

DIN EN 17038-3

ICS 23.080

Einsprüche bis 2018-03-05

Entwurf

**Pumpen –
 Kreispumpen –
 Methoden zur Qualifikation und Verifikation –
 Teil 3: Prüfung und Berechnung des Energieeffizienzindex (EEI) von
 Druckerhöhungsanlagen;
 Deutsche und Englische Fassung prEN 17038-3:2017**

Pumps –
 Rotodynamic Pumps –
 Energy efficiency Index – Methods of qualification and verification –
 Part 3: Testing and calculation of energy efficiency index (EEI) of booster sets;
 German and English version prEN 17038-3:2017

Pompes –
 Pompes rotodynamiques –
 Partie 3: Élément complémentaire;
 Version allemande et anglaise prEN 17038-3:2017

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2018-01-05 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 100 Seiten

DIN-Normenausschuss Maschinenbau (NAM)

Nationales Vorwort

Dieser Norm-Entwurf enthält sicherheitstechnische Festlegungen.

Er beinhaltet die Deutsche Fassung der vom Technischen Komitee CEN/TC 197 „Pumpen“ im Europäischen Komitee für Normung (CEN) ausgearbeiteten prEN 17038-3:2017.

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

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

Dieser Norm-Entwurf konkretisiert einschlägige Anforderungen der Ökodesignrichtlinie 2009/125/EG sowie der ihr zugeordneten EU Verordnung 547/2012 an erstmals im Europäischen Wirtschaftsraum (EWR) in Verkehr gebrachte Maschinen, um den Nachweis der Übereinstimmung mit diesen Anforderungen zu erleichtern.

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

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

Pumpen — Kreiselpumpen - Methoden zur Qualifikation und Verifikation — Teil 3: Prüfung und Berechnung des Energieeffizienzindex (EEI) von Druckerhöhungsanlagen

Pompes — Pompes rotodynamiques — Partie 3 : Élément complémentaire

Pumps — Rotodynamic Pumps - Energy efficiency Index - Methods of qualification and verification — Part 3: Testing and calculation of energy efficiency index (EEI) of booster sets

ICS:

Deskriptoren

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

STD Version 2.9a

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe, Symbole und Einheiten	7
3.1 Begriffe	7
3.2 Symbole und Einheiten	9
4 Allgemeine Bedingungen für die Bestimmung des EEI	11
4.1 Hydraulikkreis	11
4.2 Boosteraggregat	12
5 Referenz-Durchflusszeitprofil und Referenz-Druckregelkennlinie	12
5.1 Referenz-Durchflusszeitprofil	12
5.2 Referenz-Druckregelkennlinie	12
6 Anzuwendende Regeln für nicht verfügbare Lastpunkte	13
7 Strafen für Abweichungen der Druckregelung	13
8 Bestimmung der durchschnittlichen elektrischen Leistungsaufnahme $P_{1,\text{gemittelt}}$ durch Prüfung	15
8.1 Allgemeines	15
8.1.1 Einleitung	15
8.1.2 Prüfbedingungen	15
8.1.3 Stationärer Zustand	15
8.1.4 Messinstrumente	16
8.1.5 Unsicherheiten der Messgrößen	16
8.1.6 Messrate und Bandbreite von Messgeräten	17
8.2 Messverfahren	17
8.2.1 Übersicht	17
8.2.2 Bestimmung von $Q_{100\%}$ und $H_{100\%}$	18
8.2.3 Bestimmung des Saugdrucks bei 100%-Durchflussmenge	19
8.2.4 Anpassung der Referenz-Regelkennlinie	19
8.2.5 Bestimmung der Referenz-Lastpunkte	20
8.2.6 Einstelltoleranzen	20
8.2.7 Saugdruckausgleich	20
8.2.8 Korrekturen von Abweichungen von der Referenz-Durchflussmenge	21
8.3 Berechnung von $P_{1,\text{avg}}$	21
9 Bestimmung der mittleren elektrischen Leistungsaufnahme $P_{1,\text{avg}}$ anhand der semi- analytischen Methode (SAM)	21
9.1 Allgemeines	21
9.2 Vordefinierte Betriebsart und Version der Druck- und Schaltsteuerung	22
9.3 Das semi-analytische Modell von Pumpen	24
9.4 Das semi-analytische Modell von Elektromotoren und/oder elektrischen Antriebssystemen (PDS)	24
9.5 Modellierung der internen Rohrleitungs- und Ventilverluste	25

9.6	Zusätzliche elektrische Verluste.....	25
9.7	Berechnung von $Q_{100\%}$ und $H_{100\%}$	26
9.8	Berechnung von P_1 in Abhängigkeit von $Q/Q_{100\%}$	27
9.8.1	Mit fester Drehzahl betriebene Boosteraggregate.....	27
9.8.2	Mit variabler Drehzahl betriebene Boosteraggregate.....	29
9.9	Berechnung von $P_{1,avg}$	33
10	Bestimmung der elektrischen Referenz-Leistungsaufnahme $P_{1,ref}$	33
11	Berechnung des Energieeffizienzindex (EEI).....	35
Anhang A (informativ) Konfigurationen und Betriebs- und Steuerungsarten		36
A.1	Konfigurationen und Betriebsarten.....	36
A.2	Steuerversionen.....	37
A.2.1	Arten der Drucksteuerung.....	37
A.2.2	Arten der Schaltsteuerung.....	37
Anhang B (normativ) Vor-Ort-Verifizierungsprüfungen.....		39
Anhang C (informativ) Einfluss von Betriebsart und Art der Drucksteuerung auf den EEI.....		40
Anhang D (informativ) Einfluss von Steuerungsabweichungen auf den EEI.....		42
Anhang E (informativ) Unsicherheiten und Toleranzen von EEI.....		44
E.1	Allgemeines	44
E.2	Messunsicherheit von durch eine Prüfung bestimmten EEI-Werten.....	44
E.3	Modellunsicherheit von mithilfe des SAM bestimmten EEI-Werten	48
E.3.1	Allgemeines	48
E.3.2	Betriebsart: feste Drehzahl.....	48
E.3.3	Betriebsart: variable Drehzahl.....	48
E.4	Herstellungstoleranz des EEI-Wertes von Boosteraggregaten.....	49
E.5	Gesamttoleranz der durch Prüfungen bestimmten EEI-Werte	50
E.5.1	Herstellungstoleranz des EEI-Werts einer einzelnen Konfiguration.....	50
E.5.2	Gesamttoleranz des mittleren EEI-Wertes einer Baureihe, der durch Prüfung von nur einem Boosteraggregat bestimmt wurde	50
E.5.3	Gesamttoleranz des mittleren EEI-Werts einer Baureihe, der durch Prüfung einer Probe von M Boosteraggregaten mit identischer Konfiguration bestimmt wurde	50
E.6	Gesamttoleranz von mithilfe des SAM bestimmten EEI-Werten.....	50
E.6.1	Herstellungstoleranz des EEI-Werts einer einzelnen Konfiguration.....	50
E.6.2	Gesamttoleranz des mittleren EEI-Werts.....	50

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 17038-3:2017) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 197 „Pumpen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Einleitung

Bei diesem Teil der Europäischen Norm handelt es sich um den dritten Teil einer Normenreihe, die Verfahrensweisen zur Beurteilung der Energieeffizienz von Boosterpumpenaggregaten beschreibt, die eine oder mehrere Pumpen, Motoren mit oder ohne Frequenzumsetzer und weitere Komponenten mit Einfluss auf die hydraulische Leistung umfassen. Sie basiert auf einem dimensionslosen numerischen Wert, der als Energieeffizienzindex (*EEI*) bezeichnet wird. Der *EEI* ermöglicht den Vergleich verschiedener Konfigurationen anhand eines gemeinsamen Indikators. Physikalische Einflüsse wie Anzahl und Größe der integrierten Pumpe(n), Lastbetrieb eines Teils der Pumpeneinheit, Motoreffizienzcharakteristiken und Einflüsse des Frequenzumsetzers fließen in diese Metrik ein.

Spezifische Prüfanforderungen und ein Berechnungsverfahren für den *EEI*, die so genannte semi-analytische Methode (SAM) für ein vollständiges Boosteraggregat, ein spezifisches Durchflusszeitprofil sowie eine Referenz-Regelkennlinie werden in diesem Teil der Norm bereitgestellt.

Der *EEI* ist ein Index zur Bewertung von Boosteraggregaten auf Basis ihrer Energieeffizienz, der jedoch nicht den Bedarf nach einer Lebensdauer-Kostenanalyse in Bezug auf den Energieverbrauch über die gesamte Lebensdauer des Boosteraggregats beseitigt.

1 Anwendungsbereich

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

Bei einem Boosteraggregat handelt es sich entweder um eine einzelne Pumpeneinheit oder eine Pumpenbaugruppe in Parallelschaltung, die über eine maximale Hydraulikleistung von 150 kW und eine minimale Durchflussmenge von 6 m³/h (0,001 667 m³/s) verfügt, die mit einem Rückflussverhinderer und zusätzlichen Komponenten, die die hydraulische Leistung beeinflussen, und mit Komponenten betrieben wird, die zur Regelung des Drucks oder der Erzeugung des Durchflusses in offenen Kreisen innerhalb von Gebäuden erforderlich sind, und die als ein einzelnes Produkt in Verkehr gebracht und/oder inbetriebgenommen wird, dessen Verwendungszweck das Pumpen von reinem Wasser ist und das über keine Selbstansaugung verfügt.

