



TA 2108-0031

Technische Anweisung

Inselbetrieb Allgemeines



© INNIO Jenbacher GmbH & Co OG
Achenseestr. 1-3
A-6200 Jenbach, Austria
www.innio.com



JENBACHER
INNIO

1	Anwendungsbereich.....	2
2	Zweck	2
3	Zusätzliche Informationen.....	2
4	Definition.....	3
4.1	Allgemeine Definition der Inselbetriebs.....	3
4.2	Relevante Normen und Richtlinien	4
5	Inselbetriebskategorien.....	4
6	Einflussfaktoren im Inselbetrieb.....	5
6.1	Lastaufschaltung.....	5
6.2	Lastabwurf.....	6
7	Einflussfaktoren im Inselverbund (Mehrmotoren Anlagen).....	6
8	Auswertung Inselbetriebsperformance	6
9	Lastschaltdiagramme für Inselbetrieb	8
9.1	Lastschaltdiagramme	8
9.2	Lastabwurf.....	10
10	Planung und technische Möglichkeiten.....	11
10.1	Speisung von unterbrechungslosen Stromversorgungs-Anlagen (USV-Anlagen).....	12
10.2	Parallelbetrieb mit USV-Anlagen	12
10.3	Netzersatzzeit von 15 s gemäß DIN VDE 0100 Teil 710 bzw. Teil 718	12
10.4	Sanftes Magnetisieren von Transformatoren	12
10.5	Schwarzstartbetrieb (Black-Start)	12
10.6	Parallelbetrieb mehrerer Aggregate	13
10.6.1	P-Grad (Drehzahlstatik bzw. Frequenzstatik, Speed drop)	13
10.6.2	Wirklastteilleitung (Isochronous Modus)	14
10.6.3	Blindlastteilleitung (Spannungsstatik, Voltage droop)	14
10.6.4	Lastmanagement	15
10.7	Besonders zu berücksichtigende Punkte	16
10.7.1	Informationen über Betriebszustand durch Schalterzustände – Verzögerungszeiten	16
10.7.2	Unbekannte Lastverhältnisse des Kunden – kapazitive Lasten	16
10.7.3	Netzbezugsregelung	16
10.7.4	Hilfsbetriebe	16
11	Randbedingungen.....	17
11.1	Motornennlast	17
11.2	Emissionen Gasmotoren.....	17
11.3	Emissionen Dieselmotoren	17
11.4	Gemischkühlwassertemperatur, Gemischtemperatur	17
11.5	Zündzeitpunkt/Einspritz-Timing	17
11.6	Ansaugtemperatur	17
11.7	Abgasgegendruck	17
11.8	Inselbetrieb mit Biogas / Deponiegas und Klärgas	18
11.9	Gasversorgung.....	18
11.10	Dieselversorgung	18
11.11	Generator	18
12	Anhang A. Kennwerte zur Auswertung der Performance im Inselbetrieb.....	19
13	Revisionsvermerk	22

Die Zielstellen dieses Dokumentes sind:

Kunde, Vertriebspartner, Servicepartner, IB-Partner, Töchter/Außenstellen, Standort Jenbach

Eigentumsrechtlicher Hinweis von INNIO: VERTRAULICH

Die Informationen in diesem Dokument sind geschützte Informationen der INNIO Jenbacher GmbH & Co OG und deren Tochtergesellschaften und vertraulich. Sie sind Eigentum von INNIO und dürfen ohne vorherige schriftliche Genehmigung nicht verwendet, an Dritte weitergeleitet oder vervielfältigt werden. Hierzu zählt auch, aber nicht ausschließlich, die Nutzung der Informationen zur Erstellung, Herstellung, Entwicklung oder Ableitung von Reparaturen, Modifizierungen, Ersatzteilen, Konstruktionen oder Konfigurationsänderungen oder deren Beantragung bei staatlichen Behörden. Wenn die vollständige oder teilweise Vervielfältigung genehmigt wurde, sind dieser Hinweis sowie der weitere Hinweis auf allen Seiten dieses Dokuments ganz oder teilweise zu vermerken.

GEDRUCKTE ODER ELEKTRONISCH VERMITTELTE VERSIONEN SIND NICHT KONTROLLIERT

1 Anwendungsbereich

Diese Technische Anweisung (TA) gilt für folgende Jenbacher Gasmotoren:

- Baureihe 2
- Baureihe 3
- Baureihe 4
- Baureihe 6

, die mit dem optional erhältlichen Betriebsmodus „Inselbetrieb“ ausgestattet sind.

2 Zweck

3 Zusätzliche Informationen

Relevante Normen und Richtlinien:

Sofern nicht anders angegeben, bezieht sich dieses Dokument auf die aktuellsten Ausgaben der hier referenzierten Normen und Richtlinien (z.B. ISO 8528-5). Wo zur unterstützenden Erklärung ältere Ausgaben in diesem Dokument angeführt sind, wurden diese zusätzlich mit dem jeweiligen Ausgabejahr gekennzeichnet (z.B. ISO 8528-5:2018).

Relevante Dokumente:

TA 1000-0001 – Kraftstoffqualität – Dieseldiesellost

TA 1000-0300 – Treibgas- und Verbrennungsluftanforderungen

TA 1503-0057 – Motorbetrieb im Inselnetz mit GEN2-Regler

TA 1530-0182 – Generator Leistungsreduktionen und Blindleistungsmanagement

TA 2108-0025 – Inselbetrieb von Gas-Otto-Motoren mit DIA.NE (Baureihe 3)

TA 2108-0026 – Inselbetrieb von Gas-Otto-Motoren mit DIA.NE (Baureihe 6)

TA 2108-0029 – Inselbetrieb von Gas-Otto-Motoren mit DIA.NE (Baureihe 4)

TA 2108-0030 – Inselbetrieb J208 mit DIANE XT

TA 2108-0032 – Inselbetrieb J920 mit DIA.NE XT

TA 2108-0033 – Inselbetrieb von schnelllaufenden Dieselmotoren mit DIA.NE (Baureihe 6)

ISO 8528-2

ISO 8528-5

ISO 8528-12

DIN VDE 0100

4 Definition

4.1 Allgemeine Definition der Inselbetriebs

Ein Inselbetrieb / Notstrombetrieb / Netzersatzbetrieb liegt dann vor, wenn die Anlage ohne das öffentliche Elektrizitätsnetz die Stromversorgung von Verbrauchern aufrechterhalten muss (siehe Abbildung 1). Sobald dieser Fall eintritt, muss sowohl die Sammelschienenfrequenz als auch die Sammelschienenenspannung in definierten Grenzen gehalten werden.

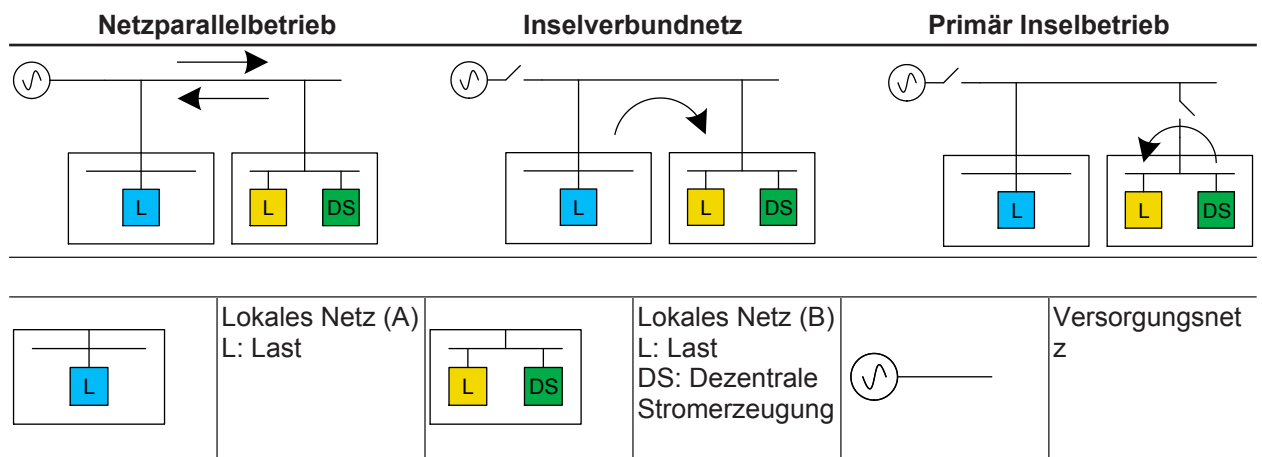


Abbildung 1: Netzkonfigurationen

Werden die Verbraucher von einem durch einen Hubkolben-Verbrennungsmotor betriebenen Generator (im Folgenden als Aggregat bezeichnet) mit Energie versorgt erfolgt die Regelung der Frequenz durch die Motordrehzahl. Die Regelung der Spannung erfolgt durch den im Generator integrierten Spannungsregler (Automatic Voltage Regulator – AVR). Für die Baureihe 3 mit TecJet Gasdosierung, sowie für die Baureihe 4 ist ab Juni 2019 eine neue, modellbasierende Frequenzregelung verfügbar. Diese Regelung wird in der **TA 1503-0057** beschrieben.



