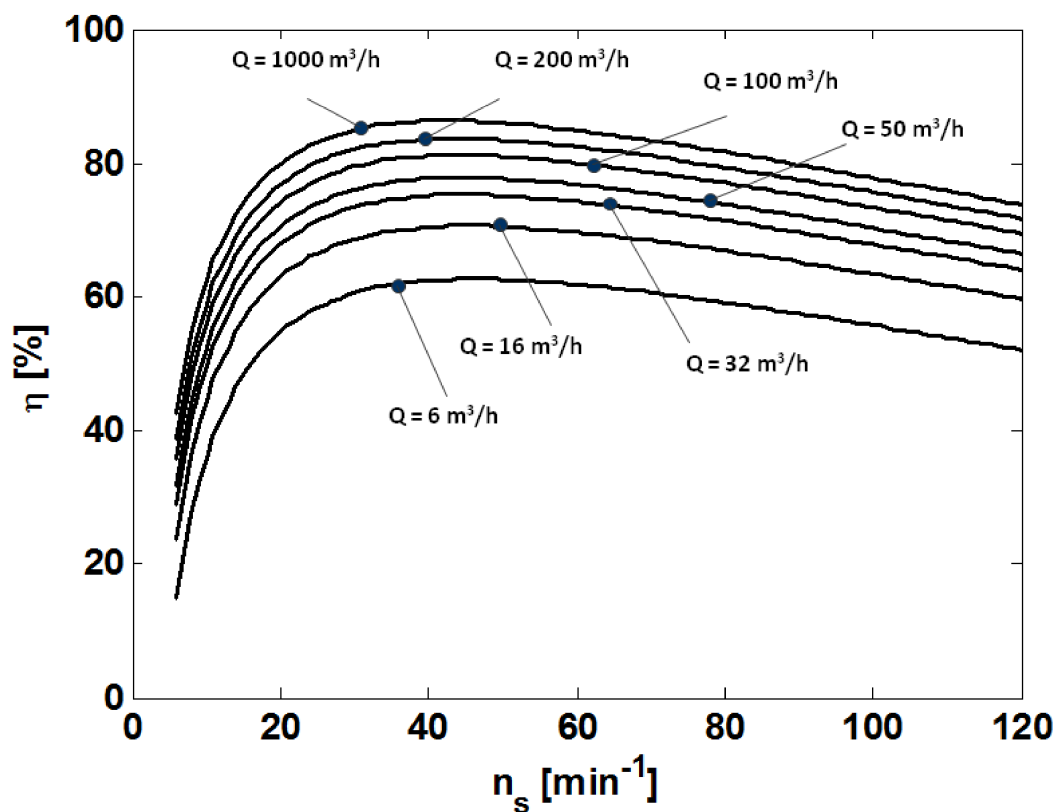


Bild 2 — Zweidimensionale Darstellung von $\eta_{\text{BEP}} = f(n_s, Q_{\text{BEP}})$ für ESOB, $n = 2\,900 \text{ min}^{-1}$ und $\text{MEI} = 0,70$ (siehe Tabelle 3)

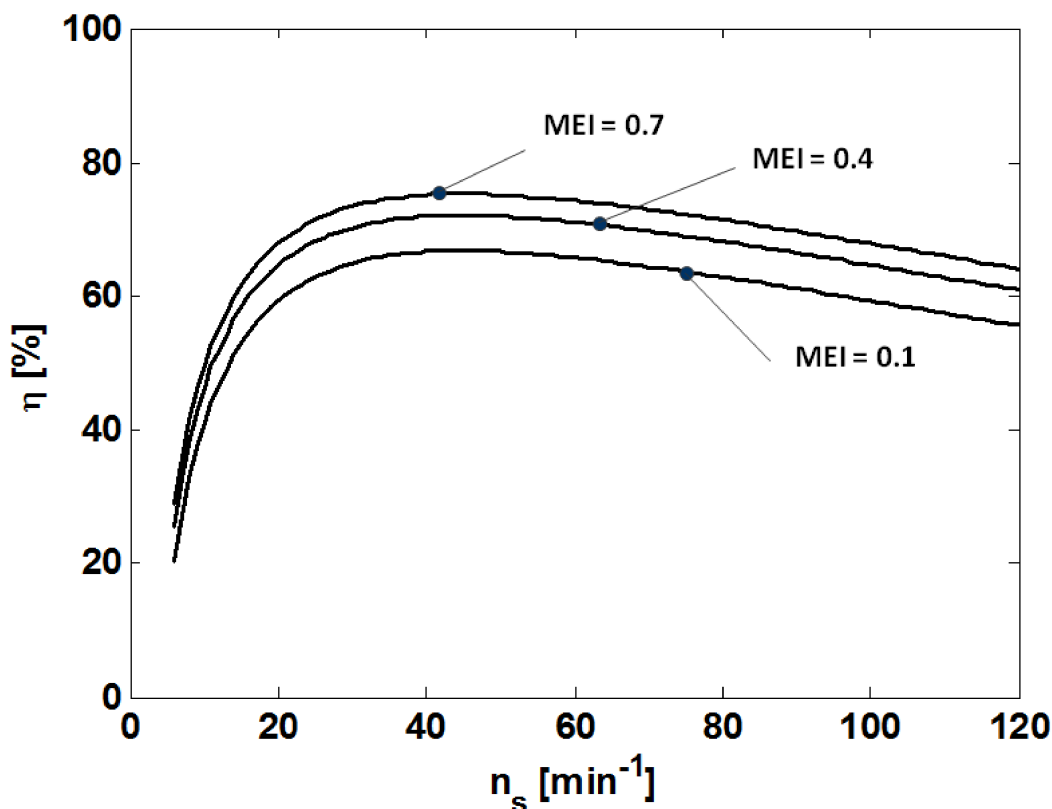


Bild 3 — $\eta_{\text{BEP}} = f(n_s)$ für ESOB mit $Q_{\text{BEP}} = 32 \text{ m}^3/\text{h}$, $2\,900 \text{ min}^{-1}$ und für verschiedene MEI-Werte (siehe Tabelle 3)

Für die Auswahl des MEI-Werts im Rahmen des Qualifizierungsverfahrens gilt Folgendes:

- 1) Der Wert des Mindest-Effizienzindex (MEI) kann durch den Pumpenhersteller ausgewählt (und auf der Grundlage eines Qualifizierungsverfahrens nachgewiesen) werden, um die Qualität einer Pumpengröße in Bezug auf den Wirkungsgrad anzugeben.
- 2) Die Mindestwerte des MEI können durch Gesetze bzw. behördliche oder EU-Verordnungen für die Marktzulassung festgelegt werden, um den Gesamt-Energieverbrauch zu verringern.

Beispiele für graphische Darstellungen eines Pumpentyps und einer Drehzahl sind in den Bildern 3 und 4 angegeben. Bild 3 zeigt die grundsätzliche Abhängigkeit des Werts $\eta_{\text{min,requ}}$ von der spezifischen Drehzahl n_s und vom Förderstrom beim besten Wirkungsgrad Q_{BEP} . In Bild 4 sind die Auswirkungen einer Veränderung des MEI-Werts auf $\eta_{\text{min,requ}}$ dargestellt.

Im Rahmen der Qualifizierung oder Verifizierung einer Pumpengröße müssen die Werte Q_{BEP} und n_s , von denen $\eta_{\text{min,requ}}$ abhängt, selbst durch Prüfungen an Musterpumpen bestimmt werden und sind nicht von vornherein bekannt oder ergeben sich als genaue oder wahre Werte aus den Prüfungen. Die Bestimmung von Q_{BEP} und n_s aus Prüfungen an Musterpumpen unterliegt Auswirkungen der Fertigungstoleranzen innerhalb der Größe (siehe Anhang C) und der Messunsicherheiten (siehe Abschnitt 5). Daher können die Werte von Q_{BEP} und n_s nur innerhalb der Begrenzungen der entsprechenden Toleranz- oder Vertrauensintervalle bestimmt werden. Bei Berechnung von $\eta_{\text{min,requ}}$ nach Gleichung (4) pflanzen sich die Unsicherheiten von Q_{BEP} und n_s in das Ergebnis fort. In dieser Norm wird der Wert $\eta_{\text{min,requ}}$, der unter Anwendung der gemessenen (und, im Falle einer Stichprobe von $M > 1$ Pumpen, arithmetisch gemittelten) Werte von Q_{BEP} und n_s nach Gleichung (4) berechnet wird, als Nennwert der Mindest-Effizienzanforderungen bezeichnet. Die kombinierten Auswirkungen der Fertigungstoleranzen innerhalb der Größe und der Messunsicherheiten werden durch Anwendung einer negativen Gesamttoleranz auf den

Nennwert der Mindest-Effizienzanforderungen $\eta_{\min, \text{requ}}$ berücksichtigt. Die sich aus der Anwendung der negativen Gesamttoleranz auf die Werte $\eta_{\min, \text{requ}}$ ergebenden Werte werden spezifische Schwellenwerte genannt und in den in dieser Norm festgelegten Qualifizierungs- und Verifizierungsverfahren für den Vergleich mit den tatsächlichen Wirkungsgraden von Pumpen der betreffenden Größe verwendet.

ANMERKUNG Die Anwendung einer negativen Gesamttoleranz auf die Nennwerte der Mindest-Effizienzanforderungen entspricht weitgehend der Anwendung einer Gesamttoleranz auf die Garantiewerte der hydraulischen Größen im Verfahren nach EN ISO 9906. Der Unterschied besteht darin, dass in dieser Europäischen Norm die Werte, auf die die Gesamttoleranz angewendet wird, aus Prüfungen resultieren, während sie im Falle der EN ISO 9906 vertraglich festgeschrieben sind

5 Bestimmung des Wirkungsgrads einer Prüfpumpe

5.1 Allgemeines

In diesem Abschnitt werden Leistungsprüfungen und -bewertungen an nach dem Zufallsprinzip aus einer Größengruppe entnommenen Prüfpumpen festgelegt, die durch Folgendes vorgenommen werden:

- eine unabhängige Institution (beispielsweise im Rahmen der Marktüberwachung), um den durch den Hersteller angegebenen Wert des Mindest-Effizienzindex (MEI) zu verifizieren;
- durch einen Hersteller für den Fall, dass er die Entscheidung getroffen hat, die Größe durch Anwendung dieser Prüfungen und Bewertungen in Bezug auf einen bestimmten Wert des Mindest-Effizienzindex (MEI) zu qualifizieren.

Diese Prüfungen und Bewertungen müssen die für das in Abschnitt 6 beschriebene Verifizierungsverfahren oder das in Abschnitt 7 beschriebene Qualifizierungsverfahren erforderlichen Informationen zu den tatsächlichen Leistungswerten der Prüfpumpen liefern. Diese Werte umfassen Folgendes:

- 1) den Förderstrom am Bestpunkt Q_{BEP} , aus dem auch die Werte des Förderstroms Q_{PL} bzw. Q_{OL} bei festgelegten Betriebspunkten unter Teil- bzw. Überlast (unter 4.1 definiert) abgeleitet werden können;
- 2) den maximalen Wirkungsgrad η_{BEP} bei Q_{BEP} und die Werte des Wirkungsgrads η_{PL} und η_{OL} bei den entsprechenden Werten des Förderstroms Q_{PL} und Q_{OL} ;
- 3) die spezifische Drehzahl n_s , die für die Bestimmung der Mindest-Effizienzanforderungen erforderlich ist (siehe 4.2 bis 4.4).

Hinsichtlich der Anforderungen an Prüfaufbauten und Messausrüstung ist EN ISO 9906 anzuwenden.

