

DIN EN 17038-2



ICS 23.080

**Pumpen –
Methoden zur Qualifikation und Verifikation des Energieeffizienzindex
für Kreiselpumpen –
Teil 2: Prüfung und Berechnung des Energieeffizienzindex (EEI)
einzelner Pumpenaggregate;
Deutsche Fassung EN 17038-2:2019 + AC:2021**

Pumps –
Methods of qualification and verification of the Energy Efficiency Index for rotodynamic pump
units –
Part 2: Testing and calculation of Energy Efficiency Index (EEI) of single pump units;
German version EN 17038-2:2019 + AC:2021

Pompes –
Méthodes de qualification et de vérification de l'indice de rendement énergétique des groupes
motopompes rotodynamiques –
Partie 2: Essais et calcul de l'indice de rendement énergétique (EEI) des groupes motopompes
simples;
Version allemande EN 17038-2:2019 + AC:2021

Gesamtumfang 68 Seiten

DIN-Normenausschuss Maschinenbau (NAM)

Nationales Vorwort

Diese Norm ist Teil 2 einer Reihe von Normen und beschreibt Methoden zur Berechnung und Messung des Energieeffizienzindex (EEI) für einzelne Pumpenaggregate.

Er beinhaltet die Deutsche Fassung der vom Technischen Komitee CEN/TC 197 „Pumpen“ im Europäischen Komitee für Normung (CEN) ausgearbeiteten EN 17038-2:2019 + AC:2021.

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 sowie der Berufsgenossenschaften waren an der Erarbeitung beteiligt.

Diese Norm enthält die Berichtigung EN 17038-2:2019/AC:2021.

Dieses Dokument enthält im Absatz nach Gleichung (7) eine nationale Fußnote, die auf einen Fehler in EN 17038-2:2019 + AC:2021 hinweist.

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

Deutsche Fassung

Pumpen —
Methoden zur Qualifikation und Verifikation
des Energieeffizienzindex für Kreispumpen —
Teil 2: Prüfung und Berechnung des Energieeffizienzindex
(EEI) einzelner Pumpenaggregate

Pumps —
Methods of qualification and verification of the
Energy Efficiency Index for rotodynamic pump units —
Part 2: Testing and calculation of Energy Efficiency
Index (EEI) of single pump units

Pompes —
Méthodes de qualification et de vérification
de l'indice de rendement énergétique
des groupes motopompes rotodynamiques —
Partie 2: Essais et calcul de l'indice de rendement
énergétique (EEI) des groupes motopompes simples

Diese Europäische Norm wurde von CEN am 15. Juli 2018 angenommen und enthält das Corrigendum, das von CEN am 1. Juli 2020 herausgegeben wurde, und das Corrigendum, das von CEN am 13. Oktober 2021 herausgegeben wurde.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC-Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	7
4 Referenz-Volumenstrom-Zeit-Profile (Lastprofile) und Referenz-Druck- Regelkennlinien.....	8
4.1 Allgemeines	8
4.2 Referenz-Volumenstrom-Zeit-Profile (Lastprofile).....	9
4.3 Druck-Referenz-Regelkennlinien.....	10
5 Bestimmung der mittleren elektrischen Leistungsaufnahme $P_{1,avg}$ durch Prüfung.....	10
5.1 Allgemeines	10
5.1.1 Prüfanforderungen	10
5.1.2 Prüfbedingungen	11
5.1.3 Messinstrumente	11
5.2 Berechnung der Lastpunkte	12
5.2.1 Allgemeines	12
5.2.2 Bestimmung von $Q_{100\%}$ und $H_{100\%}$	13
5.2.3  Bestimmung der Teillast- und Überlastpunkte sowie der Referenz- Regelkennlinie 	14
5.3 Berechnung von $P_{1,avg}$	14
5.3.1 Allgemeines	14
5.3.2 Mit dem Referenz-Volumenstrom-Zeit-Profil für den Betrieb mit konstantem Volumenstrom bewertete Pumpenaggregate	15
5.3.3 Mit dem Referenz-Volumenstrom-Zeit-Profil für den Betrieb mit variablem Volumenstrom bewertete Pumpenaggregate	15
5.3.4 Verfahren zur Prüfung und Bewertung von Pumpenaggregaten mit besonderen Pumpentypen.....	17
6 Bestimmung des Energieeffizienzindex von Pumpenaggregaten anhand des semi- analytischen Modells.....	17
6.1 Allgemeines	17
6.2 Das semi-analytische Modell der Pumpe.....	18
6.3 Pumpenaggregate im Betrieb mit fester Drehzahl	20
6.3.1 Allgemeines	20
6.3.2 Das Modell des Elektromotors.....	21
6.3.3 Zusammenspiel von Pumpe und Motor.....	23
6.3.4 Bestimmung von $Q_{100\%}$ aus Q_{BEP}	23
6.3.5 Bestimmung des $P_{1,avg,c}$ -Werts.....	24
6.4 Pumpenaggregate mit einem Antriebssystem (PDS)	25
6.4.1 Allgemeines	25
6.4.2 Das Modell des Leistungsantriebssystems (PDS)	27
6.4.3 Zusammenspiel zwischen Pumpe und PDS.....	30
6.4.4 Bestimmung von $Q_{100\%}$ und $H_{100\%}$ anhand Q_{BEP} und H_{BEP}	31
6.4.5 Bestimmung von $P_{1,avg,v}$ und $P_{1,avg,c}$ für Pumpenaggregate mit PDS.....	32

7	Bestimmung der elektrischen Bezugs-Leistungsaufnahme $P_{1,ref}$	33
8	Berechnung des Energieeffizienzindex (EEI)	36
	Anhang A (normativ) Anwendungsbereich	37
	Anhang B (informativ) Bestimmung zusätzlicher stützender Punkte für das semi-analytische Modell auf Grundlage empirischer Korrelationen	40
B.1	Allgemeines	40
B.2	Zusätzliche stützende Punkte für Pumpen mit axialem Eintritt (Pumpentypen ESOB, ESCC und ESCCi)	42
B.2.1	Zusätzliche stützende Punkte bei $Q/Q_{BEP} = 0,25$	42
B.2.2	Zusätzliche stützende Punkte bei $Q/Q_{BEP} = 0,1$	42
B.3	Zusätzliche stützende Punkte für mehrstufige vertikale Wasserpumpen	43
B.3.1	Zusätzliche stützende Punkte bei $Q/Q_{BEP} = 0,25$	43
B.3.2	Zusätzliche stützende Punkte bei $Q/Q_{BEP} = 0,1$	43
B.4	Maximale Modellunsicherheiten	43
	Anhang C (normativ) Synthese der stützenden Punkte für das PDS aus separaten Daten zu Motor und CDM	47
C.1	Allgemeines	47
C.2	Bestimmung der Verluste $P_{L,CDM}$ an den 3 für das PDS-Modell erforderlichen stützenden Punkten	50
C.3	Bestimmung der Verluste $P_{L,PDS}$ an den 3 für das PDS-Modell erforderlichen stützenden Punkten	51
	Anhang D (informativ) Unsicherheiten und Toleranzen der EEI -Werte	53
D.1	Allgemeine Erläuterungen	53
D.2	Die Messunsicherheit des durch Prüfung ermittelten EEI -Werts	53
D.3	Die Unsicherheit des durch Anwendung der Modelle ermittelten EEI -Werts	56
D.3.1	Allgemeines	56
D.3.2	Betriebsart: feste Drehzahl	56
D.3.3	Betriebsart: variable Drehzahl	57
D.4	Gesamt toleranz des mittleren EEI -Werts	58
D.4.1	Bestimmung des mittleren EEI -Werts durch Prüfung ausschließlich eines Pumpenaggregats	58
D.4.2	Bestimmung des mittleren EEI -Werts durch Prüfung einer Probe aus M Pumpenaggregaten der gleichen Typenreihe	60
D.4.3	Bestimmung des mittleren EEI -Werts durch Anwendung des semi-analytischen Modells	60
	Anhang E (informativ) Mathematische Lösung von Polynomgleichungen dritten Grades	63
	Anhang F (normativ) CDM-Modell-Vorgabewerte für das semi-analytische Modell	65
	Literaturhinweise	66

