

DIN EN 17038-1

ICS 23.080

Einsprüche bis 2017-03-13

Entwurf

**Pumpen –
Methoden zur Qualifikation und Verifikation des Energieeffizienzindex
für Kreiselpumpen –
Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Vorgehensweisen zur Prüfung und
Berechnung des Energieeffizienzindex (EEI);
Deutsche und Englische Fassung prEN 17038-1:2016**

Pumps –
Methods of qualification and verification of the Energy Efficiency Index for rotodynamic
pumps units –
Part 1: General requirements and procedures for testing and calculation of energy efficiency
index (EEI);
German and English version prEN 17038-1:2016

Développement, validation de l'application d'un modèle semi-analytique pour la
détermination de l'efficacité énergétique des groupes motopompes à eau –
Partie 1: Description générale de la méthodologie;
Version allemande et anglaise prEN 17038-1:2016

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2017-01-13 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und
Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

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

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

Gesamtumfang 72 Seiten

DIN-Normenausschuss Maschinenbau (NAM)

Nationales Vorwort

Dieser Norm-Entwurf beschreibt Methoden zur Berechnung und Überprüfung des Energieeffizienzindex (EEI) für Kreislumpen.

Er beinhaltet die Deutsche Fassung der vom Technischen Komitee CEN/TC 197 „Pumpen“ im Europäischen Komitee für Normung (CEN) ausgearbeiteten prEN 17038-1:2016.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung der prEN 17038-1 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 „Kreislumpen“ im Fachbereich „Pumpen“ des DIN-Normenausschusses Maschinenbau (NAM) wahrgenommen. Vertreter der Hersteller und Anwender von Pumpen sowie der Berufsgenossenschaften sind an der Erarbeitung beteiligt.

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

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

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

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

Annual European part Load Profile of Heating Pumps, Prof. Dr. Rainer Hirschberg, HLH Sonderdruck

Efficiency evaluation of booster stations using load profile and control curve, Prof. Dr.-Ing. Rainer Hirschberg, VDMA

EN 60034-2-1 (VDE 0530-2-1), *Drehende elektrische Maschinen — Teil 2-1: Standardverfahren zur Bestimmung der Verluste und des Wirkungsgrades aus Prüfungen (ausgenommen Maschinen für Schienen- und Straßenfahrzeuge)*

DIN EN 61800-9-2 (VDE 0160-109-2), *Drehzahlveränderbare elektrische Antriebe — Teil 9-2: Ökodesign für Antriebssysteme, Motorstarter, Leistungselektronik und deren angetriebene Einrichtungen — Indikatoren für die Energieeffizienz von Antriebssystemen und Motorstartern*

Pumpen — Methoden zur Qualifikation und Verifikation des Energieeffizienzindex für Kreiselpumpen — Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Vorgehensweisen zur Prüfung und Berechnung des Energieeffizienzindex (EEI)

Développement, validation de l'application d'un modèle semi-analytique pour la détermination de l'efficacité énergétique des groupes motopompes à eau — Partie 1 : Description générale de la méthodologie

Pumps — Methods of qualification and verification of the Energy Efficiency Index for rotodynamic pumps units — Part 1: General requirements and procedures for testing and calculation of energy efficiency index (EEI)

ICS:

Deskriptoren

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

STD Version 2.8f

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	3
Einleitung	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
4 Berechnungen des Energieeffizienzindex (EEI)	8
4.1 Allgemeine Informationen und Erläuterungen zum EEI	8
4.2 Gewichteter Mittelwert der elektrischen Leistungsaufnahme	9
4.3 Die elektrische Bezugs-Leistungsaufnahme $P_{1,ref}$	10
5 Qualifikation der Pumpenaggregattypen hinsichtlich ihres Energieeffizienzindex	10
5.1 Allgemeine Erläuterungen	10
5.2 Qualifikationsverfahren	10
6 Verifizierung des Energieeffizienzindex bei Pumpenaggregaten	11
6.1 Allgemeine Erläuterungen	11
6.2 Verfahren und Entscheidung	11
Anhang A (informativ) Mittelwert und Konfidenzintervall des Energieeffizienzindex EEI	13
Anhang B (informativ) Empfohlene Verfahren für die Qualifikation eines Pumpenaggregattyps durch Prüfung	18
B.1 Allgemeine Erläuterungen	18
B.2 Bestimmung des Mittelwerts für den EEI einer Grundgesamtheit des Pumpenaggregattyps aus einer Prüfung anhand ausschließlich eines Prüfpumpenaggregats	19
B.3 Bestimmung des Mittelwerts für den EEI einer Grundgesamtheit des Pumpenaggregattyps aus einer Prüfung von M Pumpenaggregaten	20
Anhang C (informativ) Anwendung der mathematischen Statistik auf die Prüfungen	23
C.1 Zweck der Anwendung von Statistiken im Rahmen der Qualifikation und Verifizierung	23
C.2 Normale oder Gaußsche Verteilung	23
C.3 Konfidenzintervall	24
C.4 Ausreißertest	25
Anhang D (informativ) Messunsicherheiten	27
Anhang E (informativ) Die Wahrscheinlichkeit des Ergebnisses aus dem Verifizierungsverfahren	30
E.1 Allgemeines	30
E.2 Wahrscheinlichkeit, dass die Rechtmäßigkeit in den Verifizierungsprüfungen bestätigt wird	33
E.3 Wahrscheinlichkeit, dass der numerische, vom verantwortlichen Unternehmen angegebene EEI-Wert in den Verifizierungsprüfungen bestätigt wird	34
Literaturhinweise	35

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 17038-1:2016) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 197 „Pumpen“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom AFNOR gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wurde unter einem Mandat erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone dem CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EU-Richtlinien.

Einleitung

Diese Europäische Norm ist der erste 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, Kenngröße des Motorwirkungsgrads und der Einfluss des Frequenzumformers werden in diese Kennzahl integriert.

Diese Normenreihe behandelt Pumpenaggregate, die komponentenweise auf den Markt gebracht und in eine Pumpeneinheit eingesetzt werden können oder die als Einzelprodukt auf den Markt gebracht werden. Zur Abdeckung beider Fälle wurde ein *semi-analytisches Modell* entwickelt, um den EEI alleine auf Grundlage der Nenndaten zu den Bauteilen abzuleiten. Dies ist z. B. dann der Fall, wenn ein Monteur von Bauteilen vor Ort das Pumpenaggregat zusammenbaut und eine Produktprüfung für diesen Monteur anschließend nicht möglich ist bzw. wenn ein Hersteller ein Pumpenaggregat anbietet, dessen Bauteile zuvor nicht kombiniert wurden.

Diese spezifische Norm gibt einen Überblick über das Grundkonzept des EEI (Abschnitt 4), die Grundkonzepte der Durchflusszeit-Profile und Referenz-Regelkennlinien des Drucks, die Qualifizierung (Abschnitt 5) eines Pumpenaggregattyps hinsichtlich eines EEI sowie die Verifizierung von EEI-Werten (Abschnitt 6), die entweder durch Messung oder Berechnung zu einem Pumpenaggregattyp ermittelt wurden.

