

DIN EN 16480

ICS 23.080

Einsprüche bis 2014-07-30

Entwurf**Pumpen –****Geforderte Mindesteffizienz bei Kreiselpumpen für Wasser;
Deutsche Fassung prEN 16480:2014**

Pumps –

Minimum required efficiency of rotodynamic water pumps;
German version prEN 16480:2014

Pompes –

Rendement minimum requis des pompes à eau rotodynamiques et méthodes de
qualification et de vérification;
Version allemande prEN 16480:2014**Anwendungswarnvermerk**

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2014-05-30 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und
Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de 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/stellungnahme oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den Normenausschuss Maschinenbau (NAM) im DIN, 60498 Frankfurt am Main, Postfach 71 08 64 (Hausanschrift: 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 70 Seiten

Normenausschuss Maschinenbau (NAM) im DIN

Nationales Vorwort

Dieser Norm-Entwurf enthält sicherheitstechnische Festlegungen.

Er beinhaltet die Deutsche Fassung der vom Technischen Komitee CEN/TC 197 „Pumpen“ im Europäischen Komitee für Normung (CEN) (Sekretariat: AFNOR, Frankreich) ausgearbeiteten prEN 16480:2014.

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

Dieser Norm-Entwurf konkretisiert einschlägige Anforderungen von Anhang I der EU-Maschinenrichtlinie 2006/42/EG an erstmals im Europäischen Wirtschaftsraum (EWR) in Verkehr gebrachte Maschinen, um den Nachweis der Übereinstimmung mit diesen Anforderungen zu erleichtern.

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

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

Pumpen — Geforderte Mindesteffizienz bei Kreiselpumpen für Wasser

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

Pumps — Minimum required efficiency of rotodynamic water pumps

ICS:

Deskriptoren

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

STD Version 2.5a

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
Einleitung.....	5
1 Anwendungsbereich	7
1.1 Pumpentechnik	7
1.2 Pumpentypen	7
1.3 Anwendung dieser Europäischen Norm	7
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe	8
3.1 Allgemeines	8
3.2 Auflistung der Größen mit Definitionen	8
3.3 Auflistung der Grundbuchstaben und Indizes	10
3.4 Allgemeine Definitionen	12
4 Mindest-Effizienzanforderungen und Mindest-Effizienzindex	16
4.1 Das Konzept des „Effizienzhauses“	16
4.2 Mathematische Darstellung der Mindest-Effizienzanforderungen	18
4.3 Mindest-Wirkungsgrad bei Teillast und Überlast	19
4.4 Mindest-Effizienzindex	19
5 Bestimmung des Wirkungsgrades einer Prüfpumpe	22
5.1 Allgemeines	22
5.2 Durchführung der Prüfung	23
5.3 Prüfbedingungen	24
5.4 Messunsicherheiten	25
5.4.1 Relevanz	25
5.4.2 Maximal zulässige zufällige Unsicherheit	25
5.4.3 Maximal zulässige Messgeräteunsicherheit (systematische Unsicherheit).....	26
5.5 Auswertung der Prüfdaten.....	27
5.5.1 Umwandlung der Prüfergebnisse in die Nenndrehzahl oder die elektrische Nennfrequenz.....	27
5.5.2 Leistungskennlinien	28
5.5.3 Bestimmung der für die Qualifizierung oder Verifizierung relevanten Werte	30
5.5.4 Verfahren der Prüfung und/oder Bewertung von speziellen Pumpentypen	30
6 Nachweis des Mindest-Effizienzindex einer Pumpengröße	31
6.1 Allgemeine Bemerkungen.....	31
6.2 Bestimmung des Mindest-Effizienzindex einer Pumpengröße.....	32
7 Verifizierung des Mindest-Effizienzindex für eine Pumpengröße	33
7.1 Allgemeine Bemerkungen.....	33
7.2 Verfahren und Entscheidung.....	34
Anhang A (normativ) In den Anwendungsbereich fallende Pumpentypen	38
Anhang B (informativ) Allgemeine Bemerkungen zum Wirkungsgrad von Kreiselpumpen	40
Anhang C (informativ) Mittelwerte einer für den Mindest-Effizienzindex relevanten Größe	42
Anhang D (informativ) Empfohlene Verfahren für Hersteller bei der Bestimmung der Mittelwerte der hydraulischen Größen einer für den MEI relevanten Pumpengröße	47
D.1 Allgemeine Bemerkungen.....	47
D.2 Bestimmung des mittleren Wirkungsgrades einer Pumpengröße aus einer Prüfung an einer einzelnen Prüfpumpe	48

D.3	Bestimmung des mittleren Wirkungsgrades einer Pumpengröße aus einer Stichprobe aus M Prüfpumpen	49
Anhang E (informativ) Zahlenbeispiele		52
E.1	Zahlenbeispiel für die Anwendung der in Anhang D beschriebenen Verfahren	52
E.2	Zahlenbeispiel für die Bestimmung des MEI-Werts nach Abschnitt 6	55
Anhang F (informativ) Anwendung der mathematischen Statistik auf die Prüfungen		56
F.1	Zweck der Anwendung der Statistik im Rahmen der Qualifizierung und Verifizierung	56
F.2	Vertrauensintervall	57
F.3	Ausreißertest	58
F.4	Gesetz der Fehlerfortpflanzung	59
Anhang G (informativ) Messunsicherheiten		60
G.1	Allgemeine Bemerkungen	60
G.2	Bestimmung der Gesamt-Messunsicherheiten des Wirkungsgrades	62
Anhang H (informativ) Erläuterungen zur Methodik des Verifizierungsverfahrens und der Wahrscheinlichkeit der Ergebnisse		64
Anhang I (informativ) Protokollierung der Prüfergebnisse im Prüfbericht		66
I.1	Anforderungen an das Prüfprotokoll	66
I.2	Pumpenprüfblatt	66
Anhang ZA (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der EU-Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte, durchgeführt auf der Grundlage der EU-Verordnung 547/2012		68