5.2 Durchführung der Prüfung

Die Prüfung ist nach EN ISO 9906, Klasse 2B, durchzuführen. Die Ausnahme für eine Leistungsaufnahme von 10 kW und darunter (siehe EN ISO 9906:2012, 4.4.2) ist zu ignorieren.

ANMERKUNG 1 Bei Pumpen (P_2) < 1KW wird empfohlen, eine Musteranzahl größer 3 zu prüfen, um eine höhere Zuverlässigkeit bei der Bestimmung der Mittelwerte sicherzustellen.

- 1) Prüfungen sind an Prüfständen des Herstellers oder in Laboratorien und in Übereinstimmung mit den in EN ISO 9906 festgelegten Verfahren und Prüfanordnungen durchzuführen.
- 2) Die Pumpenleistung ist zwischen dem Eintritts- und dem Austrittsflansch der Pumpe zu bestimmen.

Die zur Sicherstellung einer zufriedenstellenden Messung der Leistungsmerkmale erforderlichen Bedingungen sind unter 5.3 festgelegt.

ANMERKUNG 2 Empfehlungen und allgemeine Hinweise zu Rohranordnungen, die sich zur Sicherstellung zufriedenstellender Messungen von Förderstrom und Förderhöhe eignen, sind in EN ISO 9906:2012, Anhang A, angegeben; erforderlichenfalls können sie in Verbindung mit den Internationalen Normen zu den verschiedenen Verfahren der Messung von Förderströmen in geschlossenen Rohrleitungen verwendet werden (siehe EN ISO 9906:2012, Anhang A).

Wie in EN ISO 9906:2012, A.1.4, erläutert, kann die für die Bestimmung des Pumpenwirkungsgrads erforderliche Leistungsaufnahme der Pumpe experimentell bestimmt werden durch

- Messungen der Drehzahl und des Drehmoments oder
- Messungen der elektrischen Leistung.

Im Falle der Bestimmung der Leistungsaufnahme der aus einer Größengruppe entnommenen Prüfpumpen durch Messungen der elektrischen Leistung muss ein Elektromotor verwendet werden, der nach den in EN ISO 9906:2012, A.1.4.3, zitierten IEC- oder IEEE-Normen kalibriert ist und nur unter Bedingungen betrieben wird, bei denen der Motorwirkungsgrad mit ausreichender Genauigkeit bekannt ist.

Im Falle der Prüfung einer Pumpe mit integriertem Elektromotor (wie bei den Pumpentypen ESCC oder MSS) im Rahmen des Verifizierungsverfahrens muss der von der Motorlast abhängige Motorwirkungsgrad auf geeignete Weise festgestellt werden, z. B. durch die vom Motorhersteller bereitgestellten Informationen oder durch Demontage der Prüfpumpe und Kalibrierung des Motors entsprechend den in EN ISO 9906:2012, A.1.4.3, zitierten IEC- oder IEEE-Normen.

Für Größen von mehrstufigen Pumpen, die vom Hersteller mit verschiedenen Anzahlen von Stufen angeboten und verkauft werden, sind die Prüfungen an Prüfpumpen, die (in Bezug auf den Wirkungsgrad) für die Größe repräsentativ sein sollten, an Pumpenversionen mit mindestens 3 Stufen für mehrstufige (nicht tauchfähige) Pumpen (MS-V) und mit mindestens 9 Stufen für mehrstufige Tauchpumpen (MSS) vorzunehmen.

Die für eine bestimmte Pumpengröße entnommenen Prüfpumpen müssen über ein Laufrad mit dem vollen Durchmesser der entsprechenden Pumpengröße verfügen.

ANMERKUNG Die Einstellung einer Pumpe einer gegebenen Größe durch Verkleinern des Laufraddurchmessers verringert den Wirkungsgrad der Pumpe im Vergleich zum Wirkungsgrad bei derselben Pumpengröße mit vollem Durchmesser.

Die Prüfergebnisse sind in einem Bericht (Protokoll) zusammenzufassen. Weitere Hinweise zum Inhalt des Prüfberichts und zu einem geeigneten Pumpenprüfblatt sind in EN ISO 9906:2012, Anhang F, angegeben.

5.3 Prüfbedingungen

Die Prüfungen sind mit reinem kaltem Wasser durchzuführen. Die Dauer der Prüfung muss ausreichen, um wiederholbare Ergebnisse zu erhalten; insbesondere die Auswirkungen des Einlaufens sind zu berücksichtigen.

ANMERKUNG 1 Auswirkungen des Einlaufens können bis zu einem Tag Betriebsdauer in Anspruch nehmen.

Alle Messungen sind unter stationären Bedingungen (siehe 5.4) durchzuführen.

Die Prüfungen sollten unter Bedingungen durchgeführt werden, unter denen das Leistungsverhalten der Pumpe nicht durch Kavitation beeinträchtigt wird.

ANMERKUNG 2 Sofern während der Prüfung ein beträchtliches Maß an Kavitation in der Prüfpumpe vorliegt, kann dies nicht nur zu einer Qualitätsabnahme in der Förderhöhe der Pumpe, sondern auch des Pumpenwirkungsgrads führen, was wiederum zu einer Unterbewertung des Pumpenwirkungsgrads führt.

Für alle Leistungsprüfungen sind mindestens sieben Prüfpunkte innerhalb des Bereichs von 60 % bis 120 % des am BEP erwarteten Förderstroms zu bestimmen. Vier dieser Punkte sind zwischen 60 % und 95 %, zwei zwischen 105 % und 120 % und ein Punkt zwischen 95 % und 105 % des am Bestpunkt erwarteten Förderstroms zu verteilen. Vorzugsweise sollten die Prüfungen bei Drehzahlen n nahe der in der technischen Dokumentation des Herstellers angegebenen Nenndrehzahl n_N ausgeführt werden. Unter bestimmten Umständen, z. B. wenn der Elektromotor mit konstanter Frequenz läuft und seine Drehzahl mit der Belastung durch die Prüfpumpe variiert, die vom Betriebspunkt der Pumpe abhängt, dürfen die Prüfungen bei Drehzahlen durchgeführt werden, die vom Nennwert abweichen. In diesem Fall sollte die Drehzahl bei der Prüfung innerhalb des Bereichs von 80 % bis 110 % der Nenn-Drehzahl liegen, um den Förderstrom, die Förderhöhe der Pumpe und die Leistungsaufnahme zu bestimmen. Bei Prüfung bei anderen Drehzahlen kann der Wirkungsgrad beeinträchtigt werden. Jedoch gilt die Änderung des Wirkungsgrads als vernachlässigbar, sofern die Variation der Drehzahl innerhalb von 20 % der Nenndrehzahl liegt.

In bestimmten Fällen ist die Pumpenwelle nicht für die Messung der Drehzahl zugänglich, z. B. bei mehrstufigen Tauchpumpen, und/oder wenn in der technischen Dokumentation des Herstellers für die Pumpengröße eine elektrische Nennfrequenz f_N anstelle einer Nenndrehzahl angegeben wird. In diesen Fällen sind die Prüfungen bei einer elektrischen Versorgungsfrequenz f durchzuführen, die um nicht mehr als 1 % von der Nennfrequenz f_N abweicht. Die in der Prüfung angewendete elektrische Versorgungsspannung U darf nicht mehr als 5 % über- oder unterhalb der Spannung liegen, auf der die in der technischen Dokumentation der Hersteller angegebenen Kenngrößen beruhen.

5.4 Messunsicherheiten

5.4.1 Relevanz

In der Tabelle 5 bzw. den Tabellen 6 und 7 sind die maximal zulässigen Werte für die Messgeräteunsicherheit und die Gesamtunsicherheit angegeben. Die in diesen Tabellen angegebenen Werte sind in Analogie zu den in EN ISO 9906, Klasse 2, für Pumpenabnahmeprüfungen angegebenen Werten festgelegt. Bei der Durchführung von Prüfungen nach Abschnitt 7 dieser Europäischen Norm müssen sie erreicht werden.

ANMERKUNG 1 Bei Prüfungen, die von einem Pumpenhersteller mit dem Ziel der Qualifizierung einer Pumpengröße durchgeführt werden, ist es aus den in Abschnitt 6 beschriebenen Kriterien und Verfahren offensichtlich, dass es in Bezug auf die Erfüllung der Qualifizierungskriterien von Vorteil ist, eine möglichst geringe Breite des Vertrauensintervalls der mittleren Wirkungsgrade der Größe zu haben. Unabhängig davon, welches Verfahren der Hersteller anwendet, um die Mittelwerte und deren Vertrauensintervalle zu bestimmen, die für den Nachweis der Erfüllung der Qualifizierungskriterien erforderlich sind, wird empfohlen, dass der Hersteller zufällige und systematische Messunsicherheiten erreicht, die so klein wie möglich sind (siehe Anhang G).

ANMERKUNG 2 Bei Prüfungen, die von einer unabhängigen Institution im Rahmen des Verifizierungsverfahrens nach Abschnitt 6 vorgenommen werden, ist die Situation anders. Jede für die Verifizierungsprüfungen ausgesuchte Prüfpumpe muss individuell in Bezug auf ihren Wirkungsgrad bewertet und beurteilt werden. Die sich aus den Prüfungen ergebenden Wirkungsgrade müssen mit den entsprechenden spezifischen Mindest-(Schwellen-)werten verglichen werden, die teilweise in denselben Prüfungen erhalten wurden. In diesem Fall ist das „Bestanden oder Nicht bestanden“-Ergebnis stark von den Gesamt-Messunsicherheiten abhängig. Daher müssen, um den Einfluss der Messunsicherheiten auf das Ergebnis der Verifizierung zu neutralisieren, die in dieser Europäischen Norm festgelegten maximal zulässigen Messunsicherheiten erfüllt und mithilfe von Prüfungen nachgewiesen werden, die auf die Verifizierung des durch den Hersteller angegebenen Werts des Mindest-Effizienzindex (MEI) abzielen.

5.4.2 Schwankungen

Die in Tabelle 5 angegebenen Schwankungen dürfen nicht überschritten werden. Wenn eine Dämpfungsvorrichtung vorgesehen wird, dann muss diese für eine Integration über mindestens einen vollständigen Schwankungszyklus sorgen.

Tabelle 4 — Zulässige Amplitude der Schwankung als prozentualer Anteil des Mittelwerts der gemessenen Größe

Gemessene Größe	Zulässige Amplitude der Schwankungen %
Förderstrom	± 3
Differenzdruck	± 4
Förderdruck	± 3
Ansaugdruck	± 3
Leistungsaufnahme des Motors	± 3
Drehzahl	± 1
Drehmoment	± 3
Temperatur	0,3 °C

5.4.3 Statistische Auswertung der Gesamtmessunsicherheit

5.4.3.1 Abschätzung der Zufallskomponente (zufällige Unsicherheit)

Die Zufallskomponente, entweder aufgrund der Eigenschaften des Messsystems oder der Schwankungen der gemessenen Größe oder von beidem, folgt direkt aus der Steuerung der Messungen. Im Gegensatz zur systematischen Unsicherheit kann die Zufallskomponente durch Erhöhung der Anzahl der Messungen derselben Größe unter denselben Bedingungen reduziert werden.

Die zufällige Unsicherheit muss die Gesamtunsicherheit e_R zulassen, ohne die in Tabelle 6 angegebenen Grenzwerte zu überschreiten.

5.4.3.2 Maximal zulässige Messgeräteunsicherheit (systematische Unsicherheit)

Für Prüfungen nach Abschnitt 5 dieser Norm enthält die nachfolgende Tabelle 5 Werte für die maximal zulässige (relative) Messgeräteunsicherheit $e_{s,max}$.

Die Werte aus Tabelle 5 sind auf alle Betriebspunkte der Prüfungen anzuwenden.