TA 1503-0057 – Motorbetrieb im Inselnetz mit GEN2-Regler

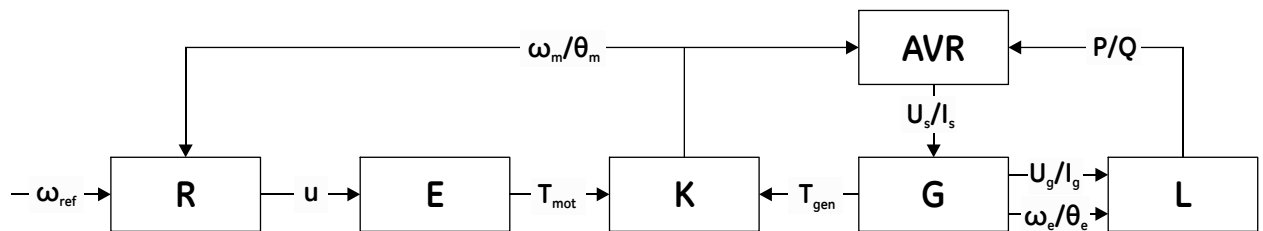


Abbildung 2: Inselbetrieb

E	Jenbacher Motoren	L	Last
K	Kupplung	AVR	Automatic Voltage Regulator
R	Regler	G	Generator
u	Regelgröße	U_s/I_s	Erregerspannung/-Strom
ω_e/θ_e	Generator elektrische Drehzahl/ Winkelposition	U_g/I_g	Generator Spannung/-Strom
ω_m/θ_m	Generator mechanische Drehzahl/ Winkelposition	T_{gen}	Generatordrehmoment
ω_{ref}	Drehzahl Sollwert	T_{mot}	Motordrehmoment
P/Q	Wirkleistung/Blindleistung		

Bei Anlagen mit mehreren Motoren im Inselverbund werden Frequenz und Spannung entweder nur von einem Teil, oder von allen Aggregaten geregelt. Die Wirkleistung und Blindleistung muss dann durch das Lastmanagementsystem geregelt werden. Ein leistungsmäßig kleiner Anteil kann in diesem Verbund auch ausschließlich leistungsgeregelt betrieben werden. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Dynamik der Leistungsregelung der jeweiligen Motoren ausreicht, um den gegebenenfalls sehr schnellen Sollwertänderungen zuverlässig folgen zu können.

4.2 Relevante Normen und Richtlinien

Sofern nicht anders angegeben, bezieht sich dieses Dokument auf die aktuellsten Ausgaben der hier referenzierten Normen und Richtlinien (z.B. ISO 8528-5). Wo zur unterstützenden Erklärung ältere Ausgaben in diesem Dokument angeführt sind, wurden diese zusätzlich mit dem jeweiligen Ausgabejahr gekennzeichnet (z.B. ISO 8528-5:2018).

5 Inselbetriebskategorien

Netzersatzbetrieb	Der Inselbetrieb des Motors wird nur als Rückfalllösung für die Netzversorgung benötigt und ist nicht für den ständigen Betrieb gedacht.
Primärer Betrieb (100% Insel)	Der Inselbetrieb des Motors wird als primäre Energiequelle für die Verbraucher eingesetzt. Es können zusätzliche Aggregate oder das Netz als Stand-by Energiequellen verfügbar sein.
Notstrombetrieb	Gleichbedeutend zum Netzersatz Betrieb, jedoch mit wesentlich höheren Anforderungen an die Startzeit (z.B. 15 Sekunden Startzeit, Schwarzstart) und höchste Verfügbarkeit.
Versorgung von Inselverbundnetzen	Der Motor arbeitet in einem lokalen Netzverbund, welcher nicht mit dem öffentlichen Netz verbunden ist. Es ergeben sich besondere Anforderungen bzgl. Kurzunterberechnungen, an Lastaufschaltungen und Lastabschaltungen und redundante Betriebsweisen (n-1).

Glashausapplikation¹⁾	Sehr sanfte Lastschaltungen aufgrund der relativ kleinen Lasten mit umfangreichem Lastmanagement für Lastschaltungen, Übergang vom Netz- in den Inselbetrieb. Der Motor wird meist mit 100% seiner Nominallast betrieben, da geeignet kleine Laststufen verfügbar sind.
Löschnotfallsysteme¹⁾ (Sprinklerbetrieb/ Feuernotbetrieb)	Der Motor ist als Versorgung für Feuerlöschpumpen vorgesehen. Spezielle Anforderungen bezüglich der Zeit bis zur ersten Lastaufschaltung sind einzuhalten. Die Verfügbarkeit des Motors muss selbst bei anstehenden Fehlern gewährleistet sein und darf nicht aus niedrigeren Gründen während des Einsatzes als Löschunterstützung abgestellt werden.

¹⁾ Falls vorhanden

6 Einflussfaktoren im Inselbetrieb

Die Dynamik eines Aggregats wird von vielen Faktoren beeinflusst. Sowohl die mechanischen als auch elektrischen Eigenschaften bestimmen das Drehzahlverhalten und Spannungsverhalten bei sprungförmigen Laständerungen. Um das Frequenzverhalten und Spannungsverhalten eines Aggregats bei Laständerung angeben zu können, ist es notwendig, die maximale Aufschaltleistung und Abschaltleistung zu ermitteln. Zu beachten ist unter anderem:

- Gleichzeitigkeitsfaktor der Verbraucher
- Betriebsmäßige intermittierende Leistungen

Die erforderliche Aggregat-Nennleistung kann nur in Kenntnis der zu versorgenden elektrischen Verbraucher bestimmt werden. Dabei sind vor allem die auftretenden Belastungsstöße beim Einschalten der Verbraucher, wie z.B. Aufzüge, Pumpen, Ventilatoren Beleuchtungseinrichtungen sowie diverse nicht-lineare Verbraucher, zu beachten. Ist das damit einhergehende Lastprofil bekannt, müssen folgende Punkte im weiteren Verlauf der Auslegung berücksichtigt werden:

6.1 Lastaufschaltung

Die Lastaufnahmefähigkeit des Aggregats hängt neben der, vom Motortyp abhängigen, Einstellung der Drehzahlreglers, vom spezifischen Motormitteldruck (BMEP) bei Nennfrequenz und Nennleistung, der Dynamik des Abgasturboladers, der Dynamik der Gasdosierung, sowie den Eigenschaften und Einstellungen des Generatorreglers (AVR) ab. Auch die Massenträgheitsmomente von Motor und Generator nehmen dabei großen Einfluss, wobei im allgemeinen gilt, dass größere Massenträgheitsmomente speziell der Generatoren größere Lastschaltungen erlauben, bzw. kleinere Frequenzabweichungen zur Folge haben.

Da die Abhängigkeit sämtlicher Einflüsse nicht wertmäßig berücksichtigt werden kann, sollen empfohlene Mittelwerte für die Lastaufschaltung angegeben werden, wobei als Kriterien ein maximal zulässiger Frequenzeinbruch sowie ein maximaler Spannungseinbruch zugrunde gelegt werden.

Aufgrund des hohen Mitteldrucks von Jenbacher Gasmotoren ist die Leistungsaufschaltung in limitierten Stufen notwendig (siehe ISO 8528-2). Da die zulässigen Zeiten zwischen den einzelnen Leistungsstufen von den zuvor angeführten Einflussfaktoren abhängen, muss falls erforderlich, ein geeignetes zeitbasiertes Lastprofil mit dem Anlagebetreiber vereinbart werden. Bei der Notwendigkeit, die Leistung in mehreren Stufen aufzuschalten, ist die dafür erforderliche Schaltung in der Verbraucheranlage durch ein Lastmanagementsystem zu berücksichtigen. Als Kriterium gelten die zulässigen Werte der dynamischen Frequenzabweichungen und Spannungsabweichungen beim Leistungswechsel.