Vorwort

Dieses Dokument (prEN 16480:2014) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 197 „Pumpen“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom AFNOR gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wurde unter einem Mandat erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone dem 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 Wirkungsgrades den Anforderungen bezüglich der Angabe eines bestimmten Wertes 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 Prüfpumpen dieser Größe. Prüfungen und Bewertungen zum Zwecke der Feststellung der Eignung (Qualifizierung) der entsprechenden Größe müssen 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 Wirkungsgrades 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.

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

Diese Europäische Norm gestattet und 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 Wirkungsgrades 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-Wertes 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-Wertes durchgeführt wurden.

Sofern der Hersteller sich 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 von 5.2 bis 5.4 dieser Norm und Bewertungen nach 5.5 dieser Norm durchführen sowie nachweisen — wie in Abschnitt 6 dieser Norm beschrieben —, dass die Kriterien für das Erreichen eines bestimmten Wertes des Mindest-Effizienzindex (MEI) für die Größe erfüllt wurden. Prüfbedingungen, Ergebnisse der Versuchsauswertung und Erfüllung der Kriterien sind zu dokumentieren und, wie unter 5.2 ausgeführt, für einen festgelegten Zeitraum aufzubewahren.

Einer unabhängigen Institution stehen nach dieser Norm zwei zulässige Vorgehensweisen zur Verifizierung des durch den Hersteller angegebenen Wertes 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-Wertes anerkannt wird, führt die unabhängige Institution 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.

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 für Hersteller und unabhängige Institutionen.

Abschnitt 5 behandelt die Mittelwerte einer Pumpengröße, die für Hersteller zum Nachweis daraufhin relevant sind, dass die Pumpengröße einen bestimmten Wert des Mindest-Effizienzindex (MEI) erreicht.

Abschnitt 6 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.

Abschnitt 7 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 E beschrieben sind);
- durch eine unabhängige Institution, sofern der Mindest-Effizienzindex (MEI) einer Pumpengröße nach der in Abschnitt 6 aufgeführten Vorgehensweise zu verifizieren ist.

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

1 Anwendungsbereich

1.1 Pumpentechnik

Dieses Dokument behandelt Wasserpumpen mit Stopfbuchsen (Trockenläuferpumpen) für das Pumpen von klarem Wasser, einschließlich solcher Pumpen, die in anderen Produkten verbaut sind. Pumpen, die als Niedrigleistungspumpen für Drücke bis 16 bar bei Pumpen mit axialem Eintritt und bis 25 bar bei mehrstufigen Pumpen, für Temperaturen zwischen -10 °C und $+120\text{ °C}$ und für klares Wasser ausgelegt sind und aus sämtlichen Werkstoffen hergestellt werden. Siehe Anhang A für weitere Informationen.

1.2 Pumpentypen

- Pumpen mit axialem Eintritt und Inline-Pumpen für einen Auslegungsdruck bis 16 bar (einschließlich EN 733 oder gleichwertig).
- Mehrstufige Vertikalpumpen mit einem Auslegungsdruck bis 25 bar.
- Mehrstufige Tauchpumpen, die für den Einsatz in Bohrlöchern innerhalb eines Betriebstemperaturbereichs von 0 °C bis 90 °C ausgelegt sind.
- Bei Sonderkonstruktionen der in diesem Absatz festgelegten Pumpentypen ist das unter 5.5.4 beschriebene Prüfverfahren in Betracht zu ziehen.

ANMERKUNG Die in den Anwendungsbereich dieser Norm fallenden Pumpentypen und -größen sind im Allgemeinen in Massenproduktion hergestellte Pumpen. Größere Pumpen am oberen Ende des Anwendungsbereichs werden möglicherweise in kleinerer Anzahl hergestellt.

1.3 Anwendung dieser Europäischen Norm

Bild 1 zeigt, wie die vorliegende Europäische Norm anzuwenden ist.