ANMERKUNG Die Werte in der Tabelle 5 entsprechen den Werten für die relative Messgeräteunsicherheit in EN ISO 9906:2012, Tabelle 5, für die Abnahmeprüfungen nach Klasse 2.

In EN ISO 9906, A.1, werden verschiedene Verfahren der Messung sowie Geräte beschrieben, die typischerweise eingesetzt werden, um den Förderstrom, die Förderhöhe der Pumpe, die Drehzahl und die Leistungsaufnahme der Pumpe innerhalb des erforderlichen Genauigkeitsbereichs zu bestimmen.

Tabelle 5 — Maximal zulässige Messgeräteunsicherheit $e_{s,max}$ als prozentualer Anteil des arithmetisch gemittelten Werts für die gemessene Größe

Gemessene Größe	Maximal zulässige Messgeräteunsicherheit $e_{s,max}$
Förderstrom	$\pm 2,5 \%$
Differenzdruck	$\pm 2,5 \%$
Förderdruck	$\pm 2,5 \%$
Ansaugdruck	$\pm 2,5 \%$
Leistungsaufnahme des Motors	$\pm 2,0 \%$
Drehzahl	$\pm 1,4 \%$
Drehmoment	$\pm 2,0 \%$
Temperatur	$\pm 1,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$

5.4.3.3 Die Gesamtunsicherheit

Der Wert für die Gesamtunsicherheit e wird bestimmt durch:

$$e = \sqrt{e_R^2 + e_S^2} \quad (8)$$

Zulässige Werte für die Gesamtmessunsicherheiten e werden in der Tabelle 6 angeführt.

Tabelle 6 — Zulässige Werte für die Gesamtunsicherheiten

Größe	Symbol	%
Volumenstrom	e_Q	$\pm 3,5$
Drehzahl	e_n	$\pm 2,0$
Drehmoment	e_T	$\pm 3,0$
Förderhöhe der Pumpe	e_H	$\pm 3,5$
Leistungsaufnahme des Motors	e_{P1}	$\pm 3,5$
Leistungsaufnahme der Pumpe (berechnet aus Motorleistung und Motorwirkungsgrad)	e_P	$\pm 4,0$

5.4.3.4 Bestimmung der Gesamtunsicherheit des Wirkungsgrads

Wenn der Wirkungsgrad aus Drehmoment und Drehzahl berechnet wird:

$$e = \sqrt{e_Q^2 + e_H^2 + e_T^2 + e_n^2} \quad (9)$$

Wenn der Wirkungsgrad aus der Leistungsaufnahme der Pumpe berechnet wird:

$$e_l = \sqrt{e_Q^2 + e_H^2 + e_P^2} \quad (10)$$

Bei Verwendung der Werte in Tabelle 6 führen die Berechnungen zu den Ergebnissen in Tabelle 7.

Tabelle 7 — Resultierende größte Werte der Gesamtunsicherheiten des Wirkungsgrads

Größe	Symbol	%
Pumpenwirkungsgrad (berechnet aus Q, H, M, n)	e_l	$\pm 6,1$
Pumpenwirkungsgrad (berechnet aus Q, H, P_1, l_{dr})	e_l	$\pm 6,4$

5.5 Auswertung der Prüfdaten

5.5.1 Umwandlung der Prüfergebnisse in die Nenndrehzahl oder die elektrische Nennfrequenz

Die Umwandlung der Prüfergebnisse in die Nenndrehzahl oder die elektrische Nennfrequenz muss EN ISO 9906 entsprechen.

Fall 1: In den Katalogen des Herstellers ist eine Nenndrehzahl n_N angegeben:

Alle bei einer von der Nenndrehzahl n_N abweichenden tatsächlichen Drehzahl n erhaltenen Prüfdaten sind in die Nenndrehzahl n_N umzuwandeln.

Sofern die Abweichung der Prüfdrehzahl n von der Nenndrehzahl n_N nicht die unter 5.3 angegebenen zulässigen Schwankungen überschreitet, können die durch Messung erhaltenen Daten zu Förderstrom Q , Förderhöhe der Pumpe H , Leistungsaufnahme der Pumpe P und Pumpenwirkungsgrad η (in Übereinstimmung mit den hydrodynamischen Ähnlichkeitsgesetzen) nachfolgenden Gleichungen umgewandelt werden:

$$Q_t = Q \times \frac{n_N}{n} \quad (11)$$

$$H_t = H \times \left(\frac{n_N}{n}\right)^2 \quad (12)$$

$$P_t = P \times \left(\frac{n_N}{n}\right)^3 \quad (13)$$

$$\eta_t = \eta \quad (14)$$

Fall 2: In den Katalogen des Herstellers sind eine Nennfrequenz f_N und eine elektrische Nenn-Versorgungsspannung U_N angegeben:

Alle bei einer von der elektrischen Nennfrequenz f_N abweichenden tatsächlichen elektrischen Frequenz f bei der Pumpenprüfung erhaltenen Prüfdaten sind in die Nennfrequenz f_N umzuwandeln.

Sofern die Abweichung der elektrischen Frequenz f bei der Pumpenprüfung von der Nennfrequenz f_N sowie die Abweichung der elektrischen Spannung U bei der Pumpenprüfung vom in den Katalogen angegebenen Wert nicht die unter 5.3 angegebenen zulässigen Schwankungen überschreitet, können die durch Messung erhaltenen Daten zu Förderstrom Q , Förderhöhe der Pumpe H , Leistungsaufnahme der Pumpe P und Pumpenwirkungsgrad η (in Übereinstimmung mit den hydrodynamischen Ähnlichkeitsgesetzen) nach folgenden Gleichungen umgewandelt werden:

$$Q_t = Q \times \frac{f_N}{f} \quad (15)$$

$$H_t = H \times \left(\frac{f_N}{f}\right)^2 \quad (16)$$

$$P_t = P \times \left(\frac{f_N}{f}\right)^3 \quad (17)$$

$$\eta_t = \eta \quad (18)$$

5.5.2 Leistungskennlinien

Um die Daten zu bestimmen, die für das Qualifizierungs- oder Verifizierungsverfahren erforderlich sind (Q_{BEP} , Q_{PL} , Q_{OL} , die entsprechenden Werte des Wirkungsgrads η_{BEP} , η_{PL} und η_{OL} sowie die spezifische Drehzahl n_s), müssen zuerst Leistungskennlinien der Förderhöhe H gegen den Förderstrom Q sowie des Wirkungsgrads η gegen den Förderstrom Q erstellt werden. Hierbei muss es sich um Ausgleichskurven in Bezug auf die gemessenen Punkte handeln.

Diese Kennlinien müssen die Bedingung der „kleinsten Quadrate“ erfüllen, d. h. die Bedingung, dass die Summe der ins Quadrat gesetzten Abweichungen der Messwerte für H bzw. η von den entsprechenden Werten der Ausgleichskurve bei denselben Förderströmen mindestens wie folgt ist:

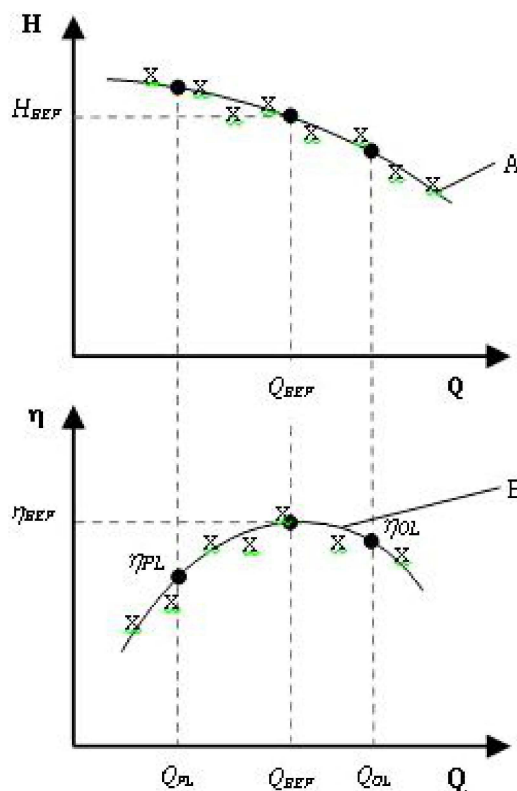
$$\sum_{j=1}^k [H_j(Q_j) - H_{\text{Kennlinie}}(Q_j)]^2 = \min \quad (19)$$

$$\sum_{j=1}^k [\eta_j(Q_j) - \eta_{\text{Kennlinie}}(Q_j)]^2 = \min \quad (20)$$

Für die Bestimmung des BEP, PL und OP entsprechenden Förderstroms muss die Förderstrom-Wirkungsgrad-Ausgleichskurve durch einen geeigneten mathematischen Ausdruck repräsentiert sein. Im Bereich der Förderströme von PL bis OL darf die durch den mathematischen Ausdruck repräsentierte Kennlinie nur einen Höchstwert aufweisen, und die zweite Ableitung des mathematischen Ausdrucks muss negativ sein. Angemessene Verfahren zur Erstellung der Förderstrom-Wirkungsgrad-Ausgleichskurve sind z. B. Polynome dritten Grades oder Spline-Funktionen. Alternativ kann der den Prüfberichten des Herstellers entnommene Nennwert für den besten Förderstrom ausgewählt werden, sofern vorhanden. Dieser mathematische Ausdruck muss folgende Bedingungen erfüllen:

- im Bereich der Förderströme von $Q = Q_{PL}$ bis $Q = Q_{OL}$ darf die durch den mathematischen Ausdruck repräsentierte Kennlinie nur ein Maximum aufweisen und die zweite Ableitung des mathematischen Ausdrucks muss negativ sein.

Nachdem die Ausgleichskurven erstellt wurden, müssen sie zusammen mit den gemessenen Prüfpunkten in einem Q - H - und einem Q - η -Diagramm abgebildet werden, siehe Bild 5.



Legende

- X Messpunkte
- für die Qualifizierung oder Verifizierung relevante Werte
- A Q-H-Ausgleichskurve
- B Q-η-Ausgleichskurve

Bild 4 — Leistungskennlinien mit den für die Qualifizierung oder Verifizierung relevanten Werten

5.5.3 Bestimmung der für die Qualifizierung oder Verifizierung relevanten Werte

Der nächste Schritt besteht in der Bestimmung von Q_{BEP} und η_{BEP} . Q_{BEP} ist der Wert des Förderstroms, der dem Maximum der Ausgleichskurve im Q - η -Diagramm entspricht. Dieses Maximum erfüllt folgende mathematische Bedingung:

$$\frac{d\eta}{dQ} = 0 \quad (21)$$

Aus der Ausgleichskurve (am einfachsten aus deren mathematischem Ausdruck) wird der η_{BEP} entsprechende Wert Q_{BEP} bestimmt.

Die Werte für Q_{PL} und Q_{OL} ergeben sich durch Multiplikation von Q_{BEP} mit dem Faktor 0,75 bzw. 1,1. Die entsprechenden Werte von η_{PL} und η_{OL} werden aus der Ausgleichskurve (am einfachsten aus deren mathematischem Ausdruck) bestimmt. Diese Werte werden ebenfalls in Bild 5 abgebildet.

Für die Bestimmung der spezifischen Drehzahl n_s und für die Bestimmung der tatsächlich vorliegenden Gesamt-Messunsicherheiten der Wirkungsgrade η_{BEP} , η_{PL} und η_{OL} (siehe Anhang G) sind auch die Werte der Pumpenförderhöhe H_{BEP} bei Q_{BEP} , H_{PL} bei Q_{PL} und H_{OL} bei Q_{OL} erforderlich. Diese können der Q - H -Ausgleichskurve bei den entsprechenden Werten des Förderstroms entnommen werden (siehe Bild 5).