Spezifische Anforderungen an Prüfungen, ein Berechnungsverfahren für einen EEI, das so genannte semi-analytische Modell eines vollständigen Pumpenaggregats, spezifische Durchflusszeit-Profile und Referenz-Regelkennlinien werden in den folgenden Teilen dieser Normenreihe festgelegt.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument behandelt Pumpenaggregate, bestehend aus:

- einer einzelnen oder mehreren Kreiselpumpe(n) für Wasser, auch wenn sie in andere Produkte integriert sind, angetrieben von einem Motorsystem aus einem Elektromotor und
- entweder einem Kabelabschlusskasten, der nur den Betrieb des Pumpenaggregats bei konstanter Frequenz des Stators und daher (nahezu) konstanter Drehzahl ermöglicht,
- oder einem vollständigen Antriebsmodul (CDM, en: Complete Drive Module), das den Betrieb des Pumpenaggregats bei variabler Drehzahl entsprechend des schwankenden Bedarfsvolumenstroms und/oder der Entnahme bzw. des Differenzdrucks erlaubt.

ANMERKUNG 1 Ein Motorsystem, das aus einem Elektromotor und einem CDM besteht, wird als PDS (Leistungsantriebssystem, en: Power Drive System) bezeichnet.

ANMERKUNG 2 Ein CDM wird oftmals auch drehzahl geregelter Antrieb (VSD, en: Variable Speed Drive) genannt.

Pumpenaggregate entsprechend der oben stehenden Definition werden hinsichtlich ihrer Energieeffizienz als **erweiterte Produkte** behandelt.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

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

EN 16480, *Pumpen — Geforderte Mindesteffizienz bei Kreiselpumpen für Wasser*

EN 60034-30-1, *Drehende elektrische Maschinen — Teil 30-1: Wirkungsgrad-Klassifizierung von netzgespeisten Drehstrommotoren (IE-Code) (IEC 60034-30-1:2014)*

IEC/TS 60034-30-2, *Drehende elektrische Maschinen — Teil 30-2: Wirkungsgrad-Klassifizierung von Wechselstrommotoren mit variabler Drehzahl (IE-Code) (IEC 2/1741/CD:2014)*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

Tabelle 1 — Liste der grundlegenden Buchstaben und Indizes

Symbol	Größe	Einheit
C	Konstante	dimensionslose Zahl
D	Durchmesser	m
e	Messunsicherheit, relativer Wert	dimensionslose Zahl
E	Allgemeine Messunsicherheit	dimensionslose Zahl
f	Frequenz	s^{-1} , Hz
g	Beschleunigung aufgrund der Schwerkraft	m/s^2
H	Gesamtenergiehöhe der Pumpe	m
k	Anzahl der Probepumpen	dimensionslose Zahl

Symbol	Größe	Einheit
m	Gewicht	kg
M	Anzahl der Pumpen in einer Probe	dimensionslose Zahl
n	Drehzahl	s^{-1}, min^{-1}
N	Anzahl der Ablesungen von den MSR-Geräten	dimensionslose Zahl
n_s	spezifische Drehzahl	min^{-1}
p	Druck	Pa
p	Wahrscheinlichkeitsdichte	dimensionslose Zahl
P	Leistung	W
Q	(Volumen)-Förderstrom	m^3/s
s	Standardabweichung einer Probe	entsprechend spezifischer Größe
t	Toleranzfaktor, relativer Wert	dimensionslose Zahl
t	Uhr	s
t	Student-t-Faktor	dimensionslose Zahl
T	Drehmoment	Nm
u	Umfangsgeschwindigkeit	m/s
U	mittlere Geschwindigkeit	m/s
U	Spannung	V
v	örtliche Geschwindigkeit	m/s
V	Volumen	m^3
x	allgemeine Größe	entsprechend spezifischer Nutzung
y	allgemeine Größe	entsprechend spezifischer Nutzung
z	Abstand über der Bezugsebene	m
z	Anzahl der hergestellter Pumpen	dimensionslose Zahl
η	Wirkungsgrad	dimensionslose Zahl
θ	Temperatur	°C
ν	kinematische Viskosität	m^2/s
ρ	Dichte	kg/m^3
ω	Winkelgeschwindigkeit	rad/s
σ	Standardabweichung der Normalverteilung	entsprechend spezifischer Größe

Tabelle 2 — Liste der als Indizes verwendeten Buchstaben und Bilder

Index	Bedeutung
1	elektrisch
2	mechanisch
abs	absolut
allowable	zulässig z. B. nach Verordnungen
declared	vom Hersteller angegeben
verification	im Verifizierungsverfahren erlaubt
individual	spezifisch für eine Pumpeneinheit
amb	Umgebung (en: ambient)
annual	pro Jahr
BEP	Punkt des besten Wirkungsgrads (en: best efficiency point)
dr	Antrieb (en: drive)
D	Datum
exp	experimentell bestimmt
G	garantiert
H	Gesamtenergiehöhe der Pumpe
I	Nummerierungsindex
J	Nummerierungsindex
imp	Laufgrad (en: impeller)
man	Herstellung (en: manufacturing)
max	maximal zulässig
mean	arithmetischer Mittelwert
min,requ	minimal gefordert
N	Nenn-
OL	Überlast (en: overload)
Pd	vordefiniert
P	Leistung (en: power)
PL	Teillast (en: part load)
Q	(Volumen-)Durchfluss
R	zufällig (en: random)
S	spezifisch, systematisch
sync	synchron
tot	gesamt, Gesamt- (en: total)
true	wahrer Wert
T	Drehmoment (en: torque)
v	Dampf (en: vapour)
x	der Größe x
y %	zu einer Wahrscheinlichkeit von y %

3.1

feste Drehzahl

konstante Frequenz des Stators

- 3.2**
variable Drehzahl
wechselnde Frequenz des Stators
- 3.3**
Energieeffizienzindex
EEI
Verhältnis zwischen $P_{1,avg}$ und $P_{1,ref}$
- 3.4**
elektrische Bezugs-Leistungsaufnahme $P_{1,ref}$
berechnete Leistungsaufnahme des Pumpenaggregats am Bestpunkt
- 3.5**
mittlere elektrische Leistungsaufnahme $P_{1,avg}$
nach dem Lastprofil gewichtete Leistungsaufnahme
- 3.6**
Pumpenaggregat
von einem Motorsystem angetriebene Pumpe
- 3.7**
Motorsystem
Kombination aus einem Elektromotor und entweder einem Kabelabschlusskasten oder einem CDM
- 3.8**
Pumpenaggregattyp
identische Pumpenaggregate der gleichen Konfiguration
- 3.9**
Druckkennlinie
funktionale Abhängigkeit der geforderten Energiehöhe H vom gelieferten Förderstrom Q in Form einer nicht dimensional Korrelation $H/H_{100\%} = f(Q/Q_{100\%})$
- 3.10**
Referenz-Druckkennlinie
vordefinierte funktionale Abhängigkeit $H/H_{100\%} = f(Q/Q_{100\%})$ für genormte Messungen und Berechnungen der mittleren Leistungsaufnahme $P_{1,avg}$

4 Berechnungen des Energieeffizienzindex (EEI)

4.1 Allgemeine Informationen und Erläuterungen zum EEI

Das Verhältnis zwischen $P_{1,avg}$ und $P_{1,ref}$ ist ein quantitativer Indikator für die Energieeffizienz von Pumpenaggregaten. Dieses wird als Energieeffizienzindex (EEI) bezeichnet und wird anhand der folgenden Gleichung bestimmt:

$$EEI = \frac{P_{1,avg}}{P_{1,ref}} \quad (1)$$

Um den Wirkungsgrad von Pumpenaggregaten zu bewerten, wird deren tatsächliche elektrische Leistungsaufnahme $P_{1,avg}$ mit einem Bezugswert $P_{1,ref}$ verglichen. Dieser ist eine Nennleistungsaufnahme eines fiktiven Pumpenaggregats, das bei einem Nennpunkt von 100 % betrieben wird.

