

DIN EN 17038-4



ICS 23.080

Einsprüche bis 2022-06-01

Entwurf

**Pumpen –
Methoden zur Qualifikation des Energieeffizienzindex für
Kreispumpen –
Teil 4: Prüfung und Berechnung des Energieeffizienzindex (EEI)
mehrstufiger Tauchmotorpumpenaggregate;
Deutsche und Englische Fassung prEN 17038-4:2021**

Pumps –
Methods of qualification of the Energy Efficiency Index for rotodynamic pump units –
Part 4: Testing and calculation of energy efficiency index (EEI) of submersible multistage
pump units;
German and English version prEN 17038-4:2021

Pompes –
Méthodes de qualification de l'indice de rendement des groupes motopompes
rotodynamiques –
Partie 4: Essais et calcul de l'indice de rendement énergétique (EEI) pour les unités de
pompage submersibles des forages;
Version allemande et anglaise prEN 17038-4:2021

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2022-04-01 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@vdma.org 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 oder 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 77 Seiten

DIN-Normenausschuss Maschinenbau (NAM)

Nationales Vorwort

Dieser Norm-Entwurf enthält sicherheitstechnische Festlegungen.

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.

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

Dieses Dokument beschreibt die Ermittlung des Energieeffizienzindex EEI, der ein Maß zur Bewertung von mehrstufigen Unterwasserpumpenaggregaten nach ihrer Energieeffizienz bietet. Er ersetzt jedoch nicht die Notwendigkeit einer Lebenszeitkostenanalyse des Energieverbrauchs über die Lebensdauer des mehrstufigen Unterwasserpumpenaggregats.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

<i>Titel de:</i>	Pumpen — Methoden zur Qualifikation des Energieeffizienzindex für Kreiselpumpen — Teil 4: Prüfung und Berechnung des Energieeffizienzindex (EEI) mehrstufiger Tauchmotorpumpenaggregate
<i>Titel en:</i>	Pumps — Methods of qualification of the Energy Efficiency Index for rotodynamic pump units — Part 4: Testing and calculation of energy efficiency index (EEI) of submersible multistage pump units
<i>Titel fr:</i>	Pompes — Méthodes de qualification de l'indice de rendement des groupes motopompes rotodynamiques — Partie 4: Essais et calcul de l'indice de rendement énergétique (EEI) pour les unités de pompage submersibles des forages

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe und Definitionen	7
4 Symbole und Abkürzungen	11
5 Allgemeine Bedingungen für den Betrieb von mehrstufigen Unterwasserpumpenaggregaten	12
6 Referenz-Durchfluss-Zeit-Profil und Referenz-Druckregelkurve	13
6.1 Allgemeines	13
6.2 Referenz-Durchfluss-Zeit-Profil	14
6.3 Referenz-Druckregelkurven	14
7 Bestimmung der durchschnittlichen elektrischen Leistungsaufnahme $P_{1,avg}$ durch Prüfung	15
7.1 Allgemeines	15
7.1.1 Allgemeines	15
7.1.2 Prüfbedingungen	15
7.1.3 Messgeräte	16
7.1.4 Messunsicherheiten der Messgrößen	17
7.2 Messverfahren	17
7.2.1 Messschritte	17
7.2.2 Bestimmung von $Q_{100\%}$ und $H_{100\%}$	17
7.2.3 Bestimmung der Referenzlastpunkte	17
7.2.4 Einstelltoleranzen	18
7.2.5 Korrekturen für Abweichungen bei Durchfluss und Förderhöhe	18
7.3 Berechnung von $P_{1,avg}$	18
8 Bestimmung der durchschnittlichen elektrischen Leistungsaufnahme $P_{1,avg}$ mit Hilfe eines halbanalytischen Modells	19
8.1 Allgemeines	19
8.2 Das semi-analytische Modell für rotodynamische Tauchmotorpumpen	19
8.3 Pumpenaggregate im Betrieb mit fester Drehzahl	20
8.3.1 Allgemeines	20
8.3.2 Das Modell des Elektromotors	20
8.3.3 Zusammenwirken von Pumpe und Motor	21
8.3.4 Bestimmung von $Q_{100\%}$ und $H_{100\%}$	21
8.3.5 Bestimmung des $P_{1,avg,c}$ -Wertes	22
8.4 Pumpenaggregate mit einem Power Drive System (PDS)	22
8.4.1 Allgemeines	22
8.4.2 Das Modell des Power Drive Systems (PDS)	24
8.4.3 Zusammenwirken von Pumpe und PDS	26
8.4.4 Bestimmung von $Q_{100\%}$ und $H_{100\%}$	27
8.4.5 Bestimmung von $P_{1,avg}$ für Pumpenaggregate mit PDS	28
9 Bestimmung der elektrischen Referenzleistungsaufnahme $P_{1,ref}$	29

10	Berechnung des Energieeffizienzindex (EEI).....	30
	Anhang A (informativ) Erzeugung von Eingabedaten für die Modelle der Komponenten eines mehrstufigen Tauchmotorpumpenaggregats.....	31
A.1	Eingangsdaten für das Modell einer rotodynamischen Tauchpumpe	31
A.2	Eingangsdaten für das Modell eines netzgespeisten Unterwassermotors.....	32
A.3	Eingangsdaten für das Modell eines PDS bestehend aus Tauchmotor und CDM	32
	Anhang B (informativ) Experimentelle Bestimmung der Reibungsverluste von Axiallagern.....	34
	Anhang C (informativ) Bestimmung der EEI-Werte anhand von Daten für RCDMs.....	35
	Literaturhinweise.....	36

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 17038-4:2021) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 197 „Pumpen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Einleitung

Dieses Dokument ist der vierte Teil einer Normenreihe, in der eine Methodik zur Bewertung der Energieeffizienz von mehrstufigen Tauchpumpenaggregaten (MS-S) beschrieben wird, die aus einem rotodynamischen Pumpenteil und einem Tauchmotor bestehen, der entweder direkt vom Netz gespeist oder mit einem Frequenzumrichter (CDM) zu einem Power Drive System (PDS) kombiniert wird. Aus Gründen der Konsistenz mit anderen Normen wird in diesem Dokument CDM verwendet. VSD, für Variable Speed Drive, ist der in den Ökodesign-Vorschriften verwendete Begriff. Rotodynamische Pumpen und Motoren sind mit Außendurchmessern und besonderen Konstruktionsmerkmalen ausgestattet, die es ermöglichen, sie in Bohrlöchern zu installieren und sie vollständig von der gepumpten Flüssigkeit umgeben zu betreiben. Die Methodik basiert auf einem dimensionslosen numerischen Wert, dem Energieeffizienz-index (*EEL*). Ein *EEL*-Wert ermöglicht den Vergleich verschiedener Konfigurationen anhand eines gemeinsamen Indikators. Physikalische Einflüsse wie Größe und Stufenzahl der eingebauten rotodynamischen Pumpe, Teillastbetrieb des Aggregats, Motor-Wirkungsgrad-Charakteristik und Einfluss des Frequenzumrichters werden in diese Kennzahl einbezogen.

Spezifische Anforderungen für die Prüfung und eine Berechnungsmethode für den *EEL*, das so genannte semi-analytische Modell (SAM) von mehrstufigen Tauchpumpenaggregaten, spezifische Durchfluss-Zeit-Profile und Referenz-Druckregelkurven sind in diesem Dokument enthalten.