ANMERKUNG Es ist wichtig, zu beachten, dass die auf die vorstehend beschriebene Weise bestimmten Werte von η_{BEP} , η_{PL} und η_{OL} nicht die wahren Werte dieser Wirkungsgrade sind, sondern die Mittelpunkte der entsprechenden Vertrauensintervalle, auf die die wahren Werte mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % begrenzt sind. Innerhalb dieser Vertrauensintervalle hat jeder Wert die gleiche Gültigkeit. Zu Einzelheiten zur Bestimmung der tatsächlich vorliegenden Gesamt-Messunsicherheiten und den Vertrauensintervallen der Wirkungsgrade, siehe Anhang D.

Um die mindestens erforderlichen Wirkungsgradwerte zu bestimmen (siehe Abschnitte 4, 6 und 7), ist auch die spezifische Drehzahl n_s erforderlich. Die spezifische Drehzahl n_s ist durch folgende Gleichung definiert:

$$n_s = n_N \times \frac{\sqrt{Q_{\text{BEP}}}}{H_{\text{BEP}}^{0,75}} \quad (22)$$

Die Einheiten sind $[\text{min}^{-1}]$ für n_s und n_N , $[\text{m}^3/\text{s}]$ für Q_{BEP} und $[\text{m}]$ für H_{BEP} .

H_{BEP} ist der Wert auf der Q - H -Ausgleichskurve an dem Punkt, an dem $Q = Q_{\text{BEP}}$ ist (siehe Bild 5).

Bei mehrstufigen Pumpen ist H_{BEP} die Förderhöhe je Stufe, d. h. die Förderhöhe der Pumpe dividiert durch die Anzahl der Stufen i .

Wenn sich die Messung der Drehzahl als unangemessen schwierig gestaltet, z. B. bei unzugänglicher Welle im Falle einer mehrstufigen Tauchpumpe, wird ein Schlupf von 3 % für die Drehzahl am Punkt des höchsten Wirkungsgrads der Pumpe angenommen.

5.5.4 Verfahren der Prüfung und/oder Bewertung von speziellen Pumpentypen

5.5.4.1 Allgemeines

Für spezielle in den Anwendungsbereich dieser Norm fallende Pumpentypen sind jeweils die Verfahren und Prüfungen nach 5.5.4.2 bis 5.5.4.4 anzuwenden.

5.5.4.2 Von 1 450 min⁻¹ oder 2 900 min⁻¹ abweichende Nenndrehzahlen

Für diese Pumpen ist eine der beiden folgenden Prüfoptionen anzuwenden:

- 1) Pumpen werden bei ihrer Nenndrehzahl geprüft. Die Berechnung der Mindest-Effizienzanforderungen bzw. des Mindest-Effizienzindex ist auf der Grundlage der Gleichung (4) vorzunehmen. Der C-Wert (nach Tabelle 3) ist mit 1 450 min⁻¹ bzw. 2 900 min⁻¹ anzusetzen, je nachdem, welcher Wert näher an der Nenndrehzahl der geprüften Pumpengröße liegt.
- 2) Pumpen werden bei 1 450 min⁻¹ oder 2 900 min⁻¹ geprüft. Es sind die entsprechenden C-Werte (nach Tabelle 3) zu verwenden.

ANMERKUNG 1 Nur für 2): Prüfung und Bewertung erfolgen unter der Annahme, dass diese Pumpengröße für die jeweilige Prüfdrehzahl ausgelegt ist.

ANMERKUNG 2 Typische Beispiele sind Pumpen mit Antrieb über sechspolige Motoren oder Synchronmotoren mit Dauermagneten.

5.5.4.3 Doppelkopfpumpen (ESCCi mit zwei Laufrädern)

Doppelkopfpumpen sind unter Einbau einer der Motor-/Laufrad-Sätze in ein geeignetes Pumpengehäuse des Typs ESCCi zu prüfen. Der C-Wert (nach Tabelle 3) ist entsprechend dem/der jeweiligen ESCCi-Pumpentyp und -drehzahl auszuwählen.

ANMERKUNG Pumpen mit einem einzelnen Saugstutzen und zwei Laufrädern in „Rücken-an-Rücken“ Anordnung sind keine Doppelkopfpumpen

5.5.4.4 Pumpen, die mehr als einer Typdefinition entsprechen

Bei Pumpentypen, auf die mehr als eine Typdefinition anwendbar ist, entscheidet der Typ des Pumpengehäuses über die Auswahl des C-Werts (nach Tabelle 3).

6 Nachweis des Mindest-Effizienzindex einer Pumpengröße

6.1 Allgemeine Bemerkungen

Es bestehen zwei Möglichkeiten der Angabe der Informationen zum Mindest-Effizienzindex (MEI) einer Pumpengröße, die durch den Hersteller auf den Typschildern und/oder in der technischen Dokumentation:

- 1) Die Konformität mit den gesetzlich festgeschriebenen Anforderungen an den MEI-Wert wird durch die Information angegeben, dass der MEI mindestens gleich dem oder höher als der MEI_{min} ist, wobei der MEI_{min} gesetzlich festgeschrieben ist (z. B. „ $MEI \geq 0,40$ “, sofern $MEI_{min} = 0,4$).
- 2) Es wird der Zahlenwert angegeben, der nach dieser Europäischen Norm bestimmt wurde (z. B. „ $MEI \geq 0,47$ “).

Beide Möglichkeiten der Angabe gelten für die **Mittelwerte** (mean) des Wirkungsgrads der Größe bei BEP, PL und OL, und der Hersteller muss nachweisen, dass die Werte $\eta_{BEP,mean}$, $\eta_{PL,mean}$ und $\eta_{OL,mean}$ die in Abschnitt 4 definierten Kriterien **mit ausreichend hoher Wahrscheinlichkeit** erfüllen.

- 3) Um die Konformität mit den gesetzlich festgeschriebenen Anforderungen an den MEI-Wert nachzuweisen, sind Prüfungen und Bewertungen nach Abschnitt 5 an Musterpumpen durchzuführen, die nach dem Zufallsprinzip aus der Größengruppe entnommen wurden, und es sind die Mittelwerte des Wirkungsgrads bei BEP, PL und OL zu bestimmen (beispielsweise nach der Beschreibung in Abschnitt 5).

Anschließend ist der MEI-Wert wie in 6.2 beschrieben zu berechnen.

$$MEI \geq MEI_{min} \quad (23)$$

Dabei ist

MEI_{min} gesetzlich festgeschrieben.

- 4) Um die Gültigkeit eines angegebenen MEI-Zahlenwerts nachzuweisen, der höher ist als der gesetzlich vorgeschriebene Mindestwert, ist die Bestimmung des angegebenen MEI-Werts durch Prüfungen und Bewertungen nach Abschnitt 5 und Berechnungen nach 6.2 durchzuführen.

ANMERKUNG Beim Verifizierungsverfahren nach Abschnitt 7 wird eine Toleranz von $t_\eta = -5\%$ auf die Werte $\eta_{min,requ}$ angewendet, die nach Gleichung (4) für den gesetzlich geforderten oder durch den Hersteller angegebenen MEI-Wert berechnet werden. Diese Toleranz ist **nicht Bestandteil** des Verfahrens für Bestimmung und Nachweis des MEI-Werts einer Pumpengröße durch den Hersteller.

6.2 Bestimmung des Mindest-Effizienzindex einer Pumpengröße

Die für die Bestimmung des MEI-Werts einer Pumpengröße erforderlichen Werte sind die folgenden:

- die Nenndrehzahl n_N ;
- die Mittelwerte des Förderstroms $Q_{\text{BEP,mean}}$ und der Pumpenförderhöhe $H_{\text{BEP,mean}}$ beim Bestpunkt BEP, die sich aus Prüfungen und Bewertungen ergeben, die nach Abschnitt 5 und gegebenenfalls Anhang D durchgeführt wurden;
- die Mittelwerte des Wirkungsgrads $\eta_{\text{BEP,mean}}$, $\eta_{\text{PL,mean}}$ und $\eta_{\text{OL,mean}}$, die sich aus Prüfungen und Bewertungen ergeben, die nach Abschnitt 5 und gegebenenfalls Anhang D durchgeführt wurden;
- die nach 5.5.3 aus n_N , $Q_{\text{BEP,mean}}$ und $H_{\text{BEP,mean}}$ berechnete spezifische Drehzahl $n_{\text{s,mean}}$.

Der MEI-Wert wird dann wie folgt bestimmt:

Schritt 1: Die Hilfsfunktion F_η wird wie folgt berechnet:

$$F_\eta = -11,48 \left(\ln(n_{\text{s,mean}}) \right)^2 - 0,85 \left(\ln(Q_{\text{BEP,mean}}) \right)^2 - 0,38 \left(\ln(n_{\text{s,mean}}) \right) \times \ln(Q_{\text{BEP,mean}}) + 88,59 \left(\ln(n_{\text{s,mean}}) \right) + 13,46 \left(\ln(Q_{\text{BEP,mean}}) \right) \quad (24)$$

mit

$$n_{\text{s,mean}} \text{ in } [\text{min}^{-1}]$$

$$Q_{\text{BEP,mean}} \text{ in } [\text{m}^3/\text{h}]$$

Der nach Gleichung (24) berechnete Wert von F_η muss auf die zweite Dezimalstelle gerundet werden.

Schritt 2: Für jeden mittleren Wirkungsgradwert bei BEP, PL und OL wird wie folgt ein entsprechender C-Wert berechnet:

$$C_{\text{BEP}} = F_\eta - \eta_{\text{BEP,mean}} \quad (25)$$

$$C_{\text{PL}} = F_\eta - \frac{\eta_{\text{PL,mean}}}{0,947} \quad (26)$$

$$C_{\text{OL}} = F_\eta - \frac{\eta_{\text{OL,mean}}}{0,985} \quad (27)$$

Schritt 3: Die nach den Gleichungen (25) bis (26) berechneten Werte müssen auf die zweite Dezimalstelle gerundet werden. Der größte der drei Werte C_{BEP} , C_{PL} und C_{OL} wird als Wert C_{MEI} angesetzt, der zur Berechnung des tatsächlichen MEI-Werts dient:

$$C_{\text{MEI}} = \max(C_{\text{BEP}}, C_{\text{PL}}, C_{\text{OL}}) \quad (28)$$

Schritt 4: Der C_{MEI} entsprechende MEI-Wert wird durch lineare Interpolation zwischen den benachbarten Werten in Tabelle 3 berechnet. Zu diesem Zweck werden aus Tabelle 3 die in der Zeile für Pumpentyp und Nenndrehzahl der Pumpengröße angegebenen benachbarten Werte Clinks und Crechts links und rechts von C_{MEI} sowie die Clinks und Crechts entsprechenden Werte MEIlinks und MEIrechts entnommen. Schließlich wird der MEI-Wert der Pumpengröße wie folgt berechnet:

$$\text{MEI} = (\text{MEI}_{\text{rechts}} - \text{MEI}_{\text{links}}) \times \frac{C_{\text{MEI}} - C_{\text{links}}}{C_{\text{rechts}} - C_{\text{links}}} + \text{MEI}_{\text{links}} \quad (29)$$

Da in Tabelle 3 die Differenz $MEI_{rechts} - MEI_{links}$ im Allgemeinen 0,1 entspricht, kann Gleichung (26) wie folgt vereinfacht werden:

$$MEI = 0,1 \times \frac{C_{MEI} - C_{links}}{C_{rechts} - C_{links}} + MEI_{links} \quad (30)$$

Der nach Gleichung (29) oder (30) berechnete MEI-Wert der Pumpengröße ist auf die zweite Dezimalstelle zu runden.