2 Normative Verweisungen

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

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

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

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

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

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

CLC/FprTS 60034-30-2, *Drehende elektrische Maschinen — Teil 30-2: Wirkungsgrad-Klassifizierung von Drehstrommotoren (IE-Code)*

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)*

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

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*

EN 60038:2011, *CENELEC-Normspannungen*

EN 61800-2, *Drehzahlveränderbare elektrische Antriebe — Teil 2: Allgemeine Anforderungen — Festlegungen für die Bemessung von Niederspannungs-Wechselstrom-Antriebssystemen mit einstellbarer Frequenz (IEC 61800-2)*

EN 61800-9-1, *Drehzahlveränderbare elektrische Antriebe — Teil 9-2: Ökodesign für Antriebssysteme, Motorstarter, Leistungselektronik und deren angetriebene Einrichtungen — Allgemeine Anforderungen für die Erstellung von Normen zur Energieeffizienz von Ausrüstungen mit Elektroantrieb nach dem erweiterten Produktansatz (EPA) und semi-analytischen Modellen (SAM)*

3 Begriffe, Symbole und Einheiten

3.1 Begriffe

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

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

— IEC Electropedia: unter <http://www.electropedia.org/>

— ISO Online Browsing Platform: unter <http://www.iso.org/obp>

3.1.1

Boosteraggregat

entweder ein einzelnes Pumpenaggregat oder ein Zusammenbau von Pumpenaggregaten in Parallelschaltung, die über eine maximale Hydraulikleistung von 150 kW und eine minimale Durchflussmenge von 6 m³/h (0,001 667 m³/s) verfügt, die mit einem Rückflussverhinderer und zusätzlichen Komponenten, die die hydraulische Leistung beeinflussen, und mit Komponenten betrieben wird, die zur Regelung des Drucks oder der Erzeugung des Durchflusses in offenen Kreisen innerhalb von Gebäuden erforderlich sind, und die als ein einzelnes Produkt in den Verkehr gebracht und/oder inbetriebgenommen wird, dessen Verwendungszweck das Pumpen von sauberem Wasser ist und das über keine Selbstansaugung verfügt

3.1.2

Ausdehnungsgefäß

Gefäß, das teilweise mit Luft befüllt ist, durch dessen Kompressibilität Druckabweichungen beim Ausgleichen von kleinen Wasservolumen zwischen dem Gefäß und den angebundenen Systemen ausgeglichen werden

3.1.3

Pumpe mit fester Drehzahl

Pumpe ohne elektronischen Leistungswandler

3.1.4

Pumpe mit variabler Drehzahl

Pumpe mit elektronischem Leistungswandler

3.1.5

Jockeypumpe

Pumpe, die für einen wesentlich geringeren Durchfluss als andere Pumpen des Boosteraggregats ausgelegt ist und nur zum Befördern von Leckagedurchfluss und/oder geringen Durchflüssen beim Zuschalten einer anderen Pumpe vorgesehen ist

3.1.6

Stand-by-Pumpe

Pumpe, die nur zum Betrieb mit dem Boosteraggregat verwendet wird, wenn eine andere Pumpe ausfällt

3.1.7

Vollintegriertes Antriebsmodul (CDM)

elektronischer Leistungswandler zwischen der Stromversorgung und einem Motor sowie Erweiterungen wie Schutzeinrichtungen, Transformatoren und Hilfsgeräten (entsprechend EN 61800-2)

3.1.8

Elektrisches Leistungsantriebssystem (PDS)

Kombination aus CDM und Elektromotor

3.1.9

Saugdruck

Druck an der Ansaugöffnung eines Boosteraggregats

Anmerkung 1 zum Begriff: Alle Drücke sind Überdrücke (relativ zum Umgebungsdruck).

3.1.10

Austrittsdruck

Druck an der Auslassöffnung eines Boosteraggregats

3.1.11

Gesamt-Differenzdruckhöhe

die Gesamt-Differenzdruckhöhe (oder nur Druckhöhe) des Boosteraggregats beträgt

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

Dabei ist

H die Gesamt-Differenzdruckhöhe [m]

p_d der Förderdruck [bar (g)]

p_s der Saugdruck [bar (g)]

ρ die Dichte des Prüfwassers bei einer Temperatur von 20 °C, 998,2 kg/m³

g die Gravitationskonstante von 9,81 m/s²

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Differenz zwischen der dynamischen Druckhöhe $v^2/(2 \cdot g)$ und geodätischen Druckhöhe z zwischen Einlass- und Auslassöffnung des Boosteraggregats ist für gewöhnlich null oder sehr gering im Vergleich zur Druckhöhe und wird daher in Gleichung (1) nicht berücksichtigt.

3.1.12

hydraulische Leistung

Produkt aus dem Durchfluss Q und der Druckhöhe H sowie einer Konstante

$$P_{hyd} = 2,72 \cdot Q \cdot H \quad (2)$$

Dabei ist

P_{hyd} die hydraulische Leistung [W]

Q der Durchfluss [m³/h]

H die Gesamthöhe [m]

3.1.13

maximale hydraulische Leistung

Maximalwert der hydraulischen Leistungswerte eines Boosteraggregats

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Boosteraggregat muss fähig und so ausgelegt sein, dass es kontinuierlich bei maximaler hydraulischer Leistung betrieben werden kann

3.1.14

maximaler hydraulischer Leistungspunkt des Boosteraggregats

Betriebspunkt, an dem die maximale hydraulische Leistung des Boosteraggregats gegeben ist

3.1.15

100%-Durchflussmenge

Durchflussmenge am maximalen hydraulischen Leistungspunkt des Boosteraggregats

3.1.16

100%-Höhe

Gesamt-Differenzdruckhöhe am maximalen hydraulischen Leistungspunkt des Boosteraggregats

3.1.17

Regelkennlinie

angepasster Förderdruck abhängig von der Durchflussmenge eines Boosteraggregats mit mindestens einer Pumpe mit variabler Drehzahl

3.1.18

Referenz-Regelkennlinie

eine repräsentative Referenz-Regelkennlinie, die relativ zum maximalen hydraulischen Leistungspunkt des Boosteraggregats definiert ist

3.1.19

Durchflusszeitprofil

Relation zwischen Durchflussmengenintervallen und relativer Betriebszeit

3.1.20

Referenz-Durchflussmenge

durch die 100%-Durchflussmenge und das Durchflusszeitprofil definierte Durchflussmenge

3.1.21

Referenz-Druckhöhe

durch die Referenz-Regelkennlinie und die Referenz-Durchflussmenge definierte gesamt-Differenzdruckhöhe

3.2 Symbole und Einheiten

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die in Tabelle 1 angegebenen Symbole und Einheiten

Tabelle 1 — Symbole und Einheiten

Symbol	Bezeichnung	Einheit
A	Querschnitt	m^2
e	Messunsicherheit	%
g	Gravitationskonstante	m/s^2
H	(Gesamt-Differenz-) Druckhöhe	m
H_L	Innendruckverlust	m
H_{loop}	Druckverlust in geschlossenem Hydraulikkreis	m

Symbol	Bezeichnung	Einheit
H_{meas}	Gemessene Druckhöhe	m
H_{ref}	Referenz-Druckhöhe	m
$H_{\text{resistance}}$	Druckverlust des angeschlossenen Hydrauliksystems	m
$H_{100\%}$	100%-Höhe	m
i	Fortlaufende Nummer von Lastpunkten	-
j	Gesamtanzahl an tatsächlich laufenden Pumpen	-
k	Anzahl laufender Pumpen mit fester Drehzahl	-
K	Konstante in Gleichung (3)	m/(m ³ /h)
m	Fortlaufende Nummer einer zu prüfenden Zeitprobe	-
$n_{N,PU}$	Nenndrehzahl einer Pumpe	min ⁻¹
n_s	Spezifische Drehzahl einer Pumpe	min ⁻¹
N	Gesamtanzahl an Lastpunkten	-
Q	Durchflussmenge	m ³ /h
$Q_{BEP,PU}$	Durchflussmenge am Punkt des besten Wirkungsgrads einer Pumpe	m ³ /h
Q_{fix}	Durchflussmenge einer Pumpe mit fester Drehzahl	m ³ /h
Q_{higher}	Nächsthöhere anpassbare Durchflussmenge	m ³ /h
Q_{lower}	Nächstniedrigere anpassbare Durchflussmenge	m ³ /h
Q_{lower}	Nächstniedrigere anpassbare Durchflussmenge	m ³ /h
Q_{off}	Durchflussmenge beim Abschalten einer laufenden Pumpe	m ³ /h
Q_{on}	Durchflussmenge beim Einschalten einer weiteren Pumpe	m ³ /h
Q_{ref}	Referenz-Durchflussmenge	m ³ /h
Q_{test}	Durchflussmenge aus der Prüfung	m ³ /h
Q_{tr}	Durchflussmenge nach Ein- oder Ausschalten einer Pumpe	m ³ /h
Q_{var}	Durchflussmenge einer Pumpe mit variabler Drehzahl	m ³ /h
$Q_{100\%}$	100%-Durchflussmenge	m ³ /h
ΔQ	Schalthyserese der Durchflussmenge	m ³ /h
p	Druck	bar (g)
p_s	Saugdruck	bar (g)

Symbol	Bezeichnung	Einheit
p_d	Austrittsdruck	bar (g)
$p_{d,100\%}$	100%-Austrittsdruck	bar (g)
p_{ref}	Referenzdruck	bar (g)
P_1	elektrische Leistung	W, kW
$P_{1,meas}$	gemessene elektrische Leistung	W, kW
$P_{1,pen}$	Strafe für elektrische Leistung	W, kW
P_2	Wellenleistung	W, kW
P_L	Stromausfall	W, kW
t	Herstellungstoleranz	%
t_j	Zeitanteil	-
V_{tank}	Volumen eines Ausdehnungsgefäßes	l
z	Anzahl an in ein Boosteraggregat integrierter Pumpen	-
ρ	Dichte	kg/m ³
ζ	Verlustkoeffizient	-

4 Allgemeine Bedingungen für die Bestimmung des EEI

4.1 Hydraulikkreis

Boosteraggregate werden in Systemen mit offenem Kreis mit geodätischer Druckhöhe betrieben. Insbesondere im Falle von großen geodätischen Druckhöhen sind aufgrund der Pumpenschaltung nicht alle Betriebspunkte für Pumpen mit fester Drehzahl verfügbar. Um Lücken im verfügbaren Durchfluss so gering wie möglich zu halten, wird zur Bestimmung des *EEI* ein Hydraulikkreis ohne geodätische Druckhöhe verwendet. Die Widerstandskurven, mit denen die Betriebspunkte des Boosteraggregats bestimmt werden, sind dann rein parabolisch (ohne geodätischen Teil) und sind vom nach Gleichung (3) berechneten Typ:

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

Dabei hängt die Konstante K von der Stellung des Drosselventils ab.

Die Druckhöhe des Boosteraggregats ergibt sich nach Gleichung (1) in 3.11. Um unabhängig von p_s zu sein, wird für die Bestimmung des *EEI* der Einlassdruck als *Atmosphärendruck* festgelegt, d. h. $p_s = 0$. Wenn andererseits Boosteraggregate in einem Prüfstand betrieben werden, ist für gewöhnlich ein gewisser (und zudem leicht variierender) Einlassdruck p_s vorhanden. In 8.2.7 ist eine Korrektur des Einflusses von p_s für die experimentelle Bestimmung von *EEI* beschrieben.

4.2 Boosteraggregat

Falls das Boosteraggregat ein

- Ausdehnungsgefäß
- und/oder eine in 3.5 definierte „Jockeypumpe“

enthält, dürfen diese den *EEI*-Wert nicht beeinflussen.