Der *EEL* ist ein Index zur Bewertung von mehrstufigen Unterwasserpumpenaggregaten nach ihrer Energieeffizienz, ersetzt jedoch nicht die Notwendigkeit einer Lebenszeitkostenanalyse des Energieverbrauchs über die Lebensdauer des mehrstufigen Unterwasserpumpenaggregats.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt Methoden und Verfahren zur Prüfung, Berechnung und Bestimmung des Energieeffizienzindex (EEI) von mehrstufigen Tauchmotorpumpen fest.

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 16480:2021, *Pumpen — Rotodynamische Pumpen — Geforderter Mindestwirkungsgrad von rotodynamischen Wasserpumpen und Bestimmung des Mindestwirkungsgrades (MEI)*

EN 17038-1:2019, *Pumpen — Verfahren zur Qualifizierung und Überprüfung des Energieeffizienzindex für rotodynamische Pumpenaggregate — Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Verfahren zur Prüfung und Berechnung des Energieeffizienzindex (EEI)*

EN 17038-2:2019¹, *Pumpen — Verfahren zur Qualifizierung und Überprüfung des Energieeffizienzindex für rotodynamische Pumpenaggregate — Teil 2: Prüfung und Berechnung des Energieeffizienzindex (EEI) von Einzelpumpenaggregaten*

EN ISO 9906:2012, *Kreiselpumpen — Hydraulische Leistungsabnahmeprüfungen — Klassen 1, 2 und 3 (ISO 9906:2012)*

EN ISO 17769-1:2012, *Flüssigkeitspumpen und ihre Installation — Allgemeine Begriffe, Definitionen, Größen, Kurzzeichen und Einheiten — Teil 1: Flüssigkeitspumpen (ISO 17769-1:2012)*

EN 60034-1:2010, *Drehende elektrische Maschinen — Teil 1: Bemessung und Leistung (IEC 60034-1:2010)*

EN 60034-2-1:2014, *Drehende elektrische Maschinen — Teil 2-1: Standardverfahren zur Bestimmung von Verlusten und Wirkungsgraden aus Prüfungen (ausgenommen Maschinen für Traktionsfahrzeuge) (IEC 60034-2-1:2014)*

EN IEC 60034-2-3:2020, *Drehende elektrische Maschinen — Teil 2-3: Spezifische Prüfverfahren zur Bestimmung der Verluste und des Wirkungsgrades von umrichter gespeisten Drehstrommotoren (IEC 60034-2020)*

EN IEC 60038:2011/prA1:2020, {Fragment 1}, *Standardspannungen für die Niederspannungsversorgung und Niederspannungsgeräte (Vorgeschlagene horizontale Norm)*

EN IEC 60038:2011/prA1:2020, {Fragment 2}, *Standardspannungen für AC-Versorgung und AC-Geräte (Vorgeschlagene horizontale Norm)*

EN IEC 60038:2011/prA1:2020, {Fragment 3}, *Standardspannungen für DC- und AC-Traktionssysteme (Vorgeschlagene horizontale Norm)*

EN 61800-9-2:2017, *Elektrische Leistungsantriebssysteme mit einstellbarer Drehzahl — Teil 9-2: Ökodesign für Leistungsantriebssysteme, Motorstarter, Leistungselektronik und deren angetriebene Anwendungen - Energieeffizienzindikatoren für Leistungsantriebssysteme und Motorstarter (IEC 61800-9-2:2017)*

¹ Wie von EN 17038-2:2019/AC:2020 betroffen

3 Begriffe und Definitionen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN ISO 17769-1:2012 und die folgenden Begriffe.

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

- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: verfügbar unter <https://www.electropedia.org/>

3.1

mehrstufiges Tauchmotor-Wasserpumpenaggregat MS-S

mehrstufiges Tauchmotorpumpenaggregat besteht aus einer mehrstufigen Tauchpumpe und einem Unterwassermotor mit oder ohne drehzahlgeregelten Antrieb (VSD)

3.2

Unterwassermotor für Bohrlöcher

Elektromotor, der für den Betrieb unter Wasser bei Betriebstemperaturen nicht unter 0 °C und nicht über 40 °C ausgelegt ist

3.3

mehrstufige Unterwasserpumpe MSS

mehrstufige ($i > 1$) rotodynamische Wasserpumpe mit einem Nenn-Außendurchmesser von 2,5" (63,5 mm) bis 6" (152,4 mm), konstruiert für den Betrieb in untergetauchtem Zustand bei Betriebstemperaturen im Bereich von 0 °C und 90 °C, mit einem Nennförderstrom $> 1,75 \text{ m}^3/\text{h}$

3.4

sauberes Wasser

Wasser mit einem maximalen Gehalt an nicht absorbierenden freien Feststoffen von $0,25 \text{ kg/m}^3$ und mit einem maximalen Gehalt an gelösten Feststoffgehalt von 50 kg/m^3 , sofern der Gesamtgasgehalt des Wassers das Sättigungsvolumen nicht überschreitet

Anmerkung 1 zum Begriff: Zusätze, die erforderlich sind, um das Gefrieren des Wassers bis zu -10 °C zu verhindern, bleiben unberücksichtigt.

3.5

sauberes kaltes Wasser

sauberes Wasser, das für die Pumpenprüfung zu verwenden ist, mit einer maximalen kinematischen Viskosität von $1,5 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, einer maximalen Dichte von $1\,050 \text{ kg/m}^3$ und einer maximalen Temperatur von 40 °C

3.6

Pumpenaggregat mit fester Drehzahl

Pumpenaggregat ohne drehzahlvariablen Antrieb (VSD)

3.7

Pumpenaggregat mit variabler Drehzahl

Pumpenaggregat mit Frequenzumrichter

3.8

komplettes Antriebsmodul

CDM, en: complete drive module

Antrieb mit variabler Geschwindigkeit

VSD, en: variable speed drive

elektronischer Stromrichter, der zwischen die elektrische Versorgung und einen Motor geschaltet ist, sowie Erweiterungen wie Schutzeinrichtungen, Transformatoren und Hilfseinrichtungen (nach EN 61800-2)

Anmerkung 1 zum Begriff: Dieser Begriff ist in EN 61800-2 definiert.

3.9

Leistungsantriebssystem

PDS, en: power drive system

Kombination aus CDM und Motor

3.10

Rückschlagventil

Rückschlagventil

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein solches Ventil wird häufig in mehrstufige Tauchpumpenaggregate eingebaut.

3.11

konstanter Durchfluss

geringe Schwankungen des Förderstroms um den Nennwert

Anmerkung 1 zum Begriff: Verursacht durch sekundäre Einflüsse aus dem Prozess, wie z. B. den (mäßig) schwankenden Flüssigkeitsstand in Behältern usw. Die Schwankung des Förderstroms liegt typischerweise in dem Bereich, der durch die Definition und Bestimmung des Mindesteffizienzindex (*MEI*) der Pumpe abgedeckt wird (siehe EN 16480) und der von 0,75 $Q_{100\%}$ bis 1,1 $Q_{100\%}$ reicht.

3.12

variabler Durchfluss

stark schwankender Förderstrom

Anmerkung 1 zum Begriff: Typischerweise ist der tatsächliche Bedarf an Fördermenge Q und Förderhöhe H der Pumpe bei einem beträchtlichen Teil der Gesamtbetriebszeit wesentlich geringer als die Werte im Betriebspunkt des maximalen Förderstroms, die von der Anwendung gefordert wird.

3.13

Saugdruck

Druck am Einlass der mehrstufigen Unterwasserpumpe

Anmerkung 1 zum Begriff: Alle Drücke sind Überdruckwerte (bezogen auf den Umgebungsdruck).