Zwischen den einzelnen Lastaufschaltungen benötigt das Aggregat je nach Größe einige Sekunden bis einige Minuten vor allem zur thermischen Stabilisierung. Dies ist vor allem beim Starten von nicht betriebswarmen Motoren unbedingt zu berücksichtigen. Die genauen Werte sind bei Dieselmotoren und Gasmotoren unterschiedlich.

Um eine Überlastung, und damit dem Ausfall des Aggregates vorzubeugen, muss sichergestellt werden, dass im Moment der Leistungsübernahme der zuvor vorhandene Leistungsbedarf der Verbraucheranlage die empfohlene aggregatspezifische Leistung nach Baureihe nicht übersteigt.

6.2 Lastabwurf

Die Reaktion eines Gas-angetriebenen Aggregats nach einem Lastabwurf hängt ebenfalls von den oben genannten Einflussfaktoren ab. Bei manchen gemischaufladeladenen Gasmotoren wird eine maximal zulässige abzuwerfende Last vorgegeben, um das Risiko von Turboladerpumpen oder Verpuffungen zu minimieren.

Die Grenzen für den Lastabwurf werden baureihenspezifisch dargestellt (siehe dazu die jeweilige baureihenspezifische TA). Weitere Information ist in Kapitel \Rightarrow Lastabwurf zu finden.

7 Einflussfaktoren im Inselverbund (Mehrmotoren Anlagen)

Einfluss auf das Frequenzverhalten und Spannungsverhalten im Mehrmotoren-Inselverbundbetrieb können unter anderem haben:

- Lastverteilung
- Externe oder interne Vorgabe eines variierenden Drehzahlsollwerts (Speed droop) an den Drehzahlregler
- Dynamisches Verhalten der einzelnen Motoren wie zuvor beschrieben
- Statik-Einstellungen der Spannungsregler (Voltage Droop und Spannungsknie)
- Dynamisches Verhalten des Generators unter Berücksichtigung der Dämpfungseigenschaften am gegebenen Netz.

Eine ausführliche Erklärung der Einflussfaktoren bei Wirkleistungsverteilung und Blindleistungsverteilung laut ISO 8528-5 kann in der **TA 1530-0182** entnommen werden.



TA 1530-0182 – Generator Leistungsreduktionen und Blindleistungsmanagement

Werden verschiedene Energieerzeuger im Verbund betrieben (Aggregate verschiedener Hersteller oder unterschiedliche Arten von Energieerzeugern), sind neben Lastteilleitung oder der P-Grad (Speed droop) Regelung weitere Möglichkeiten durch ein übergeordnetes Lastmanagement gegeben, die jedoch projektspezifisch geprüft werden müssen. Eine weitere Erklärung ist in Kapitel \Rightarrow Schwarzstartbetrieb (Black-Start) zu finden.

8 Auswertung Inselbetriebsperformance

Das Betriebsverhalten eines Aggregates mit einem Hubkolben-Verbrennungsmotor wird im Allgemeinen gemäß der ISO 8528-5 beurteilt.

Je nach Anwendungszweck werden gemäß ISO 8528-5 unterschiedliche Ausführungsklassen zur Inselperformance G1 bis G4 unterschieden. Die darin angeführten Zahlenwerte sind zulässige Grenzwerte, die, sofern nicht anders angegeben, nicht überschritten werden dürfen (siehe auch Tabelle 1 unten). Diese beziehen sich auf aufgeladene Verbrennungsmotoren, wie in ISO 8528-5 definiert.

Für die Stromerzeugungsanlage ist die jeweilige Ausführungsklasse grundsätzlich dann zutreffend, wenn alle für diese Ausführungsklasse festgelegten Grenzen erfüllt werden. Werden von Kunden Abweichungen bei den Grenzwerten im Sinne höherwertiger Qualität gefordert, so sind diese schriftlich zu vereinbaren. Für derartige Sondervereinbarungen ist nach 8528-5 die Klasse G4 vorgesehen.

Klasse G4 ist damit frei definierbar nach kundespezifischen Anforderungen (KSA) – und wird für Jenbacher Gasmotoren spezifisch mit $\pm 7\%$ für die dynamische Frequenzabweichungen und Spannungsabweichung, ohne Berücksichtigung der Ausregelzeit in den Inselnennwerten der verschiedenen Motorbaureihen dargestellt. Für applikationsspezifische Fragestellungen ist es möglich andere Grenzwerte zu definieren und darzustellen.

Wird eine Sicherheitsstromversorgung für Krankenhäuser bzw. einer baulichen Anlage für Menschenansammlungen (laut DIN VDE 0100 Teil 710 bzw. Teil 718) verbaut, erfolgt die Beurteilung des Betriebsverhaltens nach ISO 8528-12. Für beide Fälle sind die geforderten Unterbrechungszeiten/Übergangszeiten besonders zu beachten. Die Beurteilungskriterien gemäß ISO 8528-12 entsprechen jenen nach ISO 8528-5.

Tabelle 1: Auszug ausgewählter Betriebsgrenzen für die Ausführungsklassen exemplarisch nach ISO 8528-5:2018. Für die gesamte Betrachtung ist die Tabelle 4 in Kapitel 15.2 aus der Norm heranzuziehen.

Parameter	Symbol	Einheit	Grenzwerte			
			G1	G2	G3	G4
Bandbreite der Frequenzabweichung zu Bewertung der Ausregelzeit nach Lastsprüngen	α_f	%	3,5	2	2	KSA
Stationäres Frequenzbandbreite	β_f	%	$\leq \pm 2,5$	$\leq \pm 1,5$	$\leq \pm 0,5$	KSA
Transiente Frequenzabweichung nach einer Lastzuschaltung für:						
• Gas-Otto-Motoren	δ_{dyn}^-	%	≤ -25	≤ -20	≤ -15	KSA
• Dieselmotoren	δ_{dyn}^-	%	≤ -15	≤ -10	≤ -7	KSA
Transiente Frequenzabweichung nach einer Lastabschaltung	δ_{dyn}^+	%	$\leq +18$	$\leq +12$	$\leq +10$	KSA
Frequenzausregelzeit nach einer Lastzuschaltung	$t_{f,zu}$	s	≤ 10	≤ 5	≤ 3	KSA
Frequenzausregelzeit nach einer Lastabschaltung	$t_{f,ab}$	s	≤ 10	≤ 5	≤ 3	KSA
Statische Spannungsabweichung	δU_{st}	%	$\leq \pm 5$	$\leq \pm 2,5$	$\leq \pm 1$	KSA
Dynamische Spannungsabweichung nach einer Lastzuschaltung	δU_{dyn}^-	%	≤ -25	≤ -20	≤ -15	KSA
Dynamische Spannungsabweichung nach einer Lastabschaltung	δU_{dyn}^+	%	$\leq +35$	$\leq +25$	$\leq +20$	KSA
Spannungsausregelzeit nach einer Lastzuschaltung	$t_{U,zu}$	s	≤ 10	≤ 6	≤ 4	KSA
Spannungsausregelzeit nach einer Lastabschaltung	$t_{U,ab}$	s	≤ 10	≤ 6	≤ 4	KSA

9 Lastschaltdiagramme für Inselbetrieb

Die Lastschaltdiagramme der jeweiligen Baureihen bzw. Motortypen sind in folgenden technischen Anweisungen verfügbar:

- Gas-Otto-Motoren Baureihe 2 - J208 mit DIA.NE XT TA 2108-0030
- Gas-Otto-Motoren Baureihe 3 mit DIA.NE XT TA 2108-0025
- Gas-Otto-Motoren Baureihe 4 mit DIA.NE XT TA 2108-0029
- Gas-Otto-Motoren Baureihe 6 mit DIA.NE XT TA 2108-0026
- Gas-Otto-Motoren Baureihe 9 mit DIA.NE XT TA 2108-0032
- Dieselmotoren Baureihe 6 mit DIA.NE XT TA 2108-0033

Die angeführten Diagramme geben Auskunft über die zulässige, schaltbare elektrische Wirkleistung ‚Blocklast‘ (sowohl positiv, als auch negativ) aufgetragen auf der y-Achse in Abhängigkeit von der aktuellen Wirkleistung ‚Basislast‘ aufgetragen auf der x-Achse unter Zuweisung der geforderten Klasse laut ISO 8528-5.