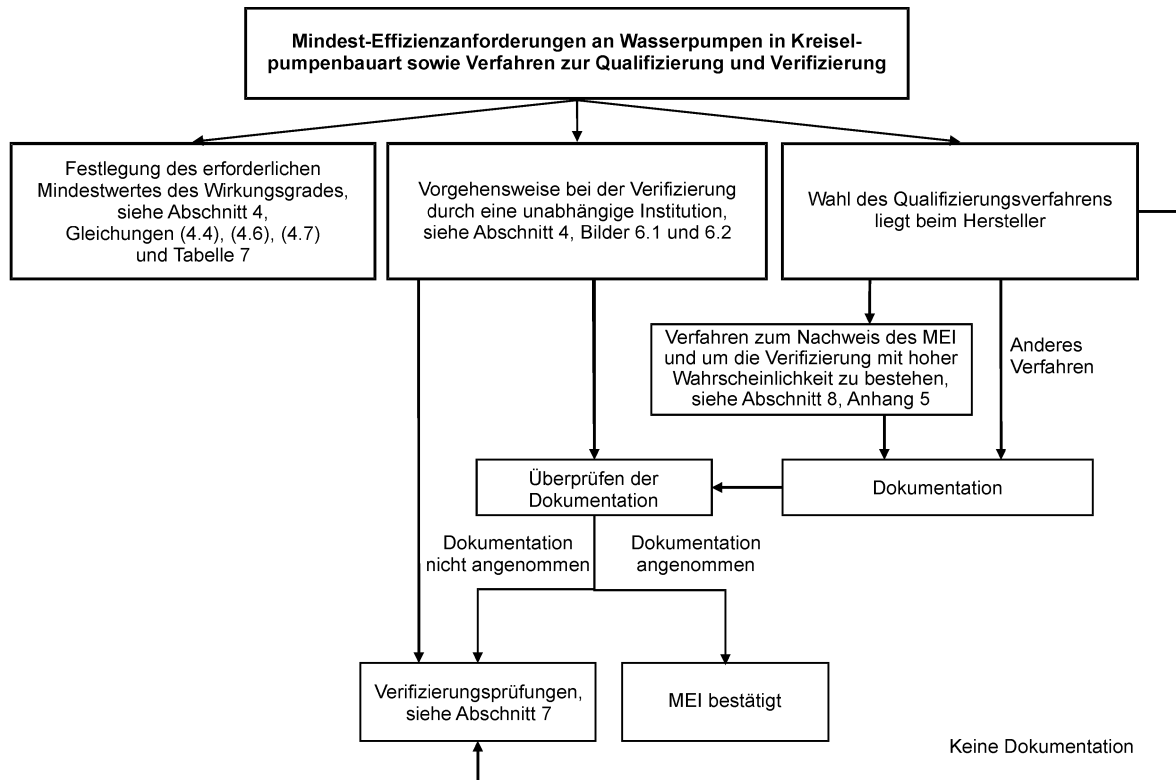


Bild 1 — Schema der Anwendung dieser Norm

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. 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).

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

ISO 2186, *Fluid flow in closed conduits — Connections for pressure signal transmissions between primary and secondary elements*

ISO 5167-1, *Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices — Part 1: Orifice plates, nozzles and Venturi tubes inserted in circular cross section conduits running full*

ISO 5198, *Centrifugal, mixed flow and axial pumps — Code for hydraulic performance tests — Precision class*

ISO 9104, *Methods of evaluating the performance of electromagnetic flowmeters for liquids in closed conduits*

ISO 9906, *Rotodynamic pumps — Hydraulic performance acceptance test — Classes 1, 2 and 3*

ISO 2854, *Statistical interpretation of data — Techniques of estimation and tests relating to means and variances*

ISO 2602, *Statistical interpretation of test results — Estimation of the mean — Confidence interval*

3 Begriffe

3.1 Allgemeines

Für die Anwendung dieser Europäischen Norm gelten die Größen, Definitionen, Symbole und Einheiten nach ISO 9906 und nach 3.2. 3.2 stellt — abweichend von ISO 9906 — spezielle Definitionen der in dieser Europäischen Norm verwendeten Begriffe gemeinsam mit allen zugehörigen Symbolen bereit und beruht auf ISO 31.

Tabelle 1 enthält eine alphabetische Auflistung der verwendeten Symbole und Tabelle 2 eine Auflistung der Indizes. Die in dieser Norm verwendeten Größen, Definitionen und Symbole stimmen so weit wie möglich mit denjenigen überein, die in ISO 9906 verwendet werden. Größen, Definitionen und Symbole, die in ISO 9906 verwendet werden, in dieser Norm jedoch keine Verwendung finden, sind unter 3.2 und in den Tabellen 1 und 2 nicht enthalten, wohingegen diese Tabellen einige Größen, Definitionen und Symbole enthalten, die in ISO 9906 nicht aufgeführt werden.

In dieser Europäischen Norm werden sämtliche Gleichungen einheitlich in SI-Einheiten angegeben.

3.2 Auflistung der Größen mit Definitionen

Begriffe aus ISO 9906 + Zusätze wie der MEI.

3.2.1

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 Relation definiert:

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

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

3.2.2

Förderstrom

Volumenstrom

der Förderstrom bezeichnet den externen Förderstrom der Pumpe, d. h. den 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.

3.2.3

Leistungsbedarf des Motors

Leistungsaufnahme des Motors

von der Antriebsmaschine der Pumpe aufgenommene Leistung

3.2.4

Pumpenwirkungsgrad

$$\eta = \frac{P_u}{P} = \frac{\text{Förderleistung}}{\text{Leistungsbedarf der Pumpe}}$$

3.2.5

Wirkungsgrad des Antriebs

$$\eta_{dr} = \frac{P}{P_{gr}} = \frac{\text{Leistungsbedarf der Pumpe}}{\text{Leistungsbedarf des Motors}}$$

3.2.6

Gesamtwirkungsgrad

$$\eta_{gr} = \frac{P_u}{P_{gr}} = \frac{\text{Förderleistung}}{\text{Leistungsbedarf des Motors}}$$