Der Wert von $P_{1,\text{ref}}$ für die unterschiedlichen Pumpentypen wird in anderen Teilen dieser Norm festgelegt.

Der angegebene EEI-Wert basiert auf den tatsächlichen Pumpenkennlinien, unabhängig ob diese mit einem Laufrad mit vollem Durchmesser, einem getrimmtem Laufrad oder einer leistungsbeschränkten Kennlinie erreicht wurden.

ANMERKUNG Im Gegensatz zu den Wirkungsgrad-Werten η der Aggregatbauteile ist die Energieeffizienz der Pumpenaggregate umso besser, je tiefer der numerische EEI-Wert ist.

4.2 Gewichteter Mittelwert der elektrischen Leistungsaufnahme

Im Allgemeinen sollte die Quantifizierung der Energieeffizienz von Pumpenaggregaten auf dem gewichteten Mittel der elektrischen Leistungsaufnahme $P_{1,\text{avg}}$ beruhen.

Der Gewichtungsfaktor bei der Mittelung der elektrischen Leistungsaufnahme P_1 ist der Anteil der Betriebszeit bei entsprechendem Förderstrom. Im Allgemeinen gibt es für sämtliche Anwendungen eine kontinuierliche Funktion, die die Abhängigkeit des (differentialen) Zeitanteils dt/t_{tot} am relativen Förderstrom $Q/Q_{100\%}$ beschreibt, wobei t_{tot} die gesamte Betriebszeit und $Q_{100\%}$ in den spezifischen Teilen dieser Norm festgelegt ist.

Zur Bewertung der Energieeffizienz von Pumpenaggregaten sind allgemeine und genormte *Durchflusszeit-Profile* als Grundlage für die Angabe der Energieeffizienz erforderlich. Das Durchflusszeit-Profil wird für jeden Pumpentyp in anderen Teilen dieser Norm festgelegt.

In dieser Norm werden verschiedene Durchflusszeit-Profile anhand einer begrenzten Zahl an Punkten und nicht anhand einer kontinuierlichen Linie oder Funktion beschrieben, um es weiter zu vereinfachen, einen Wert zu bestimmen, der die Energieeffizienz von Pumpenaggregaten kennzeichnet. Diese diskreten Punkte sind Paare der Werte von $Q/Q_{100\%}$ und $\Delta t/t_{\text{tot}}$. Diese Werte bestimmen die diskretisierten Durchflusszeit-Profile. Sie werden in den spezifischen Teilen dieser Norm als *Bezugs-Durchflusszeit-Profile* angegeben. (In diesem Fall ist Δt der finite Anteil der Betriebszeit und $Q/Q_{100\%}$ ist der Mittelwert des relativen Förderstroms innerhalb dieses Zeitanteils.)

ANMERKUNG Die in dieser Norm für den Betrieb mit variablem Durchfluss festgelegten Bezugs-Durchflusszeit-Profile geben die typischen Bereiche und Schwankungen des geforderten Förderstroms in diesen Arten von Anwendungen wieder und beruhen auf experimentellen Feldstudien, siehe [Hirschberg HVAC VDMA report], [Hirschberg VDMA Booster report].

Für ein bestimmtes Bezugs-Durchflusszeit-Profil wird das gewichtete Mittel der elektrischen Leistungsaufnahme $P_{1,\text{avg}}$ mit der folgenden Gleichung berechnet:

$$P_{1,\text{avg}} = \sum_{i=1}^{i=N} \left[\left(\frac{\Delta t}{t_{\text{tot}}} \right)_i \cdot P_{1,i} \right] \quad (2)$$

Dabei ist

- i die fortlaufende Zahl der Punkte des Durchflusszeit-Profils und N die Gesamtanzahl an Punkten des Durchflusszeit-Profils.

Für die Berechnung von $P_{1,\text{avg}}$ muss die elektrische Leistungsaufnahme P_1 für jeden Wert von $Q/Q_{100\%}$ des Bezugs-Durchflusszeit-Profils bekannt sein.

Wie für das Durchflusszeit-Profil sind allgemeine und genormte Korrelationen $H/H_{100\%} = f(Q/Q_{100\%})$ als Grundlage für die Angabe und den Vergleich der Energieeffizienz von Pumpenaggregaten erforderlich, die auf dem Markt erhältlich sind und/oder als erweiterte Produkte in Betrieb genommen werden. Diese genormte Korrelationen $H/H_{100\%} = f(Q/Q_{100\%})$ werden in dieser Norm *Referenz-Druckkennlinie* bezeichnet und werden in den folgenden Teilen dieser Norm festgelegt.

Für die Berechnung von $P_{1,avg}$ bei Betrieb mit variabler Drehzahl muss die elektrische Leistungsaufnahme P_1 bei den relativen Förderstromwerten $Q/Q_{100\%}$ des relevanten Bezugs-Lastfluss-Profils und für die entsprechende Drehzahl bestimmt werden.

ANMERKUNG Insbesondere bei niedrigen Werten von $Q/Q_{100\%}$ ist die elektrische Leistungsaufnahme P_1 bei Pumpenaggregaten, die bei konstanter Frequenz des Stators betrieben werden, wesentlich höher als bei drehzahlgeregelten Pumpenaggregaten. Dies gilt unabhängig von der tatsächlichen Regelkennlinie des Drucks.

4.3 Die elektrische Bezugs-Leistungsaufnahme $P_{1,ref}$

Zur Bewertung der Energieeffizienz von Pumpenaggregaten im Anwendungsbereich dieser Norm ist ein nicht dimensionaler Wert erforderlich, der die Energieeffizienz von Pumpenaggregaten direkt wiedergibt. Die numerische Größe dieses Werts muss von den Parametern unabhängig sein, die den Wirkungsgrad der Aggregat-Bauteile grundlegend beeinflussen, wie z. B. ihre geometrische Größe und Nennleistung. Zu diesem Zweck wird die tatsächliche, nach Gleichung (1) gemittelte elektrische Leistungsaufnahme $P_{1,avg}$ durch einen geeigneten Referenzwert $P_{1,ref}$ geteilt. Dieser Referenzwert muss

- eine physikalische Grundlage haben,
- maßgebende Einflüsse auf die elektrische Leistungsaufnahme der Pumpenaggregate berücksichtigen,
- vom Wirkungsgrad in Bezug auf die Qualität der einzelnen Bauteile des Pumpenaggregats unabhängig sein.

Die gewählten Definitionen von $P_{1,ref}$, die diese Anforderungen erfüllen, sind in anderen Teilen dieser Norm aufgeführt.