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN 17038-2:2019 + AC:2021) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 197 „Pumpen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis November 2019, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis November 2019 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument enthält die Berichtigung EN 17038-2:2019/AC:2020, die die Überschrift von 5.2.3 und zwei Verweisungen auf Gleichungen in 6.3.4, 1) und 6.3.5, 5) korrigiert, und die Berichtigung EN 17038-2:2019/AC:2021, die Gleichung (3) in 5.2.3, Gleichung (13) in 6.2, Gleichung (33) in 6.4.2, Gleichung (B.8) und Gleichung (B.9) in B.2.1, Gleichung (D.3) und Gleichung (D.4) in D.2 und Gleichung (D.5) in D.3.2 korrigiert. Die Berichtigung EN 17038-2:2019/AC:2020 wurde durch die Berichtigung EN 17038-2:2019/AC:2021 ersetzt und in dieser zusammengefasst.

Der Beginn und das Ende von neuem oder geändertem Text werden durch die Markierungen   angezeigt.

Entsprechend der CEN-CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Serbien, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Einleitung

Diese Europäische Norm ist der zweite Teil einer Normenreihe, die eine Methodologie zur Bewertung der Energieeffizienzleistung von Pumpenaggregaten, einschließlich Pumpe und Motor mit oder ohne Frequenzumformer, auf Grundlage eines nicht dimensional numerischen Werts, dem sogenannten Energieeffizienzindex (*EEI*), beschreibt. Ein *EEI* ermöglicht die Gegenüberstellung unterschiedlicher Pumpengrößen und -typen mit einem gemeinsamen Anzeiger. Physikalische Einflüsse, wie Pumpengröße, spezifische Drehzahl, Teillast-Betrieb des Pumpenaggregats, Wirkungsgrad der Motorleistung und der Einfluss des Frequenzumformers werden in diese Kennzahl integriert.

Spezifische Anforderungen an Prüfungen und ein Berechnungsverfahren für einen *EEI*, das so genannte semi-analytische Modell eines vollständigen einzelnen Pumpenaggregats, sowie spezifische Volumenstrom-Zeit-Profile und Referenz-Regelkennlinien werden in diesem Teil der Norm festgelegt.

Der *EEI* ist ein Index, um Pumpenaggregate entsprechend ihrer Energieeffizienz auszulegen; er ersetzt jedoch nicht die Notwendigkeit einer Lebensdauerkostenanalyse hinsichtlich des Energieverbrauchs im Laufe der Lebensdauer eines Pumpenaggregats.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt Methoden und Verfahren für die Prüfung, Berechnung und Bestimmung des Energieeffizienzindex (*EEL*) von Trockenläufer-Kreiselpumpenaggregaten zum Pumpen von sauberem Wasser fest, auch wenn sie in andere Produkte integriert sind.

Die von diesem Dokument behandelten Pumpentypen und -größen werden im normativen Anhang A aufgeführt.

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, *Pumpen — Geforderte Mindesteffizienz bei Kreiselpumpen für Wasser*

EN 17038-1:2019, *Pumpen — Methoden zur Qualifikation und Verifizierung des Energieeffizienzindex für Kreiselpumpen — Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Vorgehensweisen zur Prüfung und Berechnung des Energieeffizienzindex (EEL)*

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

EN 60034-2-1, *Drehende elektrische Maschinen — Teil 2-1: Standardverfahren zur Bestimmung der Verluste und des Wirkungsgrades aus Prüfungen (ausgenommen Maschinen für Schienen- und Straßenfahrzeuge) (IEC 60034-2-1)*

EN 60034-2-2, *Drehende elektrische Maschinen — Teil 2-2: Besondere Verfahren zur Bestimmung der Einzelverluste großer elektrischer Maschinen aus Prüfungen — Ergänzung zu IEC 60034-2-1 (IEC 60034-2-2)*

EN 60034-30-1, *Drehende elektrische Maschinen — Teil 30-1: Wirkungsgrad-Klassifizierung von netzgespeisten Drehstrommotoren (IE-Code) (IEC 60034-30-1)*

EN 60038, *CENELEC-Normspannungen (IEC 60038)*

EN 61800-9-2, *Drehzahlveränderbare elektrische Antriebe — Teil 9-2: Ökodesign für Antriebssysteme, Motorstarter, Leistungselektronik und deren angetriebene Einrichtungen — Indikatoren für die Energieeffizienz von Antriebssystemen und Motorstartern (IEC 61800-9-2)*

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

EN ISO 17769-1, *Flüssigkeitspumpen und -installationen — Allgemeine Begriffe, Definitionen, Größen, Formelzeichen und Einheiten — Teil 1: Flüssigkeitspumpen (ISO 17769-1)*

IEC/TS 60034-2-3, *Rotating electrical machines — Part 2-3: Specific test methods for determining losses and efficiency of converter-fed AC induction motors*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN ISO 17769-1, die Begriffe, Symbole und Indizes nach EN 17038-1 sowie die folgenden Begriffe.

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

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

3.1

Wirkungsgrad des Geräts

Abgabe hydraulischer Leistung geteilt durch elektrische Leistungsaufnahme, im Englischen auch „wire to water efficiency“ bezeichnet

$$\eta_{\text{unit}} = \frac{P_{\text{hyd}}}{P_1}$$

3.2

Betrieb bei konstantem Volumenstrom

leichte Schwankungen des Volumenstroms um den Nennwert

Anmerkung 1 zum Begriff: Aufgrund sekundärer, verfahrensbedingter Einflüsse, wie (mäßig) unterschiedlicher Flüssigkeitsfüllstände in den Speichern usw. Zu Schwankungen des Volumenstroms kommt es gewöhnlich innerhalb jenes Bereichs, für den die Definition und Bestimmung des Mindesteffizienzindex (MEI) der Pumpe gilt, siehe EN 16480, und der von $0,75 \cdot Q_{100} \%$ bis $1,1 \cdot Q_{100} \%$ reicht.

3.3

variabler Volumenstrom

stark schwankender Volumenstrom

Anmerkung 1 zum Begriff: In der Regel ist bei beträchtlichen Anteilen der Gesamtbetriebszeit der tatsächliche Bedarf für den Volumenstrom der Pumpe Q und die Förderhöhe der Pumpe H viel geringer als die Werte am Betriebspunkt des maximalen Volumenstroms, der von der Anwendung gefordert ist.