Aus diesem Grund muss es/sie

- während Prüfungen zur Bestimmung des *EEI* deaktiviert werden, mit Ausnahme eines Gefäßes mit einem Volumen von $V_{tank} \leq 10 + (Q_{100\%}/1\text{m}^3/\text{h})$ Litern,
- im SAM des Boosteraggregats ignoriert werden.

ANMERKUNG Ein oben definiertes Ausdehnungsgefäß mit maximalem Volumen ist in Bezug auf das zeitversetzte Verhalten der Druckregelung von Boosteraggregaten mit variabler Drehzahl unter Umständen bei Prüfungen erforderlich.

Falls eine (in 3.6 definierte) Stand-by-Pumpe in das Boosteraggregat integriert ist, muss diese als eine Pumpe der Gesamtanzahl der normalen Betriebspumpen zur Bestimmung der Werte von $Q_{100\%}$ und *EEI* entsprechend den in Abschnitt 8 und 9 beschriebenen Verfahren angesehen werden.

5 Referenz-Durchflusszeitprofil und Referenz-Druckregelkennlinie

5.1 Referenz-Durchflusszeitprofil

Das Referenz-Durchflusszeitprofil für Boosteraggregate ist in Tabelle 2 definiert.

Tabelle 2 — Referenz-Durchflusszeitprofil für Boosteraggregate

Durchfluss Q in % von $Q_{100\%}$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Zeitraum Δt in % der Gesamtbetriebszeit	6	21	26	19	12	6	4	3	2	1

Der Wert $Q_{100\%}$ wird durch die Bedingung definiert, dass die entsprechende hydraulische Leistung P_{hyd} des Boosteraggregats auf dem Maximalwert ist.

Der Wert $Q_{100\%}$ muss anhand von Prüfungen oder der SAM definiert werden; der Wert auf dem Typenschild darf nicht verwendet werden.

5.2 Referenz-Druckregelkennlinie

Die Referenz-Regelkennlinie für Boosteraggregate wird nach Gleichung (4) definiert:

$$H_{ref}/H_{100\%} = 100 \cdot [0.75 + 0.25 \cdot (Q/Q_{100\%})] \quad [\%] \quad (4)$$

Der Wert $H_{100\%}$ ist die Druckhöhe des Boosteraggregats am Betriebspunkt $Q = Q_{100\%}$. Die Werte $H/H_{100\%}$ bei den entsprechenden Werten von $Q/Q_{100\%}$ des Referenz-Durchflusszeitprofils werden nach Gleichung (4) berechnet.

6 Anzuwendende Regeln für nicht verfügbare Lastpunkte

Für Boosteraggregat mit mindestens zwei Pumpen mit ausschließlich fester Drehzahl können zwei oder mehr Lastpunkte nach Tabelle 2 unter Umständen nicht stabil eingestellt werden. Dies wird durch das „Springen“ des Betriebspunktes entlang der parabolischen hydraulischen Widerstandskurve verursacht, das auftritt, wenn eine der Pumpen ein- oder abgeschaltet wird. In diesem Fall können nur die Durchflussmengen vor oder nach dem Schaltvorgang (auf den sich ergebenden Q - H -Kennlinien der laufenden Pumpen) eingestellt werden und – im Falle einer Prüfung – können die entsprechenden Werte der Durchflussmenge Q , Druckhöhe H und der elektrischen Leistungsaufnahme P_1 des Boosteraggregats gemessen werden.

Falls ein Lastpunkt bei der Durchflussmenge $Q_{ref,i}$ innerhalb der zulässigen Toleranzen nicht verfügbar ist (z. B. durch Schalten von Boosteraggregaten mit fester Drehzahl), muss für die Berechnung von $P_{1,avg}$ (siehe 8.3 bzw. 9.9,) die elektrische Leistungsaufnahme $P_1(Q_{ref,i})$ bei diesem Lastpunkt

- identisch zu der elektrischen Leistungsaufnahme $P_1(Q_{lower})$ (einschließlich Korrekturen und Strafen) bei der nächstniedrigen verfügbaren Durchflussmenge Q_{lower} wenn $Q_{lower} \geq Q_{ref,i} - 0,05 Q_{100\%}$ eingestellt werden
- andernfalls identisch zu der elektrischen Leistungsaufnahme $P_1(Q_{higher})$ (einschließlich Korrekturen und Strafen) bei der nächsthöheren Durchflussmenge Q_{higher} eingestellt werden

7 Strafen für Abweichungen der Druckregelung

In druckbeaufschlagten Systemen mit offenem Kreis ist eine korrekte Versorgung entscheidend. Eine Überversorgung führt zu Energieverschwendung, eine Unterversorgung zu einem Ausfall der Versorgung. Selbst eine zeitlich begrenzte Unterversorgung wird vom Anwender nicht akzeptiert, der den Regelsollwert anheben würde. Bei beiden Arten an Druckabweichungen an einem bestimmten – statischen oder kurzzeitigen – Kennlinienpunkt legt das folgende Verfahren eine Strafe $P_{1,pen}$ fest, die zur gemessenen elektrischen Leistungsaufnahme hinzugefügt werden muss.

Im Falle einer Überversorgung wird keine Strafe zur gemessenen elektrischen Leistungsaufnahme $P_{1,meas}$ hinzugefügt. Die Strafe für eine Überversorgung ist bereits durch die erhöhte elektrische Leistungsaufnahme vorhanden.

Falls die bestimmte Druckhöhe H_{meas} unter den angeforderten Wert H_{ref} fällt, wird entsprechend der in 5.2 definierten Referenz-Druckregelkennlinie die durchschnittliche elektrische Leistungsaufnahme $P_{1,avg}$ wie in Bild 1 unterbemessen. Dies führt zu einer Abweichung des EEI im Vergleich zu Messungen bei durch die Referenz-Druckregelkennlinie H_{ref} definierten Werten. Demnach wird in diesem Fall eine Strafe angewendet. Die elektrische Leistungsaufnahme wird so bestraft, als wenn eine Druckhöhen-Unterversorgung mit dem Wert ΔH zu der gleichen elektrischen Leistungsaufnahme wie eine Druckhöhen-Überversorgung mit dem Wert ΔH , führen würde, siehe Bild 1.

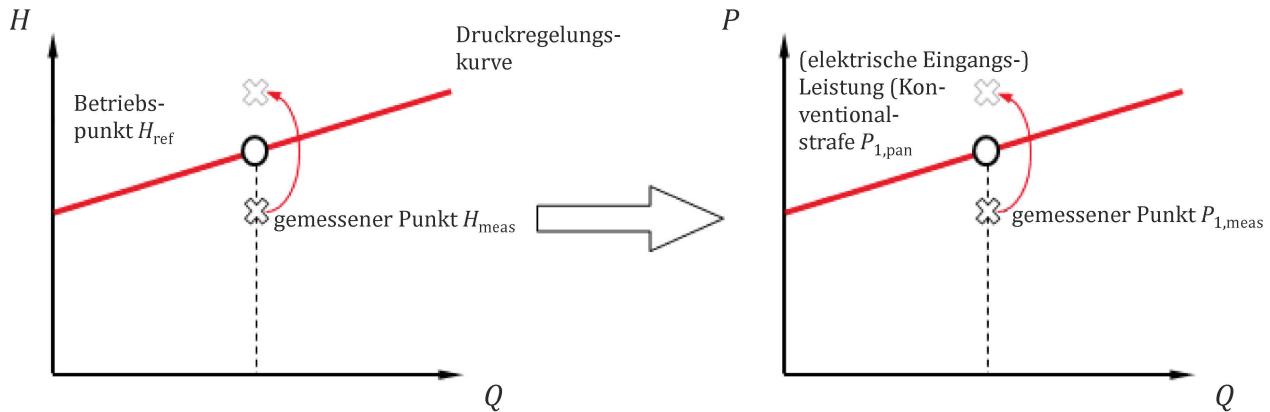


Bild 1 — Darstellung für die Strafe für Boosteraggregate

Die Berechnung der Strafe erfolgt nach Gleichung (5):

$$P_{1,pen}(Q_i) = 2 \cdot \frac{H_{ref}(Q_i) - H_{meas}(Q_i)}{H_{meas}(Q_i)} \cdot P_{1,meas}(Q_i) \quad (5)$$

mit der Referenz-Druckhöhe (wie in Gleichung 4 definiert)

$$H_{ref}(Q_i) = \frac{p_{ref}(Q_i) - p_s(Q_i)}{\rho \cdot g} \quad (6)$$

und der gemessenen Druckhöhe

$$H_{meas}(Q_i) = \frac{p_{meas}(Q_i) - p_s(Q_i)}{\rho \cdot g} \quad (7)$$

Falls $P_{1,avg}$ durch eine Prüfung bestimmt wird (siehe Abschnitt 8), muss die Strafe auf jede Zeitprobe m während der Messung bei einer bestimmten Durchflussmenge Q_i folgendermaßen angewendet werden:

- wenn $H_{meas,m}(Q_i) \geq H_{ref}(Q_i)$: $P_{1,m}(Q_i) = P_{1,meas,m}(Q_i)$
- wenn $H_{meas,m}(Q_i) < H_{ref}(Q_i)$: $P_{1,m}(Q_i) = P_{1,meas,m}(Q_i) + 2 \cdot \frac{H_{ref,m}(Q_i) - H_{meas,m}(Q_i)}{H_{meas,m}(Q_i)} \cdot P_{1,meas,m}(Q_i)$

Dabei bezeichnet m die Zeitprobe m und i die fortlaufende Nummer des Lastpunktes entsprechend des Referenz-Durchflusszeitprofils (siehe 5.1).

In diesem Fall wird die daraus erhaltene Eingangsleistung $P_1(Q_i)$ bei einem Kennlinienpunkt i durch Mittelung aller korrigierter Zeitproben $P_{1,m}(Q_i)$ bestimmt. Die Druckhöhe wird bei Bedarf durch Ausgleichen des Saugdrucks korrigiert. Wie in 8.2.7 beschrieben werden für einen variierenden Saugdruck $H_{ref}(Q_i)$ und $H_{meas}(Q_i)$ nach folgenden Gleichungen bestimmt:

$$H_{ref}(Q_i) = \frac{p_{ref}(Q_i) - p_{s,100\%}(Q_i)}{\rho \cdot g} \quad (8)$$

$$H_{meas}(Q_i) = H_{meas,comp} = \frac{p_{meas}(Q_i) - p_{s,100\%}(Q_i)}{\rho \cdot g} \quad (9)$$

8 Bestimmung der durchschnittlichen elektrischen Leistungsaufnahme $P_{1, \text{gemittelt}}$ durch Prüfung

8.1 Allgemeines

8.1.1 Einleitung

In diesem Abschnitt werden Leistungsprüfungen und -beurteilungen von Boosteraggregaten festgelegt, die

- entweder durch ein Unternehmen, das das Boosteraggregat in Verkehr bringt und/oder inbetriebnimmt,
- oder durch ein unabhängiges Institut im Rahmen des in Teil 1, Abschnitt 6 dieser Norm beschriebenen Verifizierungsverfahrens durchgeführt werden.