3.14

Austrittsdruck

Druck am Austritt einer mehrstufigen Tauchpumpe

3.15

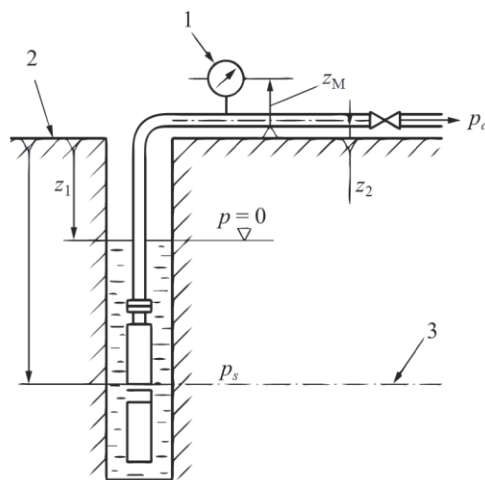
Gesamt-Differenzdruck

Gesamtdifferenzdruckhöhe (oder nur Druckhöhe) der mehrstufigen Tauchmotorpumpe entspricht der Gleichung (1):

$$H = z_2 - z_1 + \frac{p_d - p_s}{\rho \cdot g} \quad (1)$$

Dabei ist

- H die Gesamtdifferenzhöhe [m];
- z_2 die geodätische Höhe des Referenzpegels;
- z_1 die geodätische Höhe des dynamischen Wasserspiegels;
- p_d der Förderdruck [Pa];
- p_s der Saugdruck [Pa];
- ρ die Dichte des Prüfwassers bei 20 °C (= 998,2 kg/m³);
- g die Gravitationskonstante (= 9,81 m/s²).



Legende

- 1 Druckanzeige
- 2 Bezugsebene
- 3 NPSH-Bezugsebene
- p_d Förderdruck [Pa]
- p_s Saugdruck [Pa]
- ρ Dichte des Prüfwassers bei 20 °C (d. h. 998,2 kg/m³)
- z_2 geodätische Höhe des Bezugspegels
- z_1 geodätische Höhe des dynamischen Wasserspiegels
- z_M geodätische Höhe des Druckmesswerts zur Bezugsebene

Bild 1 — Bezeichnungen im Aufbau der Unterwassermotorpumpeneinheit

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Differenzen der dynamischen Förderhöhe $U_z/(2 \cdot g)$ (mit c = Strömungsgeschwindigkeit) und der geodätischen Höhe z zwischen Einlass und Auslass der mehrstufigen Tauchmotorpumpe sind in der Regel sehr klein im Vergleich zur Druckhöhe und werden daher in Gleichung (1) vernachlässigt.

3.16

hydraulische Leistung

arithmetisches Produkt aus dem Durchfluss Q und der Förderhöhe H und einer Konstante a nach Gleichung (2):

$$P_{\text{hyd}} = \rho \cdot Q \cdot g \cdot H \quad (2)$$

Dabei ist

P_{hyd} die hydraulische Leistung [W];

Q der Durchfluss [m^3/s];

H die Gesamthöhe [m];

g die Gravitationskonstante $9,81 \text{ m/s}^2$;

ρ die Dichte der Flüssigkeit [kg/m^3].

3.17

elektrische Leistungsaufnahme (P_1)

zugeführte elektrische Leistung:

- an den Motor im Falle eines (netzgespeisten) Pumpenaggregats mit fester Drehzahl;
- an den CDM im Falle eines drehzahlgeregelten Pumpenaggregats

3.18

Wirkungsgrad des Pumpenaggregats

Verhältnis zwischen der hydraulischen Leistung P_{hyd} und der elektrischen Leistungsaufnahme P_1

3.19

Punkt des besten Wirkungsgrads des Pumpenaggregats

$Q_{\text{BEP,Aggregat}} / H_{\text{BEP,Aggregat}}$

Förderhöhe, bei der das Pumpenaggregat mit dem besten Wirkungsgrad und bei maximalem Betrieb läuft

3.20

Bezugsdurchfluss, $Q_{100\%}$

Durchfluss pro Zeiteinheit [m^3/s] oder [m^3/h] am Punkt des besten Wirkungsgrades (BEP) des Pumpenaggregats

3.21

Bezugsförderhöhe, $H_{100\%}$

Gesamtdifferenzhöhe [m] am Punkt des besten Wirkungsgrades (BEP) des Pumpenaggregats

3.22

Regelkurve

funktionale Abhängigkeit der geforderten Förderhöhe H von des Förderstroms Q in Form eines dimensionslosen Zusammenhangs $H/H_{100\%} = f(Q/Q_{100\%})$

3.23

Referenz-Kontrollkurve

vordefinierte funktionale Abhängigkeit $H/H_{100\%} = f(Q/Q_{100\%})$ für standardisierte Messungen und Berechnungen der durchschnittlichen Leistungsaufnahme $P_{1, \text{avg}}$

3.24

Durchfluss-Zeit-Profil

Verhältnis zwischen den Intervallen der Fördermenge und dem relativen Betriebszeitmuster der Perzentile der Zeit, in der das Pumpenaggregat mit einer bestimmten Fördermenge läuft

3.25

Mindesteffizienz-Index (MEI)

dimensionslose Zahl für die Energieeffizienz von Pumpen

Anmerkung 1 zum Begriff: Dieser Begriff ist in EN 16480:2021 definiert.

4 Symbole und Abkürzungen

Für die Zwecke dieses Dokuments gelten die in Tabelle 1 aufgeführten Symbole und Einheiten.

Tabelle 1 — Symbole und Einheiten

Symbol	Beschreibung	Einheit
g	Gravitationskonstante	m/s^2
H	(Gesamt-)Förderhöhe	m
$H_{\text{BEP,PU}}$	(Gesamt-) Förderhöhe im Punkt des besten Wirkungsgrades einer Pumpe	m
$H_{\text{BEP,N}}$	(Gesamt-) Förderhöhe ...	m
H_{geo}	geodätische Förderhöhe	m
$H_{\text{L,cv}}$	Förderhöhenverlust durch ein Rückschlagventil	m
H_{meas}	gemessene Förderhöhe	m
$H_{\text{resistance}}$	Förderhöhenverlust des versorgten hydraulischen Systems	m
$H_{100\%}$	Förderhöhe bei 100 % Betriebspunkt	m
i	Stufenzahl der mehrstufigen Pumpen	-
i	fortlaufende Anzahl der Lastpunkte	[-]
k	Anzahl der Stützpunkte	[-]
K	Konstante in Gleichung / Gleichung (3)	s^2/m^5 oder h^2/m^5
n	Drehzahl	min^{-1}
$n_{\text{N,PU}}$	Nenndrehzahl einer Pumpe	min^{-1}
n_s	spezifische Drehzahl einer Pumpe	min^{-1}
N	Gesamtzahl der Lastpunkte	[-]
p	Druck bar	bar (g)
p_s	Ansaugdruck bar	bar (g)
p_d	Druck am Auslass bar	bar (g)
P_1	elektrische Leistungsaufnahme	W, kW
$P_{1, \text{ref}}$	Referenzwert der elektrischen Leistungsaufnahme	W, kW