3.2.7

spezifische Drehzahl

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

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

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

3.2.8

Mindest-Effizienzindex

MEI

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

3.3 Auflistung der Grundbuchstaben und Indizes

Tabelle 1 — Alphabetische Auflistung der als Symbole verwendeten Grundbuchstaben

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

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

Tabelle 2 — Auflistung der als Indizes verwendeten Buchstaben und Ziffern

Index	Bedeutung
1	Eintritt(squerschnitt)
2	Austritt(squerschnitt)
abs	absolut
amb	Umgebung
annual	je Jahr
curve	auf der Ausgleichskurve
BEP	am Bestpunkt
dr	Motor/Antrieb
D	Bezugspunkt
exp	experimentell bestimmt
gr	Aggregat (Pumpe und Antrieb)
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
u	Nutz-
v	Dampf
x	der Menge x
y %	für die Wahrscheinlichkeit von y %
η	Effizienz, Wirkungsgrad

3.4 Allgemeine Definitionen

3.4.1

Qualifizierung

In dieser Europäischen Norm werden die Kriterien beschrieben, die erfüllt sein müssen, um eine Pumpengröße in Bezug auf einen bestimmten Wert des Mindest-Effizienzindex (MEI) zu qualifizieren. Für die Zwecke der Qualifizierung muss der Hersteller der Pumpengröße die Erfüllung der durch diese Norm festgelegten Kriterien für den Wirkungsgrad mithilfe geeigneter Verfahren nachweisen. Im Allgemeinen beziehen sich die Qualifizierungskriterien 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 Wirkungsgrades und deren Vertrauensintervalle müssen mit den Nennwerten der Mindest-Effizienzanforderungen verglichen werden. 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 können. Daher werden zu Vergleichszwecken mit den Mittelwerten im Rahmen des Qualifizierungsverfahrens sogenannte spezifische Schwellenwerte für den Wirkungsgrad bestimmt und genutzt.

3.4.2

Verifizierung der Qualifizierung

Nachdem eine Pumpengröße durch den Hersteller qualifiziert und auf den Markt gebracht wurde, darf eine unabhängige Institution die Ergebnisse des Qualifizierungsverfahrens überprüfen. In diesem Fall müssen die Prüfungen und die Auswertung der Prüfdaten nach Abschnitt 5 dieser Europäischen Norm durchgeführt werden. Die Entscheidung ist nach der in Abschnitt 7 dieser Europäischen Norm beschriebenen Vorgehensweise zu treffen.

3.4.3

unabhängige Institution

Auf Grundlage Europäischer Richtlinien und/oder nationaler Gesetzgebung können einige Institutionen befugt sein, — im Rahmen der Marktüberwachung — die berechtigte Angabe der MEI-Werte durch die Hersteller zu überprüfen. Diese Institutionen werden im Allgemeinen „unabhängige Institutionen“ genannt, unabhängig von der speziellen Art der Institution (Nichtregierungsorganisation (NGO), neutrales Institut, Marktüberwachungsbehörden oder Ähnliches).

3.4.4

Mindest-Effizienzindex (MEI)

Der Mindest-Effizienzindex (MEI) stellt ein Maß für die Qualität einer Pumpengröße in Bezug auf den Wirkungsgrad dar. Je höher der MEI-Wert ist, desto besser ist die Pumpengröße in Bezug auf den Wirkungsgrad und desto geringer ist der jährliche Energieverbrauch, wenn Pumpen dieser Größe eingebaut werden. Die Obergrenze für die Werte des Mindest-Effizienzindex (MEI) ist grundsätzlich offen und unterliegt nur physikalischen und technologischen Einschränkungen. (Zu weiteren Einzelheiten siehe 4.4 und Anhang C).

3.4.5

Nennwert der Mindest-Effizienzanforderungen

In dieser Europäischen Norm werden Kriterien festgelegt, die durch eine Pumpengröße erfüllt werden müssen, wenn diese Größe die Qualifizierung in Bezug auf einen bestimmten Wert des Mindest-Effizienzindex (MEI) erreichen soll. Die Kriterien haben die Nennwerte der Mindest-Effizienzanforderungen zur Grundlage, die in Abschnitt 4 dieser Norm festgelegt werden. Diese Nennwerte der Mindest-Effizienzanforderungen beziehen sich auf den mittleren Wirkungsgrad einer Pumpengröße und sind ihrerseits von bestimmten mittleren Eigenschaften der Pumpengröße (Pumpentyp, Nenndrehzahl, Förderstrom am Bestpunkt und spezifische Drehzahl) sowie vom Mindest-Effizienzindex (MEI) abhängig. Bei einer bestimmten Pumpengröße sind am Bestpunkt sowie bei festgelegten Betriebspunkten bei Teillast bzw. Überlast verschiedene Nennwerte der Mindest-Effizienzanforderungen relevant.

3.4.6

spezifische Schwellenwerte für den Wirkungsgrad

$\eta_{\text{threshold}}$

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

3.4.7

Pumpengröße

Die von einem Pumpenhersteller in Massenproduktion hergestellten und verkauften Pumpen desselben Typs sind größtenteils in verschiedene Größen unterteilt. Jede Größe ist durch bestimmte Maße gekennzeichnet (z. B. Nenndurchmesser des Austrittsflanschs und Nenndurchmesser des Laufrades bei Pumpen mit axialem Eintritt und mehrstufigen Pumpen, äußerer Nenn-Gehäusedurchmesser bei mehrstufigen Tauchpumpen). In einem vom Hersteller in dessen Katalogen angegebenen H - Q -Diagramm deckt innerhalb des Diagramms jede Größe 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 H - Q -Bereichs wird durch den vollen Laufraddurchmesser bestimmt, der dieser Pumpengröße entspricht.