Solche Prüfungen müssen die erforderlichen Informationen über die tatsächlichen Leistungswerte der geprüften Boosteraggregate liefern, die für die Berechnung des *EEI*-Wertes entsprechend der in Teil 1, Abschnitt 4 dieser Norm festgelegten Definition erforderlich sind.

Alle Festlegungen für die Prüfung des Boosteraggregats (das als „Blackbox“ dient und als Pumpeneinheit wie die in Teil 2 dieser Norm beschriebenen Pumpen angesehen wird) müssen EN ISO 9906, Klasse 2 entsprechen. Ausnahmen für eine Leistung von 10 kW und weniger (wie sie für die Anwendung von EN ISO 9906 bei Abnahmeprüfungen zulässig sind) gelten hier nicht.

Alle Festlegungen für die Prüfung von Elektromotoren, falls diese Teil des Boosteraggregats sind und direkt aus dem Stromnetz gespeist werden, müssen in Übereinstimmung mit EN 60034-2-1 sein.

Alle Festlegungen für die Prüfung von elektrischen Leistungsantriebssystemen, falls diese Teil eines Boosteraggregats sind, müssen in Übereinstimmung mit EN 61800-9-2 sein.

8.1.2 Prüfbedingungen

Die Prüfungen sind mit kaltem sauberen Wasser durchzuführen.

Die Prüfdauer muss ausreichend sein, um reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten. Dabei sind insbesondere die Einlauf- und Aufwärmeeffekte der elektrischen und elektronischen Komponenten der Einheit zu berücksichtigen.

ANMERKUNG Einlaufteffekte können bis zu einem vollständigen Betriebstag andauern.

Die Stromversorgung für die Prüfeinrichtung muss die in EN 60034-1 festgelegten Anforderungen erfüllen. Nach diesen ist erforderlich, dass

- die Spannung in Übereinstimmung mit Abschnitt 7.2 von EN 60038 und EN 60034-1 ist,
- die Frequenz innerhalb von $\pm 0,3$ % der Bemessungsfrequenz während Messungen liegt.

8.1.3 Stationärer Zustand

Alle Messungen sind unter stationären hydraulischen und thermischen Bedingungen durchzuführen (siehe EN ISO 9906, EN 60034-30-1, CLC/FprTS 60034-30-2, EN 60034-2-1, EN 60034-2-2 und EN 60034-2-3 und EN 61800-9-2). Das Ausschalten einzelner Pumpen während der Messung eines Lastpunktes ist nicht zulässig.

ANMERKUNG EN 61800-9-2 setzt eine thermische Stabilität des PDS zur Messung des maximalen Lastpunktes voraus. Alle weiteren Punkte können direkt nach dem Messen der maximalen Last gemessen werden, ohne auf thermische Stabilität warten zu müssen.

8.1.4 Messinstrumente

Für die in 8.2 beschriebenen Prüfverfahren sind Messinstrumente zur Bestimmung folgender Elemente notwendig:

- Durchflussmenge Q ,
- Druckhöhe H ,
- Saugdruck p_s
- Förderdruck p_d
- elektrische Leistung P_1 .

Da die Genauigkeit der Instrumente grundsätzlich als Prozent des vollen Skalenwertes ausgedrückt wird, muss die Menge der ausgewählten Instrumente so gering wie möglich gehalten werden.

Bei analogen Instrumenten müssen die beobachteten Maximalwerte im oberen Drittel des Messbereichs des Instrumentes liegen.

Die zur Bestimmung der Durchflussmenge Q und Druckhöhe H erforderlichen Instrumente müssen in Übereinstimmung mit EN ISO 9906 sein. Detaillierte Informationen sind in Anhang A.1 von EN ISO 9906 vorhanden.

Da die Genauigkeit der Instrumente grundsätzlich als Prozent des vollen Skalenwertes ausgedrückt wird, muss die Menge der ausgewählten Instrumente so gering wie möglich gehalten werden.

Bei analogen Instrumenten müssen die beobachteten Werte im oberen Drittel des Messbereichs des Instrumentes liegen.

Die zur Bestimmung der Durchflussmenge Q und Pumpendruckhöhe H erforderlichen Instrumente müssen in Übereinstimmung mit EN ISO 9906 sein. Detaillierte Informationen sind in EN ISO 9906:2012, A.1 angegeben. Die elektrische Leistung P_1 des Boosteraggregats wird basierend auf den Eingangsspannungen U und Eingangsströmen I bestimmt. Alle Anforderungen in Bezug auf die Instrumente zum Messen von P_1 müssen nach EN 60034-2-1 erfüllt sein.

8.1.5 Unsicherheiten der Messgrößen

Die Gesamt-Messunsicherheiten der Durchflussmenge Q , der Pumpendruckhöhe H und der elektrischen Leistung P_1 ergeben sich aus den kombinierten Einflüssen der Messgeräteunsicherheit und der zufälligen Unsicherheit und können wie in Teil 1, Anhang D dieser Norm beschrieben bestimmt werden. Die zufällige Unsicherheit kann durch Erhöhung der Anzahl an Ablesungen einer Messgröße beim gleichen Betriebszustand (= Lastpunkt) des Prüfboosteraggregats reduziert werden.

ANMERKUNG Bei Prüfungen durch ein Unternehmen, das für die Zulassung eines Boosteraggregats zuständig ist (siehe Teil 1, Abschnitt 5 dieser Norm), ist es ratsam, Gesamt-Messunsicherheiten zu erhalten, die so gering wie möglich sind, d. h., geringer als die durch die Normen festgelegten zulässigen Maximalwerte.

Bei Prüfungen, die von einem unabhängigen Institut im Rahmen des Verifizierungsverfahrens durchgeführt werden (siehe Teil 1, Abschnitt 6 dieser Norm), liegt eine andere Situation vor. In einem solchen Fall hängen

die Ergebnisse „Bestanden“ oder „Nicht bestanden“ stark von den Gesamt-Messunsicherheiten ab. Um den Einfluss von Messunsicherheiten auf das Verifizierungsergebnis zu beseitigen, müssen daher die in den geltenden Normen festgelegten zulässigen Maximal-Messunsicherheiten eingehalten und in Prüfungen nachgewiesen werden, die zur Verifizierung des Energieeffizienzindex (*EEI*) durchgeführt werden.

8.1.6 Messrate und Bandbreite von Messgeräten

Die Anstiegszeit $T_{63\%}$ muss für alle Messgeräte im Bereich 0,1 ... 10 s liegen.

8.2 Messverfahren

8.2.1 Übersicht

Das Messverfahren umfasst die folgenden Schritte, die in den nachfolgenden Unterabschnitten im Detail erklärt werden.

- 1) Einlaufeffekte können den Stromverbrauch eines Boosteraggregats während des anfänglichen Betriebs beeinträchtigen. Um eine repräsentative elektrische Leistungsaufnahme sicherzustellen, ist für das Boosteraggregat eine Einlaufzeit erforderlich (siehe 8.1.1). Es wird ein Einlaufen des Boosteraggregates empfohlen, während dessen alle Pumpe mit maximaler Geschwindigkeit und unterschiedlichen Durchflüssen betrieben werden.
- 2) Bestimmung des 100%-Punktes wie in 8.2.2 und 8.2.3 beschrieben bei maximaler hydraulischer Leistung ($Q_{100\%}$, $H_{100\%}$, $p_{s,100\%}$).
- 3) Parametrisierung der Boosteraggregatregelung zur Bestimmung des *EEI* entsprechend der Dokumentation (falls erforderlich unter Berücksichtigung von p_s). Die Regelparameter zur Bestimmung des *EEI* sind zu dokumentieren.
- 4) Messungen an Referenz-Lastpunkten für abnehmenden Durchfluss
 - a) den Durchfluss entsprechend des 100%-Punktes anpassen
 - b) für jeden Lastpunkt $Q_{ref,i}$ (definiert in Tabelle 2) von $Q_{ref,i} = Q_{100\%}$ bis $Q_{ref,i} = Q_{10\%}$ in Schritten von 10 % von $Q_{100\%}$:
 - i) $Q_{ref,i}$ durch Einstellen des Ventils des Prüfstandes anpassen (manuell oder automatisch). Siehe 8.2.4 für Informationen zu den Einstelltoleranzen,
 - ii) die in Abschnitt 6 beschriebene Regel befolgen, wenn $Q_{ref,i}$ nicht eingestellt werden kann,
 - iii) Durchflusseinstellungen des Prüfstands deaktivieren,
 - iv) 2 min warten, bevor die Messdaten aufgezeichnet werden,
 - v) 30 s bis 3 min bei einer Abtastrate von 0,5 bis 2 Hz die Werte $Q(t_m)$, $p_s(t_m)$, $p_d(t_m)$, $P_1(t_m)$ messen und $H(t_m)$ berechnen.
 - vi) prüfen,
 - (1) ob der in 8.1.2 definierte stationäre Zustand erfüllt ist,
 - (2) ob der arithmetische Mittelwert Q_i^* der Durchflusswerte $Q(t_j)$ innerhalb der Einstelltoleranzen liegt (siehe unten),

Wenn eine der Bedingungen in i oder ii nicht erfüllt wird, die Messung beginnend mit Schritt a.

wiederholen. Falls die Bedingungen auch bei den wiederholten Messungen nicht erfüllt werden, gilt der Messpunkt als ungültig und muss als nicht verfügbarer Betriebspunkt angesehen werden (siehe Abschnitt 6).

vii) Für jede Zeitprobe m ist (falls erforderlich)

- 1) eine in 8.2.7 beschriebene Saugdruckkorrektur anzuwenden,
 - 2) die in Kapitel 7 beschriebene Strafe anzuwenden.
- c) den arithmetischen Mittelwert der Zeitproben $P_{1,i}^*$ und Q_i^* berechnen und (falls erforderlich) eine Korrektur aufgrund einer Abweichung von der Referenz-Durchflussmenge (nach 8.2.8) anwenden, um den Nennwert $P_{1,i}$ zu berechnen,
- d) die Regel für nicht verfügbare Lastpunkte (siehe Abschnitt 6) oder Lastpunkte mit einer Abweichung der Durchflussmenge (siehe 8.2.8) anwenden,
- e) den gewichteten Durchschnitt der elektrischen Leistungsaufnahme für eine absteigende Durchflussmenge $P_{1,avg,dec}$ wie in 8.3 beschrieben mithilfe der (falls erforderlich korrigierten) Messwerte von $P_{1,i}$ berechnen.
- 5) Das in 4) beschriebene Messverfahren für eine aufsteigende Durchflussmenge beginnend an Punkt $Q_{10\%}$ von $Q = Q_{10\%}$ bis $Q = Q_{100\%}$ in Schritten von 10 % von $Q_{100\%}$ wiederholen.
- 6) Den durchschnittlichen Leistungsaufnahmeverbrauch $P_{1,avg,inc}$ wie in 8.3 beschrieben berechnen.