Symbol	Beschreibung	Einheit
$P_{1, \text{meas}}$	gemessene elektrische Eingangsleistung	W, kW
P_2	mechanische Leistung, die vom Motor auf den hydraulischen Pumpenteil übertragen wird	W, kW
$P_{2, \text{kalibriert}}$	Wellenleistung des kalibrierten Unterwassermotors ohne Axialschubbelastung	W, kW
P_L	Verlustleistung	W, kW
Q	Durchflussmenge	m ³ /h
$Q_{\text{BEP,PU}}$	Durchflussmenge am Punkt des besten Wirkungsgrades eines Pumpenaggregats	m ³ /h
$Q_{\text{BEP,N}}$	Durchflussmenge am Punkt des besten Wirkungsgrades eines Pumpenaggregats	m ³ /h
Q_{ref}	Bezugsdurchfluss	m ³ /h
Q_{test}	Prüfförderstrom	m ³ /h
$Q_{100\%}$	100%-Fördermenge	m ³ /h
s	Schlupf der Motorendrehzahl	[-] oder %
t	Zeit	s; min; h
T	Drehmoment	Nm
η	Wirkungsgrad	[-] oder %
ρ	Dichte	kg/m ³

5 Allgemeine Bedingungen für den Betrieb von mehrstufigen Unterwasserpumpenaggregaten

In der Mehrzahl der Fälle werden mehrstufige Tauchmotorpumpenaggregate in Bohrlöchern installiert und betrieben. In diesen Fällen ist der an das Pumpenaggregat angeschlossene hydraulische Kreislauf ein offenes System mit vorherrschender geodätischer Förderhöhe H_{geo} . Die Widerstandskurve, die die Betriebspunkte des Pumpenaggregats bestimmt, ist von der Art, wie sie in Gleichung (3) angegeben ist:

$$H_{\text{resistance}} = H_{\text{geo}} + K \cdot Q^2 \quad (3)$$

wobei typischerweise der durch Reibungsverluste in den Rohrleitungen verursachte Druckverlust $K Q^2$ viel kleiner ist als die geodätische Förderhöhe H_{geo} .

Je nach Anwendungsfall kann der Bereich des Durchflussbedarfs eher klein („konstanter Durchfluss“) oder eher groß („variabler Durchfluss“) sein.

Insbesondere bei stark schwankendem Förderstrombedarf ist es (im Hinblick auf den Energieverbrauch) vorteilhaft, das Pumpenaggregat mit variabler Drehzahl zu betreiben. Diese Betriebsart erfordert eine drehzahlgeregelte Pumpe. In anderen Fällen kann es ausreichend sein, das Pumpenaggregat mit fester Drehzahl zu betreiben, d. h. den Elektromotor direkt aus dem Netz zu speisen.

6 Referenz-Durchfluss-Zeit-Profile und Referenz-Druckregelkurve

6.1 Allgemeines

Je nach den beiden unterschiedlichen Betriebsarten (konstanter oder variabler Durchfluss) sind zwei unterschiedliche Referenz-Durchfluss-Zeit-Profile relevant (siehe 6.3), die zu zwei unterschiedlichen numerischen Werten des EEI führen. Diese Werte werden als EEI_c (für die Betriebsart mit konstantem Durchfluss) und EEI_v (für die Betriebsart mit variablem Durchfluss) bezeichnet.

Als Betriebspunkte für die Bestimmung des EEI_c sind in der Betriebsart "Konstanter Durchfluss" die Werte des Förderstroms Q nach dem entsprechenden Referenz-Fluss-Zeit-Profil (siehe 6.3) und die Werte der Förderhöhe H nach der Q - H -Kurve des aktuellen Pumpenaggregats bei konstanter (Netz-)Frequenz definiert. Insofern stellt diese Q - H -Kurve die Referenz-Druckregelkurve für EEI_c dar.

Bei der Betriebsart mit variablem Förderstrom hingegen basiert die Referenz-Druckregelkurve für EEI_v auf der Annahme einer konstanten Förderhöhe H , die unabhängig vom Förderstrom Q ist und gleich $H_{100} \%$ ist (siehe 6.3).

Bei der Inbetriebnahme von mehrstufigen Tauchmotorpumpen muss ein geeigneter EEI -Wert zur Verfügung gestellt werden. Der EEI muss für konstanten Förderstrom (EEI_c) und/oder variablen Förderstrom (EEI_v) entsprechend den Anforderungen der Anwendung, in der das Pumpenaggregat in Betrieb genommen wird oder für die das Pumpenaggregat spezifiziert ist, wenn es in Verkehr gebracht wird, gelten. Die entsprechenden Förderstrom-Zeit-Profile und Druckregelkurven sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2 — Referenz-Förderstrom-Zeit-Profile und Referenz-Druckregelkurven für mehrstufige Tauchmotorpumpenaggregate

Modus			Referenz-Torchless-Zeit-Profil	Referenz-druck-Kontrollkurve	Anwendbare Q/H - Prüfpunkte	Anwendbarer EEI
#	Anforderung der Anwendung	Typ des Pumpenaggregats				
M1	Konstanter Förderstrom	Feste Drehzahl	Konstanter Förderstrom (Tabelle 3)	Q/H Kurve des Pumpenaggregats	auf der Q/H Kurve des Pumpenaggregats	EEI_c
M2	variable flow	Feste Drehzahl	Konstanter Förderstrom (Tabelle 4)	Gleichung (4)	auf der Q/H Kurve des Pumpenaggregats	EEI_v
M3	Konstanter Förderstrom	variable Drehzahl	Konstanter Förderstrom (Tabelle 3)	Q/H Kurve des Pumpenaggregats	auf der Q/H Kurve des Pumpenaggregats (gemessen bei fester Drehzahl)	EEI_c
M4	Variabler Förderstrom	variable Drehzahl	Variable Förderstrom (Tabelle 4)	Gleichung (4)	Q/H Punkte bestimmt durch Gleichung (4)	EEI_v
M5	Konstanter Förderstrom; variierende Förderhöhe	variable Drehzahl	Variable Förderstrom (Tabelle 4)	Gleichung (4)	Q/H Punkte bestimmt durch Gleichung (4)	EEI_v

6.2 Referenz-Durchfluss-Zeit-Profile

Das Referenz-Durchflusszeitprofil für den Betrieb mit konstantem Durchfluss ist durch die in Tabelle 3 angegebenen Werte spezifiziert.

Tabelle 3 — Referenz-Durchfluss-Zeit-Profil für den Betrieb mit konstantem Durchfluss

Durchfluss Q in % von $Q_{100\%}$	75	100	110
Zeit Δt in % der Gesamtbetriebszeit	25	50	25

Das Referenz-Durchfluss-Zeit-Profil für den Betrieb mit variablem Durchfluss ist in Tabelle 4 angegeben.

Tabelle 4 — Referenz-Durchfluss-Zeit-Profil für den Betrieb mit variablem Durchfluss

Durchfluss Q in % von $Q_{100\%}$	25	50	75	100
Zeit Δt in % der Gesamtbetriebszeit	10	40	40	10

ANMERKUNG 1 $Q_{100\%}$ ist in 3.20 definiert.

ANMERKUNG 2 Die Zeitanteile an der Gesamtbetriebszeit, die in Tabelle 3 und Tabelle 4 als Werte für die Bestimmung des EEI angegeben sind, beruhen auf umfassenden Erfahrungen der Hersteller von Tauchpumpen in Bezug auf typische Anwendungen und Betriebsbedingungen ihrer Produkte.

6.3 Referenz-Druckregelkurven

Im Falle des variablen Durchflussbedarfs (Betriebsarten M2 und M4) wird die Bezugsregelkurve durch Gleichung (4) definiert:

$$H_i = H_{100\%} \text{ oder } H_i/H_{100\%} = 100 [\%] \quad (4)$$

Im Falle der Betriebsart mit konstantem Förderstrom (Betriebsarten M1 und M3) ist die Bezugsregelkurve die Q-H-Kurve des aktuellen Pumpenaggregats, die zur Bestimmung von $Q_{100\%}$, $H_{100\%}$ (siehe 7.2.2 und 8.3.4) verwendet wird.