Die angegebenen Leistungen sind in Prozent der Nennleistung (unter Berücksichtigung gegebener Abminderungen), Nennfrequenz und $\cos\varphi=1$ der jeweiligen Motorversion entsprechend Produktprogramm dargestellt.

9.1 Lastschaltdiagramme

Die Lastschaltdiagramme in den technischen Anweisungen für die jeweiligen Baureihen gelten für den betriebswarmen Motor.

In diesen Diagrammen sind die Ausführungsklassen G1 bis G4 sowie die Grenzleistung dargestellt (siehe beispielhafte Diagramme für die Lastaufschaltfähigkeit in Abbildung 3 und Lastabwurffähigkeit in Abbildung 4). Dabei bezeichnet die Grenzleistung jene Leistung, die unter Beachtung der Grenzwerte für minimale und maximale Frequenz sowie minimaler und maximaler Spannung, noch geschaltet werden kann, ohne dass der Motor abstellen würde. Die dargestellten Linien stellen die maximal zuschaltbare bzw. abschaltbare Leistung dar, die den jeweiligen Grenzwerten der Ausführungsklasse entspricht. Werden besondere Anforderungen an die Aufschaltgüte und Abschaltgüte gestellt, sind weiterführende technische Maßnahmen (Wahl der Abschaltstufen, Netzbezugsregelung, Lastmanagement) zu berücksichtigen.

In den baureihenspezifischen technischen Anweisungen für den Inselbetrieb werden die (2) Diagramme für Lastaufschaltung und Lastabschaltungen, jeweils mit und ohne Berücksichtigung der Ausregelzeit für Frequenz und Spannung, angegeben. Bei Dieselaggregaten wird die Ausregelzeit für die Spannung

immer mitberücksichtigt. Die zweite Darstellungsform berücksichtigt das Kriterium des maximalen Frequenzeinbruchs (siehe Anhang A). Die x-Achse beschreibt die Ausgangslast (Basislast) und die y-Achse die Schaltlast (Blocklast), jeweils in Prozent [%] der Nominalleistung.