3.4.8

voller Laufraddurchmesser einer Pumpengröße

Der maximale äußere Laufraddurchmesser, dessen Leistungsmerkmale in der geforderten Dokumentation des Herstellers für eine Pumpengröße angegeben sind, wird in dieser Europäischen Norm als „voller Laufraddurchmesser“ bezeichnet. Im Falle eines Laufrades, bei dem die Schaufelabströmkante sich nicht parallel zur Drehachse befindet, bezieht sich der volle Durchmesser auf das arithmetische Mittel der maximalen Außendurchmesser an den Vorderseiten- und Nabenabdeckungen des Laufrades. Die H - Q -Kurve des vollen Laufraddurchmessers bestimmt die Obergrenze des H - Q -Bereichs, der durch die entsprechende Pumpengröße abgedeckt wird. Im Allgemeinen gelten die mittleren Leistungswerte einer Pumpengröße für den vollen Durchmesser der entsprechenden Pumpengröße und werden für diesen verwendet. Auch die Prüfpumpen, die als Stichprobe (Muster) aus der vollen Anzahl von Pumpen einer Größe entnommen werden, müssen bei Anwendung dieser Europäischen Norm mit dem dieser Größe entsprechenden vollen Durchmesser geprüft werden.

3.4.9

Betriebs-Bestpunkt

Bei einer gegebenen Pumpe, die mit einer konstanten Drehzahl arbeitet oder durch einen Elektromotor mit einer konstanten elektrischen Frequenz betrieben wird, gibt es einen spezifischen Wert des Förderstroms Q , bei dem der Wirkungsgrad der Pumpe sein Maximum erreicht. Dieser Betriebspunkt wird „(Betriebs-)Bestpunkt“ (BEP, en: point of best efficiency) genannt. Die zugehörigen Leistungsdaten (z. B. Förderstrom Q , Förderhöhe der Pumpe H , Wirkungsgrad η) für diesen Betriebspunkt werden durch den Index BEP gekennzeichnet.

3.4.10

Betriebsbereich von Pumpen unter Teillast

Bei einer gegebenen Pumpe, die mit einer konstanten Drehzahl arbeitet oder durch einen Elektromotor mit einer konstanten elektrischen Frequenz betrieben wird, wird der Bereich der Betriebspunkte mit $Q < Q_{\text{BEP}}$ „Betriebsbereich unter Teillast“ genannt. Wenn sich der festgelegte Wert des Förderstroms innerhalb des Betriebsbereichs unter Teillast befindet, wird in dieser Europäischen Norm den Leistungsdaten der Index PL hinzugefügt.

3.4.11

Betriebsbereich von Pumpen unter Überlast

Bei einer gegebenen Pumpe, die mit einer konstanten Drehzahl arbeitet oder durch einen Elektromotor mit einer konstanten elektrischen Frequenz betrieben wird, wird der Bereich der Betriebspunkte mit $Q > Q_{\text{BEP}}$ „Betriebsbereich unter Überlast“ genannt. Wenn sich der festgelegte Wert des Förderstroms innerhalb des Betriebsbereichs unter Überlast befindet, wird in dieser Europäischen Norm den Leistungsdaten der Index OL hinzugefügt. Diese Bezeichnung der Betriebsbedingungen impliziert nicht, dass Motor oder Welle zu stark beansprucht werden. Die Pumpe arbeitet weiterhin unter zulässigen Bedingungen.

3.4.12

spezifische Drehzahl

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.

3.4.13

Mittelwerte hydraulischer Größen einer durch einen Hersteller produzierten Pumpengröße

Im Normalfall werden die in den Anwendungsbereich dieser Europäischen Norm fallenden Pumpengrößen durch den Hersteller in großen bis sehr großen Stückzahlen produziert (außer diejenigen mit einer höheren Leistungsaufnahme). Die Pumpengröße, die nach dieser Europäischen Norm zu qualifizieren ist, besteht aus der Gesamtanzahl der Pumpen, die jemals oder innerhalb eines bestimmten Zeitraums von dem entsprechenden Hersteller produziert wurden. Die Mittelwerte der hydraulischen Größen, insbesondere des Wirkungsgrades, die für die Qualifizierung einer durch einen Hersteller produzierten Größe relevant sind, werden in dieser Europäischen Norm als arithmetische gemittelte Werte der entsprechenden Einzelwerte sämtlicher Pumpen derselben Größe verstanden und verwendet, die mit einem Laufrad des vollen Durchmessers ausgestattet sind. Die Mittelwertbildung der Einzelwerte ist notwendig, da diese innerhalb der Größe eine gewisse Streuung aufweisen, die sich aus den Abweichungen der Einzelgeometrie von der durch die Konstruktion festgelegten Nenngeometrie ergibt. Im Falle großer Pumpenstückzahlen und wegen des zufälligen Auftretens der produktionsbedingten Streuung ist zu erwarten, dass die Einzelwerte der hydraulischen Größen der Pumpen derselben Größe eine (Gaußschen) Normalverteilung aufweisen (siehe Bild 5 und Anhang C). In diesem Fall entspricht der Mittelwert der hydraulischen Größe dem Maximum der Kurve der (Gaußschen) Normalverteilung und weist damit die höchste Wahrscheinlichkeit auf. Bei einer großen Gesamtanzahl von Pumpen derselben Größe (und selbst bei Pumpen dieser Größe mit vollem Laufraddurchmesser) ist es praktisch unmöglich, sämtliche Pumpen einer Größe zu prüfen. Daher können die Mittelwerte der relevanten hydraulischen Größen — durch Prüfung an einer begrenzten Stichprobe von Pumpen der entsprechenden Größe — nur innerhalb der Begrenzungen eines bestimmten Vertrauensintervalls bestimmt werden.