Bei konstantem Förderstrom und variabler Förderhöhe (Betriebsart M5) wird die Bezugsregelkurve durch Gleichung (4) definiert.

ANMERKUNG $H_{100\%}$ ist in 3.21 definiert.

7 Bestimmung der durchschnittlichen elektrischen Leistungsaufnahme $P_{1,avg}$ durch Prüfung

7.1 Allgemeines

7.1.1 Allgemeines

Dieser Abschnitt legt Leistungsprüfungen und -bewertungen an mehrstufigen Tauchpumpenaggregaten fest.

Diese Prüfungen müssen die notwendigen Informationen über die tatsächlichen Leistungswerte der geprüften mehrstufigen Tauchpumpenaggregate liefern, die für die Berechnung des *EEI*-Wertes nach seiner Definition in EN 17038-1:2019, Abschnitt 4, erforderlich sind.

Alle Bestimmungen für die Prüfung des mehrstufigen Tauchpumpenaggregats (das als „Black Box“ betrachtet und wie ein Pumpenaggregat behandelt wird, das unter die EN 17038-2:2019 fällt) müssen den folgenden Normen entsprechen EN ISO 9906:2012, Klasse 2. Die Ausnahme für Leistungen von 10 kW und darunter (wie sie für die Anwendung von EN ISO 9906:2012 auf Abnahmeprüfungen zulässig ist) gilt nicht.

Alle Bestimmungen für die Prüfung von Elektromotoren, die Teil des mehrstufigen Tauchpumpenaggregats sind und direkt aus dem Stromnetz gespeist werden, müssen EN 60034-2-1:2014 entsprechen.

Alle Bestimmungen für die Prüfung eines Power Drive Systems, das Teil des mehrstufigen Tauchpumpenaggregats ist, müssen EN 61800-9-2:2017 entsprechen.

7.1.2 Prüfbedingungen

Die Prüfungen müssen mit sauberem, kaltem Wasser durchgeführt werden.

Die Dauer der Prüfung ist so zu wählen, dass wiederholbare Ergebnisse erzielt werden. Insbesondere sind Einlaufeffekte von Lagern und Dichtungen sowie Erwärmungseffekte der elektrischen und elektronischen Komponenten der Einheit zu berücksichtigen.

ANMERKUNG 1 Einlaufeffekte können bis zu 24 h Betriebszeit in Anspruch nehmen.

Die elektrische Energieversorgung der Prüfanlage muss die Anforderungen nach EN 60034-1:2010. Dies erfordert Folgendes:

- Die Spannung muss mit IEC 60038, 7.2, und IEC 60034-1 übereinstimmen;
- die Frequenz muss während der Messungen innerhalb von $\pm 0,3 \%$ der Nennfrequenz liegen;
- die Prüfung erfordert eine thermische Stabilisierung; die Flüssigkeitstemperatur muss im Bereich von 15 °C bis 30 °C liegen;
- die Änderung der Temperatur der Motorwicklung über die Zeit muss kleiner sein als 1 K/30 min;
- es muss ein Kühlstrom entsprechend der entsprechenden Strömungsgeschwindigkeit gewährleistet sein, z. B. durch Anbringen eines Kühlmantels.

Die Prüfungen sollten unter Bedingungen durchgeführt werden, bei denen die Kavitation die Leistung der Pumpe nicht beeinträchtigt.

Alle Messungen müssen unter hydraulischen und thermischen Beharrungsbedingungen durchgeführt werden (siehe EN ISO 9906:2012, EN 60034-2-1:2014, EN IEC 60034-2-3:2020 und EN 61800-9-2:2017).

Für den Fall 1 in 7.2.3 (Motor gespeist durch eine elektrische Versorgung mit konstanter Frequenz) muss die elektrische Versorgung der Prüfanlage die in EN 60034-1:2010 festgelegten Anforderungen erfüllen. Dies erfordert, dass:

- Die Spannung muss den Anforderungen in EN 60038, 7.2 und EN 60034-1:2017 entsprechen;
- die Frequenz muss während der Messungen innerhalb von $\pm 0,3 \%$ der Nennfrequenz liegen;
- die maximale Länge des Motorkabels muss 10 m betragen.

Für den Fall 2 in 7.2.3 (PDS, d. h. Motor kombiniert mit und gespeist von einem CDM) müssen die folgenden Anforderungen nach EN 61800-9-2 erfüllt werden:

- Pumpenaggregate, die mit einem PDS ausgestattet sind, müssen mit einem abgeschirmten Kabel zwischen CDM und Motor mit einer maximalen Länge von 10 m gemessen werden;
- die Messungen müssen durchgeführt werden, wenn das PDS thermisch stabil ist (der Temperaturgradient darf maximal 2 K pro Stunde betragen);
- bei Verwendung eines Frequenzumrichters wird empfohlen, den Filter zwischen Motor und Frequenzumrichter zu deaktivieren.

ANMERKUNG 2 Filter zwischen Motor und Frequenzumrichter werden verwendet, um Impedanzen zu überwinden, die durch größere Kabellängen entstehen.

7.1.3 Messgeräte

Für die in 7.2 beschriebenen Prüfverfahren werden Messgeräte benötigt zur Bestimmung von:

- der Durchflussmenge Q ;
- der Förderhöhe H ;
- der elektrischen Leistungsaufnahme P_1 .

Da die Genauigkeit der Instrumente im Allgemeinen als Prozentsatz des Skalenendwerts ausgedrückt wird, muss der Messbereich der Instrumente so klein wie möglich sein, um das Maximum der gemessenen Werte zu erreichen.

Die maximalen Messwerte sollten im oberen Drittel des Messbereichs des Instruments liegen.

Die für die Bestimmung des Durchflusses Q und der Förderhöhe H erforderlichen Messgeräte sind nach EN ISO 9906:2012 auszuwählen.

ANMERKUNG Detaillierte Informationen sind in EN ISO 9906:2012, A.1 enthalten.

Für die Bestimmung der elektrischen Eingangsleistung P_1 im Fall 1 in 7.2.3 (Motor direkt vom elektrischen Netz gespeist) wird die elektrische Eingangsleistung P_1 auf der Grundlage der Eingangsspannungen U und der Eingangsströme I bestimmt. Alle Anforderungen an die Instrumentierung für die Messungen von P_1 müssen nach EN 60034-2-1:2014 erfüllt werden.

Für die Bestimmung der elektrischen Eingangsleistung P_1 im Fall 2 in 7.2.3 (Motor kombiniert mit und gespeist von einem CDM) muss die elektrische Eingangsleistung P_1 nach dem „Eingangs-Ausgangs-Messverfahren“ in EN 61800-9-2:2017 gemessen werden. Alle Anforderungen an die Instrumentierung für die Messung von P_1 müssen nach EN 61800-9-2:2017 erfüllt werden.

7.1.4 Messunsicherheiten der Messgrößen

Die Gesamtmessunsicherheiten des Förderstroms Q , der Förderhöhe H und der elektrischen Leistung P_1 ergeben sich aus den kombinierten Effekten der Messgeräteunsicherheit und der Zufallsunsicherheit und können wie in EN 17038-1:2019, Anhang D, beschrieben ermittelt werden. Die Zufallsunsicherheit kann reduziert werden, indem die Anzahl der Messwerte einer Messgröße bei gleichen Betriebsbedingungen (d. h. Lastpunkt) des geprüften mehrstufigen Tauchmotorpumpenaggregats erhöht wird.