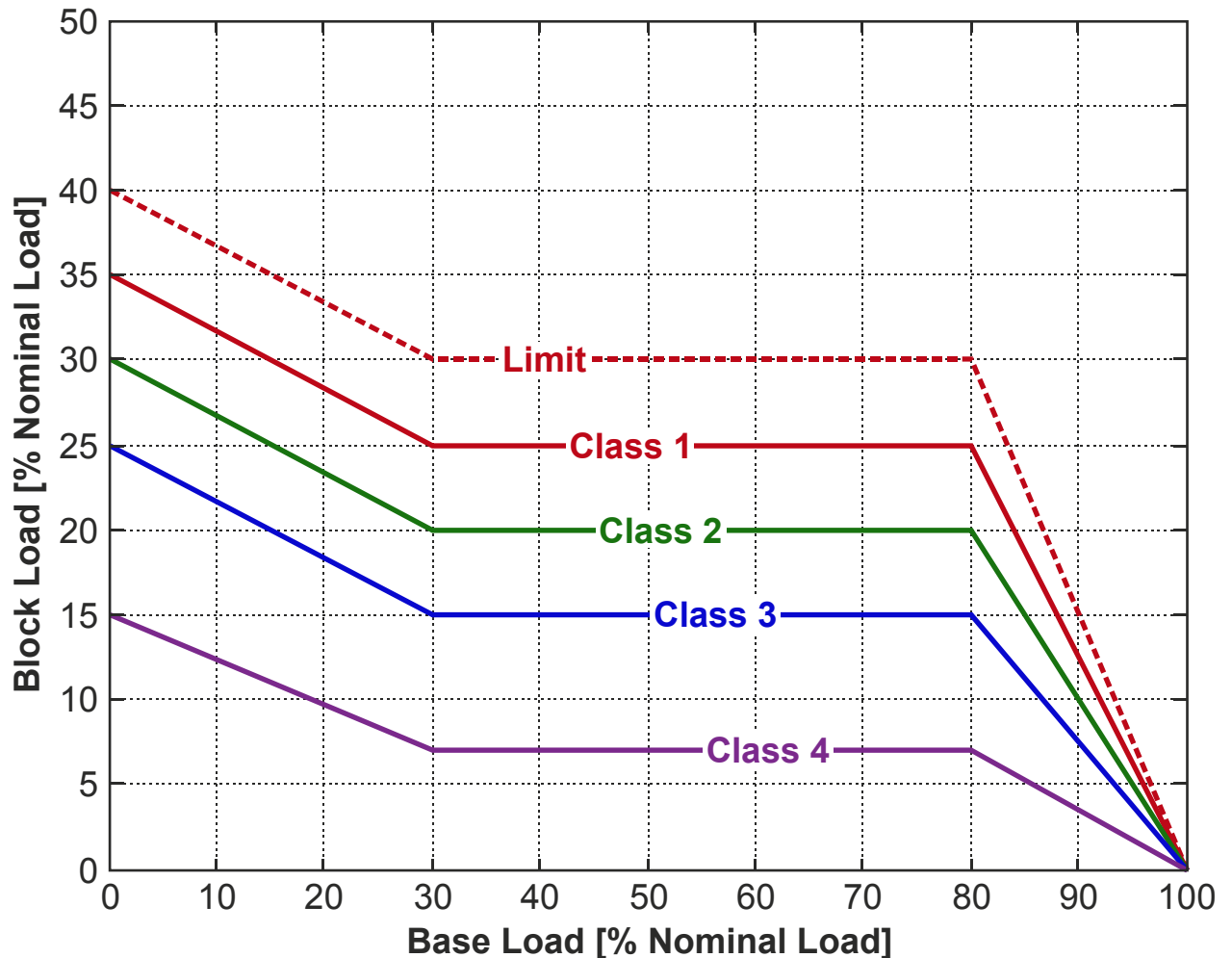


Abbildung 3. Lastzuschaltdiagramm

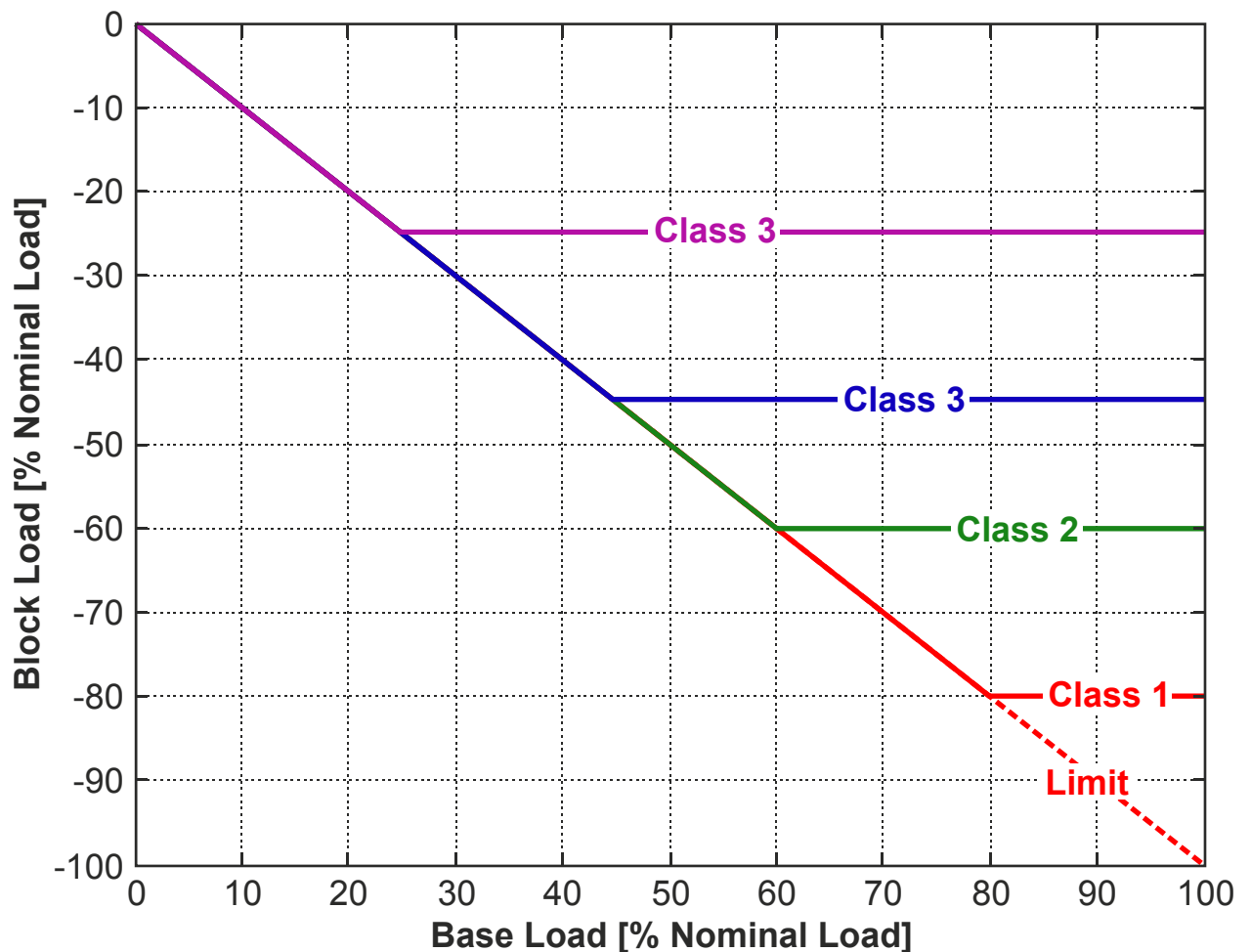


Abbildung 4. Lastabschalt diagram

9.2 Lastabwurf

Gasmotoren:

In der Regel kommt es beim Übergang vom Netzparallelbetrieb in den Inselbetrieb bzw. während des Inselbetriebs zu sprunghaften und aus Sicht des Aggregats unerwarteten Lastreduktionen. Aufgrund der effizienzoptimierten Turboladerauslegung kann es dabei zu Turboladerpumpen kommen. Für Motoren der Baureihe 6 gelten aktuell gesonderte Grenzwerte der Abschaltleistungen, siehe dazu **TA 2108-0026** Ablastschaltung.



TA 2108-0026 – Inselbetrieb von Gas-Otto-Motoren mit DIA.NE (Baureihe 6)

Dieselmotoren:

Dieselmotoren mit Common-Rail Einspritzung benötigen beim Übergang vom Netzparallelbetrieb in den Inselbetrieb bzw. während des Inselbetriebs keine Begrenzungen durch Lastabwurf. (100% Lastabwurf ohne Überdrehzahl ist erreichbar)

10 Planung und technische Möglichkeiten

Die Einstufung in eine der Ausführungsklassen (Kapitel \Rightarrow Auswertung Inselbetriebsperformance) ist von den im Inselbetrieb zu versorgenden Verbrauchern abhängig und damit vom Kunden vorzugeben. Daraus ergeben sich somit die maximal möglichen Lastschaltungen unter Einhaltung der spezifizierten Ausführungsklasse. Es ist daher wesentlich, dass bereits im Angebotsstadium und Planungsstadium eine genaue Abstimmung mit dem Kunden diesbezüglich erfolgt. Dabei sind Größe und Art der elektrischen Verbraucher sowie deren Anlaufeigenschaften und Betriebseigenschaften zu erfassen. Bei Antrieben mit Elektromotoren ist die Höhe der Anlaufwirkleistung relevant, da dies das effektive, an der Welle des Motors wirksame Drehmoment bestimmt. Das Drehmoment ist abhängig von der Art des Elektromotors und den Anlaufbedingung (Stern-Dreieck-Anlauf, Sanftanlauf, thyristorgesteuerte Antriebe, Schweranlauf, etc).

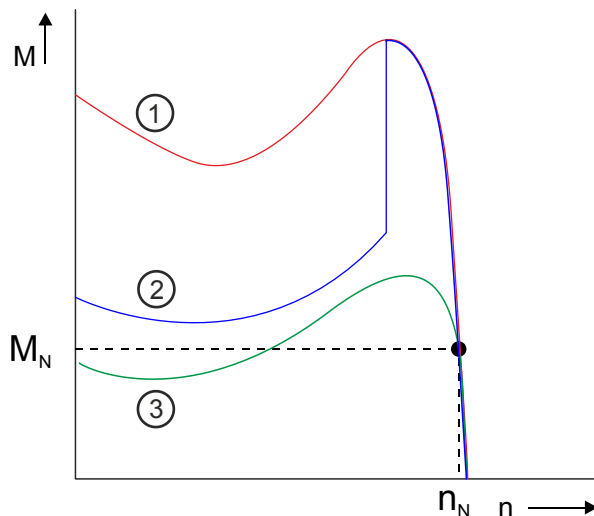


Abbildung 5. Drehmomentprofil bei Start von Elektromotoren

①	Direktstart
②	Stern-Dreieck-Start
③	Softstart

Gasaggregate

Es ist zu beachten, dass im Inselbetrieb die Leistungsaufnahme einzelner „rotierender“ Verbraucher mit vergleichsweise hohem Trägheitsmoment J (große Lüfter, Pumpen o.ä.) ca. 40% der Aggregatnennleistung nicht übersteigen darf. Außerdem ist darauf zu achten, dass der Startblindstrom von Elektromotoren ein vielfacher Wert vom Nominalwert ist. Dieser Prozentwert stellt einen Erfahrungswert dar, ab dem es zu dynamischen Wechselwirkungen zwischen dem Aggregat und dem Verbraucher kommen kann. Derartige Fälle bedürfen besonderer Maßnahmen, die durch Simulation bestimmt werden können. Hierbei finden Leistungsflussanalysen Anwendung, welche auf Sonderfreigabebasis und entsprechender Datenbereitstellung der Verbraucheranlage durch INNIO Jenbacher GmbH & Co OG erstellt werden können.

Beim Inselbetrieb mit mehreren Motoren ergibt sich oft die Situation, dass das erste Aggregat bereits Verbraucher versorgen muss während weitere Aggregate auf die Sammelschiene synchronisiert werden. In diesen Fällen ist unbedingt sicherzustellen, dass beim Synchronisiervorgang nur sehr geringe Laständerungen (max. 2 % der Aggregatnennlast) auftreten. Je häufiger derartige Laständerungen auftreten umso länger benötigt der Synchronisiervorgang.

Da der Verlauf von Strom und $\cos(\phi)$ von Verbrauchern Einfluss auf die Dynamik des Motors haben, sind diese bei Sonderanfragen vom Kunden einzuholen und an INNIO Jenbacher GmbH & Co OG zu kommunizieren.

Dieselaggregate

Bei Dieselaggregaten wird die Motordrehzahl durch die Kraftstoffeinspritzung stabilisiert und kann daher innerhalb einer kleinen Drehzahlbandbreite kontrolliert werden. (Absoluter Fehler < 5 U/min). Vollständige Synchronisierung kann daher nach wenigen Sekunden erreicht werden.

10.1 Speisung von unterbrechungslosen Stromversorgungs-Anlagen (USV-Anlagen)

Bei der Speisung von USV-Anlagen sollten unbedingt deren Eingriffsmöglichkeiten (z.B. gestaffelte Zuschaltung, rampenförmige Belastung) genutzt werden. Damit fallen Lastaufschaltungen in einer entschärften Form an und ergeben einen insgesamt günstigeren Lastverlauf für das Aggregat. Die max. zulässigen Spannungsabweichung und Frequenzabweichungen an der Eingangsseite der USV-Systeme sind üblicherweise mit engen Toleranzen vorgesehen. Dieser Umstand muss unbedingt berücksichtigt werden.

10.2 Parallelbetrieb mit USV-Anlagen

Aufgrund der unterschiedlichen Spannungsformen, wie auch unterschiedlicher dynamischer Eigenschaften (Frequenzregelung beim Aggregat arbeitet mit "rotierenden Massen", bei USV-Anlagen ist die Frequenzregelung trägeheitslos - Leistungselektronik) ist ein Parallelbetrieb mit Standard-Software nicht möglich. In solchen Fällen sind eine projektspezifische Abklärung sowie entsprechende Anpassungen notwendig.