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

Im ersten Schritt des Prüfverfahrens ist $Q_{100\%}$ zu bestimmen.

Für diesen Zweck sind die Werte der Durchflussmenge Q , Druckhöhe H und elektrischen Leistungsaufnahme P_1 für eine ausreichende Anzahl an Betriebspunkten um den erwarteten Wert $Q_{100\%}$ zu messen. Für die Wahl dieser Betriebspunkte kann der Wert von $Q_{100\%}$, der bei circa $1,1 \cdot z \cdot Q_{BEP,PU}$ (mit $Q_{BEP,PU}$ bei $n = n_{N,PU}$ entsprechend der Dokumentation des Pumpenherstellers) liegt, als vorläufiger Schätzwert für den erwarteten Wert von $Q_{100\%}$ verwendet werden. Es ist wichtig, dass die Messdaten in einem ausreichend großen Bereich von Q unter und über dem erwarteten Wert von $Q_{100\%}$ erfasst werden. (Es werden fünf Messpunkte im Bereich $0,8 \cdot Q_{100\%} < Q < 1,2 \cdot Q_{100\%}$ empfohlen).

Falls der auf Basis der Prüfpunkte berechnete Wert $Q_{100\%}$ ergibt, dass weniger als zwei der Prüfpunkte bei den Werten von Q größer als dieser berechnete Wert waren, sind weitere Prüfpunkte hinzuzufügen, damit mindestens zwei Prüfpunkte bei Werten von $Q > Q_{100\%}$ vorhanden sind.

Der Wert $Q_{100\%}$ kann dann in den folgenden Schritten bestimmt werden:

- 1) Basierend auf den Messwerten von Q und dem entsprechenden Wert von H ist die hydraulische Leistung P_{hyd} entsprechend 3.12 für die Prüfpunkte zu berechnen.
- 2) Die Beziehung $P_{hyd} = f(Q)$ durch ein Polynom des 3. Grades als „am besten geeignete“ Funktion basierend auf den Paaren Q und P_{hyd} schätzen.

$$P_{hyd} = A_P \cdot Q^3 + B_P \cdot Q^2 + C_P \cdot Q + D_P \quad (10)$$

3) Der Wert von $Q_{100\%}$ ist nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$Q_{100\%} = -\frac{1}{3} \cdot \frac{B_P}{A_P} \pm \sqrt{\frac{1}{9} \cdot \left(\frac{B_P}{A_P}\right)^2 - \frac{1}{3} \cdot \frac{C_P}{A_P}} \quad (11)$$

Von den zwei sich aus Gleichung (11) ergebenden Werte von $Q_{100\%}$ (aufgrund des doppelten Zeichens $\pm$ der Quadratwurzel) entspricht der dem Maximum der Kurve Q - P_{hyd} , der näher an $z \cdot Q_{BEP,PU}$ liegt.

4) Der entsprechende Wert von $H_{100\%}$ ist durch Einfügen von $Q = Q_{100\%}$ in Gleichung (4) zu berechnen. Für die Prüfung muss der variierende Saugdruck berücksichtigt werden.

8.2.3 Bestimmung des Saugdrucks bei 100%-Durchflussmenge

Bei der Bestimmung von EEI durch Prüfung wird von einem konstanten Saugdruck unabhängig von der Durchflussmenge auf atmosphärischer Ebene ausgegangen. Im Feld wird der Saugdruck durch hydraulische Verluste des Prüfstandes beeinflusst, was zu einem höheren Saugdruck bei Teillast führt. Da die definierte Regelkennlinie für Boosteraggregate fest bleibt, liegt die Förderdruckhöhe bei Teillast bei geringeren Werten. In diesem Fall muss ein Saugdruckausgleich angewendet werden. Die Messung des Saugdrucks bei 100 %-Durchflussmenge kann simultan zur Bestimmung des in 8.2.2 beschriebenen 100%-Punktes stattfinden.

Zusätzlich zu $Q_{100\%}$ und $H_{100\%}$ müssen der Saugdruck p_s und der Austrittsdruck p_d gemessen werden. Der Austrittsdruck p_d bei $Q_{100\%}$ wird mit $p_{d,100\%}$ bezeichnet. Der entsprechende Wert des Saugdrucks p_s bei $Q_{100\%}$ wird mit $p_{s,100\%}$ bezeichnet (siehe Bild 2).

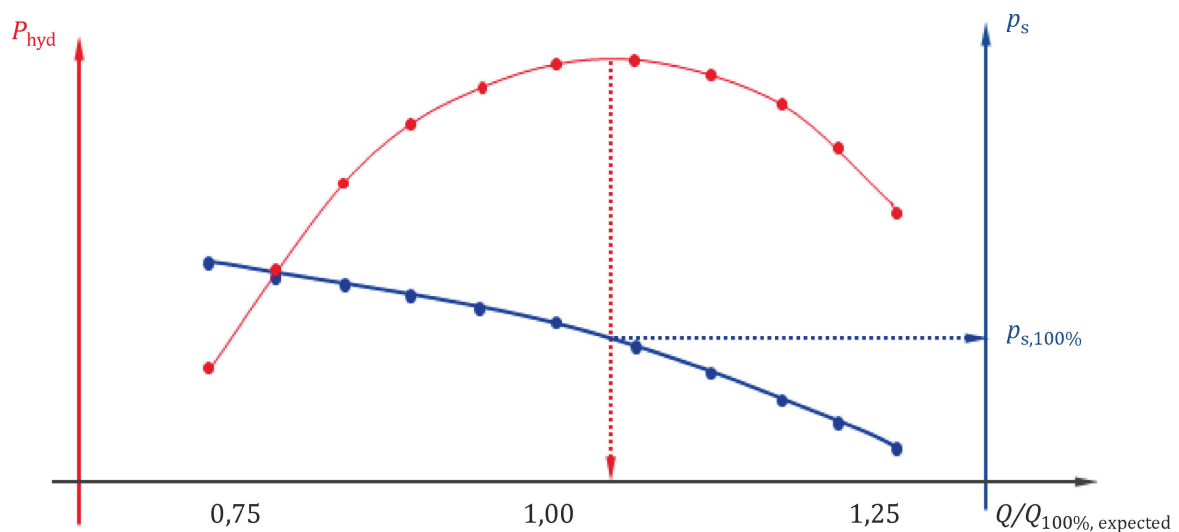


Bild 2 — Bestimmung von $p_{s,100\%}$

8.2.4 Anpassung der Referenz-Regelkennlinie

Es ist eine

— 100%-Durchflussmenge, 100%-Förderhöhe

für Anpassungen entsprechend der Einstellgenauigkeit des zu prüfenden Boosteraggregats auszuwählen.

Im Falle eines abweichenden Saugdrucks ist der nach 8.2.3 bestimmte 100%-Saugdruck folgendermaßen zu berücksichtigen:

Die Regelkennlinie ist so anzupassen, dass das Boosteraggregat im H - Q -Diagramm mit den gleichen Arbeitspunkten betrieben wird, als wenn atmosphärischer Saugdruck vorliegen würde. Daher werden die Austrittsdrücke $p_{d,100\%}$ und $p_{d,0\%}$ folgendermaßen berechnet:

$$p_{d,100\%} = p_{s,100\%} + \rho \cdot g \cdot H_{100\%} \quad (12)$$

$$p_{d,0\%} = p_{s,100\%} + 0,75 \cdot \rho \cdot g \cdot H_{100\%} \quad (13)$$

Der entsprechende Austrittsdruck am Lastpunkt i wird folgendermaßen berechnet:

$$p_{ref}(Q_i) = p_{0\%} + 0,25 \cdot \frac{Q_i}{Q_{100\%}} \rho \cdot g \cdot H_{100\%} \quad (14)$$

Alle Einstellwerte dienen als Basis für weitere Berechnungen.

8.2.5 Bestimmung der Referenz-Lastpunkte

Die relevanten Werte der Durchflussmenge Q_i an den Referenz-Lastpunkten sind nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$Q_i = \frac{1}{100} \cdot \left(\frac{Q}{Q_{100\%}} \right)_i \cdot Q_{100\%} \quad (15)$$

Dabei sind die Werte $(Q/Q_{100\%})_i$ in [%], welche N Lastpunkten des Referenz-Durchflusszeitprofils entsprechen, aus Tabelle 2 zu entnehmen.

Die Werte der Druckhöhe H_i , die der Referenz-Druckregelkennlinie entsprechen (siehe 5.2) sind nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$H_i = \frac{1}{100} \left(\frac{H}{H_{100\%}} \right)_i \cdot H_{100\%} \quad (16)$$

Dabei sind die Werte $(H/H_{100\%})_i$ in [%] nach Gleichung 4 zu berechnen.

ANMERKUNG: Bei Boosteraggregaten, die nur mit fester Drehzahl betrieben werden können, kann die Druckhöhe nicht an die Referenz-Druckregelkennlinie angepasst werden und folgt der Q - H -Charakteristik des Boosteraggregats.