Bei Prüfungen, die von einem Unternehmen durchgeführt werden, das für die Qualifizierung von mehrstufigen Tauchmotorpumpenaggregaten verantwortlich ist (siehe EN 17038-1:2019, Abschnitt 5), ist es ratsam, die Gesamtmessunsicherheiten so klein wie möglich zu halten, d. h. kleiner als die in den Normen festgelegten maximal zulässigen Werte.

7.2 Messverfahren

7.2.1 Messschritte

Das Messverfahren besteht aus den folgenden Schritten, die in 7.2.2 bis 7.2.5 und in 7.3 ausführlich erläutert werden.

- 1) Einlaufeffekte können die Leistungsaufnahme eines mehrstufigen Tauchmotorpumpenaggregats bei der Inbetriebnahme beeinflussen. Um eine repräsentative Leistungsaufnahme zu gewährleisten, ist ein Einlaufen des mehrstufigen Tauchmotorpumpenaggregats von bis zu 24 h erforderlich. Es wird empfohlen, das mehrstufige Tauchmotorpumpenaggregat bei maximaler Drehzahl und unterschiedlichen Fördermengen zu betreiben.
- 2) Um eine ordnungsgemäße Kühlung während der Messung zu gewährleisten, sind die vom Hersteller bereitgestellten Informationen über die Kühlung des mehrstufigen Tauchpumpenaggregats zu verwenden.
- 3) Der 100 %-Punkt mit dem besten Wirkungsgrad des Aggregats ($Q_{100\%}$, $H_{100\%}$) ist wie in 7.2.2 beschrieben zu bestimmen.
- 4) Für die Messungen zur Bestimmung von $P_{1,avg}$ sind die folgenden Schritte unter 7.2.3 bis 7.3 auszuführen.
- 5) Die durchschnittliche Eingangsleistungsaufnahme $P_{1,avg}$ ist nach 7.3 unter Verwendung der gemessenen Werte von $P_{1,corr,i}$ zu berechnen.

7.2.2 Bestimmung von $Q_{100\%}$ und $H_{100\%}$

Der Punkt besten Wirkungsgrads des Pumpenaggregats und die entsprechenden Werte für $Q_{100\%}$ und $H_{100\%}$ sind nach EN 17038-2:2019, 5.2.2 zu bestimmen.

7.2.3 Bestimmung der Referenzlastpunkte

Die relevanten Werte des Förderstroms $Q_{ref,i}$ an den Referenzlastpunkten sind nach Gleichung (5) zu berechnen:

$$Q_{ref,i} = \frac{1}{100} \cdot \left(\frac{Q}{Q_{100\%}} \right)_i \cdot Q_{100\%} \quad (5)$$

wobei die Werte $(Q/Q_{100\%})_i$ in [%], die den N Lastpunkten des Referenzdurchfluss-Zeit-Profiles entsprechen, aus Tabelle 3 bzw. Tabelle 4 entnommen werden.

In Bezug auf die Förderhöhe H an den Prüfpunkten sind verschiedene Fälle zu unterscheiden:

— Fall 1, Betrieb mit fester Drehzahl:

Der Elektromotor des Pumpenaggregats wird mit einer konstanten Ständerfrequenz gespeist und kann daher nur mit (nahezu) konstanter Drehzahl n betrieben werden. In diesem Fall kann nur der Pumpenförderstrom Q während der Prüfung geregelt werden. Der Förderstrom Q wird nach Gleichung (5) an die verschiedenen Werte des Referenz-Durchfluss-Zeit-Profiles angepasst, während die von der Pumpe erzeugte Förderhöhe H durch die Q - H -Kurve der Pumpe bei konstanter Statorfrequenz des Motors gegeben ist. Neben der elektrischen Leistungsaufnahme P_1 sind die tatsächlichen Werte des Pumpendurchsatzes Q und der Förderhöhe H zu messen und zu dokumentieren.

— Fall 2, Betrieb mit variabler Drehzahl:

Das Pumpenaggregat ist mit variabler Drehzahl entlang der in Gleichung (4) angegebenen Referenzdruckregelkurve zu betreiben, d. h. $H_{\text{ref},i} = H_{100} \%$. Bei der Prüfung ist der Förderstrom Q auf die verschiedenen Werte nach Gleichung (5) einzustellen. Die Förderhöhe H ist auf die Werte nach der Referenzdruckregelkurve einzustellen.

7.2.4 Einstelltoleranzen

Für jeden Lastpunkt darf der eingestellte und gemessene Durchfluss $Q_{\text{meas},i}$ nicht mehr als $\pm 3 \%$ oder $\pm 0,1 \text{ m}^3/\text{h}$ von den Werten $Q_{\text{ref},i}$ nach dem Referenz-Durchfluss-Zeit-Profil abweichen, je nachdem, welcher Wert der größte absolut ist.

Bei drehzahlvariablem Betrieb darf der gemessene Wert $H_{\text{meas},i}$ nicht mehr als $\pm 5 \%$ oder $\pm 0,2 \text{ m}$, je nachdem, welcher Wert der größere absolute Wert ist, von den Werten $H_{\text{ref},i}$ nach der Referenzdruckregelkurve abweichen.

7.2.5 Korrekturen für Abweichungen bei Durchfluss und Förderhöhe

Bei Prüfungen können die eingestellten Durchflüsse $Q_{\text{meas},i}$ und Drücke $H_{\text{meas},i}$ von den exakten Werten von $Q_{\text{ref},i}$, $H_{\text{ref},i}$ abweichen, die durch die in 6.3 festgelegte Referenzdruckregelkurve definiert sind. Innerhalb der in 7.2.4 festgelegten Grenzen ist die gemessene Leistungsaufnahme $P_{1,\text{meas},i}$ mit Hilfe der Gleichung (6) auf den Wert $P_{1,\text{corr},i}$ zu korrigieren:

$$P_{1,\text{corr},i} = P_{1,\text{meas},i} \cdot \frac{H_{\text{ref},i}}{H_{\text{meas},i}} \cdot \frac{Q_{\text{ref},i}}{Q_{\text{meas},i}} \quad (6)$$

7.3 Berechnung von $P_{1,\text{avg}}$

Zur Bestimmung der gewichteten gemittelten elektrischen Leistungsaufnahme $P_{1,\text{avg}}$ sind folgende Schritte durchzuführen:

- 1) Messung der elektrischen Leistungsaufnahme P_1 wie in 7.2.1 beschrieben für alle Werte des relativen Durchflusses $Q/Q_{100} \%$, die durch das jeweilige Referenz-Durchfluss-Zeit-Profil definiert sind (siehe Tabelle 3 oder Tabelle 4).
- 2) Berechnen Sie den gewichteten Mittelwert der elektrischen Leistung $P_{1,\text{avg}}$ nach Gleichung (7):

$$P_{1,\text{avg}} = \sum_{i=1}^{i=N} \left[\left(\frac{\Delta t}{100} \right)_i \cdot P_{1,\text{corr},i} \right] \quad (7)$$

Dabei ist

$N = 3$ für $P_{1,avg,c}$

$N = 4$ für $P_{1,avg,v}$.

- 3) Unter Verwendung der Werte von $P_{1,avg,c}$ oder $P_{1,avg,v}$ kann der jeweilige EEI_c oder EEI_v nach Abschnitt 9 und Abschnitt 10 bestimmt werden.

8 Bestimmung der durchschnittlichen elektrischen Leistungsaufnahme $P_{1,avg}$ mit Hilfe eines halbanalytischen Modells

8.1 Allgemeines

Anstatt den Energieeffizienzindex (EEI_v oder EEI_c , später EEI -Wert genannt) durch Tests an kompletten Pumpenaggregaten zu ermitteln, kann ihr EEI -Wert durch mathematische Berechnungen auf der Grundlage eines so genannten halbanalytischen Modells (SAM) des Pumpenaggregats bestimmt werden.