10.3 Netzersatzzeit von 15 s gemäß DIN VDE 0100 Teil 710 bzw. Teil 718

Das Versorgen von Notstromverbrauchern gemäß obiger Norm innerhalb einer Zeit von 15 s ist für Jenbacher Gasmotoren der Baureihe 2, 3 und 4 möglich, muss aber projektspezifisch im Detail abgeklärt werden (Sonderfreigabe). Aufgrund der Auslegung der Hilfsbetriebe bei der Baureihe 6 ist das Versorgen Notstromverbrauchern generell nur unter projektspezifischer Abklärung möglich.

10.4 Sanftes Magnetisieren von Transformatoren

Müssen Transformatoren im Schwarzstartbetrieb hochgeschleppt werden, ist deren Schleppleistung zu beachten, um das Aggregat nicht zu überlasten. Als Richtwert sind Transformatoren mit einer **Nennleistung ab 2x Generatornennleistung** hochzuschleppen. Standardmäßig sollte jedoch die nachfolgende Vorgangsweise eingesetzt werden.

Bei sehr großen Inselbetriebslasten z. B. große Transformatoren, die aufgrund hoher Einschaltströme nicht direkt zuschaltbar sind, ist es möglich, diese sanft zu magnetisieren. Das Aggregat wird gestartet, der Generator entregt, der Generatorschalter zugeschaltet und dabei die Erregung wieder aktiviert. Bei diesem Vorgehen können auch Transformatorleistungen (=Summe aller verbundenen Transformatoren) in der Größenordnung der zehnfachen Generatorscheinleistung hochgeschleppt werden.

10.5 Schwarzstartbetrieb (Black-Start)

Im Fall eines Schwarzstarts ist die Anlage vollständig vom öffentlichen Elektrizitätsnetz getrennt. Der Gasmotor von INNIO Jenbacher ist in dieser Situation die primäre Antriebsmaschine und muss lediglich mit einer 24V DC Hilfsenergie aus den Starterbatterien den Motorstart gewährleisten und bei Nenndrehzahl den Generatorschalter schließen, um die kundenseitige Verbraucheranlage mit Spannung zu versorgen.

Ein Schwarzstart kann durch einen stehenden Motor (vorgewärmter Start) oder unmittelbar nach einer Motorabstellung (Warmstart) erfolgen.

10.6 Parallelbetrieb mehrerer Aggregate

In Bezug auf die verwendeten Generatoren ist darauf zu achten, dass eine definierte Blindlastverteilung mittels Spannungsstatik und identische Spannungsabsenkung mittels Spannungsknie gegeben sind. Weiters ist der Wicklungssehnungsfaktor bei verbundenen Generatorsternpunkten zu berücksichtigen. Ist dieser nicht identisch sind Sternpunktrosseln zu verwenden. Weiters ist es möglich, einen externen Spannungskorrekturwert (90-110% der Nennspannung) durch ein übergeordnetes Blindlastmanagementsystem vorzugehen.

Beim Parallelbetrieb von Jenbacher Aggregaten findet oft die so genannte Wirklastteilleitung Verwendung. Diese ermöglicht, eine gewünschte Lastaufteilung zwischen den einzelnen Aggregaten einzustellen. Im Fall unterschiedlicher Belastungen der Lastteilleitung ist der Einsatz von Messumformern zu prüfen. Darüber hinaus gibt es noch die Möglichkeit einer kontrollierten Lastaufteilung über P-Grad (Speed Droop) Regelung oder der Vorgabe eines externen Drehzahlsollwertoffsets durch eine übergeordnete Anlagensteuerung bzw. Stationssteuerung.

10.6.1 P-Grad (Drehzahlstatik bzw. Frequenzstatik, Speed drop)

In diesem Fall wird die Motordrehzahl mittels vorgegebener Geradensteilheit „Power-Gradient“ (speed droop) verändert, um einen gewünschten Prozentsatz (rampenlimitierte Vorgabe über Bus oder Analogeingang) der Nennlast als Insellast bereitzustellen. Durch Variation der Steilheit können belastungsstärkere Motoren (beispielsweise Diesellaggregate) stärker belastet werden. Zudem besteht die Möglichkeit den Schnittpunkt (droop offset) zwischen der Drehzahlstatik und der Nenndrehzahl mit Hilfe eines externen Signals (rampenlimitierte Vorgabe über Buseingang oder Analogeingang) zu variieren. Damit kann gewährleistet werden, dass der Inselverbund bei Nennlast mit der Nenndrehzahl operiert. Hier ist darauf zu achten, dass die Einstellungen des P-Grads keine nachträgliche Wirkung auf die Anlagedynamik (Frequenz und Spannung) vorweisen darf. Es ist zu beachten, dass auftretende Leistungsreduktionen am Motor zur Limitierung der externen Vorgabesignale führen.

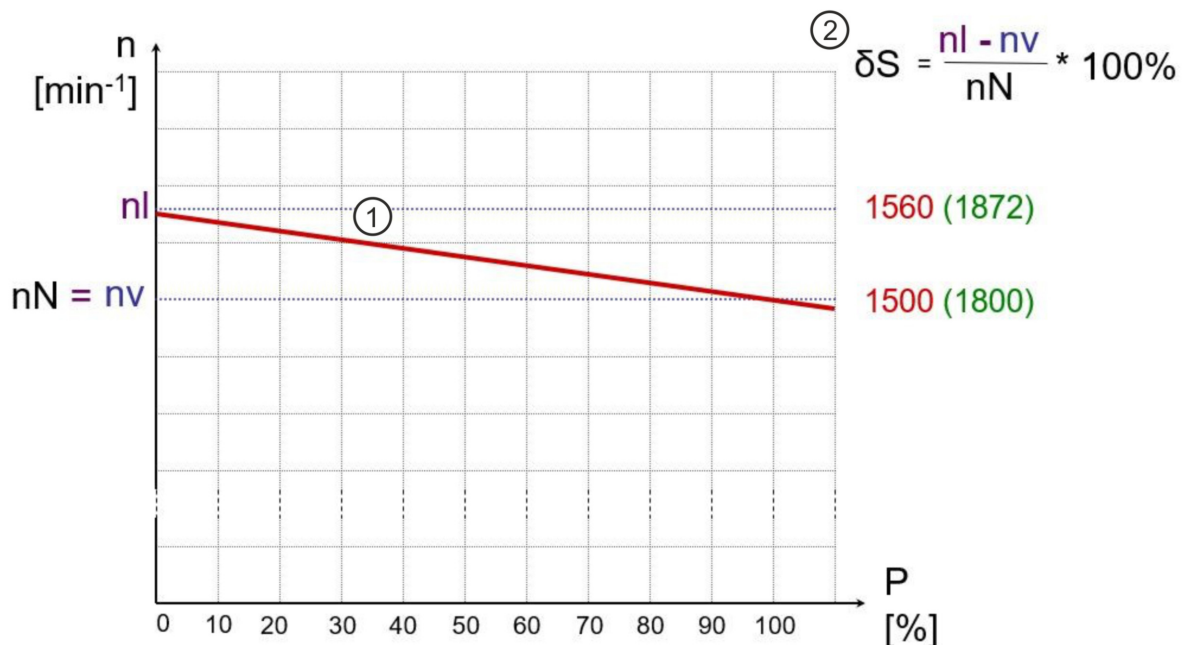


Abbildung 6. Drehzahlstatik

①	Drehzahlstatik mit 4% Steigung (δS)
②	Funktion Drehzahlstatik nl → Drehzahlsollwert bei Motorbetrieb ohne Last nv → Drehzahlsollwert im Volllastbetrieb

|nN → Motorenndrehzahl

10.6.2 Wirklastteilleitung (Isochronous Modus)

Bei der Standardausführung der INNIO Jenbacher Lastteilleitung wird an jedem Aggregat die erzeugte Leistung durch ein mA-Ausgangssignal ausgegeben und die mittlere Leistung aller Motoren durch einen mA-Eingang eingelesen. Beide Signale skalieren die 4...16 mA standardmäßig auf den Bereich 0...100% der Nominalleistung des jeweiligen Aggregates. Die Aufteilung zwischen den Motoren ist prozentanteilig einstellbar (Standardmäßig prozentuell Gleichverteilung). Beim Zuschalten und Wegschalten einzelner Motoren erfolgt die Belastung und Entlastung über eine zeitabhängige Rampe.