5 Qualifikation der Pumpenaggregattypen hinsichtlich ihres Energieeffizienzindex

5.1 Allgemeine Erläuterungen

Ob sich ein Pumpenaggregattyp hinsichtlich des Energieeffizienzindex (EEI) qualifiziert, liegt in der Verantwortung des Unternehmens, das diesen auf den Markt bringt und/oder in Betrieb nimmt.

Produktinformationen zum EEI eines Pumpenaggregattyps können den EEI entweder im (gesetzlich) erforderlichen Format „EEI ≤ 0,XX“ angeben oder einen niedrigeren Wert „EEI ≤ 0,YY“, sofern der Pumpenaggregattyp dafür qualifiziert ist und der Hersteller sich dafür entscheidet.

5.2 Qualifikationsverfahren

Im Allgemeinen ist es dem zuständigen Unternehmen überlassen, welche Methode es zur Bestimmung des EEI-Werts im Rahmen des Qualifikationsverfahrens anwendet.

In dieser Norm werden zwei Qualifikationsverfahren beschrieben. Beide Verfahren führen zu einer hohen Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Verifizierung:

1. Prüfungen an vollständigen Pumpenaggregaten und Bewertung der Prüfergebnisse zur Bestimmung des EEI-Werts.
2. Bestimmung des EEI-Werts durch Anwendung eines semi-analytischen Modell des vollständigen Pumpenaggregats.

Diese Verfahren werden ausführlich in den spezifischen Teilen dieser Norm zu den jeweiligen Pumpenaggregattypen beschrieben.

1. Im Falle einer **Qualifikation durch Prüfungen an vollständigen Pumpenaggregaten** muss eines der folgenden Verfahren angewendet werden:

Damit ein Pumpenaggregattyp unter Einhaltung der rechtlichen Anforderungen in Bezug auf den EEI-Wert qualifiziert ist, müssen Prüfungen und Bewertungen ausgeführt werden, bei denen die Pumpenaggregate stichprobenweise aus der Grundgesamtheit des Pumpenaggregattyps entnommen werden. Aus den Ergebnissen der Messungen und Bewertungen ist der Mittelwert EEI_{mean} zu bestimmen (wie z. B. in Anhang B beschrieben). Der Pumpenaggregattyp ist rechtmäßig qualifiziert, wenn der mittlere EEI-Wert wie oben aufgeführt bestimmt ist und folgende Anforderung erfüllt:

$$EEI_{mean} \leq EEI_{allowable} \quad (3)$$

Dabei ist der Wert $EEI_{allowable}$ gesetzlich vorgeschrieben. Im Verifizierungsverfahren nach Abschnitt 6 wird eine Toleranz $t_{EEI} = [XX] \% [an\ der\ Verordnung\ der\ Kommission\ auszurichten]$ für den Wert EEI_{test} angewendet, der sich aus den Prüfungen zur Verifizierung ergibt. Diese Toleranz ist nicht Teil des Verfahrens, das ein Lieferant zur Qualifikation eines Pumpenaggregattyps anwendet, und darf nicht auf das Ergebnis des Qualifikationsverfahrens angewendet werden.

2. Im Falle einer **Qualifikation durch Anwendung des semi-analytischen Modells**, wie in anderen Teil der Norm beschrieben, wird der EEI-Wert aus den Berechnungen (unter Berücksichtigung von Unsicherheiten der Eingangswerte und von Modellfehler) als Mittelwert EEI_{mean} genommen
 - wird zur rechtmäßigen Qualifikation des Pumpenaggregattyps nach Gleichung (3) verwendet;
 - und kann als numerischer Wert mit zwei Ziffern nach dem Komma auf dem Typenschild und/oder in der technischen Dokumentation angegeben werden.

6 Verifizierung des Energieeffizienzindex bei Pumpenaggregaten

6.1 Allgemeine Erläuterungen

Der angegebene Energieeffizienzindex kann von einer unabhängigen Einrichtung geprüft und bestätigt werden, z. B. im Rahmen der Marktüberwachung. In dieser Norm wird dies als **Verifizierungsverfahren** bezeichnet.

Als Verifizierungsverfahren muss entweder die technische Dokumentation geprüft und eine (Neu-)Berechnung nach der Methode des so genannten semi-analytischen Modells vorgenommen werden, sofern dies in den entsprechenden Teilen dieser Norm vorgesehen ist, oder es kann eine Messung von Prüfpumpenaggregaten durchgeführt werden. Für diese Prüfungen sind nur eine sehr geringe Anzahl an Prüfpumpenaggregaten und Prüfungen erforderlich, sie bestätigen (oder widerlegen) jedoch trotzdem mit hinreichender Sicherheit die Konformität in Bezug auf $EEI_{allowable}$ bzw. die Gültigkeit des angegebenen EEI-Werts. Das Verfahren beruht auf einfachen Bestanden/Nicht-bestanden-Prüfungen. Einige Erläuterungen zur Wahrscheinlichkeit der Ergebnisse aus einem Verifizierungsverfahren sind in Anhang E aufgeführt.

6.2 Verfahren und Entscheidung

Im Falle eines Verifizierungsverfahrens, das auf Messungen beruht, umfasst das Verifizierungsverfahren mehrere Schritte:

1. Ein einzelnes Pumpenaggregat wird zufällig aus der Grundgesamtheit von Pumpenaggregaten ausgewählt, entsprechend der anderen Teile dieser Norm geprüft und bewertet sowie hinsichtlich des entsprechenden Energieeffizienzindex (EEI) wie unten beschrieben analysiert.
2. Falls das einzelne Pumpenaggregat entsprechend des nachfolgend beschriebenen Kriteriums die Prüfung bestanden hat, ist die Konformität und/oder Gültigkeit des angegebenen numerischen EEI-Werts des untersuchten Pumpenaggregattyps bestätigt.

3. Wenn das erste einzelne Pumpenaggregat das nachfolgend beschriebene Kriterium nicht erfüllt, werden zufällig drei weitere Pumpenaggregate ausgewählt und entsprechend der anderen Teile dieser Norm geprüft und bewertet.
4. Die für jedes der drei zusätzlich geprüften Pumpenaggregate bestimmten EEI-Werte werden nach folgender Gleichung arithmetisch gemittelt:

$$(EEI)_{avg,3} = \frac{1}{3} \cdot \sum_{i=1}^3 (EEI)_i \quad (4)$$

Dabei ist $(EEI)_i$ der einzeln für jedes der drei zusätzlich geprüften Pumpenaggregate bestimmte EEI-Wert.

1. Der $(EEI)_{avg,3}$ von Pumpenaggregaten wird hinsichtlich des unten beschriebenen Kriteriums bewertet.
2. Wenn auch der $(EEI)_{avg,3}$ von Pumpenaggregaten die Prüfung entsprechend des unten beschriebenen Kriteriums nicht besteht, ist die Qualifikation des untersuchten Pumpenaggregattyps in Bezug auf den Energieeffizienzindex (EEI) zurückgewiesen.
3. Wenn der $(EEI)_{avg,3}$ von Pumpenaggregaten die Prüfung entsprechend des unten beschriebenen Kriteriums besteht, besteht auch der Pumpenaggregattyp, obwohl das erste Pumpenaggregat die Prüfung nicht bestanden hat.