3.4.14

arithmetisch gemittelte Werte einer Stichprobe von Prüfpumpen

Bei der Anwendung dieser Europäischen Norm ist die Bestimmung der Mittelwerte der relevanten hydraulischen Größen einer Pumpengröße mit ausreichender Wahrscheinlichkeit für die Qualifizierung einer Pumpengröße auf der Grundlage einer Stichprobe von M Pumpen erforderlich. Zugleich kann das Verifizierungsverfahren (wie in Abschnitt 7 beschrieben) eine Durchschnittsberechnung der hydraulischen Größen erfordern, die durch Prüfungen an verschiedenen Einzelpumpen bestimmt wurden. Für diese Zwecke wird eine Stichprobe von M Pumpen geprüft, und die Einzelwerte derselben für jede der geprüften Pumpen bewerteten hydraulischen Größe sind arithmetisch zu mitteln. Das heißt, dass die Einzelwerte zu addieren sind und die Summe durch die Anzahl M der Musterpumpen zu teilen ist. Im Falle einer Qualifizierung wird dieser arithmetisch gemittelte Wert der Stichprobe vom wahren Mittelwert der Größe abweichen, doch wird Letzterer mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit auf ein bestimmtes Vertrauensintervall um den arithmetisch gemittelten Wert herum begrenzt sein. Die Breite des Vertrauensintervalls und die Wahrscheinlichkeit, mit der sich der wahre Mittelwert innerhalb dieses Vertrauensintervalls befindet, sind von der Anzahl M der Prüfpumpen und der Standardabweichung der Einzelwerte abhängig (siehe Anhang D).

3.4.15

arithmetisch gemittelter Wert einer gemessenen Größe

Bei der Messung der für die Leistung der Pumpen relevanten Größen sind aus verschiedenen Gründen einige zufällige Fluktuationen bei den Messgeräteablesewerten der gemessenen Größe unvermeidlich. Daher muss eine Anzahl N von Ablesewerten der Messgeräte bei annähernd denselben Betriebsbedingungen (Drehzahl, Stromkreiswiderstand, Eintrittsdruck, Wassertemperatur) bestimmt werden. Unter Verwendung von elektronischen Messwertgebern und Datenerfassungssystemen kann diese Probenahme auf einfache Weise durch ein Stichprobenverfahren ausgeführt werden.

Aus den als Stichproben bestimmten Ablesewerten derselben Größe kann durch Addieren sämtlicher als Stichproben bestimmter Ablesewerte und Dividieren der Summe durch die Anzahl N der Ablesewerte der arithmetisch gemittelte Wert dieser Größe berechnet werden. Der wahre Mittelwert der Ablesewerte (aufgrund der verbleibenden systematischen Unsicherheit der Messgeräte jedoch nicht der wahre Mittelwert der physikalischen Größe selbst) wird mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit auf ein Vertrauensintervall um den arithmetisch gemittelten Wert der gemessenen Größe herum begrenzt sein. Die Breite des Vertrauensintervalls und die Wahrscheinlichkeit, mit der der wahre Mittelwert innerhalb des Vertrauensintervalls liegt, sind von der Anzahl N der Ablesewerte und der Standardabweichung der einzelnen Ablesewerte abhängig (siehe Anhang D).

3.4.16

Vertrauensintervall

Das Vertrauensintervall einer physikalischen Größe ist der Bereich von Werten dieser Größe, auf den der wahre, jedoch unbekannte Wert der Größe mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit begrenzt ist. Unter Anwendung der mathematischen Statistik kann das Vertrauensintervall aus den Ergebnissen bestimmt werden, die sich aus einer Stichprobe mit begrenzter Anzahl ergeben (siehe Anhang D).

3.4.17

Standardabweichung

Wenn die Werte einer physikalischen Größe einer Grundgesamtheit (z. B. die Gesamtanzahl der Pumpen einer Größe) eine statistische Verteilung entsprechend der sogenannten Normalverteilung bzw. Gaußschen Verteilung aufweisen, kann die Form dieser Verteilung durch die Standardabweichung der Einzelwerte beschrieben werden. Die Standardabweichung der k -Werte einer Stichprobe wird durch die Quadratwurzel der Summe der quadratischen Abweichungen der Einzelwerte aus deren arithmetischem Mittel berechnet, wobei die Summe durch $k - 1$ geteilt wird. Die Standardabweichung liefert Informationen über die Breite des Vertrauensintervalls, innerhalb dessen jeder Einzelwert mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit erwartet werden kann. So hat z. B. das Vertrauensintervall für eine Wahrscheinlichkeit von 95 % eine Breite von annähernd dem Zweifachen der Standardabweichung (genau: das 1,96-Fache der Standardabweichung) auf beiden Seiten, dividiert durch die Quadratwurzel der Anzahl der Ablesewerte (bei einer großen Anzahl von Ablesewerten) des arithmetisch gemittelten Wertes der Stichprobe (siehe Anhang D).