8.2.6 Einstelltoleranzen

Die gemessenen Durchflussmengen Q_{meas} können aufgrund des Messverfahrens von den durch das Durchflusszeitprofil nach Tabelle 2 bestimmten exakten Werten Q_{ref} abweichen. Die zulässigen Maximalabweichungen werden nach folgender Gleichung berechnet:

$$Q_{ref} - (0,05 \cdot Q_{100\%}) \leq Q_{meas} \leq Q_{ref} + (0,05 \cdot Q_{100\%}). \quad (17)$$

8.2.7 Saugdruckausgleich

Der Druck ist unter der Annahme einer identischen Effizienz des Boosteraggregats mit und ohne Saugdruck auszugleichen. Die elektrische Leistungsaufnahme $P_{1,comp,i}$ ist im Falle von atmosphärischem Druck durch Korrektur der gemessenen elektrischen Leistung $P_{1,meas}$ zu berechnen. Für den entsprechenden Lastpunkt i ist die folgende Gleichung zu verwenden:

$$P_{1,comp,i} = \frac{p_{d,i} - p_{s,100\%}}{p_{d,i} - p_{s,i}} \cdot P_{1,meas,i} \quad (18)$$

Dieser Ansatz gilt für $\Delta p_s \leq 0,2 \cdot \varrho \cdot g \cdot H_{100\%}$.

8.2.8 Korrekturen von Abweichungen von der Referenz-Durchflussmenge

In Prüfungen dürfen die gemessenen Durchflussmengen Q^* von den durch das Durchflusszeitprofil nach Tabelle 2 bestimmten exakten Werten Q_{ref} abweichen.

Der gemessene Stromverbrauch P^*_1 wird innerhalb der in 8.2.6 festgelegten Grenzen nach der folgenden Gleichung auf den Wert P_1 korrigiert:

$$P_1(Q_{ref,i}) = P^*_{1,meas}(Q^*_i) \cdot \frac{Q_{ref,i}}{Q^*_i} \cdot \frac{0,75 + 0,25 \cdot (Q_{ref,i}/Q_{100\%})}{0,75 + (Q^*_i/Q_{100\%})} \quad (19)$$

8.3 Berechnung von $P_{1,avg}$

Zur Bestimmung der gewichteten mittleren elektrischen Leistungsaufnahme $P_{1,avg}$ sind die folgenden Schritte auszuführen:

- 1) Messen der elektrischen Leistungsaufnahme P_1 nach 8.2 für alle Werte der durch das Referenz-Durchflusszeitprofil definierten relativen Durchflussmenge $Q/Q_{100\%}$ (siehe Tabelle 2 in 5.1). Durchführen der Messungen für eine ansteigende Durchflussmenge sowie eine absteigende Durchflussmenge.

Für nicht anpassbare Werte $Q/Q_{100\%}$ des Referenz-Durchflusszeitprofils ist die in Abschnitt 6 definierte Regel anzuwenden.

- 2) Der gewichtete Mittelwert der elektrischen Leistung $P_{1,avg}$ ist nach der Gleichung

$$P_{1,avg} = \sum_{i=1}^{i=10} \left[\left(\frac{\Delta t}{100} \right)_i \cdot P_{1,i} \right] \quad (20)$$

für eine ansteigende sowie für eine absteigende Durchflussmenge zu berechnen. Der finale Wert zur Bestimmung des EEI ist der arithmetische Mittelwert der beiden Werte $P_{1,avg,inc}$ und $P_{1,avg,dec}$

$$P_{1,avg} = \frac{P_{1,avg,inc} + P_{1,avg,dec}}{2} \quad (21)$$

Anhand von $P_{1,avg}$ kann der EEI entsprechend Abschnitt 11 bestimmt werden.

9 Bestimmung der mittleren elektrischen Leistungsaufnahme $P_{1,avg}$ anhand der semi-analytischen Methode (SAM)

9.1 Allgemeines

Anstatt den EEI -Wert von vollständigen Boosteraggregaten durch Prüfungen zu bestimmen, kann der EEI -Wert anhand von mathematische Berechnungen basierend auf einem sogenannten semi-analytischen Modell (SAM) des Boosteraggregats ermittelt werden.

Das mathematische Modell eines vollständigen Boosteraggregats besteht aus Teilmodellen der Pumpen und der elektrischen Komponenten (Motoren, PDS), die zu dem Boosteraggregat gehören. Das in diesem Abschnitt beschriebene vollständige Modell berücksichtigt das physikalische Zwischenspiel von hydraulischen und elektrischen Komponenten sowie den Druck und die Schaltregelung des Boosteraggregats. Diese Modelle dürfen zur Berechnung des *EEI*-Wertes teilweise oder vollständig verwendet werden. Alternativ sind mathematische Modelle zulässig, die mindestens dieselbe Genauigkeit der *EEI*-Werte liefern.

ANMERKUNG Beispielsweise sind alternative mathematische Modelle zulässig, wenn die Technologie der Komponenten nicht in dieser Norm behandelt wird oder andere mathematische (Teil-)Modelle zur Verfügung stehen.

Die grundlegenden Merkmale des Berechnungsverfahrens anhand des semi-analytischen Modells zur Bestimmung des *EEI* wird in Teil 2 von Abschnitt 6.1 dieser Norm beschrieben.

Solange das Ergebnis der Prüfungen zur Bestimmung des *EEI*-Wertes eines einzelnen Boosteraggregats grundlegend eine (Gesamt-)Messunsicherheit aufweist, hängt die Genauigkeit aller Werte (und insbesondere des *EEI*-Werts), die mathematisch anhand von Modellen ermittelt werden, von den Modellunsicherheiten ab. Bei Modellunsicherheiten handelt es sich um die möglichen Maximalabweichungen (mit einer Wahrscheinlichkeit von typischerweise 95 %) der berechneten Werte der Ausgangsvariablen des Modells von den korrekten Werten der Ausgangsvariablen der realen Komponenten für dieselben Werte der Eingangsvariablen. Deren Größe hängt von den Annahmen, Schätzungen und Vereinfachungen ab, die die Qualität und Richtigkeit der Modelle festlegen. Eine Schätzung der Größe der Modellunsicherheit von anhand des in diesem Abschnitt beschriebenen Verfahrens ermittelten *EEI*-Werten ist in Anhang E vorhanden.

Das in diesem Abschnitt beschriebene Verfahren gilt für Boosteraggregate, die aus Komponenten (Pumpen und Motorsystemen) bestehen, von denen die spezifischen Leistungscharakteristiken innerhalb des relevanten Lastpunktbereichs bekannt sind (zumindest für eine eingeschränkte Anzahl an Betriebspunkten, siehe Teil 2 dieser Norm) und umfasst die Druck- und Schaltregelung durch eine Steuereinheit.

Die in 9.7 und 9.8 beschriebenen Berechnungen basieren auf der Annahme, dass alle Pumpen und Elektromotoren, die Teil des Boosteraggregats sind, vom selben Typ und von der gleichen Größe sind und daher (innerhalb der unvermeidlichen Fertigungstoleranzen, siehe Teil 1 dieser Norm, Anhang A) die gleichen Leistungscharakteristiken aufweisen. Dennoch ist es im Prinzip möglich, das SAM eines Boosteraggregats sowie die entsprechenden Berechnungen für den (ungewöhnlicheren) Fall anzupassen, dass das Boosteraggregat unterschiedliche Pumpen und/oder Motoren umfasst.

9.2 Vordefinierte Betriebsart und Version der Druck- und Schaltsteuerung

Zur Bestimmung des *EEI* unterscheidet das SAM nur zwei Betriebsarten:

- 1) alle Pumpen werden mit fester Drehzahl betrieben,
- 2) eine Pumpe wird mit variabler Drehzahl betrieben.

Die zweite Berechnungsart wird angewendet für

- einzelne, mit variabler Drehzahl betriebene Boosterpumpenaggregate,
- mit mehr als einer Pumpe ausgerüstete Boosteraggregate, wenn mindestens eine der Pumpen mit variabler Drehzahl betrieben wird.

ANMERKUNG Wie beispielhaft in Anhang C gezeigt, ist der *EEI* von mit mehr als einer Pumpe ausgerüsteten Boosteraggregaten nur geringfügig besser, wenn alle Pumpen – im Gegensatz zu einem Betrieb von nur einer der Pumpen mit variabler Drehzahl und der anderen Pumpen mit fester Drehzahl – mit einer (gleichen) variablen Drehzahl betrieben werden. Aus diesem Grund führt die Anwendung der zweiten Berechnungsart an Boosteraggregaten mit mehr als einer Pumpe mit variabler Drehzahl zu geringfügig konservativeren *EEI*-Werten.

Wenn im tatsächlichen Boosteraggregat kein Durchflussmesser integriert ist, ist der *EEI* auf Basis einer konstanten Druckregelung zu berechnen (siehe A.2). Andernfalls ist die Referenz-Druckregelungsfunktion nach Gleichung (4) anzuwenden.

In Bezug auf die Schaltsteuerung ist die folgende Version als Basis für die Bestimmung des *EEI* durch Anwendung des SAM anzusehen.

a) Im Falle von Boosteraggregaten, die nur mit einer Pumpe mit fester Drehzahl ausgestattet sind und die über kein integriertes Durchflussmeter verfügen,

- ist der Mindestdruck, der den Einschaltvorgang einer Pumpe beeinflusst, definiert als $p_{min} = \rho \cdot g \cdot H_{100\%}$,
- ist der Maximaldruck p_{max} , der den Abschaltvorgang einer der laufenden Pumpen beeinflusst, durch die folgende Bedingung definiert (siehe Bild 3):

$$\Delta Q_{II \rightarrow I} = 0.3 \cdot \frac{Q_{100\%}}{z} \quad (22)$$

In Gleichung (22)

ist $\Delta Q_{II \rightarrow I}$ die Hysterese der Durchflussmenge Q zwischen dem Wert von Q_{tr} , der nach dem Einschalten der zweiten Pumpe nach und nach erreicht wird, und dem Wert von Q_{off} , bei dem die zweite Pumpe abgeschaltet wird.

ANMERKUNG Der Wert von p_{max} , der sich aus der durch Gleichung (22) berechneten Bedingung ergibt, hängt von der Steigung der Q - H -Kurve der in das Boosteraggregat integrierten Pumpen ab.