Die Prüfungen und Bewertungen von jedem Pumpenaggregat, das zufällig und unabhängig von den anderen aus der Grundgesamtheit des Pumpenaggregattyps gewählt wurde, für den der Energieeffizienzindex (EEI) geprüft werden muss, müssen in Übereinstimmung mit den anderen Teilen dieser Norm durchgeführt werden.

Für die Entscheidung, ob die Verifizierung des EEI erfolgreich ist oder nicht, wird eine Gesamtterolanz von

$$t_{EEI} = 0,XX \text{ (oder } XX \%)$$

auf den EEI-Nennwert angewendet. Der Nennwert für einen Pumpenaggregattyp ist

- der maximal zulässige Wert $EEI_{allowable}$, der gesetzlich für die Bewertung der Rechtmäßigkeit erforderlich ist,
- der auf dem Typenschild und/oder in der technischen Dokumentation des Pumpenaggregattyps angegebene numerische EEI-Wert zur Bewertung des angegeben Werts.

Diese Toleranz berücksichtigt die Auswirkungen der fertigungsbedingten Leistungstoleranzen innerhalb einer Grundgesamtheit des Pumpenaggregattyps (siehe Anhang B) und die Messunsicherheiten (siehe Anhang D) der Verifizierungsprüfung(en).

Bei Anwendung der Gesamtterolanz auf den Nennwert, d. h. bei seiner Multiplikation mit dem Faktor

$$1 + t_{EEI} = 1,XX,$$

ergibt sich der jeweilige **Grenzwert**, der zur Bewertung verwendet wird.

Entscheidungskriterium:

Das erste geprüfte Pumpenaggregat oder der $(EEI)_{avg,3}$ der Pumpenaggregate hat die Prüfung bestanden, was die Bewertung des Energieeffizienzindex (EEI) betrifft, wenn der EEI-Wert aus der/den Prüfung(en) und Bewertungen nicht den entsprechenden spezifischen Grenzwert überschreitet.

Die erste geprüfte Pumpe oder der $(EEI)_{avg,3}$ der Pumpenaggregate hat die Prüfung nicht bestanden, was die Bewertung des Energieeffizienzindex (EEI) betrifft, wenn der EEI-Wert aus der/den Prüfung(en) und Bewertungen den entsprechenden spezifischen Grenzwert überschreitet.

Anhang A (informativ)

Mittelwert und Konfidenzintervall des Energieeffizienzindex EEI

Bezüglich der Energieeffizienz ist der der gesamte Pumpenaggregattyp durch den **Mittelwert** EEI_{mean} seiner Grundgesamtheit gekennzeichnet.

Für einen Pumpenaggregattyp gibt es einen unvermeidlichen Streubereich von Leistungsdaten und Kenngrößen der Bauteile (Pumpe, Motor, Frequenzumformer (sofern vorhanden) und Hilfsgeräte (sofern vorhanden)). Dies gilt auch für hydraulische und elektrische Leistungsgrößen, die für den Energieeffizienzindex (EEI) maßgebend sind. Dieser Streubereich von Leistungsdaten und Kenngrößen ist auf kleine Differenzen bei den relevanten geometrischen Maßen (wie z. B. interne Wirkungsquerschnitte der Strömung, Schaufelwinkel, Freiräume im Gehäuse der Pumpen), bei Materialeigenschaften (wie z. B. die elektrischen Eigenschaften der Kupferwicklungen bei Elektromotoren) und bei anderen Einflussgrößen der Bauteile von Pumpenaggregaten zurückzuführen. Diese Differenzen liegen im Bereich für Toleranzen, die zu jedem Herstellungsprozess gehören und nicht unter einige wirtschaftlich vertretbare Grenzen reduziert werden können.

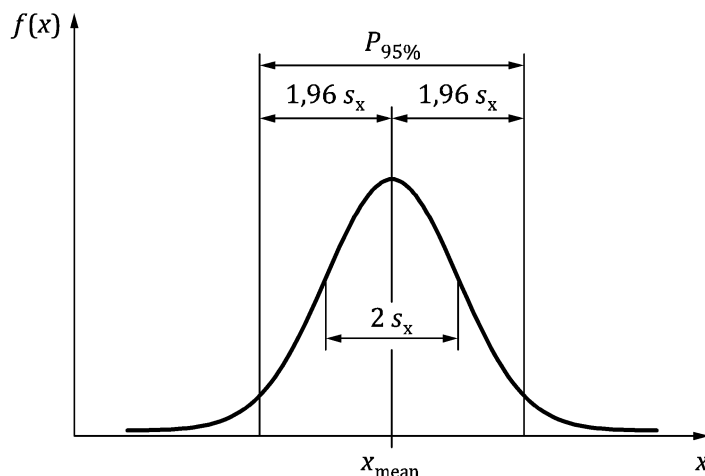
Die Bandbreite der Fertigungstoleranzen führt zu einer entsprechenden Bandbreite von hydraulischen oder elektrischen Leistungsmerkmalen aller Bauteile (Pumpe, Motor, ...) der einzelnen Pumpenaggregate innerhalb eines Pumpenaggregattyps. Die Bandbreite von hydraulischen oder elektrischen Leistungsmerkmalen, die von den Fertigungstoleranzen verursacht wird, wird als *fertigungsbedingte Leistungstoleranz* (en: manufacturing performance tolerance) bezeichnet. Da Pumpenaggregate aus verschiedenen Bauteilen bestehen, führen die Toleranzen der Bauteile zu den resultierenden fertigungsbedingten Leistungstoleranzen der gesamten Einheit. Solange die Toleranzen der Bauteile voneinander statistisch unabhängig sind, kann davon ausgegangen werden, dass die verschiedenen Bauteile nach den Wahrscheinlichkeitsgesetzen überlagernd sind (siehe Anhang C).

Der Pumpenaggregattyp als Gesamtes ist von seinen *mittleren Leistungsdaten und Linienge* gekennzeichnet. Diese Mittelwerte sind festgelegt als

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

Dabei ist x die jeweilige Leistungsgröße (zum Beispiel Q , H , η_{PU} , η_M , P_1) und z die Gesamtanzahl an Pumpenaggregaten, die hergestellt und auf den Markt gebracht und/oder in Betrieb genommen werden.

Bild A.1 — Im Falle, dass die Anzahl z hoch ist (gewöhnlich ist $z \geq 30$) und unter der Annahme einer normalen (Gaußschen) Verteilung (siehe C.2) sind die resultierenden Leistungsgrößen durch ihren Mittelwert x_{mean} gekennzeichnet, der mit dem nach Gleichung (A.1) ermittelten Wert und der Standardabweichung (Gleichung (A.2)) übereinstimmt, die der Bandbreite der Streuung entspricht.



Legende

$f(x)$	relative Häufigkeit von x
x	Leistungsgröße
x_{mean}	Mittelwert von x
s_x	Standardabweichung von x
$P_{95\%}$	Wahrscheinlichkeitsintervall von 95 % von x

Bild A.1 — Normale Verteilung einer Größe x innerhalb eines Pumpenaggregattyps

Bei normalen Verteilungen liegt die Wahrscheinlichkeit, dass ein einzelner wahrer Wert x_i der jeweiligen Leistungsgröße x auf ein Konfidenzintervall von $\pm 1,96 \cdot s_x$ um den Mittelwert x_{mean} begrenzt ist, bei 95 %. Dabei ist

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

die Standardabweichung der Streuung der Leistungsgröße x innerhalb des gleichen Pumpenaggregattyps (siehe Anhang C).