In diesem Dokument wird ein Modell als semi-analytisch bezeichnet, wenn die mathematischen Korrelationen (d. h. Gleichungen) die Leistung in einer prinzipiellen Form beschreiben, die die zugrunde liegenden physikalischen Prozesse und Einflüsse widerspiegelt, aber eine begrenzte Anzahl von Daten (an so genannten *Stützpunkten*) benötigt, die aus Tests an den einzelnen Komponenten resultieren.

Als Input für die semi-analytischen Modelle der Komponenten dienen Leistungsgrößen und -merkmale, die von deren Hersteller(n) dokumentiert werden. Für einen Aggregatentyp, d. h. eine Anzahl identischer Aggregate gleicher Konfiguration, beschreiben diese Daten die mittleren Leistungsgrößen x_{mean} der Aggregatgröße nur innerhalb eines Bandes $x_{mean} \pm t_{x,totx}$. Diese Gesamt toleranzen $t_{x,tot}$ der Leistungsgrößen ergeben sich aus Fertigungstoleranzen $t_{x,man}$ sowie aus Messunsicherheiten e_x .

ANMERKUNG 1 Die Methoden zur Bestimmung der Mittelwerte sind in EN 16480 beschrieben.

Darüber hinaus ist die Genauigkeit der sich ergebenden EEI -Werte bei Anwendung der mathematischen Modelle und der SAM-Methode zusätzlich von den Modellunsicherheiten abhängig.

Die kumulierten Auswirkungen von Toleranzen und Unsicherheiten auf die Gesamt toleranz von EEI -Werten, die durch Anwendung des/der semi-analytischen Modells/Modelle ermittelt wurden, werden in EN 17038-2:2019, D.4.3 behandelt.

Die Grundprinzipien einer SAM-Methode, die auf Pumpenaggregate angewendet wird, sind in EN 17038-2:2019, 6.1 beschrieben. Alternativ sind mathematische Modelle, die mindestens die gleiche Genauigkeit der EEI -Werte liefern, zulässig.

ANMERKUNG 2 Zum Beispiel sind alternative mathematische Modelle zulässig, wenn die Technologie der Komponenten in diesem Dokument nicht behandelt wird oder andere mathematische (Teil-)Modelle verfügbar sind.

8.2 Das semi-analytische Modell für rotodynamische Tauchmotorpumpen

Das semi-analytische Modell von rotodynamischen Tauchmotorpumpen, die Bestandteile von mehrstufigen Tauchmotorpumpenaggregaten im Anwendungsbereich dieses Dokuments sind, ist identisch mit dem semi-analytischen Modell von Pumpen, die Bestandteile von Einzelpumpenaggregaten im Anwendungsbereich der EN 17038-2:2019 sind. Dieses Pumpenmodell wird in EN 17038-2:2019, 6.2 ausführlich beschrieben.

Es benötigt als Eingangsdaten Stützstellen in Form von Paaren $(Q;H)$ und $(Q;P_2)$ bei $n = n_{N,Pu}$, die aus Prüfungen und Auswertungen der jeweiligen Pumpengröße resultieren und Mittelwerte der Größe darstellen sollen. Im Allgemeinen ist eine geeignete Anzahl k von Stützstellen zu verwenden, um entsprechende „best-fit“-Funktionen zu ermitteln:

- Die Anzahl der Stützstellen sollte mindestens $k = 5$ betragen;
- die stützenden Betriebspunkte müssen mindestens den Bereich der relativen Durchflussmenge abdecken $0,1 \leq (Q/Q_{\text{BEP,PU}}) \leq 1,1$.

In der Regel ist das Axiallager von mehrstufigen Tauchpumpenaggregaten in den Motorteil integriert. Dennoch muss die Wellenleistung P_2 , die durch das Modell der rotodynamischen Pumpe beschrieben wird, den Reibungsverlust des Axiallagers enthalten. Eine Methode zur ungefähren Bestimmung von P_2 einschließlich der Reibungsverluste des Axiallagers ist in Anhang C beschrieben.

ANMERKUNG Die in EN 17038-2:2019, Anhang B, beschriebene Methode zur Erzeugung zusätzlicher Stützstellen für das Pumpenmodell auf der Grundlage der sogenannten "MEI-Punkte" ist nicht auf mehrstufige Tauchmotorpumpen anwendbar, da die zugrunde liegenden statistischen Auswertungen und experimentellen Validierungen nur für Pumpen der Typen ESOB, ESCC, ESCCi und MS-V und H durchgeführt wurden.

8.3 Pumpenaggregate im Betrieb mit fester Drehzahl

8.3.1 Allgemeines

Das Verfahren zur Bestimmung von EEI_c und/oder EEI_v von mehrstufigen Tauchmotorpumpenaggregaten im Betrieb mit fester Drehzahl ist identisch mit dem in EN 17038-2:2019, 6.3 beschriebenen Verfahren. Insofern ist es direkt auf mehrstufige Tauchpumpenaggregate mit einem Asynchron-Käfiginduktionsmotor anwendbar. Das Verfahren ist anwendbar, obwohl die Motoren von mehrstufigen Tauchmotorpumpenaggregaten typische Unterschiede in Bezug auf das Verhältnis von Durchmesser zu Länge, Wicklung usw. zu Standardtrockenmotoren aufweisen. Die relevanten asynchronen Unterwassermotoren gehören zu einem der folgenden Typen:

- 1) wassergefüllt, gekapselt;
- 2) wassergefüllt, erneut-wickelbar;
- 3) ölgefüllt, erneut-wickelbar;
- 4) trockener Motor.

Der Rotorraum des Typs 1. ist mit Flüssigkeit gefüllt, und die Motoren der Typen 2. und 3. sind vollständig mit Flüssigkeit gefüllt, einschließlich der Wicklungen.

Bei diesen Motortypen (wie bei allen asynchronen Käfiginduktionsmotoren) ist die Drehzahl n etwas kleiner als die Synchrondrehzahl n_{sync} , die der Netzfrequenz entspricht. Die Differenz zwischen Synchrondrehzahl und tatsächlicher Drehzahl (beschrieben als der so genannte Schlupf s als Bruchteil der Synchrondrehzahl) ist abhängig von Motortyp und -größe und zusätzlich von der Motorlast. Die Methode berücksichtigt die kleinen Schwankungen der Drehzahl des Pumpenaggregats mit der variierenden Pumpenwellenleistung und dem Wellendrehmoment.

ANMERKUNG Die Methode kann auf andere Motortypen angepasst oder erweitert werden.

8.3.2 Das Modell des Elektromotors

Das semi-analytische Modell von Motoren als Komponenten von mehrstufigen Tauchpumpenaggregaten ist in EN 17038-2:2019, 6.2.3 beschrieben.

Eingangsdaten sind:

- die Nennleistung $P_{N,M}$ des Elektromotors unter Nennbedingungen und die entsprechende Nenndrehzahl $n_{N,M}$,

— die Werte des Motorwirkungsgrads η_M bei 100 %, 75 % und 50 % der Nennausgangsleistung ($= P_{N,M}$).

8.3.3 Zusammenwirken von Pumpe und Motor

Wie in EN 17038-2:2019, 6.3.3 beschrieben, werden die Drehzahl n , das Wellendrehmoment T und die Wellenleistung P_2 für jeden einzelnen Wert des Förderstroms Q berechnet, indem das (absolute) Pumpendrehmoment T und das (absolute) Motordrehmoment T gleichgesetzt werden.