7 Verifizierung des Mindest-Effizienzindex für eine Pumpengröße

7.1 Allgemeine Bemerkungen

Wenn ein Hersteller eine Pumpengröße, wie in Abschnitt 6 beschrieben, qualifiziert hat, sind möglicherweise eine Überprüfung und eine Bestätigung des Ergebnisses der Qualifizierung durch eine unabhängige Institution erforderlich, z. B. im Rahmen der Marktüberwachung. In dieser Europäischen Norm wird dies als Verifizierung des MEI-Werts bezeichnet.

Üblicherweise ist der mindestens erforderliche MEI-Wert gesetzlich vorgeschrieben, z. B. $MEI \geq 0,40$.

Der durch den Hersteller angegebene MEI-Zahlenwert, der höher ist als der gesetzlich geforderte, ist als Zahl mit zwei Dezimalstellen nach dem Komma anzugeben, z. B. $MEI \geq 0,47$.

Unter 7.2 wird das Verfahren beschrieben, das in dem Falle anzuwenden ist, dass die Konformität mit den gesetzlichen Anforderungen an den MEI oder die Gültigkeit des durch den Hersteller angegebenen MEI-Zahlenwerts durch Prüfungen an Pumpen dieser Größe verifiziert werden muss. Dieses Verifizierungsverfahren verwendet eine begrenzte Anzahl an Prüfpumpen und Prüfungen. Das Verfahren beruht auf einfachen Bestanden-/Nicht-bestanden-Prüfungen und einem „Entscheidungsbaum“. In Anhang H sind einige Erläuterungen hinsichtlich der Methodik und der Wahrscheinlichkeit der Ergebnisse angegeben.

Eine Alternative zum unter 7.2 beschriebenen Verifizierungsverfahren liegt vor, wenn der Hersteller entweder nachgewiesen hat, dass die mittleren Wirkungsgrade der Pumpengröße die gesetzlichen Anforderungen an den MEI nach Abschnitt 6 erfüllen, oder nach Abschnitt 5 den angegebenen MEI-Zahlenwert bestimmt hat, der höher liegt als der gesetzlich geforderte Mindestwert, und das angewendete Qualifizierungsverfahren vollständig dokumentiert hat. Das angewendete Verfahren kann aus Prüfungen und Bewertungen nach Abschnitt 5 und der Anwendung eines der in Abschnitt 7 beschriebenen oder anderer durch den Hersteller gewählter Verfahren bestehen. Die Dokumentation sollte durch den Hersteller der unabhängigen Institution zum Zwecke der Verifizierung auf Verlangen vorgelegt werden. Wird die Dokumentation durch die unabhängige Institution zugelassen, ist die Konformität mit den gesetzlichen Anforderungen an den MEI oder die Gültigkeit des angegebenen MEI-Zahlenwerts zu bestätigen und die Qualifizierung der Pumpengröße wird als verifiziert angesehen.

7.2 Verfahren und Entscheidung

Die gesamte Methodik und das gesamte Verfahren der Verifizierung bestehen aus verschiedenen Schritten:

- 1) Eine Einzelpumpe wird, wie nachfolgend beschrieben, nach dem Zufallsprinzip aus der Größengruppe entnommen und in Bezug auf den entsprechenden Mindest-Effizienzindex (MEI) geprüft, bewertet und beurteilt.
- 2) Sofern die Einzelpumpe das nachfolgend beschriebene Kriterium bestanden hat, ist der Wert des Mindest-Effizienzindex (MEI) der untersuchten Größe bestätigt.
- 3) Sofern die Wirkungsgrade der ersten Einzelpumpe die entsprechenden Schwellenwerte nicht erreichen, werden drei weitere Einzelpumpen nach dem Zufallsprinzip aus der Größengruppe entnommen sowie geprüft und bewertet, wie beschrieben.

Die Werte von QBEP, η_{BEP} , η_{PL} , η_{OL} und n_s müssen für alle drei geprüften Pumpen bestimmt werden. Aus diesen Werten wird der Wert für MEI nach Gleichungen (29) und (30) bestimmt. Die drei abgeleiteten MEI-Werte müssen arithmetisch nach Gleichung (28) gemittelt werden.

$$\bar{\eta}_{BEP} = \frac{1}{3} \cdot \sum_{i=1}^3 \eta_{BEPi} ; \quad \bar{\eta}_{PL} = \frac{1}{3} \cdot \sum_{i=1}^3 \eta_{PLi} ; \quad \bar{\eta}_{OL} = \frac{1}{3} \cdot \sum_{i=1}^3 \eta_{OLi} \quad (31)$$

- 4) Auch die „MEI aus dem Durchschnitt von drei“ in Bezug auf das nachfolgend beschriebene Kriterium versagt, wird die Verifizierung der untersuchten Größe für den gesetzlich geforderten oder durch den Hersteller angegebenen Mindest-Effizienzindex (MEI) definitiv zurückgewiesen.
- 5) Hat die „MEI aus dem Durchschnitt von drei“ in Bezug auf das nachfolgend beschriebene Kriterium bestanden, hat die Pumpengröße bestanden, obwohl die erste Pumpenprüfung nicht bestanden wurde.

Die Prüfungen und Bewertungen an jeder der Pumpen, die nach dem Zufallsprinzip und unabhängig voneinander aus der Größengruppe entnommen wurden, für die die Konformität mit den gesetzlichen Anforderungen an den Mindesteffizienz-Index (MEI) oder die Gültigkeit des durch einen Hersteller angegebenen MEI-Zahlenwerts zu verifizieren ist, sind nach Abschnitt 7 dieser Norm vorzunehmen.

Für jede der geprüften Pumpen müssen die Q- η - und Q-H-Ausgleichskurven und aus diesen die Werte von QBEP und n_s nach der Beschreibung in 5.5.2 bestimmt werden.

Die folgenden Berechnungen müssen für die erste Prüfpumpe und — für den Fall, dass diese versagt — auch für die Pumpe „aus dem Durchschnitt von drei“ (d. h. die „virtuelle“ Pumpe, die die gemittelte hydraulische Leistung der drei realen Pumpen aufweist, die zusätzlich geprüft wurden) durchgeführt werden.

Unter Anwendung der in der Prüfung bestimmten Werte QBEP und n_s bzw. $\bar{Q}_{BEP}$ und $\bar{n}_s$ sind die Mindest-Effizienzanforderungen (η_{BEP})_{min,requ}, (η_{PL})_{min,requ} und (η_{OL})_{min,requ} für die Pumpe zu berechnen. Diese Berechnungen werden mithilfe der in Abschnitt 4 angegebenen Gleichungen (4), (6) und (7) vorgenommen, wobei der C-Wert für den Typ und die Nenndrehzahl der geprüften Pumpe(n) und für den gesetzlich geforderten oder durch den Hersteller angegebenen Mindest-Effizienzindex (MEI) aus 4.4, Tabelle 3, entnommen wird.

Sofern der durch den Hersteller angegebene MEI-Wert ein Zahlenwert ist, der innerhalb der in Tabelle 3 aufgeführten Werte liegt, ist der entsprechende Wert für C in Gleichung (4.2) durch lineare Interpolation im Intervall zwischen den benachbarten Werten aus Tabelle 3 zu bestimmen.

Zu diesem Zweck werden aus der Zeile mit dem Pumpentyp und der Nenndrehzahl der Pumpengröße in Tabelle 3 die benachbarten Werte MEI_{links} und MEI_{rechts} links bzw. rechts vom angegebenen Zahlenwert MEI sowie die MEI_{links} und MEI_{rechts} entsprechenden Werte C_{links} und C_{rechts} entnommen. Schließlich wird der dem angegebenen MEI-Zahlenwert der Pumpengröße entsprechende Wert von C wie folgt berechnet:

$$C = C_{links} + \frac{MEI - MEI_{links}}{MEI_{rechts} - MEI_{links}} \times (C_{rechts} - C_{links}) \quad (32)$$

Da in Tabelle 3 die Differenz MEI_{rechts} – MEI_{links} im Allgemeinen 0,1 entspricht, kann Gleichung (32) wie folgt vereinfacht werden:

$$C = C_{links} + \frac{MEI - MEI_{links}}{0,1} \times (C_{rechts} - C_{links}) \quad (33)$$

BEISPIEL

Für eine Pumpengröße vom Typ ESOB mit Nenndrehzahl $n_N = 2\,900 \text{ min}^{-1}$ gibt ein Hersteller den Zahlenwert $MEI = 0,47$ an. Die benachbarten Werte von MEI in Tabelle 3 sind $MEI_{links} = 0,4$ und $MEI_{rechts} = 0,5$. Die entsprechenden C-Werte sind $C_{links} = 130,27$ und $C_{rechts} = 129,18$. Der C-Wert für $MEI = 0,47$ wird wie folgt berechnet:

$$C = C_{links} + \frac{MEI - MEI_{links}}{MEI_{rechts} - MEI_{links}} \times (C_{rechts} - C_{links})$$

$$= 130,27 + \frac{0,47 - 0,4}{0,5 - 0,4} \times (129,18 - 130,27) = 129,51 \quad (34)$$

Wie in Abschnitt 4 beschrieben, hängen die erforderlichen Mindestwerte des Wirkungsgrads selbst von den Größen Q_{BEP} und n_s ab, die sich aus Prüfungen und Bewertungen an den als Stichprobe entnommenen Prüfpumpen ergeben. Damit unterliegen sie auch Auswirkungen der Fertigungstoleranzen innerhalb der Größengruppe und unvermeidlichen Messunsicherheiten. Um diese Auswirkungen zusammen mit den inhärenten Messunsicherheiten der in den Verifizierungsprüfungen bestimmten Wirkungsgradwerte zu berücksichtigen, muss auch auf die in den Verifizierungsprüfungen eingesetzten erforderlichen Mindestwerte des Wirkungsgrads eine Toleranz angewendet werden. Dies führt zu den spezifischen Schwellenwerten, die durch die gemessenen Wirkungsgrade der geprüften Pumpen überschritten werden müssen. Zu diesem Zweck wird eine negative Toleranz von $t_\eta = -0,05$ (oder -5 %) auf jeden der nach den Gleichungen (4), (6) und (7) berechneten Werte $(\eta_{BEP})_{min,requ}$, $(\eta_{PL})_{min,requ}$ und $(\eta_{OL})_{min,requ}$ angewendet. Aus der Anwendung der Gesamttoleranz auf die berechneten Werte (d. h. durch Multiplikation dieser mit dem Faktor $(1 - |t_\eta|) = 0,95$) ergeben sich die spezifischen Schwellenwerte. Durch Abbildung in einem Q- η -Diagramm bei folgenden Förderströmen

- Q_{BEP}
- $Q_{PL} = 0,75 Q_{BEP}$
- $Q_{OL} = 1,1 Q_{BEP}$

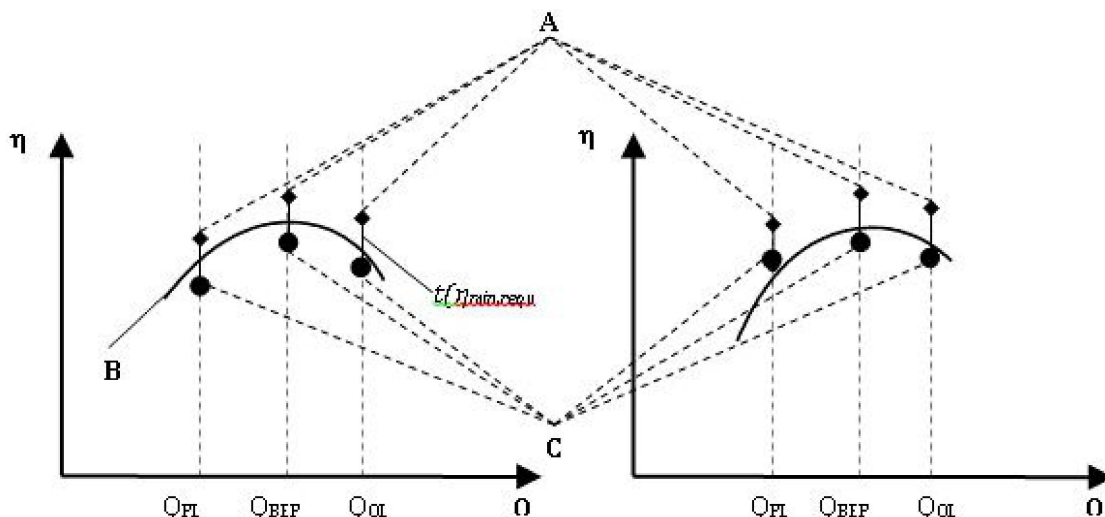
können die berechneten Nennwerte, die Toleranzbalken und die spezifischen Schwellenwerte visualisiert werden (siehe Bilder C.2 and C.3). Die Punkte der jeweiligen Grenzwerte bilden das „Wirkungsgradgefüge“ (siehe Bild 2), relevant für die erste Prüfpumpe bzw. die Pumpe „aus dem Durchschnitt von drei“.