Die fertigungsbedingte Leistungstoleranz $t_{\text{man},x}$ einer Größe x kann als $\pm 1,96 s_x$ bestimmt werden.

Darüber hinaus ist der wahre Wert x_i eines Pumpenaggregats innerhalb des gleichen Pumpenaggregattyps mit einer Wahrscheinlichkeit von

- 50 % höher oder gleich x_{mean} ,
- 97,5 % höher oder gleich $x_{\text{mean}} - 1,96 s_x$,
- 97,5 % niedriger oder gleich $x_{\text{mean}} + 1,96 s_x$.

Beispielsweise kann ein Pumpenaggregat, das zufällig aus einer Grundgesamtheit des Pumpenaggregattyps ausgewählt wurde, jeden Wert der elektrischen Leistungsaufnahme P_1 bei einem bestimmten hydraulischen Lastpunkt $Q/Q_{100\%}$, $H/H_{100\%}$ innerhalb der Streubandbreite haben und zudem, in einem der zwei möglichen Extremfälle, entweder den Mindest- oder den Höchstwert der elektrischen Leistungsaufnahme P_1 an den Grenzen der Bandbreite.

Der wahre Mittelwert einer Größe x sowie die entsprechende fertigungsbedingte Leistungstoleranz $t_{\text{man},x}$ könnte von den Gleichungen (A.1) und (A.2) nur dann genau bestimmt werden, wenn die Werte x_i aller z einzelner Pumpenaggregate aus einer Grundgesamtheit des Pumpenaggregattyps aus Prüfungen bekannt sind. Da in den meisten Fällen die Gesamtanzahl z einer Grundgesamtheit des Pumpenaggregattyps sehr hoch ist, ist es in der Regel aus wirtschaftlichen Gründen nicht möglich, jedes einzelne Pumpenaggregat zu prüfen.

Daher können nur Schätzungen des Mittelwerts des Pumpenaggregattyps

- entweder auf der Grundlage von Prüfungen anhand von Proben einer Anzahl M (in der Regel eine geringe Anzahl im Vergleich zu z) an Prüfpumpenaggregaten, die zufällig aus der Produktion ausgewählt wurden (siehe Anhang B),
- oder durch Anwendung des semi-analytischen Modells (siehe Teil 2 und Teil 3 dieser Norm) angegeben werden.

Es muss unterstrichen werden, dass – bei Prüfungen an einer Probe – die wahren Mittelwerte der Leistungsgrößen x_{mean} nur bestimmt werden können, um mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit (gewöhnlich 95 %) auf den so genannten Konfidenzintervall eingegrenzt zu werden (siehe Anhang B und Anhang C).

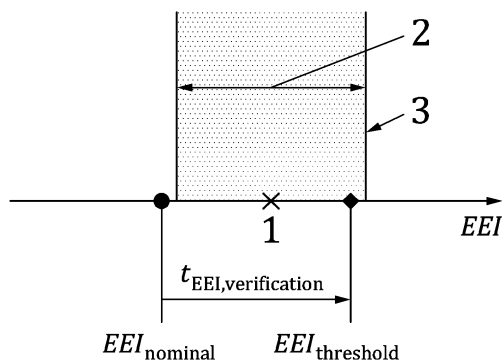
Wie bei allen Leistungsgrößen x gelten diese Tatsachen auch für den EEI-Wert, der aus den Prüfungen von nur einem oder einer (kleinen) Probe von Pumpenaggregaten ermittelt wird (siehe Anhang B).

Wenn der Schätzwert von EEI_{mean} eines Pumpenaggregattyps und das entsprechende Konfidenzintervall durch Prüfungen und Bewertungen von Probe-Pumpenaggregaten bestimmt wird, müssen zusätzlich zu den fertigungsbedingten Leistungstoleranzen die Messunsicherheiten berücksichtigt werden. Während die fertigungsbedingten Leistungstoleranzen nur von der Herstellungsqualität abhängen, hängt die Breite des Konfidenzintervalls von EEI_{mean} zudem von der Genauigkeit der Messverfahren und -geräte ab, d. h. von den tatsächlichen allgemeinen Messunsicherheiten (siehe Anhang D).

Wenn der Schätzwert von EEI_{mean} eines Pumpenaggregattyps und das entsprechende Konfidenzintervall durch Anwendung des semi-analytischen Modells bestimmt wird, müssen zusätzlich zu den fertigungsbedingten Leistungstoleranzen anstatt von Messunsicherheiten die Auswirkungen von Modellfehlern berücksichtigt werden. Informationen zu Modellfehlern sind gemeinsam mit der Beschreibung des Verfahrens in den jeweiligen Teilen dieser Norm aufgeführt.

Aus den oben genannten Gründen kann der wahre Wert von $\text{EEI}_{\text{mean,true}}$ eines Pumpenaggregattyps nicht genau bestimmt werden, sondern nur als eine Eingrenzung auf ein Konfidenzintervall. Die Größe des Konfidenzintervalls kann anhand einer *Gesamttoleranz* $t_{\text{tot,EEI}}$ quantifiziert werden. Diese Gesamttoleranz kann entweder vordefiniert sein (wie z. B. für die Anwendung des in B.2 beschriebenen Verfahrens) oder sie kann direkt aus Messungen an einer Probe verschiedener Pumpenaggregate der gleichen Grundgesamtheit des Pumpenaggregattyps bestimmt werden (z. B. unter Anwendung des in B.3 beschriebenen Verfahrens).

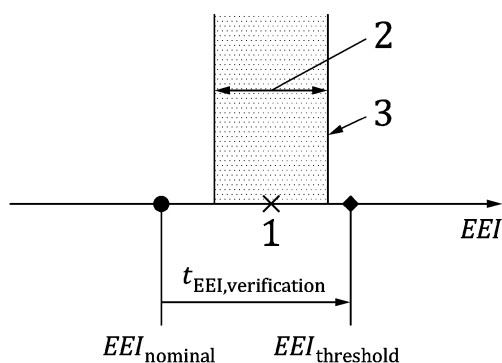
In Bild A.1 und Bild A.2 wird die Auswirkung der Breite, die das Konfidenzintervall des Werts EEI_{mean} eines Pumpenaggregattyps auf den Vergleich mit dem entsprechenden, für die Verifizierung nach Abschnitt 6 verwendeten Grenzwert hat, qualitativ gezeigt. In beiden Fällen wird angenommen dass der Schätzwert sowohl von EEI_{mean} – entweder anhand der Prüfungen an einer Probe der Pumpenaggregate oder der Anwendung des semi-analytischen Modells – als auch des zulässigen Werts $\text{EEI}_{\text{allowable}}$ und des entsprechenden Grenzwerts $\text{EEI}_{\text{verification}}$ identisch sind. Die Wahrscheinlichkeit, dass bei einem größeren Konfidenzintervall (in Bild A.2 dargestellt) der gleiche Pumpenaggregattyp im Verifizierungsverfahren erfolgreich ist, ist niedriger als bei einem kleineren Konfidenzintervall (in Bild A.3 dargestellt).