3.4.18

Messunsicherheiten

Aufgrund der unvermeidlichen Fehler, die jeder Messausrüstung und jedem Verfahren innewohnen, kann der wahre Wert einer physikalischen Größe durch Messungen niemals genau bestimmt werden. Die gesamten Messfehler können in zufällige und systematische unterteilt werden und durch verschiedene Maßnahmen reduziert, jedoch niemals vollständig vermieden werden. Je kleiner die Messfehler sind, desto größer ist die Genauigkeit des Ergebnisses. Die größtmögliche Differenz, um die ein Messergebnis mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit vom wahren Wert der gemessenen Größe abweicht, wird „Messunsicherheit“ genannt. Sie kann als absoluter Wert angegeben werden (mit der Einheit der gemessenen Größe) oder als relativer, auf den gemessenen Wert der Größe bezogener Wert (in den meisten Fällen in %).

3.4.19

Streuung

Die bei einem Verfahren, wie z. B. der Herstellung von Pumpen derselben Größe oder der wiederholten Messung derselben physikalischen Größen, auftretenden Zufallseffekte führen zu leichten Unterschieden in den einzelnen Ergebnissen dieses Verfahrens, wie z. B. bei den Maßangaben und den hydraulischen Leistungsmerkmalen der einzelnen Pumpen bzw. den einzelnen Ablesewerten der physikalischen Größen. Die Abweichungen der Einzelwerte vom wahren Mittelwert oder vom arithmetisch gemittelten Wert werden „Streuung“ genannt. Diese Streuung erstreckt sich mit hoher Wahrscheinlichkeit über einen begrenzten Bereich. Die Breite dieses Bereichs stellt ein indirektes Maß für die Zufallseffekte dar, die das Ergebnis des Verfahrens beeinflussen.

3.4.20

Toleranzen

Im Allgemeinen ist eine auf eine physikalische Größe angewendete Toleranz als die maximal zulässige Abweichung des Ergebnisses eines Herstellungs- oder Messverfahrens vom genauen oder wahren Wert definiert. Wegen der unvermeidlichen Ungenauigkeiten der Fertigungswerkzeuge, -maschinen und -verfahren wird im Falle der Herstellungsverfahren der produzierte Gegenstand nie genau die ideale Geometrie aufweisen, die im Auslegungsprozess festgelegt wurde.

Die auf die geometrischen Maße eines Produktes angewendeten Fertigungstoleranzen legen die maximal zulässige Abweichung der tatsächlichen Geometrie (die sich aus dem Fertigungsverfahren ergibt) von der idealen Geometrie fest. Die Größenordnung der geometrischen Fertigungstoleranzen ist Teil des Auslegungsprozesses und muss durch Qualitätssicherungsmaßnahmen verifiziert werden. Bei Produkten, die auf Grundlage einer identischen Konstruktion in großen Stückzahlen hergestellt werden (Massenfertigung), werden die Fertigungsungenauigkeiten zu einer Streuung der entsprechenden geometrischen Maße führen. Die geometrischen Toleranzen begrenzen den zulässigen Bereich dieser Streuung. Im Falle massengefertigter Pumpen wird die Streuung der geometrischen Maße zu einer entsprechenden Streuung der hydraulischen Leistungswerte und -merkmale führen. In dieser Europäischen Norm definieren die hydraulischen Fertigungstoleranzen massengefertigter Pumpen den Bereich, innerhalb dessen die für die Qualifizierung relevanten Leistungswerte von den Mittelwerten der entsprechenden Größe abweichen können (dies gilt insbesondere für Pumpen mit vollem Laufraddurchmesser). Sofern die relevanten Leistungswerte einer einzelnen Pumpe mit gegebener Größe genau bekannt sind, werden die entsprechenden Mittelwerte von diesen Werten um nicht mehr als $\pm$ die hydraulische Fertigungstoleranz abweichen (faktisch sind die Messungenauigkeiten zu berücksichtigen).

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 (zu weiteren Informationen bezüglich der Aspekte 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 variable 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:

$$\text{A. } (\eta_{\text{BEP}})_{\text{mean}} \geq (\eta_{\text{BEP}})_{\text{min,requ}} \quad (4.1)$$

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

$$\text{B. } (\eta_{\text{PL}})_{\text{mean}} \geq (\eta_{\text{PL}})_{\text{min,requ}} \quad (4.2)$$