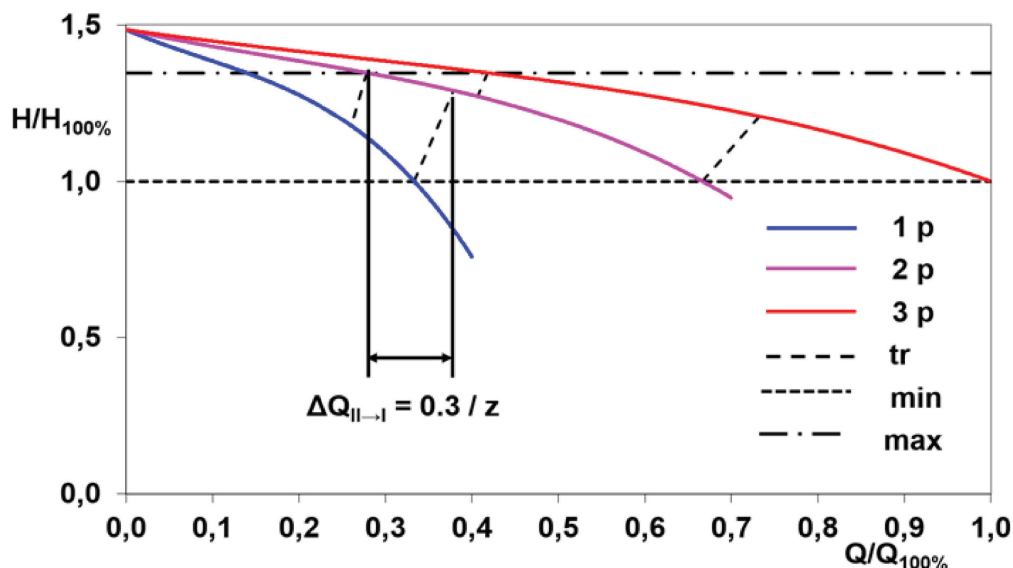


Bild 3 — Definition der Hysterese der Referenz-Schaltsteuerung von Boosteraggregaten mit Pumpen mit fester Drehzahl

j p: Booster-Charakteristiken für laufende Pumpe j

tr: Übergangslinien beim Ein- oder Abschalten einer Pumpe

min: $(H/H_{100\%})_{min}$ ca. Einschaltdruck p_{min}

max: $(H/H_{100 \%})_{\max}$ ca. Abschaltdruck $p_{\max}$

- b) Im Falle von Boosteraggregaten, die mindestens mit einer Pumpe mit variabler Drehzahl ausgestattet sind, ist die Schaltsteuerung folgendermaßen definiert:
- eine weitere Pumpe wird eingeschaltet unter der Bedingung, dass die Umlaufgeschwindigkeit der laufenden Pumpe mit variabler Drehzahl auf $n_{100 \%}$ gestiegen ist, wobei es sich um die Nenndrehzahl $n_{N,PU}$ der Pumpe handelt,
 - eine Pumpe wird abgeschaltet unter der Bedingung, dass keine Hysterese in Bezug auf die Durchflussmenge Q zwischen dem Einschalten und Abschalten einer zusätzlichen Pumpe auftritt.

Im Falle von Boosteraggregaten mit variabler Drehzahl, wird der Einfluss von *Steuerungsabweichungen* (siehe Anhang D) berücksichtigt, indem von einer bestimmten Abweichung des tatsächlichen Druckhöhwertes vom Zielwert ausgegangen wird. Diese Abweichung wird als $\pm 2,5 \%$ angenommen und der für die exakten Zielwerte für die Druckhöhe an den Lastpunkten berechnete *EEI* wird mit dem Faktor 1,025 multipliziert.

9.3 Das semi-analytische Modell von Pumpen

Das semi-analytische Modell von Pumpen, die Komponenten von Boosteraggregaten sind und entweder mit festen oder variablen Drehzahlen betrieben werden, ist identisch mit dem semi-analytische Modell von Pumpen, die Komponenten einer einzelnen Pumpeneinheit sind. Dieses Modell wird in Abschnitt 6.2 und Anhang B von Teil 2 dieser Norm beschrieben.

- 1) Wenn die vom Hersteller dokumentierten Pumpendaten für diese Pumpe in Kombination mit einem bestimmten Asynchronmotor und für eine Motorstator-Frequenz von 50 Hz gelten, können die Modellcharakteristiken der Pumpe direkt auf den dokumentierten Daten basieren.
- 2) Wenn die vom Pumpenhersteller dokumentierten Daten für eine Nenngeschwindigkeit der Pumpe von $n_{N,PU}$ gelten, müssen die Charakteristiken der Pumpe in Kombination mit dem Asynchronmotor, mit dem die Pumpe des Boosteraggregats angetrieben wird, für eine Motorstator-Frequenz von 50 Hz unter Berücksichtigung des Motorschlupfes (nach Abschnitt 6.3.3 von Teil 2 dieser Norm) berechnet werden.

ANMERKUNG Für kleine lastabhängige Variationen des Motorschlupfes darf als ausreichende Schätzung von einem Motorschlupf ausgegangen werden, der konstant ist und dem Schlupf bei einer Nenn-Leistungsaufnahme der Pumpe (d. h. bei $P_2 = P_{2,BEP}$) entspricht

9.4 Das semi-analytische Modell von Elektromotoren und/oder elektrischen Antriebssystemen (PDS)

Das semi-analytische Modell für *asynchrone* Elektro-Induktionsmotoren, die Komponenten von Boosteraggregaten sind und im netzgespeisten Modus betrieben werden, ist identisch mit dem semi-analytischen Modell für diese Art von Motoren, die Komponenten von einzelnen Pumpeneinheiten sind. Dieses Modell wird in Abschnitt 6.3.2 und Anhang B von Teil 2 dieser Norm beschrieben. Das Zusammenspiel von Motoren dieser Art und der Antriebspumpe für den Betrieb mit fester Drehzahl wird (in Bezug auf den tatsächlichen Umlaufgeschwindigkeitsschlupf) in Abschnitt 6.3.3 von Teil 2 dieser Norm beschrieben.

Das semi-analytische Modell für *elektrischen Antriebssystemen* (PDS), die Komponenten von Boosteraggregaten sind und für den Betrieb mit variabler Drehzahl der Antriebspumpe sind, ist identisch mit dem semi-analytischen Modell für elektrische Antriebssysteme, die Komponenten von einzelnen Pumpeneinheiten sind. Dieses Modell wird in Abschnitt 6.4.2 und Anhang C von Teil 2 dieser Norm beschrieben. Das Zusammenspiel eines elektrischen Antriebssystems und der Antriebspumpe wird in Abschnitt 6.4.3 von Teil 2 dieser Norm beschrieben.

9.5 Modellierung der internen Rohrleitungs- und Ventilverluste

Die internen Hydraulikverluste treten aufgrund

- der normalerweise am Austrittsflansch jeder einzelnen Pumpe montierten Rückschlagventile,
- der vorgeschalteten und nachgeschalteten Abschlussventile (falls vorhanden) der einzelnen Pumpen, und
- der geraden Rohre im Inneren, Biegungen und – im Falle von Boosteraggregaten, die mehr als eine Pumpe umfassen – der vorgeschalteten oder nachgeschalteten Pumpenverteiler mit T-Stücken auf.

Die Höhe des gesamten internen Hydraulikverlustes hängt von der Gesamt-Durchflussmenge des Boosteraggregats und – im Falle von Boosteraggregaten, die mehr als eine Pumpe umfassen – auch von der individuellen Durchflussmenge von tatsächlich laufenden Pumpen ab. Der geschätzte interne Gesamt-Hydraulikverlust $H_{L,tot}$ kann anhand der Gleichung (23) berechnet werden:

$$H_{L,tot} = \frac{1}{2 \cdot g} \cdot \left\{ (\zeta_{n.r.v.} + \sum \zeta_{c.o.v.}) \cdot \left(\frac{Q_{PU}}{A_{N,PU}} \right)^2 + \sum_i \zeta_{piping\ element\ i} \cdot \left(\frac{Q}{A_i} \right)^2 \right\} \quad (23)$$

In Gleichung (23) sind

- $\zeta_{n.r.v.}$, $\zeta_{c.o.v.}$ und $\zeta_{piping\ element\ i}$ die dimensionslosen Koeffizienten der Rückschlagventile, der Abschlussventile (falls vorhanden) bzw. der verschiedenen Rohrleitungselemente,
- $A_{N,PU}$ die Ansaug- und Austritts-Nennquerschnitte und A_i der Innenquerschnitt eines Rohrleitungselements i .

Die Druckhöhe H des Boosteraggregats ergibt sich aus der (gleichen) Druckhöhe H_{PU} jeder einzelnen Pumpe, verringert durch den gesamten internen Hydraulikverlust $H_{L,tot}$ nach Gleichung (24)

$$H = H_{PU}(Q_{PU}) - H_{L,tot}(Q_{PU}, Q) \quad (24)$$

Falls die Verlustkoeffizienten ζ der verschiedenen Ventile und Rohrleitungselemente nicht mit einer ausreichenden Präzision verfügbar oder nicht bekannt sind, kann die Druckhöhe H durch die folgende vereinfachte Korrelation berechnet werden:

$$H(Q_{PU}) = H_{PU}(Q_{PU}) - H_{L,100\%} \cdot \left(\frac{z \cdot Q_{PU}}{Q_{100\%}} \right)^2 \quad (25)$$

In Gleichung (25) ist $H_{L,100\%}$ der Wert von $H_{L,tot}$ bei $Q = Q_{100\%}$. Wenn dieser Wert nicht mit ausreichender Präzision bekannt ist, wird von einem (eher konservativen) Standardwert von 5 m ausgegangen. Mit diesem Standardwert und einem Mittelwert von $z \cdot Q_{BEP,PU} / Q_{100\%}$ (aus den beispielhaften Berechnungen) ist die Standardkorrelation

$$H(Q_{PU}) \approx H_{PU}(Q_{PU}) - (4\text{ m}) \cdot \left(\frac{Q_{PU}}{Q_{BEP,PU}} \right)^2 \quad (26)$$

9.6 Zusätzliche elektrische Verluste

Zusätzlich zur elektrischen Leistungsaufnahme $\sum P_{1,drive}$ der (laufenden) Pumpenantriebe, benötigen die Steuereinheit und (falls sie nicht in $P_{1,drive}$ enthalten sind) die elektrischen Verluste in internen Kabeln etwas

elektrische Leistung, die zusätzliche elektrische Verluste $\Sigma P_{el,aux}$ genannt wird. Die Höhe von $\Sigma P_{el,aux}$, insbesondere der Hauptteil, der sich aus dem internen Leistungsbedarf der Steuereinheit ergibt, ist vom entsprechenden Hersteller/Lieferanten anzugeben. Ansonsten wird von einem Standardwert von $\Sigma P_{el,aux} = 25 \text{ W}$ ausgegangen.