Legende

$EEI_{nominal}$	Nennwert des zulässigen, z. B. des gesetzlich vorgeschriebenen, EEI
$EEI_{verification}$	spezifischer EEI-Wert für das Verifizierungsverfahren
$t_{EEI,verification}$	Toleranz des EEI, die innerhalb des Verifizierungsverfahrens zulässig ist, siehe Abschnitt 6
A	Schätzwert des EEI_{mean} , erhalten aus Prüfungen oder anhand des semi-analytischen Modells
B	Konfidenzintervall EEI_{mean} von 95 %
C	maximal möglicher Werts des wahren EEI_{mean} (mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 %)

Bild A.2 — Auswirkung der Größe des Konfidenzintervalls von EEI_{mean} , Fall 1



Legende

$EEI_{nominal}$	Nennwert des zulässigen, z. B. des gesetzlich vorgeschriebenen, EEI
$EEI_{verification}$	spezifischer EEI-Wert für das Verifizierungsverfahren
$t_{EEI,verification}$	Toleranz des EEI, die innerhalb des Verifizierungsverfahrens zulässig ist, siehe Abschnitt 6
A	Schätzwert des EEI_{mean} , erhalten aus Prüfungen oder anhand des semi-analytischen Modells
B	Konfidenzintervall EEI_{mean} von 95 %
C	maximal möglicher Werts des wahren EEI_{mean} (mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 %)

Bild A.3 — Auswirkung der Größe des Konfidenzintervalls von EEI_{mean} , Fall 2

Im Allgemeinen ist die Breite des Konfidenzintervalls kleiner

- je kleiner die Leistungsstreuung innerhalb einer Grundgesamtheit des Pumpenaggregattyps ist (was eine gute Fertigungsqualität und niedrige Fertigungstoleranzen voraussetzt).

Im Falle von Prüfungen anhand von Proben ist die Breite des Konfidenzintervalls

- je geringer die Messunsicherheiten der Prüfungen an den Proben der Pumpenaggregattypen sind (dies setzt hochpräzise Messgeräte und wenige Zufallsfehler voraus, siehe Anhang D),
- je größer die Anzahl M der geprüften Proben von Pumpenaggregaten ist, siehe Anhang B.

Bei Anwendung des semi-analytischen Modells ist die Breite des Konfidenzintervalls

- je geringer die Modellfehler des angewendeten Modells sind (abhängig vom Modelltyp, siehe Teil 2 und Teil 3 dieser Norm).

Zwei Möglichkeiten, um das Konfidenzintervall des mittleren EEI-Werts für einen Pumpenaggregattyp zu bestimmen –anhand der in den nachfolgenden Teilen dieser Norm aufgeführten Prüfungen an Proben von Pumpenaggregaten–, werden ausführlich in Anhang B beschrieben.

Anhang B (informativ)

Empfohlene Verfahren für die Qualifikation eines Pumpenaggregattyps durch Prüfung

B.1 Allgemeine Erläuterungen

Um den Mittelwert EEI_{mean} einer Grundgesamtheit des Pumpenaggregattyps durch Prüfung an Proben zu bestimmen, gibt es zwei Möglichkeiten, die im Rahmen des Qualifikationsverfahrens empfohlen werden.

1. Ausschließlich eine Prüfung an einem Prüfpumpenaggregat, das zufällig aus der Grundgesamtheit des Pumpenaggregattyps gewählt wurde, wird durchgeführt und dessen EEI-Wert wird anhand von Messungen und Bewertungen wie in Teil 2 und Teil 3 dieser Norm beschrieben bestimmt. Ein Schätzwert EEI_{exp} des Mittelwerts wird berechnet, indem ein Fertigungstoleranzfaktor $t_{\text{man},EEI}$ eingesetzt wird, der auf der Erfahrung des/der Hersteller(s) des vollständigen Pumpenaggregats oder der einzelnen Bauteile beruht, was die maximalen, anzunehmenden Fertigungstoleranzen für den jeweiligen Pumpenaggregattyp betrifft. Jedoch ist in der Regel nicht bekannt, wo der nach den Erfahrungen bestimmte Wert EEI_{exp} der Pumpenaggregatprobe innerhalb der Streubandbreite liegt, die auf die Fertigungstoleranzen zurückzuführen ist. Auch die tatsächliche Größe der Streubandbreite ist unbekannt. Dennoch kann erwartet werden, dass der wahre Mittelwert $EEI_{\text{mean,true}}$ auf das Intervall von $\pm t_{\text{man},EEI} \cdot EEI_{\text{test}}$ um die nach den Erfahrungen bestimmten Werte EEI_{test} begrenzt ist. Damit die Wahrscheinlichkeit hoch ist, dass der wahre Mittelwert das in 6.2 festgelegte Verifizierungskriterium erfüllt, sollte der Extremfall in Betracht gezogen werden, dass der einzelne EEI-Wert der geprüften Pumpenaggregatprobe am unteren Ende des Streubereichs einzelner EEI-Wert liegt. Wenn der Wert von $\pm t_{\text{man},EEI}$ ordnungsgemäß ausgewählt ist, so dass er die tatsächliche Streubandbreite der fertigungsbedingten Leistungstoleranzen wiedergibt, ist der wahre Mittelwert $EEI_{\text{mean,true}}$ mit einer Wahrscheinlichkeit von 97,5 % nicht höher als $(1 + t_{\text{man},EEI}) \cdot EEI_{\text{test}}$.
2. Die Prüfungen werden an einer Probe ausgeführt, die aus einer Anzahl M von Prüfpumpenaggregaten besteht, die zufällig aus der Grundgesamtheit des Pumpenaggregattyps ausgewählt wurden. Auf die Ergebnisse dieser Prüfungen wird die kleine (oder genaue) Stichprobentheorie angewendet. Auf Grundlage der Ergebnisse für die M geprüften Pumpen werden die arithmetisch gemittelten Werte, die Standardabweichung und das tatsächliche Konfidenzintervall des Werts EEI_{mean} ermittelt.

Obgleich das zweite Verfahren mehr Aufwand in Bezug Erfahrungen erfordert, führt es normalerweise zu einem kleineren Konfidenzintervall, sofern der/die Hersteller mithilfe von Qualitätsmanagement-Maßnahmen eine gute Fertigungsqualität erzielen. Aus diesem Grund sollte die Größe eines für das erste Verfahren verwendeten, fest stehenden Fertigungstoleranzfaktors festgelegt werden, damit auch Fälle von geringer Fertigungsqualität zu behandeln sind. Daher ist der höhere Aufwand bei Anwendung des zweiten Verfahrens in den meisten Fällen aufgrund der (im Vergleich zur fest stehenden Toleranz im ersten Verfahren) kleineren Spannen gerechtfertigt; dadurch sollte der anhand von Erfahrungen bestimmte Schätzwert für den Mittelwert $EEI_{\text{mean,test}}$ unterhalb des entsprechenden Grenzwerts liegen, der für das in Abschnitt 6 beschriebene Verifizierungsverfahren maßgebend ist.

B.2 Bestimmung des Mittelwerts für den EEI einer Grundgesamtheit des Pumpenaggregattyps aus einer Prüfung anhand ausschließlich eines Prüfpumpenaggregats

Die Prüfung an einem einzelnen Pumpenaggregats muss wie in den folgenden Teilen dieser Norm beschrieben ausgeführt und bewertet werden.