Entscheidungskriterien:

Die erste geprüfte Pumpe oder die Pumpe „aus dem Durchschnitt von drei“ hat in Bezug auf die Bestätigung des erforderlichen oder angegebenen Werts des Mindest-Effizienzindex (MEI) bestanden, wenn alle 3 aus den Messungen resultierenden Werte η_{BEP} , η_{PL} und η_{OL} mindestens gleich dem entsprechenden spezifischen Schwellenwert bei BEP, PL und OL sind.

Die erste geprüfte Pumpe oder die Pumpe „aus dem Durchschnitt von drei“ hat in Bezug auf die Bestätigung des erforderlichen oder angegebenen Werts des Mindest-Effizienzindex (MEI) versagt, wenn mindestens einer der 3 aus den Messungen resultierenden Werte η_{BEP} , η_{PL} und η_{OL} unterhalb des entsprechenden spezifischen Schwellenwerts bei BEP, PL und OL liegt.

Beispiele für „Bestanden“- und „Versagt“-Ergebnisse sind schematisch in Bild 6 dargestellt.



Legende

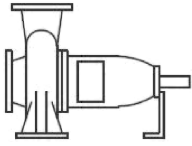
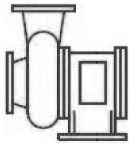
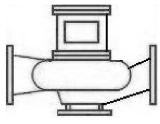
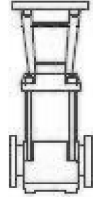
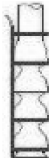
- A berechnete erforderliche Mindest-Wirkungsgrade bei PL, OL und BEP zum Erreichen des erforderlichen oder angezeigten MEI-Werts
- B Q - η -Ausgleichskurve aus den Prüfungen
- C bestimmte Grenzwerte für PL, OL und BEP, die aus A folgen
- $t(\eta_{\min, \text{requ}})$ Gesamtterolanz für $\eta_{\min, \text{requ}}$

Bild 5 — Schematische Darstellung der „Bestanden“- (linkes Bild) und „Versagt“- (rechtes Bild) Ergebnisse einer Prüfpumpe für einen bestimmten Wert des Mindest-Effizienzindex (MEI)

Anhang A (normativ)

In den Anwendungsbereich fallende Pumpentypen

Tabelle A.1 — Pumpentypen innerhalb des Anwendungsbereichs

ESOB Pumpe mit axialem Eintritt, eigene Lagerung (en: End Suction Own Bearings pump)	
ESCC Pumpe mit axialem Eintritt, Blockausführung (en: End Suction Close Coupled pump)	
ESCCi Blockpumpe mit axialem Eintritt, Inlineausführung (en: Inline End Suction Close Coupled pump)	
MS-V Mehrstufige Vertikalpumpe (en: Vertical Multistage pump)	
MSS Mehrstufige Tauchpumpe (en: Submersible multistage borehole pump)	

Pumpen mit axialem Eintritt (ESOB, ESCC und ESCCi)

- Einstufige Wasserpumpe in Kreiselpumpenbauart mit Stopfbuchsen und axialem Eintritt; Auslegung mit axialer Anordnung der Rohrverbindungen an der Oberseite oder Inline-Ausführung der Rohrverbindungen und mit Spiralgehäuse für Drücke bis 16 bar.
- Alle Pumpen sind mit Düsen mit Flansch oder Gewinde mit metrischen Maßen oder in Inch ausgeführt.
- Pumpengrößen mit Leistungsdaten nach Tabelle A.2.

Mehrstufige Vertikalpumpen (MS-V)

- Mehrstufige ($i > 1$) Wasserpumpe in Kreiselpumpenbauart mit Stopfbuchsen, bei der die Laufräder an einer vertikalen Drehwelle angeordnet sind, ausgelegt für Drücke bis 25 bar.
- Pumpengrößen mit Leistungsdaten nach Tabelle A.2.
- Der zur Bewertung der Energieeffizienz einer Pumpe zu bewertende Wirkungsgrad ist jener Wert für den Wirkungsgrad der Pumpenvariante mit 3 Stufen (Pumpen mit mehr Stufen weisen aus physikalischen Gründen einen höheren Wirkungsgrad auf).

Mehrstufige Tauchpumpe (MSS)

- Mehrstufige ($i > 1$) Wasserpumpe in Kreiselpumpenbauart mit einem Nenn-Außendurchmesser von 4" (10,16 cm) oder 6" (15,24 cm), ausgelegt zum Betrieb in einem Bohrloch bei Betriebstemperaturen zwischen 0 °C und 90 °C.
- Der Wirkungsgrad, der in Bezug auf die Qualifizierung als energieeffiziente Pumpe zu bewerten ist, ist der Wirkungsgrad der Pumpenversion mit 9 Stufen.

Tabelle A.2 — Pumpen innerhalb des Anwendungsbereichs

Pumpen- typ	Definierter Anwendungsbereich				
ESOB ESCC ESCCi	$n = 1\,450\text{ min}^{-1}$	$Q_{\text{BEP}} \geq 6\text{ m}^3/\text{h}$	$H_{\text{BEP}} \leq 90\text{ m}$	$6\text{ min}^{-1} \leq n_s \leq 80\text{ min}^{-1}$	$P_2 \leq 150\text{ kW}$
ESOB ESCC ESCCi	$n = 2\,900\text{ min}^{-1}$	$Q_{\text{BEP}} \geq 6\text{ m}^3/\text{h}$	$H_{\text{BEP}} \leq 140\text{ m}$	$6\text{ min}^{-1} \leq n_s \leq 80\text{ min}^{-1}$	$P_2 \leq 150\text{ kW}$
MS-V	$n = 2\,900\text{ min}^{-1}$			$Q_{\text{BEP}} \leq 100\text{ m}^3/\text{h}$	
MSS	$n = 2\,900\text{ min}^{-1}$	4" und 6"			

Anhang B (informativ)

Allgemeine Bemerkungen zum Wirkungsgrad von Kreiselpumpen

Der Wirkungsgrad η jeder Kreiselpumpe, die mit konstanter Drehzahl n läuft oder durch einen Elektromotor bei konstanter elektrischer Frequenz f betrieben wird, ist vom Pumpenförderstrom Q abhängig. Beginnend mit $\eta = 0$ bei $Q = 0$ steigt der Wirkungsgrad mit steigendem Förderstrom an, erreicht einen Höchstwert η_{BEP} und sinkt danach mit weiter steigendem Förderstrom ab. Der Bestpunkt „BEP“ mit den entsprechenden Werten des Förderstroms Q_{BEP} und der Pumpenförderhöhe H_{BEP} ist durch die Bedingung $\eta = \eta_{\text{BEP}}$ definiert. Üblicherweise und auch in dieser Norm wird der Betriebsbereich $Q < Q_{\text{BEP}}$ als „Teillast“ (PL) bezeichnet, der Bereich $Q > Q_{\text{BEP}}$ wird als „Überlast“ (OL) bezeichnet.

Bei Kreiselpumpen kann nicht erwartet werden, dass sie allgemein vergleichbare Werte von η_{BEP} aufweisen, selbst dann nicht, wenn sie mit vergleichbarer Qualität ausgelegt und hergestellt werden. Im Gegenteil, für eine vergleichbare Qualität von Auslegung und Herstellung hängen die Werte von η_{BEP} von zwei hydraulischen Hauptparametern ab:

- 1) Förderstrom Q_{BEP} , der die Größe der Pumpe charakterisiert (und indirekt der Reynolds-Zahl Re , dem hydrodynamischen Parameter, von dem die meisten internen hydraulischen Verluste bei Pumpen abhängen).
- 2) spezifische Drehzahl n_s (mit der Einheit $[\text{min}^{-1}]$), die die Laufradform charakterisiert (von radial bei den geringsten n_s -Werten bis axial bei den höchsten n_s -Werten) und nach folgender Gleichung berechnet wird:

$$n_s = n \times \frac{\sqrt{Q_{\text{BEP}}}}{H_{\text{BEP}}^{0,75}} \quad (\text{B.1})$$

Dabei sind folgende Einheiten zu verwenden: $[\text{min}^{-1}]$ für n_s und die Drehzahl n , $[\text{m}^3/\text{s}]$ für Q_{BEP} und $[\text{m}]$ für H_{BEP} . Im Falle von mehrstufigen Pumpen ist H_{BEP} die Förderhöhe je Stufe, die sich aus der Division der Pumpenförderhöhe durch die Anzahl der Stufen i ergibt.

Auf der Grundlage zahlreicher theoretischer Überlegungen und experimenteller Untersuchungen wurde gezeigt, dass bei Kreiselpumpen mit vergleichbarer Qualität von Auslegung und Herstellung Folgendes gilt:

- η_{BEP} steigt mit zunehmendem Q_{BEP} monoton an, wobei der Anstieg $\partial\eta_{\text{BEP}}/\partial Q_{\text{BEP}}$ bei den geringsten Werten von Q_{BEP} am steilsten ist, und flacht für sehr hohe Werte von Q_{BEP} asymptotisch auf Null ab;
- η_{BEP} hat bei n_s -Werten im Bereich zwischen 40 min^{-1} und 50 min^{-1} ein Maximum und sinkt bei höheren und geringeren n_s -Werten ab, was insbesondere zu sehr geringen Werten von η_{BEP} bei $n_s \leq 10 \text{ min}^{-1}$ führt.

Diese typische Abhängigkeit des Werts η_{BEP} von Q_{BEP} und n_s kann physikalisch mit dem Einfluss dieser beiden Parameter auf die verschiedenen internen hydraulischen Verluste (in Bezug auf die Leistungsaufnahme einer Pumpe) erklärt werden; bei diesen Verlusten handelt es sich um Durchflussverluste, Scheibenreibungsverluste und Verluste durch interne Leckage. Darüber hinaus ergeben sich die zunehmend geringen Werte des Wirkungsgrads bei geringen Werten von Q_{BEP} und/oder n_s , die für kleine Pumpen mit entsprechend geringer Leistungsaufnahme typisch sind, aus einem beträchtlichen Beitrag der mechanischen Reibungsverluste (die in der Wellendichtung und den Lagern entstehen) an den Gesamtverlusten der Pumpe.