3.4

hydraulische Leistung

gewöhnliche Angabe des arithmetischen Produkts des Volumenstroms Q , der Förderhöhe H und einer Konstanten (g ist die Gravitationskonstante $9,81 \text{ m/s}^2$)

3.5

maximale hydraulische Leistung

absolute maximale $P_{\text{hyd,max}}$ der hydraulischen Leistung eines Pumpenaggregats für einen Satz von Parametern, für den das Pumpenaggregat die Kurve maximaler hydraulischer Leistung beschreibt

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Pumpenaggregat muss in der Lage und so ausgelegt sein, dass der Betrieb bei dieser maximalen Leistung dauerhaft möglich ist.

3.6

Punkt des besten Wirkungsgrads des Pumpenaggregats

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

Volumenstrom-Förderhöhe-Punkt, an dem das Pumpenaggregat mit Bestwirkungsgrad und Höchstleistung in Betrieb ist

3.7

Referenzvolumenstrom

$Q_{100\%}$

Fördervolumen je Zeiteinheit [m^3/h] am Punkt des besten Wirkungsgrads (BEP) des Aggregats

3.8

Referenz-Förderhöhe

$H_{100\%}$

Förderhöhendifferenz [m] am Punkt des besten Wirkungsgrads (BEP) des Aggregats

3.9

Volumenstrom-Zeit-Profil

Volumenstrom-Zeit-Verteilung, die anteilig ausweist, welche Zeit das Pumpenaggregat einen bestimmten Volumenstrom fördert

3.10

vollständiges Antriebsmodul

CDM, en: Complete Drive Module

elektronischer Leistungsumrichter, der zwischen Stromversorgung und einem Motor sowie Erweiterungen, wie Schutzvorrichtungen, Umformer und Hilfsgeräte, angeschlossen ist (nach EN 61800-2)

3.11

Antriebssystem

PDS, en: Power Drive System

Kombination aus CDM und Motor

3.12

abgedrehtes Laufrad

Laufrad einer Pumpe, bei der der ursprüngliche Laufraddurchmesser D_{full} auf einen neuen Durchmesser D_{trim} reduziert wurde

3.13

durchschnittlicher Laufraddurchmesser

mathematischer Mittelwert der unterschiedlichen äußeren Schaufeldurchmesser einer einstufigen Pumpe

3.14

durchschnittlicher mehrstufiger Laufraddurchmesser

mathematischer Mittelwert aller gemittelten Schaufeldurchmesser aller Stufen

4 Referenz-Volumenstrom-Zeit-Profile (Lastprofile) und Referenz-Druck-Regelkennlinien

4.1 Allgemeines

Bei Inbetriebnahme einzelner Pumpenaggregate muss ein angemessener *EEI*-Wert zur Verfügung gestellt werden. Der *EEI* muss je nach Bedarf der Anwendung, in der das Pumpenaggregat betrieben wird oder für die das Pumpenaggregat konzipiert ist, wenn es auf den Markt gebracht wird, für variablen Volumenstrom (EEI_V) und/oder konstanten Volumenstrom (EEI_C) ausgelegt sein. Zur Bestimmung des EEI_V oder EEI_C sind die jeweiligen Volumenstrom-Zeit-Profile und Referenz-Regelkennlinien des Drucks, die in Tabelle 1 angegeben sind, anzuwenden.

Tabelle 1 — Referenz-Volumenstrom-Zeit-Profil (Lastprofile) und Druck-Referenz-Regelkennlinien für einzelne Pumpenaggregate

Betriebsart			Referenz-Volumenstrom-Zeit-Profil	Referenz-Druck-kennlinie	Anwendbare Q/H -Prüfpunkte	EEl anzuwenden
#	Anwendungsbedarf	Typ Pumpen-aggregat				
M1	konstanter Volumenstrom	feste Drehzahl	konstanter Volumenstrom (Tabelle 2)	Q/H -Kennlinie des Pumpen-aggregats	Auf Q/H -Kennlinie des Pumpen-aggregats	EEl_C
M2	variabler Volumenstrom	feste Drehzahl	variabler Volumenstrom (Tabelle 3)	Gleichung (1)	Auf Q/H -Kennlinie des Pumpen-aggregats	EEl_V
M3	konstanter Volumenstrom	variable Drehzahl	konstanter Volumenstrom (Tabelle 2)	Q/H -Kennlinie des Pumpen-aggregats	Auf Q/H -Kennlinie des Pumpen-aggregats (gemessen bei fester Drehzahl)	EEl_C
M4	variabler Volumenstrom	variable Drehzahl	variabler Volumenstrom (Tabelle 3)	Gleichung (1)	Q/H -Punkte auf Kennlinie definiert mit Gleichung (1)	EEl_V
M5	konstanter Volumenstrom, wechselnde Förderhöhe	variable Drehzahl	variabler Volumenstrom (Tabelle 3)	Gleichung (1)	Q/H -Punkte auf Kennlinie definiert mit Gleichung (1)	EEl_V

Falls eine Pumpe mit freiliegender Welle alleine auf den Markt gebracht werden soll, muss der EEl mit einem Referenzmotor (siehe Klasse „IE3“ in EN 60034-30-1) in Betriebsart M1 abhängig von der Nenndrehzahl der Pumpe mit freiliegender Welle (entweder 2-poliger Motor für die Nenndrehzahl der Pumpe $n_{N,PU} = 2\,900\text{ min}^{-1}$ oder 4-poliger Motor für die Nenndrehzahl der Pumpe $n_{N,PU} = 1\,450\text{ min}^{-1}$) bestimmt werden. Der Referenzmotor muss über eine Nennleistungsausgabe verfügen, die der Leistung der Welle bei Nennbetriebsbedingungen entspricht.

4.2 Referenz-Volumenstrom-Zeit-Profil (Lastprofile)

Das Referenz-Volumenstrom-Zeit-Profil für den Betrieb mit konstantem Förderstrom ist in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2 — Referenz-Volumenstrom-Zeit-Profil für den Betrieb mit konstantem Volumenstrom

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

Das Referenz-Volumenstrom-Zeit-Profil für den Betrieb mit variablem Volumenstrom ist in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3 — Referenz-Volumenstrom-Zeit-Profil für den Betrieb mit variablem Volumenstrom

Volumenstrom Q in % von $Q_{100\%}$	25	50	75	100
Zeit Δt in % der Gesamtbetriebszeit	44	35	15	6

4.3 Druck-Referenz-Regelkennlinien

Bei Bedarf des variablen Volumenstroms wird die Druck-Referenz-Regelkennlinie mithilfe der Gleichung (1) bestimmt.

$$\frac{H_i}{H_{100\%}} = [0,5 + 0,5 \cdot (Q_i/Q_{100\%})] \quad (1)$$

Die Werte $H_i/H_{100\%}$ bei entsprechenden Werten von $Q_i/Q_{100\%}$ des Referenz-Volumenstrom-Zeit-Profiles werden nach Gleichung (1) ermittelt.

Die von Gleichung (1) festgelegten Druck-Referenz-Regelkennlinien mit den entsprechenden hydraulischen Lastpunkten aus Tabelle 2 und Tabelle 3 in numerischer Form werden graphisch in Abschnitt 5, Bild 2 dargestellt.