Darum wird der Wert EEI_{test} für das Prüfpumpenaggregat bestimmt.

Anhand dieses Werts muss das Gesamtteranzintervall festgelegt werden, auf das der wahre Mittelwert $EEI_{mean,true}$ der Grundgesamtheit des Pumpenaggregattyps mit einer hohen Wahrscheinlichkeit begrenzt ist. Zur Bestimmung der Breite dieses Intervalls muss der Gesamtteranzfaktor $t_{tot,EEI}$ angewendet werden.

$$EEI_{test} \cdot (1 - t_{tot,EEI}) \leq EEI_{mean,true} \leq EEI_{test} \cdot (1 + t_{tot,EEI}) \quad (B.1)$$

Es kann davon ausgegangen werden, dass die Streuung der relevanten Leistungsgrößen innerhalb der Grundgesamtheit des Pumpenaggregattyps und die Messunsicherheiten in der Prüfung des ausgewählten Pumpenaggregats normal (nach Gauß) verteilt und statistisch unabhängig voneinander sind. Aus diesem Grund kann das Gesamtteranzintervall für den wahren Mittelwert $EEI_{mean,true}$ der Grundgesamtheit des Pumpenaggregattyps mit der folgenden Gleichung berechnet werden.

$$t_{tot,EEI} = \sqrt{e_{tot,EEI}^2 + t_{man,EEI}^2} \quad (B.2)$$

In Gleichung (B.2) entspricht $t_{man,EEI}$ der gesamten (relativen) Toleranz aus den Fertigungstoleranzen innerhalb der Grundgesamtheit des Pumpenaggregattyps und e_{tot} den gesamten Messunsicherheiten. Der Wert von $t_{man,EEI}$ muss auf Grundlage der Erfahrung des/der Hersteller(s) festgelegt werden, beispielsweise auf Grundlage von verfügbaren Daten aus dem Qualitätsmanagement. Das Toleranzintervall von $\pm t_{man,EEI}$ muss ausreichend groß sein, um ungefähr 95 % der wahren EEI-Werte der einzelnen Pumpenaggregate aus der Grundgesamtheit des Pumpenaggregattyps, zu der sie gehören, zu umfassen.

Gewöhnlich hat jedes wesentliche Bauteil eines Pumpenaggregats (Pumpe(n), Motor(en), CDM(s) (sofern vorhanden, Hilfsgeräte) eine eigene Fertigungstoleranz. Solange das Streuverhalten der Leistungsgrößen der Bauteile, das bei der Herstellung entsteht, normale (Gaußsche) Verteilungen aufweist und diese voneinander unabhängig sind, kann die resultierende Gesamtfertigungstoleranz des EEI mit der folgenden Gleichung berechnet werden.

$$t_{man,EEI} = \sqrt{F_{PU \rightarrow EEI}^2 \cdot t_{man,PU}^2 + F_{M \rightarrow EEI}^2 \cdot t_{man,M}^2 + F_{CDM \rightarrow EEI}^2 \cdot t_{man,CDM}^2 + \dots} \quad (B.3)$$

In Gleichung (B.3) sind $F_{comp \rightarrow EEI}$ Empfindlichkeitsfaktoren, die die Auswirkung der fertigungsbedingten Leistungstoleranz eines Bauteils entsprechend der Fertigungstoleranz des EEI-Werts des Pumpenaggregattyps quantifizieren. Werte für Empfindlichkeitsfaktoren sind in den Anhängen der folgenden Teile dieser Norm zu Unsicherheiten und Toleranzen aufgeführt.

Standardwerte für die Fertigungstoleranzen der Bauteile auf Grundlage allgemeiner Dokumente (Normen, Richtlinien, ...) und/oder allgemeine Herstellererfahrungen sind in den Anhängen der folgenden Teile dieser Norm zu Unsicherheiten und Toleranzen aufgeführt.

Pumpenaggregate, die aus kleinen Pumpen und Motoren mit geringer Nennleistung bestehen, haben tendenziell eine größere Streuung der einzelnen Leistungsgrößen (und dadurch größere $t_{\text{man,EEL}}$ -Werte), da

- geometrische Toleranzen stärkere Auswirkungen auf die Leistung haben,
- mechanische Verluste in Vakuumwellendichtungen und Lagern, die bei gleicher Größe eine ziemlich große Streuung aufweisen können, mehr zur Leistung von Pumpe und Motor beitragen.

B.3 Bestimmung des Mittelwerts für den EEI einer Grundgesamtheit des Pumpenaggregattyps aus einer Prüfung von M Pumpenaggregaten

Es wird eine Probe von $M > 1$ Prüfpumpenaggregaten wird zufällig aus der Grundgesamtheit des Pumpenaggregattyps ausgewählt. Vorzugsweise sollte die Anzahl der Prüfpumpenaggregate, die die Probe darstellen, $M \geq 5$ sein. Für jedes einzelne Prüfpumpenaggregat muss eine Prüfung wie in den folgenden Teilen dieser Norm beschrieben ausgeführt und bewertet werden.

Für jedes einzelne Prüfpumpenaggregat der Probe muss der individuelle Wert von $\text{EEI}_{\text{test},i}$ entsprechend der folgenden Teile dieser Norm bestimmt werden.

Anschließend werden der arithmetisch gemittelten Wert $\overline{\text{EEI}}$ der Probe und die Standardabweichung s_{EEI} der Probe mit den folgenden Gleichungen berechnet:

$$\overline{\text{EEI}} = \frac{1}{M} \cdot \sum_{i=1}^M \text{EEI}_{\text{test},i} \quad (\text{B.4})$$

$$s_{\text{EEI}} = \sqrt{\frac{1}{M-1} \cdot \sum_{i=1}^M (\text{EEI}_{\text{test},i} - \overline{\text{EEI}})^2} \quad (\text{B.5})$$

Falls der Wert von $(\text{EEI})_{\text{test},i}$ eines der Prüfpumpenaggregate nicht plausibel oder im Vergleich zu den Werten der anderen $M-1$ Pumpen der Probe fehlerhaft erscheint, wird ein mathematischer Ausreißertest nach Anhang C durchgeführt. Wenn dieser Ausreißertest nachweist, dass der Wert ein Ausreißer ist, sollten die Ergebnisse dieser Prüfpumpe abgelehnt werden und

- entweder die Werte $\overline{\text{EEI}}$ und EEI müssen anhand der Prüfergebnisse der verbleibenden $M-1$ Prüfpumpenaggregaten neu berechnet werden, sofern $M-1$ für eine statistische Bedeutung noch ausreichend groß ist (siehe Anhang C),
- oder die Prüfung am Prüfpumpenaggregat, das den Ausreißerwert hervorgebracht hat, darf wiederholt werden,
- oder es darf zusätzlich ein anderes Prüfpumpenaggregat geprüft werden.

Falls keine Messunsicherheiten der EEI-Werte vorliegen würden, wäre der wahre Mittelwert von EEI_{mean} – mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % – eingegrenzt auf das Konfidenzintervall

$$\overline{\text{EEI}} \pm \frac{t(95\%, M) \cdot s_{\text{EEI}}}{\sqrt{M}}$$

unter Verwendung des Werts von $t(95\%, M)$ für die Anzahl M der Prüfpumpen nach Anhang C.