Im Vergleich zu einstufigen Pumpen (Typen ESOB, ESCC und ESCCi), sind die Wirkungsgrade von mehrstufigen Pumpen (Typen MS-V und MSS) mit denselben Werten von Q_{BEP} und n_s im Allgemeinen aufgrund zusätzlicher Durchflussverluste in den Leitschaufeln (Strömungsgleichrichter) und den Rückführkanälen geringer. Mehrstufige Pumpen haben jedoch einen Vorteil in Bezug auf den Wirkungsgrad, sofern die erforderlichen Daten für Q , H und n einer einstufigen Pumpe zu einem sehr geringen n_s -Wert für diesen Betriebspunkt führen würden. In diesem Fall führt der geeignetere n_s -Wert einer mehrstufigen Pumpe (berechnet und relevant je Stufe) zu einem im Vergleich mit einer einstufigen Pumpe wesentlich höheren Wirkungsgrad. Die allgemeine Abhängigkeit des Werts η_{BEP} von Q_{BEP} und n_s ist bei mehrstufigen Pumpen ähnlich wie bei einstufigen.

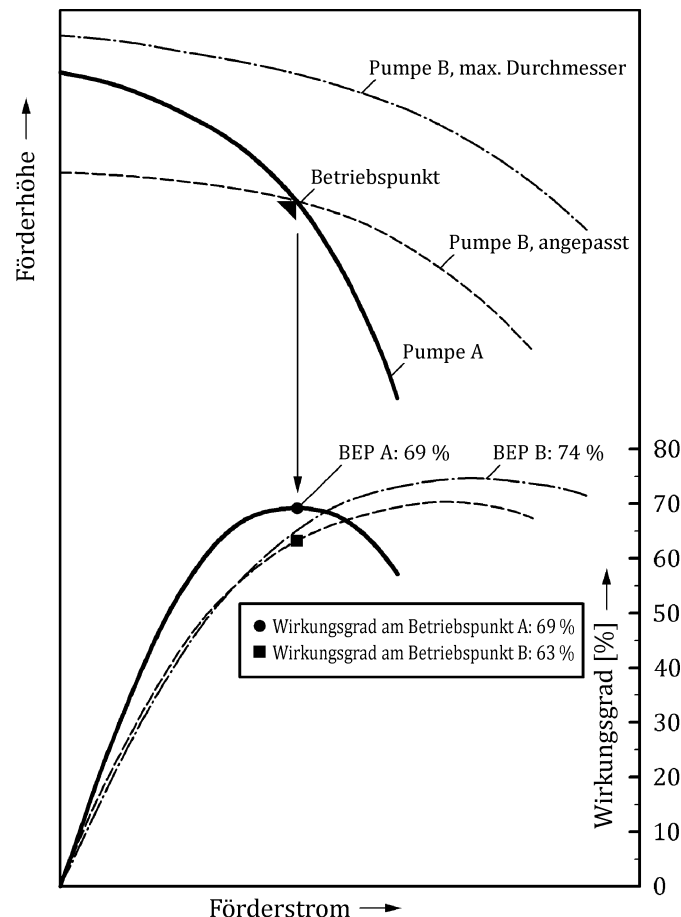


Bild B.1 — Wichtigkeit der richtigen Pumpenauswahl

In Bild B.1 werden zwei Pumpen A und B miteinander verglichen. In Bezug auf den Wirkungsgrad beim BEP ist Pumpe B die bessere. Der vom Systemkonstrukteur (Kunde) festgelegte erforderliche Betriebspunkt weicht jedoch vom Bestpunkt der Pumpe B ab. Damit stellt Pumpe A, deren Wirkungsgrad beim BEP geringer ist, die jedoch dem erforderlichen Betriebspunkt besser entspricht, für die gegebene Anwendung die bessere Auswahl dar (höherer Wirkungsgrad).

Zusammenfassend muss betont werden, dass durch den Kunden, der den Betriebspunkt angibt, und den Hersteller, der die korrekte Pumpe für den betreffenden Betriebspunkt auswählt, eine ordnungsgemäße und präzise Bemessung der Parameter, wie H , Q und $NPSH$ (et al.), vorgenommen werden muss.

Anhang C (informativ)

Mittelwerte einer für den Mindest-Effizienzindex relevanten Größe

Wie in Abschnitt 6 erläutert, müssen die Mittelwerte des Wirkungsgrads einer Pumpengröße wenigstens den zugehörigen erforderlichen Mindestwerten entsprechen, um einen bestimmten Wert des Mindest-Effizienzindex (MEI) zu erreichen.

Innerhalb einer Größe von in Masse gefertigten Pumpen eines Herstellers (mit demselben vollen Laufraddurchmesser) liegt stets eine unvermeidliche Streuung der hydraulischen Leistungsmerkmale vor, einschließlich des Wirkungsgrads und weiterer Werte (QBEP und η_s), die für den Mindest-Effizienzindex (MEI) relevant sind. Diese Streuung der hydraulischen Leistungsmerkmale ergibt sich aus geringen Unterschieden der hydraulisch relevanten geometrischen Maße (z. B. innere Strömungsquerschnitte, Winkel der Laufradschaufeln, lichte Spaltöffnung) zwischen den einzelnen Pumpen derselben Größe. Diese Unterschiede liegen innerhalb des Bereichs der geometrischen oder maßbezogenen Toleranzen, die jedem Fertigungsprozess innewohnen und die nicht unter bestimmte wirtschaftlich annehmbare Grenzen verringert werden können.

Die Bandbreite der hydraulisch relevanten geometrischen Toleranzen führt zu einer entsprechenden Bandbreite der hydraulischen Leistungsmerkmale der einzelnen Pumpen derselben Größe.

Die Größe als Ganzes wird durch die mittleren Leistungsdaten und -kurven charakterisiert. Die für den Mindest-Effizienzindex relevanten Mittelwerte der hydraulischen Größen sind wie folgt definiert:

$$x_{\text{mean}} = \frac{1}{z} \times \sum_{i=1}^z x_i \quad (\text{C.1})$$

Dabei ist x die jeweilige Größe (beispielsweise Q , H , η , η_s) und z die Gesamtanzahl der Pumpen derselben Größe, die jemals vom selben Hersteller gefertigt wurden. Für Größen, die in sehr großen Anzahlen gefertigt werden, kann die Gesamtanzahl z durch die Anzahl zannual der Pumpen derselben Größe ersetzt werden, die je Jahr hergestellt werden.

ANMERKUNG Sofern die Anzahl z (oder zannual) groß ist, kann im Allgemeinen davon ausgegangen werden, dass die geometrischen Maße und damit die von diesen Maßen abhängigen hydraulischen Größen x (Gaußsche) Normalverteilungen (siehe Bild C.1) aufweisen. Bei demselben Laufraddurchmesser, insbesondere dem vollen Laufraddurchmesser, sind diese Verteilungen durch ihren wahren Mittelwert x_{mean} (der dem durch die vorstehend genannte Gleichung definierten Wert identisch ist) und die zugehörige Bandbreite der Streuung charakterisiert. Letztere kann auch als tatsächliche Fertigungstoleranz einer hydraulischen Größe oder als tatsächliche hydraulische Fertigungstoleranz einer Pumpengröße bezeichnet werden.

Bei Normalverteilungen liegt die Wahrscheinlichkeit dafür, dass jeder beliebige wahre Einzelwert x_i der entsprechenden hydraulischen Größe x auf ein Vertrauensintervall $\pm 1,96 \cdot s_x$ um den Mittelwert x_{mean} herum begrenzt ist, bei 95 %.

Dabei ist

$$s_x = \sqrt{\frac{1}{z-1} \times \sum_{i=1}^z (x_i - x_{\text{mean}})^2} \quad (\text{C.2})$$

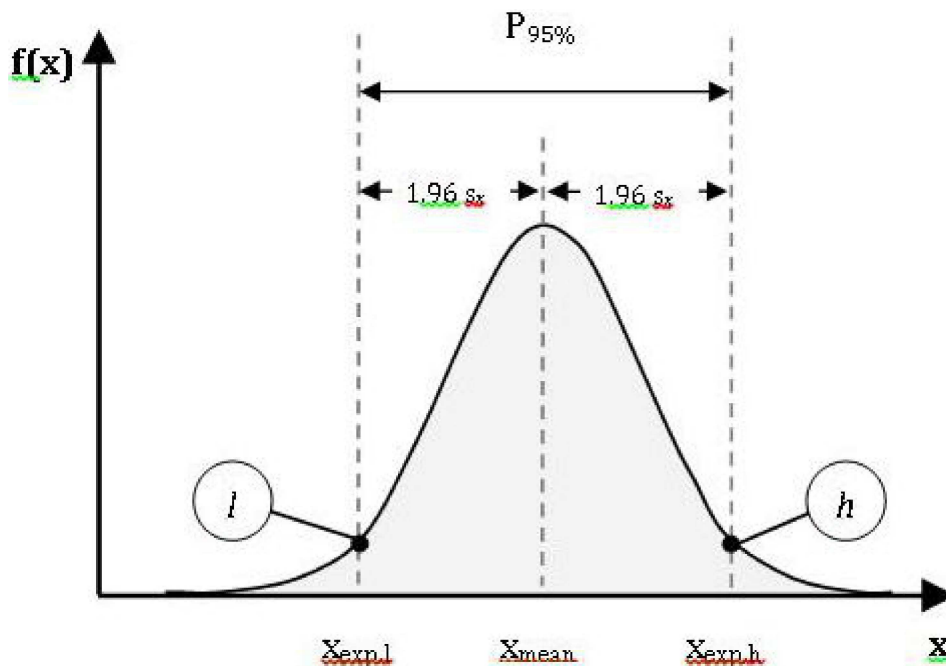
die Standardabweichung der Streuung der Größe x innerhalb derselben Größe, siehe Anhang E.

Daher kann die Fertigungstoleranz einer Größe x als $\pm 1,96 s_x$ definiert werden, siehe Bild C.1.

Darüber hinaus hat der wahre Wert x_i jeder Pumpe derselben Größe und desselben Laufraddurchmessers, die durch denselben Hersteller gefertigt wurde, eine Wahrscheinlichkeit von

- 50 % dafür, mindestens x_{mean} zu betragen;
- 97,5 % dafür, mindestens $x_{\text{mean}} - 1,96 s_x$ zu betragen.

Da in den meisten Fällen die Gesamtanzahlen z bzw. zannual der in den Anwendungsbereich dieser Europäischen Norm fallenden und von einem Hersteller gefertigten Pumpen einer Größe sehr groß sind, können die Mittelwerte der Größe nur durch Ausführung und Bewertung von Prüfungen an einer Stichprobe mit einer Anzahl M (die typischerweise im Vergleich zu z bzw. zannual sehr gering ist) von Prüfpumpen bestimmt werden, die nach dem Zufallsprinzip aus der Fertigung entnommen werden. Dabei können die Mittelwerte nur mit einer gewissen Restunsicherheit bestimmt werden, selbst in dem Fall, dass keine Messunsicherheiten bestehen. Während bei den wahren Einzelwerten des Wirkungsgrads und weiteren in Prüfungen an einer Stichprobe von Prüfpumpen bewerteten relevanten Größen erwartet werden kann, dass sie auf die Bandbreite der Streuung um die (unbekannten) wahren Mittelwerte begrenzt sind, ist nicht bekannt, wo die einzelnen Werte innerhalb der entsprechenden Bandbreite angeordnet sind.