Im Falle der Betriebsart mit konstanter Volumenstrom ist die Referenz-Regelkennlinie die Q/H -Kennlinie des tatsächlichen Pumpenaggregats, die angewendet wird, um $Q_{100\%}$, $H_{100\%}$ (siehe auch Abschnitt 5, Bild 1) zu bestimmen.

Bei Bedarf eines konstanten Volumenstroms mit wechselnder Förderhöhe (Betriebsart M5) wird die Referenz-Regelkennlinie mit Gleichung (1) bestimmt.

5 Bestimmung der mittleren elektrischen Leistungsaufnahme $P_{1,avg}$ durch Prüfung

5.1 Allgemeines

5.1.1 Prüfanforderungen

Dieser Abschnitt legt Leistungsprüfungen und -bewertungen für Pumpenaggregate fest, die

- von einem Unternehmen ausgeführt werden, das die Pumpenaggregate auf den Markt bringt und/oder in Betrieb nimmt
- oder von einer unabhängigen Einrichtung im Rahmen des in EN 17038-1:2019, Abschnitt 6 beschriebenen Verifizierungsverfahrens.

Diese Prüfungen müssen die erforderlichen Angaben zu den Werten der tatsächlichen Leistung von Prüfpumpenaggregaten, die für die Berechnung des EEI -Werts entsprechend seiner Definition in EN 17038-1:2019, Abschnitt 4 notwendig sind, liefern.

Alle Vorkehrungen für die Prüfung, die die Pumpe betreffen, müssen mit EN ISO 9906, Klasse 2 übereinstimmen. Die Ausnahmebedingung für eine Eingangsleistung von 10 kW und niedriger (wie sie für die Anwendung in Abnahmeprüfungen nach EN ISO 9906 zulässig ist) darf nicht angezogen werden.

Alle Vorkehrungen für die Prüfung, die einen Elektromotor betreffen, sofern dieser Teil des Pumpenaggregats ist und direkt aus dem Stromnetz gespeist wird, müssen mit EN 60034-2-1 übereinstimmen.

Alle Vorkehrungen für die Prüfung, die ein Antriebssystem betreffen, sofern dieses Teil des Pumpenaggregats ist, müssen mit EN 61800-9-2 übereinstimmen.

5.1.2 Prüfbedingungen

Die Prüfungen sind mit sauberem kaltem Wasser durchzuführen. Die Leistung einer Pumpe richtet sich deutlich nach der Art der geförderten Flüssigkeit. Es können keine allgemeinen Regeln gegeben werden, ob Ergebnisse zur Leistung aus Messungen mit sauberem kaltem Wasser so umgewandelt werden können, dass sie die Leistung bei Wasser mit anderen Eigenschaften (Temperatur, Feststoff- oder Gasgehalt) sowie anderen Flüssigkeiten voraussagen.

Die Dauer der Prüfung muss hinlänglich sein, um reproduzierbare Ergebnisse zu erzielen; insbesondere Auswirkungen durch Einlauf- und Aufwärmprozesse der elektrischen und elektronischen Bauteile des Geräts sind zu berücksichtigen.

ANMERKUNG 1 Auswirkungen durch den Einlaufprozess können bis zu einen Tag Betriebszeit beanspruchen.

Alle Messungen müssen im stationären Zustand (siehe EN ISO 9906, EN 60034-2-1, EN 60034-2-2 und IEC TS 60034-2-3 sowie EN 61800-9-2) vorgenommen werden.

ANMERKUNG 2 EN 61800-9-2 lässt das Aufwärmen des PDS zur Messung des Nennpunktes zu. Alle anderen Punkte können unmittelbar nach der Messung der maximalen Last gemessen werden, ohne dass auf einen stationären Zustand zu warten ist.

Die Prüfungen sollten unter Bedingungen ausgeführt werden, unter denen Kavitationen nicht die Leistung der Pumpe beeinflussen.

ANMERKUNG 3 Falls es in der Prüfpumpe während der Prüfung Kavitationen in merklichem Umfang gibt, kann sich nicht nur die Förderhöhe der Pumpe, sondern auch der Pumpenwirkungsgrad und die Leistungsaufnahme verschlechtern, wodurch die Energieeffizienz des Pumpenaggregats unterschätzt wird.

In Fall 1 von 5.2.1 (durch eine Stromversorgung gespeister Motor mit konstanter Frequenz) muss die Stromversorgung der Prüfinstallation die in EN 60034-1 festgelegten Anforderungen erfüllen. Dies setzt voraus, dass

- die Spannung mit 7.2 in EN 60038 und EN 60034-1 übereinstimmen muss,
- die Frequenz innerhalb $\pm 0,3$ % der Bemessungsfrequenz während Messungen liegen muss.

In Fall 2 von 5.2.1 (PDS, d. h. Motor kombiniert mit und gespeist von einem CDM) müssen die folgenden Anforderungen in Übereinstimmung mit EN 61800-9-2 erfüllt sein:

- Bei Prüfung eines PDS unter der Last der Pumpe können langsame Schwankungen der gemessenen Größen nicht zu vermeiden sein. Deshalb müssen für jeden Lastpunkt mehrere Messungen über einen Zeitraum (mindestens mehrere Schlupfzyklen, gewöhnlich 1 min bis 3 min) erfasst werden und der Durchschnitt dieser Werte ist für die Bewertung zu verwenden.
- 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 sind vorzunehmen, wenn das PDS wärmebeständig ist (Der Temperaturgradient darf maximal bei 2 K je Stunde liegen).

5.1.3 Messinstrumente

Für die in 5.1.1 beschriebenen Prüfverfahren sind Messinstrumente erforderlich, zur Bestimmung

- des Volumenstroms Q ;

- der Förderhöhe der Pumpe H ;
- der elektrischen Leistungsaufnahme P_1 .

Da die Genauigkeit der Messgeräte im Allgemeinen als Prozent des vollen Skalenendwerts angegeben wird, muss der Bereich der gewählten Messinstrumente so klein wie praktisch möglich sein.

Bei analogen Messgeräten sollten die beobachteten Werte im oberen Drittel des Messbereichs liegen.

Die zur Bestimmung des Volumenstroms Q und der Förderhöhe H der Pumpe benötigten Mess-Ausrüstung muss in Übereinstimmung mit EN ISO 9906 ausgewählt werden. Ausführliche Informationen sind in EN ISO 9906:2012, A.1 gegeben.

Zur Bestimmung der elektrischen Leistungsaufnahme P_1 in Fall 1 von 5.2.1 (direkt aus dem Stromnetz gespeister Motor) wird die elektrische Leistungsaufnahme P_1 anhand der Eingangsspannungen U und des Eingangsstroms bestimmt. Alle Anforderungen, die die Instrumente zur Messung von P_1 betreffen, müssen nach EN 60034-2-1 erfüllt sein.

Zur Bestimmung der elektrischen Leistungsaufnahme P_1 in Fall 2 von 5.2.1 (Motor kombiniert mit und gespeist von CDM) wird die elektrische Leistungsaufnahme P_1 entsprechend des „Eingang/Ausgang-Messverfahrens“ in EN 61800-9-2 bestimmt. Alle Anforderungen, die die Instrumente zur Messung von P_1 betreffen, müssen nach EN 61800-9-2 erfüllt sein.