9.7 Berechnung von $Q_{100\%}$ und $H_{100\%}$

Um den Wert von $Q_{100\%}$ nach der in 5.1 enthaltenen Definition zu berechnen, wird angenommen, dass alle Pumpen z des Boosteraggregats (einschließlich von Pumpen mit variabler Drehzahl und einer Stand-by-Pumpe, falls vorhanden) mit einer Motorstator-Frequenz von 50 Hz betrieben werden. Die Funktion $P_{hydr} = f(Q)$ des Boosteraggregats und deren Maximalwert sind folgendermaßen zu berechnen:

- 1) Berechnung der dimensionslosen hydraulischen Leistung des Boosteraggregats

$$\frac{P_{hyd}}{P_{BEP,PU}} = \frac{Q}{Q_{BEP,PU}} \cdot \frac{H_{PU}(Q_{PU}/z)}{H_{BEP,PU}} \quad (27)$$

für die 5 Werte $Q/Q_{BEP,PU} = [(0,75; 0,875; 1,0; 1,125; 1,25) \cdot z]$ eingetragen in das Polynom des 3. Grad, das die Q - H -Kurve des Modells für Pumpen mit fester Drehzahl nach 9.3 beschreibt.

ANMERKUNG Es kann von einem Verhältnis $Q_{100\%}/Q_{BEP,PU}$ im Bereich $(1,0 \div 1,2) \cdot z$ ausgegangen werden.

- 2) Die Beziehung $P_{hyd}/P_{BEP,PU} = f(Q/Q_{BEP,PU})$ ist anhand des Polynoms des 3. Grades als „am besten geeignete“ Funktion basierend auf den 5 berechneten Paaren von $Q/Q_{BEP,PU}$ und $P_{hyd}/P_{BEP,PU}$ zu schätzen

$$\frac{P_{hyd}}{P_{BEP,PU}} = A_{hyd} \cdot \left(\frac{Q}{Q_{BEP,PU}} \right)^3 + B_{hyd} \cdot \left(\frac{Q}{Q_{BEP,PU}} \right)^2 + C_{hyd} \cdot \frac{Q}{Q_{BEP,PU}} + D_{hyd} \quad (28)$$

- 3) Der Wert von $Q_{100\%}$ ist nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$Q_{100\%} = \left(-\frac{1}{3} \cdot \frac{B_{hyd}}{A_{hyd}} \pm \sqrt{\frac{1}{9} \cdot \left(\frac{B_{hyd}}{A_{hyd}} \right)^2 - \frac{1}{3} \cdot \frac{C_{hyd}}{A_{hyd}}} \right) \cdot Q_{BEP,PU} \quad (29)$$

Von den zwei sich aus Gleichung (10) ergebenden Werte von $Q_{100\%}/Q_{BEP,PU}$ (aufgrund des doppelten Zeichens $\pm$ der Quadratwurzel) entspricht der dem Maximum der Kurve Q - P_{hyd} , der näher an $z \cdot Q_{BEP,PU}$ liegt.

- 4) Der entsprechende Wert von $H_{100\%}$ ist nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$H_{100\%} = \left(\frac{H_{PU}(Q_{100\%}/z)}{H_{BEP,PU}} \right) \cdot H_{BEP,PU} \quad (30)$$

Dabei ist das Polynom des 3. Grades zu verwenden, das die Q - H -Kurve des Modells für Pumpen mit fester Drehzahl entsprechend 9.8 beschreibt; siehe auch Gleichung (31) unten.

9.8 Berechnung von P1 in Abhängigkeit von Q/Q_{100 %}

9.8.1 Mit fester Drehzahl betriebene Boosteraggregate

9.8.1.1 Allgemeines

Die Q - H -Charakteristik der einzelnen Pumpen, die mit fester Drehzahl betrieben werden, wird (entsprechend 6.2 von Teil 2 dieser Norm) nach folgender Gleichung berechnet:

$$\frac{H_{PU}}{H_{BEP,PU}} = a_H \cdot \left(\frac{Q_{PU}}{Q_{BEP,PU}} \right)^3 + b_H \cdot \left(\frac{Q_{PU}}{Q_{BEP,PU}} \right)^2 + c_H \cdot \frac{Q_{PU}}{Q_{BEP,PU}} + d_H \quad (31)$$

Dabei gilt die Verkürzung

$$s = \frac{Q_{100\%}}{j \cdot Q_{BEP,PU}} \quad (32)$$

Dabei ist j die Anzahl der tatsächlich laufenden Pumpen, und die Druckhöhe H des Boosteraggregats für tatsächlich laufende Pumpen j ist

$$H = H_{BEP,PU} \cdot \left[a_H \cdot \left(s \cdot \frac{Q}{Q_{100\%}} \right)^3 + b_H \cdot \left(s \cdot \frac{Q}{Q_{100\%}} \right)^2 + c_H \cdot \left(s \cdot \frac{Q}{Q_{100\%}} \right) + d_H \right] - H_{L,tot} \quad (33)$$

In dieser Gleichung ist der gesamte interne Hydraulikverlust $H_{L,tot}$ nach 9.5 zu ermitteln.

Die Wellenleistung P_2 einer Pumpe, die mit fester Drehzahl betrieben wird, wird (entsprechend 6.2 von Teil 2 dieser Norm) nach folgender Gleichung berechnet:

$$P_{2,PU} = P_{BEP,PU} \cdot \left[a_P \cdot \left(\frac{Q_{PU}}{Q_{BEP,PU}} \right)^3 + b_P \cdot \left(\frac{Q_{PU}}{Q_{BEP,PU}} \right)^2 + c_P \cdot \frac{Q_{PU}}{Q_{BEP,PU}} + d_P \right] \quad (34)$$

Umgewandelt auf die Abhängigkeit von $P_{2,PU}$ von $Q/Q_{100 \%}$ ergibt sich:

$$P_{2,PU} = P_{BEP,PU} \cdot \left[a_P \cdot \left(s \cdot \frac{Q}{Q_{100\%}} \right)^3 + b_P \cdot \left(s \cdot \frac{Q}{Q_{100\%}} \right)^2 + c_P \cdot \left(s \cdot \frac{Q}{Q_{100\%}} \right) + d_P \right] \quad (35)$$

Mit dem Polynom des 2. Grades, mit dem die Effizienzcharakteristiken $\eta_M = f(P_{2,PU}/P_{N,M})$ der (einzelnen) Elektromotoren (entsprechend 6.3.2 von Teil 2 dieser Norm) geschätzt wird, ist die elektrische Leistungsaufnahme $P_{1,PU}$ des Antriebsmotors einer der laufenden Pumpen

$$P_{1,PU} = 100 \cdot \frac{P_{2,PU}}{\eta_M} \quad (36)$$

In Gleichung (35) ist der Motorwirkungsgrad in [%] einzufügen.

Die gesamte elektrische Leistungsaufnahme $P_{1,drive}$ der tatsächlich laufenden Pumpen j ist

$$P_{1,drive} = \sum P_{1,PU} = j \cdot P_{1,PU} \quad (37)$$

Des Weiteren ist die elektrische Leistungsaufnahme P_1 des Boosteraggregats einschließlich der zusätzlichen elektrischen Leistung (entsprechend 9.6)

$$P_1 = P_{1,drive} + P_{L,aux} \quad (38)$$

9.8.1.2 Berechnung von P1 für einzelne Boosterpumpenaggregate (z = 1)

In diesem Fall gilt $j = 1$ im gesamten Bereich von $0 \leq Q/Q_{100\%} \leq 1$. Die elektrische Leistungsaufnahme des Boosteraggregats wird direkt mithilfe der Gleichungen (34) bis (38) für $j = 1$ berechnet.

9.8.1.3 Berechnung von P1 für Boosteraggregate mit mehreren Pumpen (z > 1)

Die Bereiche der anpassbaren relativen Durchflussmengen $Q/Q_{100\%}$ werden durch die Werte $Q_{on}/Q_{100\%}$ und $Q_{off}/Q_{100\%}$ unmittelbar jeweils vor Einschalten bzw. Abschalten einer der einzelnen Pumpen und $Q_{tr}/Q_{100\%}$ unmittelbar jeweils nach Einschalten bzw. Abschalten einer der einzelnen Pumpen begrenzt. Die Grenzwerte werden wie nachfolgend beschrieben berechnet. Die entsprechenden Gleichungen des 3. Grades werden wie in Anhang E von Teil 2 dieser Norm aufgelöst, wobei der plausibelste der 3 erhaltenen Werte von $Q/Q_{100\%}$ innerhalb des relevanten Bereichs gewählt wird.

Die anpassbaren Bereiche der Betriebspunkte für eine *ansteigende Durchflussmenge* werden folgendermaßen berechnet:

- 1) Für jede Anzahl $1 \leq j \leq z-1$ der laufenden Pumpen ist die relative Durchflussmenge $(Q_{on}/Q_{100\%})_j$, bei der eine oder mehrere Pumpen eingeschaltet werden, durch Auflösen von Gleichung (33) zu berechnen. Dabei ist

— $H = H_{min} = H_{100\%}$ für konstante Drucksteuerung,

— $H = H_{min}$ nach Gleichung (4) für variable Drucksteuerung.

- 2) Die hydraulische Widerstandskurve (des angenommenen, bereitzustellenden geschlossenen Kreises) durch die entsprechenden Einschaltpunkte bei $(Q_{on}/Q_{100\%})_j$ ist

$$(H_{loop})_j = \frac{H_{min}}{(Q_{on}/Q_{100\%})_j^2} \cdot \left(\frac{Q}{Q_{100\%}} \right)^2 \quad (39)$$

- 3) Unmittelbar nach dem Einschalten einer zusätzlichen Pumpe ist der Wert von $(Q_{tr.inc}/Q_{100\%})_{j \rightarrow j+1}$ des Boosteraggregats unter Verwendung der Bedingung

$$H_{j+1} = (H_{loop})_j \quad (40)$$

zu berechnen, indem die umgestellte Gleichung des 3. Grads für $Q/Q_{100\%}$ aufgelöst wird. In dieser Gleichung ergibt sich H_{j+1} aus den Gleichungen (32) und (33), indem der Wert $j+1$ (= Anzahl der laufenden Pumpen nach dem Einschalten) eingefügt wird, und $(H_{loop})_j$ ergibt sich aus der Gleichung (39), indem der Wert j (= Anzahl der laufenden Pumpen vor dem Einschalten) eingefügt wird.

- 4) Die Bereiche der anpassbaren Betriebspunkte und der entsprechenden elektrischen Leistungsaufnahme sind

— für $j = 1: 0 \leq Q/Q_{100\%} \leq (Q_{on}/Q_{100\%})_1$

— für $j > 1: (Q_{tr.inc}/Q_{100\%})_{j-1 \rightarrow j} \leq Q/Q_{100\%} \leq (Q_{on}/Q_{100\%})_j$