Bei der Umsetzung dieser Variante der Lastteilleitung an Anlagen mit Motoren unterschiedlicher Hersteller sind die teilweise unterschiedlichen Skalierungen und Eingangswiderstände der Eingänge und Ausgänge bei den verschiedenen Motorsteuerungen zu berücksichtigen. Es ist zu beachten, dass auftretende Leistungsreduktionen am Motor zu einer Beeinflussung der Lastaufteilung führen.

10.6.3 Blindlastteilleitung (Spannungsstatik, Voltage droop)

Die von den Verbrauchern benötigte Blindleistung wird im Falle von Mehrmotoranlagen durch gleichmäßige Verteilung auf die im Verbund laufenden Generatoren dargestellt. Die Aufteilung erfolgt mittels Einstellung der „Spannungsstatik“. Wesentlich ist dabei, dass alle Generatoren dieselben Einstellungen für Nennspannung, Spannungsstatik (typisch 3%), Spannungsknie (Ansprechpunkt, Steilheit, DWELL) sowie AVR Reaktionszeiten erhalten. Abweichende Einstellungen können zu Polschlupf und damit zu Generatorschäden führen. Alternativ kann ein externer Spannungskorrekturfaktor von einem Blindlastmanagementsystem vorgegeben werden. Dieser Wert wird im maximal zulässigen Bereich von 90-110% limitiert. Auch wird die maximal mögliche zeitliche Änderung des externen Vorgabewerts beschränkt

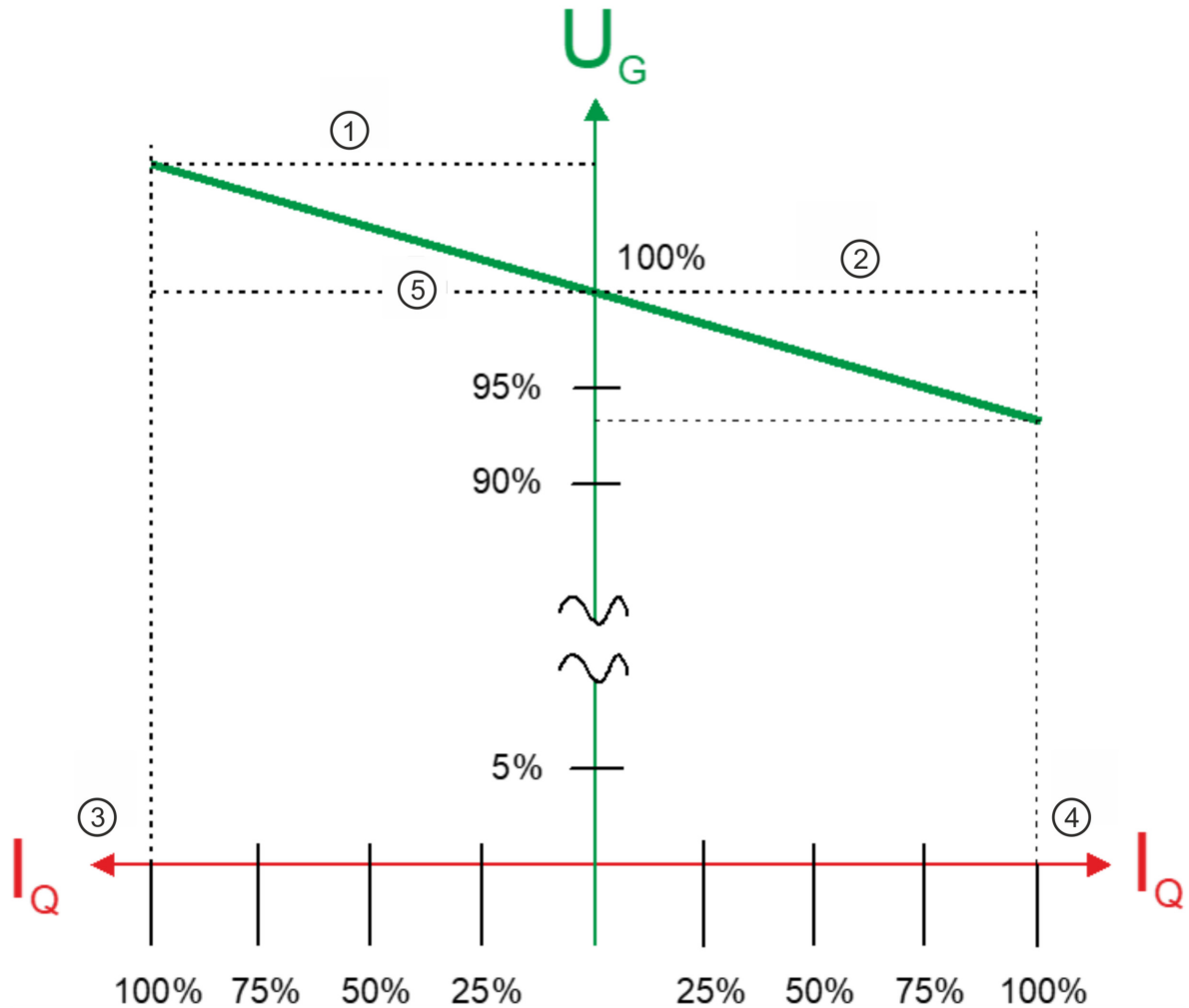


Abbildung 7. Blindlastteilung

①	Untereregter Generatorbetrieb	③	Übereregter Generatorbetrieb
②	Aufnahme	④	Abgabe
⑤	Spannungsstatik mit 6% Steigung (Standard 3%)		
U_G	Spannung Generator	I_Q	Generatorblindstrom (Blindleistung)

10.6.4 Lastmanagement

Wird ein Verbundnetz mit unterschiedlichen Arten von Energieerzeugern (Gasmotor, Dieselmotor, Gasturbine, Solarkraft, Windturbine, Wasserkraft bzw. Batterieunterstützung) oder zumindest mehreren gleichartigen Energieerzeugern umgesetzt, spricht man auch von einem Micro/Mini Grid. In solchen Fällen sind Netzsimulationen unabdingbar und Energiespeicheransätze hilfreich. Befinden sich konkrete Projekte in der Analysephase, sind als wesentliche Systemeingangsgrößen die Trägheiten der Teilsysteme, sowie die Übertragungsfunktionen für Motor, Regler und Generator zu beachten. Darauf basierend können obige Lastverbundansätze oder andere gewählt und simuliert werden. Auf besonders

stabile und leistungsstarke Grundenergieerzeuger, die sich im drehzahlgeregelten Betrieb befinden, besteht die Möglichkeit, leistungsschwächere Aggregate im leistungsgeregelten Betriebsmodus aufzuschalten.

Für diesen Fall soll die Faustregel für das **Verhältnis der Modulträgheiten von mindestens 2:1** angewandt werden. Falls die Anlage hohe technische Ansprüche erfüllen muss, muss die Dimensionierung durch Simulation untersucht und validiert werden.

Für die Anwendung einer übergeordneten Laststeuerung kann ein Eingang zur Anbindung eines externen Drehzahloffset-Vorgabewerts benutzt werden. Es ist zu beachten, dass auftretende Leistungsreduktionen am Motor zur Limitierung der externen Vorgabesignale führen. Die aktuell noch maximal zulässige Lasterhöhung für den einzelnen Motor wird als Ausgang der Motorsteuerung bereitgestellt. Hierbei werden sämtliche anstehenden Leistungsreduktionen mitberücksichtigt.

10.7 Besonders zu berücksichtigende Punkte

10.7.1 Informationen über Betriebszustand durch Schalterzustände – Verzögerungszeiten

Die Zuordnung des Motorbetriebszustandes erfolgt anhand der Schalterrückmeldungen von Generatorschalter und Netzschalter. Es gibt essentielle Betriebszustandsübergänge, bei denen eine möglichst schnelle Rückmeldung der Schalter notwendig ist, um die entsprechenden Reglerfunktionen zu aktivieren.

An einigen Feldanlagen bereitet genau diese unverzügliche Rückmeldung Schwierigkeiten. Es ist darauf zu achten, dass nur Niederspannungsschalter und Mittelspannungsschalter mit Eigenzeiten <60 ms eingesetzt werden. Werden diese Rückmeldungen noch zusätzlich über Relais oder übergeordnete Steuerungen (Software) geführt, kommen weitere unerwünschte Verzögerungszeiten hinzu. Bereits eine Verdoppelung der Schaltereigenzeit kann zu Motorabstellungen durch 'Überdrehzahl' beim Übergang vom Netzparallelbetrieb in den Inselbetrieb mit geringer Last führen. Aus diesem Grund müssen Schalterrückmeldungen stets direkt der Modulsteuerung zur Verfügung gestellt werden.