5.2 Berechnung der Lastpunkte

5.2.1 Allgemeines

Wie in EN 17038-1:2019, Abschnitt 4 erläutert beruht der Wert des Energieeffizienzindex (EEI-Wert) auf der elektrischen Leistungsaufnahme P_1 des Pumpenaggregats, wenn die Pumpe zu den hydraulischen Lastpunkten betrieben wird, die in EN 17038-1:2019, 4.2 festgelegt sind. Ziel der Prüfungen ist es, die elektrische Leistungsaufnahme P_1 des Pumpenaggregats zu den N Werten des Volumenstroms der Pumpe Q zu bestimmen, der vom Referenz-Volumenstrom-Zeit-Profil festgelegt ist.

Es sind für die Prüfverfahren verschiedene Fälle zu unterscheiden:

- 1) Fall 1 Betrieb mit fester Drehzahl: Der Elektromotor des Pumpenaggregats wird mit einer konstanten Stator-Frequenz, entweder Frequenz des Stromnetzes oder andere Frequenz aus einem CDM, gespeist und kann daher nur bei (nahezu) konstanter Drehzahl n betrieben werden. In diesem Fall kann während der Prüfung ausschließlich der Volumenstrom der Pumpe Q gesteuert werden. Der Volumenstrom Q ist an die verschiedenen Werte des Bezugs-Volumenstrom-Zeit-Profils anzupassen, während die von der Pumpe erzeugte Förderhöhe H von der Q - H -Kennlinie der Pumpe bei konstanter Stator-Frequenz gegeben ist. Zusätzlich zur elektrischen Leistungsaufnahme P_1 müssen die tatsächlichen Werte des Volumenstroms Q und der Förderhöhe H der Pumpe gemessen und dokumentiert werden.
- 2) Fall 2 Betrieb mit variabler Drehzahl: Das Pumpenaggregat muss mit variabler Drehzahl entlang einer Druck-Regelkennlinie betrieben werden. In der Prüfung ist der Volumenstrom Q an die verschiedenen Werte des Bezugs-Volumenstrom-Zeit-Profils anzupassen. Die Förderhöhe der Pumpe H ist entsprechend der Referenz-Druckkennlinie an die Werte anzupassen.

Für jeden Lastpunkt darf der angepasste und gemessene Volumenstrom Q nicht von den Werten nach dem Referenz-Volumenstrom-Zeit-Profil um mehr als $\pm 3\%$ (bzw. $\pm 0,1 \text{ m}^3/\text{h}$, je nachdem, welcher der größte absolute Wert ist) abweichen.

Der gemessene Wert H_{measured} darf nicht mehr als $\pm 5 \%$ (bzw. $\pm 0,2$ m Förderhöhe, je nachdem, welcher der größte absolute Wert ist) von den Werten H_i entsprechend der Referenz-Druckkennlinie abweichen.

Bei mehrstufigen Pumpenaggregattypen, die mit unterschiedlicher Anzahl an Stufen angeboten und verkauft werden, sind die Prüfungen der Prüfpumpenaggregaten, die (hinsichtlich des Energieeffizienzindex) für die Typenreihe repräsentativ sein sollten, an Pumpenversionen mit der tatsächlichen Anzahl an Stufen für vertikale und horizontale Mehrstufenpumpen auszuführen.

Die Messung hat am tatsächlichen Laufraddurchmesser der Pumpe zu erfolgen.

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

In einem ersten Schritt des Prüfverfahrens ist $Q_{100\%}$ zu bestimmen. Dazu wird das Pumpenaggregat in Maximalbetrieb gesetzt.

Die Maximalbetrieb eines Pumpenaggregats, das bei fester Drehzahl betrieben wird, wird erreicht, indem der Motor mit einer konstanten Stator-Frequenz gespeist wird; dies kann entweder die Frequenz des Stromnetzes sein oder eine andere Frequenz aus einem CDM, die das Pumpenaggregat auf die höchste hydraulische Leistung bringt.

Die Höchstleistung eines Pumpenaggregats, das bei variabler Drehzahl betrieben wird, wird erreicht, indem die Regeleinrichtung die Drehzahl des tatsächlichen Pumpenaggregats an Werte anpassen kann, die eine Kennlinie mit maximaler hydraulischer Leistung ableiten.

ANMERKUNG Wo die H - Q -Kennlinie der Pumpe abgetrennt wird, um eine Überlast des Motors zu vermeiden, könnte der Punkt $Q_{100\%}$ am maximalen Volumenstrom (Q_{max}) des Pumpenaggregats (rechtes Ende der Kennlinie) angesetzt werden, dann gilt: $Q_{100\%} = Q_{\text{max}}$.

Der Punkt des besten Wirkungsgrads ($Q_{100\%}/H_{100\%}$) liegt dann auf dieser Kennlinie des Pumpenaggregats.

Der Punkt ($Q_{100\%}/H_{100\%}$) definiert den Volumenstrom entsprechend der Volumenstrom-Zeit-Profil und der Referenz-Druckkennlinie.

Die Zielwerte des Volumenstroms Q sind zu bestimmen. Im Falle variabler Volumenstrom ist zudem $H_{100\%}$ erforderlich, damit es möglich ist, die Punkte der Förderhöhe entlang der Referenz-Druckkennlinie zu finden. Im Falle eines konstanten Volumenstroms werden die Werte der Förderhöhe anhand der Förderhöhe-Volumenstrom-Kennlinie des Pumpenaggregats bestimmt.

Zur Bestimmung der erforderlichen H - Q -Punkte des Volumenstrom-Zeit-Profiles und der Druck-Referenz-Regelkennlinie müssen die Werte von Volumenstrom Q , Förderhöhe der Pumpe H und elektrischer Leistungsaufnahme P_1 bei Maximalbetrieb für eine ausreichende Anzahl an Betriebspunkten um den erwarteten Wert von $Q_{\text{BEP,unit}}$ herum gemessen werden.

Für die Auswahl dieser Betriebspunkte kann der Wert $Q_{\text{BEP,PU}}$ bei $n = n_{\text{N,PU}}$, der in der Dokumentation des Pumpenherstellers angegeben ist, als vorläufiger Schätzwert für den erwarteten Wert von $Q_{100\%}$ verwendet werden. Es ist wichtig, Messdaten in einem ausreichend großen Bereich von Q über- und unterhalb des erwarteten Werts von $Q_{100\%}$ zu erfassen (Empfohlen $0,7 \cdot Q_{100\%} < Q < 1,3 \cdot Q_{100\%}$).

Wenn der anhand der Prüfpunkte berechnete Wert von $Q_{100\%}$ zeigt, dass weniger als 3 Prüfpunkte Werte von Q haben, die größer als dieser berechnete Wert sind, müssen zusätzliche Prüfpunkte aufgenommen werden, damit mindestens 3 Prüfpunkte Werte von Q größer als $Q_{100\%}$ haben.

Der Wert von $H_{100\%}$ kann durch Einfügen von $Q = Q_{100\%}$ in Gleichung (7) berechnet werden.