Legende

$f(x)$	relative Frequenz von x
X	hydraulische Größen $Q, H, \eta, \dots$
x_{mean}	Mittelwert von x
s_x	Standardabweichung von x
l	gering
h	hoch
$P_{95\%}$	Wahrscheinlichkeitsintervall von x_{mean}

Bild C.1 — Normalverteilung einer aus den Fertigungstoleranzen resultierenden Größe x innerhalb einer Pumpengröße

Eine nach dem Zufallsprinzip aus einer Größengruppe entnommene Prüfpumpe kann beispielsweise jeden beliebigen wahren Wert des Wirkungsgrads η_i innerhalb der Streuungsbreite aufweisen; sie kann weiterhin als einen der beiden möglichen Extremfälle entweder den Mindest- oder den Höchstwert des Wirkungsgrads aufweisen, der an den Grenzen „l“ (gering) bzw. „h“ (hoch) der Bandbreite liegt, siehe Bild C.1.

Um für eine Pumpengröße unter Anwendung des in Abschnitt 6 beschriebenen Verfahrens einen bestimmten Wert des Mindest-Effizienzindex (MEI) nachzuweisen, sind neben den Mittelwerten des Wirkungsgrads $(\eta_{\text{BEP}})_{\text{mean}}$, $(\eta_{\text{PL}})_{\text{mean}}$ und $(\eta_{\text{OL}})_{\text{mean}}$ der Größe auch die Mittelwerte $(Q_{\text{BEP}})_{\text{mean}}$ und $(n_s)_{\text{mean}}$ der Größe für die Bestimmung der entsprechenden Nennwerte der Mindest-Effizienzanforderungen (siehe Abschnitt 4) erforderlich.

Bei der Bestimmung der mittleren hydraulischen Werte einer Größe durch Prüfungen und Bewertungen an Musterpumpen müssen zusätzlich zur durch die hydraulischen Fertigungstoleranzen innerhalb der Größe verursachten Bandbreite der wahren Werte die Auswirkungen der Messunsicherheiten berücksichtigt werden. Die Bandbreite der wahren Werte innerhalb einer Größe hängt nur von der Fertigungsqualität ab. Die Breite der Vertrauensintervalle der hydraulischen Größen, die experimentell bestimmt werden, hängt zusätzlich von der Genauigkeit der Messverfahren und -geräte ab, d. h. von den tatsächlichen Gesamt-Messunsicherheiten (siehe Anhang D).

Aus diesem Grund können die wahren Mittelwerte der hydraulischen Größen einer Pumpengröße, insbesondere die für den Mindest-Effizienzindex (MEI) relevanten, nur durch Prüfungen und Bewertungen bestimmt werden, da sie auf die entsprechenden Vertrauensintervalle begrenzt sind, die durch Gesamt-Toleranzfaktoren oder -werte quantifiziert werden können. Diese Gesamt-Toleranzfaktoren können entweder auf der allgemeinen Erfahrung des jeweiligen Herstellers beruhen oder direkt aus Messungen an einer Stichprobe aus mehreren Prüfpumpen derselben Größe bestimmt werden (z. B. bei Anwendung des in D.3 beschriebenen Verfahrens).

Um eine ausreichend hohe Wahrscheinlichkeit dafür sicherzustellen, dass

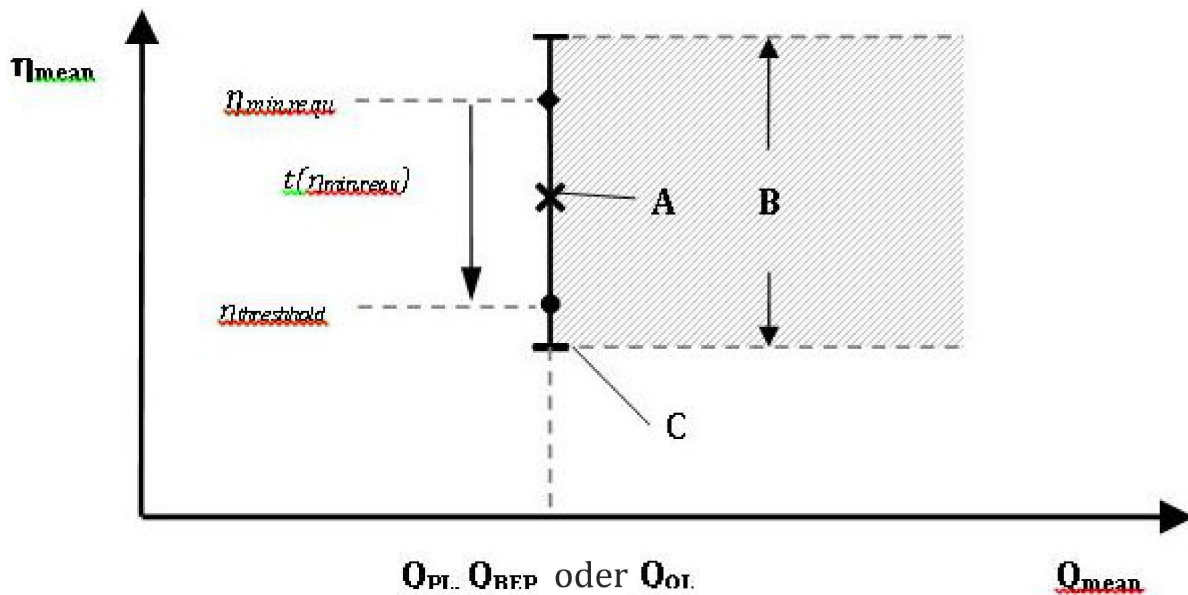
- die wahren Mittelwerte des Wirkungsgrads einer Pumpengröße mindestens gleich den dem Mindest-Effizienzindex (MEI) dieser Größe entsprechenden Schwellenwerten sind;
- Prüfungen an einer oder mehreren Pumpe(n) dieser Größe (mit vollem Laufraddurchmesser), die im Rahmen eines Verifizierungsverfahrens durchgeführt werden, zu einer Bestätigung des durch den Hersteller angegebenen Mindest-Effizienzindex (MEI) führen,

müssen die durch Prüfungen an Musterpumpen bestimmten Mittelwerte des Wirkungsgrads $(\eta_{\text{BEP}})_{\text{mean}}$, $(\eta_{\text{PL}})_{\text{mean}}$ und $(\eta_{\text{OL}})_{\text{mean}}$ in Bezug auf die für den gesetzlich geforderten und/oder durch den Hersteller angegebenen Mindest-Effizienzindex (MEI) geltenden Schwellenwerte bestimmte positive Spielräume aufweisen (angegeben in Form von Gesamttoleranzen oder Vertrauensintervallen).

Diese erforderlichen Spielräume zwischen den Mittelwerten des Wirkungsgrads — bestimmt in Prüfungen an Musterpumpen einer Größe — und den entsprechenden Schwellenwerten des Wirkungsgrads für einen bestimmten Wert des Mindest-Effizienzindex sind umso kleiner,

- je geringer die hydraulische Streuung innerhalb der Größe ist (→ gute Fertigungsqualität, geringe Fertigungstoleranzen),
- je kleiner die Messunsicherheiten der Messungen an den Musterpumpen sind (→ hohe Genauigkeit der Messgeräte, geringe zufällige Fehler, siehe Anhang H),
- je größer die Anzahl M der geprüften Musterpumpen ist (siehe Anhang G und Anhang H).

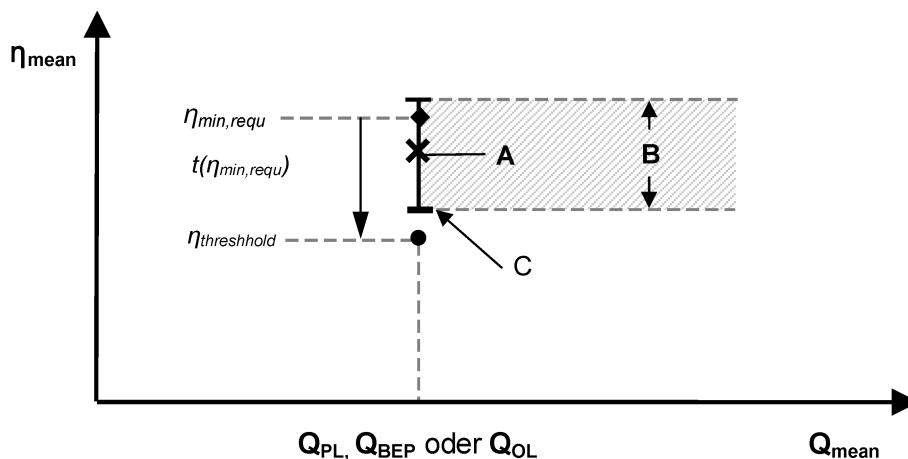
In den Bildern C.2 und C.3 sind die Auswirkungen der Größenordnung der Gesamttoleranzen (d. h. die Breite der Vertrauensintervalle) der mittleren Wirkungsgrade einer Größe auf den Vergleich mit den entsprechenden Schwellenwerten nach Abschnitt 5 dargestellt. In beiden Fällen wird davon ausgegangen, dass der sich aus Messungen an Musterpumpen ergebende mittlere Wirkungsgrad ebenso wie die Nennwerte der Mindest-Effizienzanforderungen und die entsprechenden Schwellenwerte des Wirkungsgrads gleich sind. Im Falle größerer Gesamttoleranzen der gemessenen Wirkungsgrade (gezeigt in Bild C.2) ist es möglich, dass dieselbe Pumpengröße die (in Abschnitt 5 definierten) Kriterien für die Qualifizierung in Bezug auf einen bestimmten Wert des Mindest-Effizienzindex (MEI) nicht erfüllt, während sie die Kriterien im Falle geringerer Gesamttoleranzen der gemessenen Wirkungsgrade erfüllt (gezeigt in Bild C.3).



Legende

- $\eta_{\min, \text{requ}}$ Nennwert der Mindest-Effizienzanforderungen (berechnet nach Gleichungen (4), (6), (7))
- $\eta_{\text{threshold}}$ spezifischer Schwellenwert
- $t(\eta_{\min, \text{requ}})$ Gesamttoleranz nach EN ISO 9906, Klasse 2B, angewendet auf $\eta_{\min, \text{requ}}$
- A η oder $\bar{\eta}$ aus Prüfungen
- B 95 %-Vertrauensintervall von η_{mean} aus Prüfungen
- C Mindestwert des wahren η_{mean} (mit 97,5 %-Wahrscheinlichkeit)

Bild C.2 — Auswirkungen der Gesamttoleranzen auf die gemessenen Wirkungsgrade, Fall 1



Legende

- $\eta_{\min, \text{requ}}$ Nennwert der Mindest-Effizienzanforderungen (berechnet nach den Gleichungen (4), (6), (7))
- $\eta_{\text{threshold}}$ spezifischer Schwellenwert
- $t(\eta_{\min, \text{requ}})$ Gesamttoleranz nach EN ISO 9906, Klasse 2B, angewendet auf $\eta_{\min, \text{requ}}$
- A η oder $\bar{\eta}$ aus Prüfungen
- B 95 %-Vertrauensintervall von η_{mean} aus Prüfungen
- C Mindestwert des wahren η_{mean} (mit 97,5 %-Wahrscheinlichkeit)

Bild C.3 — Auswirkungen der Gesamttoleranzen auf die gemessenen Wirkungsgrade, Fall 2

Wenn das in Abschnitt 6 beschriebene Verfahren durch einen Hersteller angewendet wird, um für eine Pumpengröße einen bestimmten Wert des Mindest-Effizienzindex (MEI) nachzuweisen, liegt die Verantwortung für die Bestimmung der relevanten (Vertrauensintervalle der) Mittelwerte dieser Größe im Allgemeinen beim Hersteller.

Zwei Möglichkeiten, für eine Pumpengröße auf der Grundlage von Prüfungen an Musterpumpen dieser Größe, die Mittelwerte des Wirkungsgrads und der weiteren relevanten Größen mit ausreichender Wahrscheinlichkeit zu bestimmen, sind in Anhang D ausführlich beschrieben.