Die sich daraus ergebende kubische Gleichung für die relative Drehzahl $n/n_{N,PU}$ (entsprechend dem relativen Förderstrom $Q/Q_{BEP,N}$) kann arithmetisch gelöst werden, siehe EN 17038-2:2019, Anhang E.

Für jeden Wert von $Q/Q_{BEP,N}$ kann mit der resultierenden relativen Drehzahl $n/n_{N,PU}$ die entsprechende relative Wellenleistung P_2 und - durch Division durch den entsprechenden Motorwirkungsgrad η_M - schließlich die elektrische Leistungsaufnahme P_1 berechnet werden.

8.3.4 Bestimmung von $Q_{100\%}$ und $H_{100\%}$

Zur Bestimmung der Werte von $Q_{100\%}$ und $H_{100\%}$, wie sie in der Funktion $\eta_{unit} = f(Q)$ definiert sind, müssen die Netzfrequenz und ihr Maximum berechnet werden.

Zu diesem Zweck werden die folgenden Schritte empfohlen:

- 1) Berechnen Sie die Werte der relativen Drehzahl $n/n_{N,PU}$ für die 5 Werte $Q/Q_{BEP,N} = 0,8, 0,9, 1,0, 1,1$ und $1,2$ für den netzgespeisten Motor unter Berücksichtigung des Schlupfes des Asynchronmotors wie in 8.3.3 beschrieben.
- 2) Berechnen Sie die relative Förderhöhe $H/H_{BEP,N}$ und das relative Wellendrehmoment $T/T_{BEP,N}$, indem Sie die Werte von $Q/Q_{BEP,N}$ und $n/n_{N,PU}$ in die entsprechenden Näherungsgleichungen des Pumpenmodells einsetzen (beschrieben in EN 17038-2:2019, 6.2).
- 3) Berechnen Sie die elektrische Leistungsaufnahme P_1 wie in 8.3.3 beschrieben.
- 4) Berechnen Sie die entsprechenden Werte für den Wirkungsgrad η_{unit} mit Gleichung (8):

$$\eta_{unit} = \varrho_w \cdot g \cdot \frac{Q_{BEP,N}}{3600} \cdot H_{BEP,N} \cdot \frac{\left(\frac{Q}{Q_{BEP,N}}\right) \cdot \left(\frac{H}{H_{BEP,N}}\right)}{P_1} \quad (8)$$

Die zu verwendenden Einheiten sind $[m^3/h]$ für den Förderstrom $Q_{BEP,N}$, $[m]$ für die Förderhöhe H und $[W]$ für die elektrische Leistungsaufnahme P_1 . Der Einheitenwirkungsgrad η_{unit} ergibt sich aus Gleichung (8) als Dezimalzahl. Die Multiplikation dieser Zahl mit dem Faktor 100 ergibt den Wert von η_{unit} in [%].

- 5) Approximieren Sie die Beziehung $\eta_{unit} = f(Q/Q_{BEP,N})$ durch ein Polynom 3. Grades als „best-fit“-Funktion auf der Basis der 5 berechneten Paare von $Q/Q_{BEP,N}$ und η_{unit} :

$$\eta_{unit} = A_\eta \cdot \left(\frac{Q}{Q_{BEP,N}}\right)^3 + B_\eta \cdot \left(\frac{Q}{Q_{BEP,N}}\right)^2 + C_\eta \cdot \frac{Q}{Q_{BEP,N}} + D_\eta \quad (9)$$

- 6) Berechnen Sie den Wert von $Q_{100\%}/Q_{BEP,N} = Q_{BEP,Einheit}/Q_{BEP,N}$ mit Gleichung (10):

$$\frac{Q_{100\%}}{Q_{BEP,N}} = \frac{Q_{BEP,unit}}{Q_{BEP,N}} = -\frac{1}{3} \cdot \frac{B_\eta}{A_\eta} \pm \sqrt{\frac{1}{9} \cdot \left(\frac{B_\eta}{A_\eta}\right)^2 - \frac{1}{3} \cdot \frac{C_\eta}{A_\eta}} \quad (10)$$

Von den beiden Werten für $Q_{BEP,unit}$, die sich aus Gleichung (10) ergeben (wegen des doppelten Vorzeichens $\pm$ der Quadratwurzel), ist derjenige zu wählen, der dem Maximum der Q - η_{unit} -Kurve entspricht und näher bei 1,0 liegt.

8.3.5 Bestimmung des $P_{1,avg,c}$ -Wertes

Aus dem jeweils angegebenen Referenz-Durchfluss-Zeit-Profil (für konstanten bzw. variablen Förderstrom) ergeben sich für jeden der vorgegebenen hydraulischen Lastpunkte die Werte des relativen Förderstroms $Q/Q_{100\%}$.

Zur Bestimmung des $P_{1,avg}$ sind folgende Schritte durchzuführen:

- 1) Berechnen Sie die Werte des relativen Durchflusses $Q/Q_{BEP,N}$, die den Werten $Q/Q_{100\%}$ entsprechen, mit der Umrechnungsgleichung (11):

$$\frac{Q}{Q_{BEP,N}} = \left(\frac{Q_{100\%}}{Q_{BEP,N}} \right) \cdot \frac{Q}{Q_{100\%}} \quad (11)$$

mit dem Umrechnungsfaktor $Q_{100\%}/Q_{BEP,N}$, der sich aus Gleichung (10) ergibt.

- 2) Berechnen Sie die entsprechenden Werte der relativen Drehzahl $n/n_{N,PU}$ wie in 8.3.3 beschrieben.
- 3) Berechnen Sie die entsprechenden Werte des relativen Wellendrehmoments T/T_{BEP} , indem Sie die Werte von $Q/Q_{BEP,N}$ und die entsprechenden Werte von $n/n_{N,VE}$ in die Näherungsgleichung für T/T_{BEP} des Pumpenmodells einsetzen (beschrieben in EN 17038-2:2019, 6.2).
- 4) Berechnen Sie die entsprechenden Werte für die elektrische Leistungsaufnahme P_1 wie in 8.3.3 beschrieben.
- 5) Der gewichtete Durchschnitt der elektrischen Leistung $P_{1,avg}$ wird mit Gleichung (12) berechnet:

$$P_{1,avg} = \sum_{i=1}^{i=N} \left[\left(\frac{\Delta t}{100} \right)_i \cdot P_{1,i} \right] \quad (12)$$

Dabei ist

$N = 3$ für die Betriebsart mit konstantem Durchfluss

$N = 4$ für die Betriebsart mit variablem Durchfluss

Mit diesem $P_{1,avg}$ kann der EEI_c oder EEI_v nach Abschnitt 9 und Abschnitt 10 bestimmt werden.

8.4 Pumpenaggregate mit einem Power Drive System (PDS)

8.4.1 Allgemeines

In diesem Abschnitt wird ein Verfahren beschrieben, das zur Bestimmung des EEI -Wertes von mehrstufigen Tauchmotorpumpenaggregaten angewendet werden kann, die mit einem Power Drive System (PDS) ausgestattet sind und mit variabler Drehzahl betrieben werden. Ein zum PDS gehörendes Complete Drive Module (CDM) ermöglicht es, den Förderstrom Q und die Förderhöhe H unabhängig voneinander zu variieren. Dabei können die hydraulischen Lastpunkte (= Paare aus Fördermenge Q und Förderhöhe H) - zumindest für das mathematische Modell des Pumpenaggregats - exakt an die Werte der durch Gleichung (4) vorgegebenen Referenzdruckregelkurve angepasst werden.