5.2.3 Bestimmung der Teillast- und Überlastpunkte sowie der Referenz-Regelkennlinie

Die Referenz-Volumenstrompunkte des Volumenstroms Q_i sind mit der folgenden Gleichung (2) zu berechnen:

$$Q_i = \left(\frac{Q}{100} \right)_i \cdot Q_{100\%} \quad (2)$$

Dabei werden die Werte Q , die den N Lastpunkten des Referenz-Volumenstrom-Zeit-Profiles entsprechen, Tabelle 2 oder Tabelle 3 entnommen.

Zur Bestimmung des Punktes $Q_{110\%}$ für den Fall, wenn die H - Q -Kennlinie der Pumpe abgetrennt wird, um eine Überlast des Motors zu vermeiden, und wenn der Punkt $Q_{100\%}$ am maximalen Volumenstrom ($Q_{\max}$) des Pumpenaggregats (rechtes Ende der Kennlinie) angesetzt werden könnte, kann der Motor in der Prüfung für kurze Zeit überlastet werden und ($Q_{110\%}$, $H_{110\%}$) gemessen oder Gleichung (7) und Gleichung (8) verwendet werden.

Bei Betrieb mit variablem Volumenstrom sind Bezugspunkte der Förderhöhe H_i mit der folgenden Gleichung (3) zu berechnen:



$$H_i = \left(\frac{H}{100} \right)_i \cdot H_{100\%} \quad (3)$$



Dabei werden die Werte H , die den N Lastpunkten auf der Referenz-Druckkennlinie entsprechen, Gleichung (1) entnommen.

Im Betrieb mit konstantem Volumenstrom werden die Punkte der Förderhöhe H von der Pumpenkennlinie bestimmt, die bei der Ermittlung von $Q_{100\%}$, $H_{100\%}$ gilt.

Bei Pumpenaggregaten mit variabler Drehzahl und konstantem Volumenstrom erfolgt die Prüfung bei fester Drehzahl mit Förderhöhe-Punkten entlang der Q - H -Kennlinie mit feststehender Nenndrehzahl. Bei fester Drehzahl und variablem Volumenstrom kann die Förderhöhe nicht an die Druck-Referenz-Regelkennlinie angepasst werden und folgt der Q - H -Kennlinie des Pumpenaggregats.

5.3 Berechnung von $P_{1,av}$

5.3.1 Allgemeines

Die Werte Q_i , H_i und $P_{1,i}$ werden zu jedem Referenz-Teillast/Überlastpunkt gemessen.

5.3.2 Mit dem Referenz-Volumenstrom-Zeit-Profil für den Betrieb mit konstantem Volumenstrom bewertete Pumpenaggregate

Auf Grundlage der Messwerte der elektrischen Leistungsaufnahme P_1 an den drei Lastpunkten (siehe Bild 1)

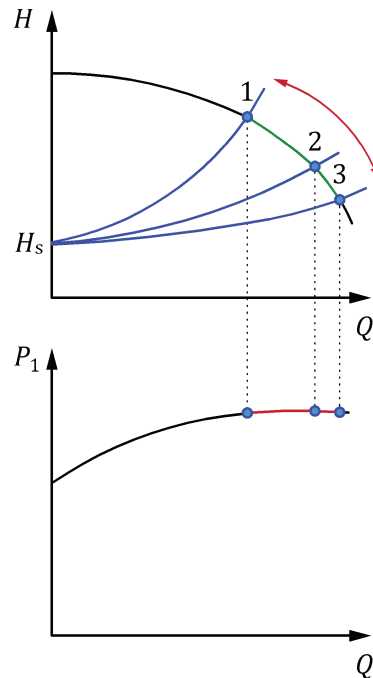


**Bild 1 — Lastpunkte für Systeme mit konstantem Volumenstrom – M1 und M3
(alle Pumpenaggregate)**

wird das gewichtete Mittel der elektrischen Leistungsaufnahme $P_{1,avg,c}$ mit der folgenden Gleichung (4) berechnet:

$$P_{1,avg,c} = \sum_{i=1}^3 \left[\left(\frac{\Delta t}{100} \right)_i \cdot P_{1,i} \right] \quad (4)$$

5.3.3 Mit dem Referenz-Volumenstrom-Zeit-Profil für den Betrieb mit variablem Volumenstrom bewertete Pumpenaggregate

Bild 2 zeigt die Messwerte der elektrischen Leistungsaufnahme P_1 an den vier Lastpunkten (siehe Bild 2) für den Betrieb mit variablem Volumenstrom:

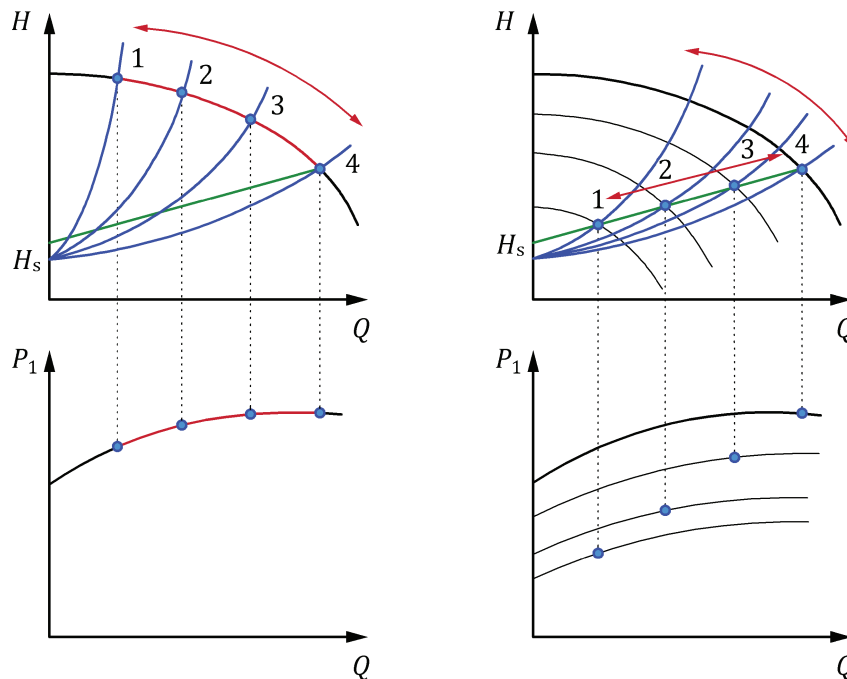


**Bild 2 — Lastpunkte für den Betrieb mit variablem Volumenstrom – M2, M4 und M5
(Pumpenaggregate mit fester und variabler Drehzahl)**

Die Schritte zur Berechnung von $P_{1,avg,v}$ für Pumpenaggregate mit variabler Drehzahl sind wie folgt:

- 1) Für jeden Wert des angepassten und gemessenen Volumenstroms Q wird die gemessene Förderhöhe der Pumpe H_{meas} mit dem Zielwert H_i am entsprechenden Lastpunkt der Referenz-Druckkennlinie aus Gleichung (3) verglichen.
- 2) Die gemessene elektrische Leistung $P_{1,meas}$ bei Volumenstrom Q_i und gegebener Förderhöhe von H_i muss (außer in Betriebsart M2) mit der folgenden Gleichung (5) korrigiert werden:

$$P_{1,corr} = \left(\frac{H_i}{H_{meas}} \right) \cdot P_{1,meas} \quad (5)$$

Bei Pumpeneinheiten mit fester Drehzahl und Bedarf variabler Volumenstrom (Betriebsart M2) ist $P_{1,corr}$ gleich $P_{1,meas}$ und keine Korrekturen werden angewendet.