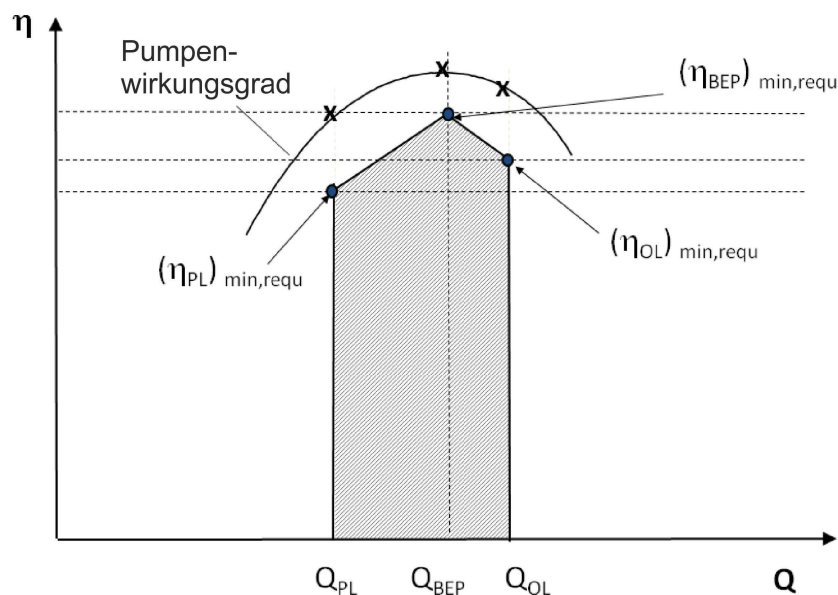
$$(\eta_{\text{OL}})_{\text{mean}} \geq (\eta_{\text{OL}})_{\text{min,requ}} \quad (4.3)$$

In dieser Norm sind die Betriebspunkte, die für den Wirkungsgrad in den Bereichen der Teillast und der Überlast repräsentativ sein müssen, mit $Q_{\text{PL}} = 0,75 Q_{\text{BEP}}$ und $Q_{\text{OL}} = 1,1 Q_{\text{BEP}}$ 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 Wirkungsgrades der Größe ein hohes Maximum und eine große Breite aufweisen, um die Qualifikationskriterien 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 Wirkungsgrades der Größe, deren Maximum am Bestpunkt liegt, nicht in das „Dach“ des „Effizienzhauses“ eindringen.



Legende

η_p Pumpenwirkungsgrad

Bild 2 — „Effizienzhaus“ — erläuternde Darstellung

4.2 Mathematische Darstellung der Mindest-Effizienzanforderungen

Die Werte der Mindest-Effizienzanforderungen an Pumpengrößen, die die Qualifikationskriterien A und B erfüllen, beruhen auf wissenschaftlichen Analysen des erreichbaren Wirkungsgrades von Kreiselpumpen ([3]¹⁾, [4] und [5]) sowie auf einer statistischen Auswertung der Daten aus verschiedenen Fragebögen, die im Jahre 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) min^{-1} , der Bereich der Förderströme beim Bestpunkt Q_{BEP} beträgt (1,8 bis 1 200) m^3/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 Wirkungsgrades von den Hauptparametern (siehe Anhang B) wurden die zusammengetragenen Daten für jeden durch den Anwendungsbereich abgedeckten Pumpentyp und jede abgedeckte Nenndrehzahl entsprechend einer Darstellung der Form $\eta_{\text{BEP}} = f(n_s, Q_{\text{BEP}})$ geordnet.

Diese Korrelation ist durch eine mathematische Gleichung beschrieben (siehe nachstehende Angabe). Die Form dieser Gleichung beruht auf zuvor durchgeführten Untersuchungen [3]. Die verschiedenen Schritte, die durchzuführen sind, um aus den zusammengetragenen Daten die quantitative Beschreibung der Relation $\eta_{\text{BEP}} = f(n_s, Q_{\text{BEP}})$ in Form einer 3-dimensionalen quadratischen polynomen Approximation zu bilden, sind im Abschlussbericht der Auswertungsstudie [7] ausführlicher dargestellt.

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

$$\eta_{\text{BEP}} = -11,48(\ln(n_s))^2 - 0,85 \cdot (\ln(Q_{\text{BEP}}))^2 - 0,38 \cdot \ln(n_s) \cdot \ln(Q_{\text{BEP}}) + 88,59 \ln(n_s) + 13,46 \cdot \ln(Q_{\text{BEP}}) - C \quad (4.4)$$

Dabei ist

η_{BEP}	in [%] angegeben;
n_s	in [min^{-1}] angegeben;
Q_{BEP}	in [m^3/h] angegeben;
C	eine Konstante in [%], die vom Mindest-Effizienzindex (MEI) abhängt, siehe 4.4.

Das nach Gleichung (4.4) 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 (siehe [2] bis [5] für weitere Informationen).

1) Für Verweisungen siehe A.2.

Unter der Annahme, dass keine weiteren Begrenzungen vorliegen, gilt Gleichung (4.4) 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 (MMS) 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

In [7] wurden die durch die Hersteller bereitgestellten Pumpendaten auch bei ausgewählten Betriebspunkten mit Teillast ($0,75 Q_{BEP}$) und Überlast ($1,10 Q_{BEP}$) bewertet.

Für jeden Pumpentyp wurden wie folgt definierte Koeffizienten der Teil- und der Überlast berechnet:

$$x_{PL} = \frac{\eta_{PL}}{\eta_{BEP}} ; x_{OL} = \frac{\eta_{OL}}{\eta_{BEP}} \quad (4.5)$$

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

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

$$(\eta_{PL})_{\min, \text{requ}} = 0,947 \cdot (\eta_{BEP})_{\min, \text{requ}} \quad (4.6)$$

$$(\eta_{OL})_{\min, \text{requ}} = 0,985 \cdot (\eta_{BEP})_{\min, \text{requ}} \quad (4.7)$$

4.4 Mindest-Effizienzindex

Durch Variieren der Konstanten C in der Gleichung für η_{BEP} werden die sich aus Gleichung (4.4) 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 Wertes 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 wurden. 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 [7] 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 und 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.