Dann wird die korrigierte elektrische Leistung $P_{1,corr}$ bei diesem Volumenstrom Q für die Berechnung des gewichteten Mittels der elektrischen Leistung $P_{1,avg}$ hinzugezogen.

- 3) Das gewichtete Mittel der elektrischen Leistungsaufnahme $P_{1,avg,v}$ wird mit der folgenden Gleichung (6) berechnet:

$$P_{1,avg,v} = \sum_{i=1}^{i=4} \left[\left(\frac{\Delta t}{100} \right)_i \cdot P_{1,corr,i} \right] \quad (6)$$

5.3.4 Verfahren zur Prüfung und Bewertung von Pumpenaggregaten mit besonderen Pumpentypen

5.3.4.1 Allgemeines

Für besondere, im Anwendungsbereich dieses Dokuments liegende Pumpentypen ist jeweils die Prüfung und Bewertung nach 5.3.4.2 bis 5.3.4.3 anzuwenden.

5.3.4.2 Pumpenaggregate mit Doppelpumpen (ESCCi mit zwei Laufrädern)

Pumpenaggregate mit Doppelpumpen sind zu bewerten, indem ein Antrieb/Laufrad in ein geeignetes Gehäuse einer Pumpe mit einem Pumpenkopf des Typs ESOB, ESCC oder ESCCi eingebaut wird.

Für die Berechnung des Referenz-Pumpenwirkungsgrads $\eta_{\text{ref,PU}}$ muss der C-Wert aus Tabelle 4 für den jeweiligen Pumpentyp und die jeweilige Drehzahl verwendet werden.

5.3.4.3 Pumpenaggregate mit Pumpen nach mehr als einer Typdefinition

Bei Pumpenaggregaten mit Pumpentypen, auf die mehr als eine Typdefinition zutrifft, muss der Typ des Pumpengehäuses festlegen, welcher C-Wert aus Tabelle 4 zu entnehmen ist.

6 Bestimmung des Energieeffizienzindex von Pumpenaggregaten anhand des semi-analytischen Modells

6.1 Allgemeines

Anstatt den Energieeffizienzindex (EEI_V oder EEI_C , später EEI -Wert genannt) mittels Prüfungen an vollständigen Pumpenaggregaten zu bestimmen, kann dessen EEI -Wert mit mathematischen Verrechnungen auf Grundlage eines so genannten semi-analytischen Modells des Pumpenaggregats ermittelt werden.

Das mathematische Modell des vollständigen Geräts besteht aus Teilmodellen der Pumpe und der elektrischen Bauteile. Das vollständige Modell berücksichtigt die physikalischen Interaktionen der Bauteile. Zur Berechnung der EEI -Werte dürfen diese Modelle in Teilen oder im Ganzen verwendet werden. Alternativ sind mathematische Modelle zulässig, die mindestens die gleiche Genauigkeit der EEI -Werte liefern.

ANMERKUNG Beispielsweise sind alternative mathematische Modelle dann zulässig, wenn die Technologie der Bauteile nicht in diesem Dokument behandelt wird oder andere mathematische (Teil-)Modelle verfügbar sind.

In dieser Norm wird ein Modell als semi-analytisches Modell bezeichnet, wenn die mathematischen Korrelationen (= Gleichungen) die Leistung in grundsätzlicher Form beschreiben, die die zugrundeliegenden physikalischen Prozesse und Einflüsse wiedergibt, aber eine begrenzte Anzahl an Daten (an so genannten *Stützpunkten*) benötigt, die sich aus Prüfungen an separaten Bauteilen ergeben. Diese Daten dienen der „Kalibrierung“ der grundlegenden Gleichungen. In diesem Sinn ist das für Pumpen verwendete Modell semi-analytisch. Andererseits handelt es sich bei dem Modell, das die Verluste eines PDS (oder des Elektromotors und des CDM, aus dem es besteht) beschreibt, ausschließlich um mathematische Gleichungen, die das Ziel haben, Verluste in einem bestimmten Bereich von Lastpunkten anhand bekannter Werte dieser Verluste an einer begrenzten Anzahl von (in Normen spezifizierten) *Stützpunkten* zu interpolieren oder zu extrapolieren.

Die Modelle beschreiben die Relation zwischen physikalischen Eingangs- und Ausgangsgrößen (= Leistungsvariablen) der Bauteile sowie des gesamten Geräts anhand mathematischer Gleichungen. Diese sind z. B. die Abhängigkeit der Förderhöhe der Pumpe H vom Volumenstrom Q und der Drehzahl n oder die Abhängigkeit der Leistungsverluste $P_{V,PDS}$ eines Antriebssystems (PDS) vom Wellendrehmoment T und der Drehzahl n .

Während die Prüfergebnisse aus der Bestimmung des *EEI*-Werts eines einzelnen Prüfpumpenaggregats im Allgemeinen eine (Gesamt-)Messunsicherheit aufweisen, ist die Genauigkeit eines Werts (beispielsweise des *EEI*-Werts), der mathematisch mithilfe der Modelle ermittelt wurde, von der Größe der Modellunsicherheiten abhängig.

Modellunsicherheiten sind die maximal möglichen Abweichungen (mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 %) der berechneten Werte der Ausgangsvariablen des Modells von den korrekten Werten der Ausgangsvariablen der tatsächlichen Bauteile für die gleichen Werte der Eingangsvariablen. Ihre Größe hängt von Voraussetzungen, Näherungen und Vereinfachungen ab, die Qualität und Korrektheit der Modelle festlegen.

Die Größe der Unsicherheiten jener Modelle, die dazu dienen können, den *EEI*-Wert eines einzelnen Pumpenaggregats oder den mittleren *EEI*-Wert einer Typengröße von Pumpenaggregaten zu bestimmen oder die in dieser Norm beschrieben sind, sind in Anhang D aufgeführt.

Das in diesem Abschnitt beschriebene Verfahren gilt für Pumpenaggregate,

- die aus Bauteilen (Pumpe und Motorsystem) bestehen, von denen die spezifischen Leistungsmerkmale im relevanten Bereich der Lastpunkte – zumindest eine geringe Anzahl an Betriebspunkten (siehe Anhang B) – bekannt sind, einschließlich möglicher Auswirkungen der Interaktion zwischen Bauteilen (z. B. zusätzliche Verluste von CDM-gespeisten Elektromotoren),
- die den Betriebspunkt auf einen maximalen Wirkungsgrad des Geräts η_{unit} und die entsprechenden Werte von $Q_{100\%}$ und $H_{100\%}$ (entsprechend ihrer Definition in Abschnitt 4) bei konstanter Statorfrequenz einstellen können.

6.2 Das semi-analytische Modell der Pumpe

Das semi-analytische Modell, das zur Beschreibung der Pumpenleistung erforderlich ist, besteht aus den 3 mathematischen Funktionen $H/H_{\text{BEP,N}} = f(Q/Q_{\text{BEP,N}}, n/n_{\text{N,PU}})$, $T/T_{\text{BEP,N}} = f(Q/Q_{\text{BEP,N}}, n/n_{\text{N,PU}})$ und $P/P_{\text{BEP,N}} = f(Q/Q_{\text{BEP,N}}, n/n_{\text{N,PU}})$, siehe Gleichung (10) und Gleichung (11).

$Q_{\text{BEP,N}}$, $H_{\text{BEP,N}}$, $T_{\text{BEP,N}}$ und $P_{\text{BEP,N}}$ sind jeweils der Volumenstrom, die Förderhöhe der Pumpe, das Wellendrehmoment und die Wellenleistung am Punkt des besten Wirkungsgrads (BEP) der Pumpe bei Nenndrehzahl $n_{\text{N,PU}}$.

Im Modell wird die dimensionslose Kenngröße $H/H_{\text{BEP}} = f(Q/Q_{\text{BEP}})$ bei $n = n_{\text{N,PU}}$ mit einem Polynom dritten Grades angenähert:

$$\frac{H}{H_{\text{BEP}}} = a_H \cdot \left(\frac{Q}{Q_{\text{BEP}}}\right)^3 + b_H \cdot \left(\frac{Q}{Q_{\text{BEP}}}\right)^2 + c_H \cdot \frac{Q}{Q_{\text{BEP}}} + d_H \quad (7)$$

Auch die dimensionslose Kenngröße $P/P_{\text{BEP}} = f(Q/Q_{\text{BEP}})$ bei $n = n_{\text{N,PU}}$ ^{N1} wird mit einem Polynom dritten Grades angenähert:

$$\frac{P}{P_{\text{BEP}}} = a_P \cdot \left(\frac{Q}{Q_{\text{BEP}}}\right)^3 + b_P \cdot \left(\frac{Q}{Q_{\text{BEP}}}\right)^2 + c_P \cdot \frac{Q}{Q_{\text{BEP}}} + d_P \quad (8)$$

^{N1} Nationale Fußnote: Fehler in Referenzfassung. Es muss heißen: „ $P/P_{\text{BEP}} = f(Q/Q_{\text{BEP}})$ bei $n = n_{\text{N,PU}}$ “

In den Gleichungen (7) und (8) sind a_H bis d_H die Polynomkoeffizienten für die dimensionslose Q - H -Kenngröße und a_P bis d_P die Polynomkoeffizienten für die dimensionslose Q - P -Kenngröße

Die Koeffizienten sind mathematisch derart zu bestimmen, dass die Gleichungen (7) und (8) *Ausgleichsfunktionen* für eine Anzahl k an Betriebspunkten sind, die sich jeweils auf den mittleren dimensionslosen Kenngrößen $H/H_{BEP} = f(Q/Q_{BEP})$ und $P/P_{BEP} = f(Q/Q_{BEP})$ der Pumpe befinden, wobei $n = n_{N,PU}$. Diese Punkte dienen als Stützpunkte für die Kalibrierung des Pumpenmodells. Die Gleichungen (7) und (8) haben die Bedingung „der kleinsten Quadrate“ zu erfüllen.

Die tatsächlichen Werte der Stützpunkte ergeben sich aus Prüfungen und Bewertungen an der jeweiligen Pumpengröße und müssen die Mittelwerte der Größe repräsentieren. Im Allgemeinen gilt für die Auswahl einer angemessenen Anzahl k an Stützpunkten für die Bestimmung der Ausgleichsfunktionen:

- Die Anzahl der stützenden Betriebspunkte sollte mindestens $k = 5$ sein;
- die stützenden Betriebspunkte müssen mindestens den Bereich des zugehörigen Volumenstroms $0,1 \leq (Q/Q_{BEP}) \leq 1,1$ abdecken.

ANMERKUNG Für das Verständnis ist es wichtig, dass die hieraus entnommenen mittleren Kenngrößen der Pumpengröße und der stützenden Betriebspunkte die mittleren Leistungsgrößen x (d. h. Q , H , P und T) der Pumpengröße nur innerhalb der Bandbreite $x_{\text{mean}} \pm t_{x,\text{tot}}$ beschreiben. Diese Toleranzen $t_{x,\text{tot}}$ der Leistungsgrößen und -merkmale sind Resultat der fertigungsbedingten Leistungstoleranzen $t_{x,\text{man}}$ sowie der Messunsicherheiten e_x . Verfahren zur Bestimmung der Mittelwerte und der Gesamt toleranzen sind in EN 16480 erläutert.

Ein Verfahren zur Bestimmung der Polynomfunktionen $H/H_{BEP} = f(Q/Q_{BEP})$ und $P/P_{BEP} = f(Q/Q_{BEP})$ der Pumpe anhand von nur 3 stützenden Betriebspunkten, die aus der Bestimmung des MEI-Werts der Pumpe nach EN 16480 hervorgehen, zusammen mit 2 weiteren Stützpunkten, die aus empirischen Korrelationen entstammen, ist in Anhang B beschrieben.

Bei $n = n_{N,PU}$ gilt eine Polynomfunktion mit den gleichen Polynomkoeffizienten a_P bis d_P für das entsprechende Drehmoment T/T_{BEP} .

$$\frac{T}{T_{BEP}} = a_P \cdot \left(\frac{Q}{Q_{BEP}}\right)^3 + b_P \cdot \left(\frac{Q}{Q_{BEP}}\right)^2 + c_P \cdot \frac{Q}{Q_{BEP}} + d_P \quad (9)$$

Für Betriebs-(= Last-)Punkte entsprechend der in Abschnitt 4 festgelegten Referenz-Volumenstrom-Zeit-Profile und der Druck-Referenz-Regelkennlinien liegt der Bereich der Drehzahlschwankung in der Regel bei $0,7 \leq n/n_{N,PU} < 1,05$.

Innerhalb dieses Bereich der relativen Drehzahl $n/n_{N,PU}$ können die relativen Kenngrößen der variablen Drehzahl $n/n_{N,PU}$ auf Grundlage des hydrodynamischen Ähnlichkeitsprinzip geschrieben werden:

$$\frac{H}{H_{BEP,N}} = a_H \cdot \frac{\left(\frac{Q}{Q_{BEP,N}}\right)^3}{\left(\frac{n}{n_{N,PU}}\right)} + b_H \cdot \left(\frac{Q}{Q_{BEP,N}}\right)^2 + c_H \cdot \left(\frac{Q}{Q_{BEP,N}}\right) \cdot \left(\frac{n}{n_{N,PU}}\right) + d_H \cdot \left(\frac{n}{n_{N,PU}}\right)^2 \quad (10)$$

$$\frac{T}{T_{BEP,N}} = k_{\text{corr}} \cdot \left[a_P \cdot \frac{\left(\frac{Q}{Q_{BEP,N}}\right)^3}{\left(\frac{n}{n_{N,PU}}\right)} + b_P \cdot \left(\frac{Q}{Q_{BEP,N}}\right)^2 + c_P \cdot \left(\frac{Q}{Q_{BEP,N}}\right) \cdot \left(\frac{n}{n_{N,PU}}\right) + d_P \cdot \left(\frac{n}{n_{N,PU}}\right)^2 \right] \quad (11)$$