10.7.2 Unbekannte Lastverhältnisse des Kunden – kapazitive Lasten

Ist das Verhältnis von kapazitiven zu induktiven Lasten (beispielsweise im unteren Lastbereich, wenn alle Kompensationsanlagen zugeschaltet sind) sehr groß, kann dies zu unerwartet großen Generatorbelastungen, zu Polschlupf und zu Generatorschäden führen. Es ist daher sicherzustellen, dass der Generator immer im induktiven Bereich betrieben wird. *Worst-case* Szenarien können mittels Netzstabilitätsanalyse untersucht werden.

10.7.3 Netzbezugsregelung

Wird am Einspeisepunkt die aktuell benötigte Leistung der zu versorgenden Anlage erfasst kann aus finanzieller und technischer Sicht eine Netzbezugsregelung sinnvoll sein. Dabei wird die erfasste Leistung durch den Verbrennungskraftmotor bis auf eine gewisse notwendige Differenz bereitgestellt, im Übergang von Netz- auf Inselbetrieb ergibt sich dadurch ein besonders sanftes (stoßfreies) Übergangsverhalten.

10.7.4 Hilfsbetriebe

Für den Ersatzstrombetrieb wird bei Baureihe 6 und 9 Motoren keine Spülung des Abgastraktes durchgeführt.

In diesem Fall wird die maximale Zeit von Anforderung Ersatzstrombetrieb bis zum Beginn des Motorstartes (Motor dreht sich) vor allem durch die baureihenabhängige Dauer der Vorschmierung bestimmt.

11 Randbedingungen

11.1 Motornennlast

Die jeweilige Nennlast der Motorversion ist aus dem Produktprogramm zu entnehmen und entsprechend den zutreffenden Abminderungsdiagrammen zu korrigieren. Daraus resultiert die eigentliche 100% Nominallast, welche in den Lastdiagrammen als Bezugsgröße herangezogen wird.

Leistungsgesteigerte Versionen werden im Inselbetrieb mit ihrer ursprünglichen Nennlast betrieben.

Weiteres sind für Aggregate mit Mehrgas- oder Mischgasbetrieb nur die der verwendeten Gasart entsprechenden Nennlasten zulässig.

11.2 Emissionen Gasmotoren

Der Inselbetrieb erfolgt mit aktiver Emissionsregelung bei einer definierten Abgasemission von 500mg/Nm³ @5%O₂ NO_x unabhängig von den geforderten Emissionen im Netzparallelbetrieb. Durch Parameter der Motorsteuerung wird es ermöglicht, dass beim Übergang in den Inselbetrieb eine automatische Umschaltung auf höhere Emissionen erfolgt. Dies bringt im gesamten Leistungsbereich eine etwas bessere Regelqualität, erhöhte Aufschaltfähigkeiten und Verfügbarkeitssteigerung. Die Umschaltung ist parametrierbar, jedoch nicht zwingend.

Sollen die Emissionen unterhalb dem oben genannten Wert gehalten werden, z.B. 250mg/Nm³ @5%O₂ NO_x, ist eine Sonderfreigabe notwendig.

11.3 Emissionen Dieselmotoren

Dieselmotoren verfolgen im Netzparallelbetrieb sowie im Inselmodus dieselben Emissionsziele. Diese entsprechen den World-Bank Abgasemissionswerten für stationäre Aggregate, d.h. maximal 1460 mg/m³ NO_x. Die Steuertabellen werden offline eingestellt um die vorgegebenen Emissionsziele zu erreichen.

11.4 Gemischkühlwassertemperatur, Gemischtemperatur

Die Lastschaltdiagramme gelten für eine Gemischtemperatur entsprechend Produktprogramm. Die Absenkung der Gemischtemperatur bringt eine erhöhte Aufschaltfähigkeit und damit eine Verfügbarkeitssteigerung.

11.5 Zündzeitpunkt/Einspritz-Timing

Gasmotoren

Der Zündzeitpunkt im Inselbetrieb wird um 2° geringer gewählt als im Netzparallelbetrieb. Die Lastschaltdiagramme gelten mit dem Zündzeitpunkt entsprechend den Defaultparameterwerten.

Dieselmotoren

Bei Dieselmotoren ist der Zündzeitpunkt vergleichbar mit dem Einspritz-Timing.

11.6 Ansaugtemperatur

Die Lastschaltdiagramme gelten für Ansaugtemperaturen entsprechend Produktprogramm. Eine Verringerung der Ansaugtemperatur bringt eine Verbesserung der Aufschaltfähigkeit mit sich.

11.7 Abgasgegendruck

Die Lastschaltdiagramme gelten für einen Maximalwert des Abgasgegendrucks von 60mbar. Ein geringerer Abgasgegendruck führt zu verbessertem Aufschaltverhalten.

11.8 Inselbetrieb mit Biogas / Deponiegas und Klärgas

Die Verwendung von Biogas / Deponiegas und Klärgas für den Inselbetrieb bedarf für die Baureihen 2, 3 und 4 keiner Sonderfreigabe. Module im Zweigasbetrieb bedürfen einer projektspezifischen Abklärung wegen dem Energieinhalt des Gases. Mischgasbetrieb und Gasartenumschaltung während des Inselbetriebs erfordern eine Sonderfreigabe.

Beim Übergang von Netzparallel auf Inselbetrieb ist besonders sicherzustellen, dass die Anforderungen an konstanten Gasdruck und Qualität sichergestellt sind (TA 1000-0300).

Für den Schwarzstartfall ist die Versorgung des Gasverdichters durch eine externe Einspeisung sicherzustellen.

Der Einsatz von Gasmotoren im Inselbetrieb mit Nichterdgas für lebenserhaltende Systeme ist aufgrund der Unsicherheit in der Gasversorgung nicht erlaubt!

11.9 Gasversorgung

Für entsprechendes Betriebsverhalten der Aggregate ist gleichmäßige Qualität und konstanter Versorgungsdruck des Treibgases sicherzustellen (TA 1000-0300).

Zur Gewährleistung der Schwarzstartfähigkeit des Moduls muss eine geeignete Gasqualität unter ausreichendem Gasdruck sichergestellt werden. Hierbei muss auch auf eine unterbrechungsfreie Spannungsversorgung der vorgelagerten Hauptgasventile geachtet werden. Bei Motoren der Baureihe 6 mit Vorkammer wird die Freigabe für den Schwarzstart im Produktprogramm (ab 2012) angegeben, da eine Vorschmierung und der Antrieb einer Vordruckpumpe erforderlich sind.

Für Mehrgasbetrieb sollte daher für Inselbetrieb jenes Gas mit bester Verfügbarkeit vorgesehen werden.

11.10 Dieselversorgung

Für entsprechendes Betriebsverhalten der Aggregate ist die Versorgung mit geeignetem Dieseldieselkraftstoff innerhalb der vorgegebenen Grenzwerte sicherzustellen (TA 1000-0001).

Dies Schwarzstartfähigkeiten des Moduls kann nur unter der Voraussetzung geeigneter Dieseldieselkraftstoffqualität gewährleistet werden.

11.11 Generator

Um bei Lastaufschaltungen den Drehzahleinbruch innerhalb der für die Regelklasse zulässigen Grenzwerte zu halten, wird die Generatorspannung gezielt durch das „Generatorspannungsknie“ dynamisch abgesenkt. Für Mehrmotorenanlagen ist besonders darauf zu achten, dass diese Einstellungen an allen Aggregaten identisch ausgeführt ist.

Die Einstellung des Generatorspannungsknies (Startpunkt und Steilheit) ist gemäß Norm ISO 8528-5 festgelegt. Es werden für INNIO Jenbacher GmbH & Co OG folgende Einstellpunkte angewandt.

Übliche Einstellungen anhand zweier Aggregate mit unterschiedlicher Nenndrehzahl

1500 min ⁻¹ GenSet	1800 min ⁻¹ GenSet	
1500 – 1470 min ⁻¹	1800 – 1764 min ⁻¹	Nennspannung
1370 min ⁻¹	1644 min ⁻¹	0.9 x Nennspannung

Nachfolgende Darstellung zur Veranschaulichung des Spannungsknies.

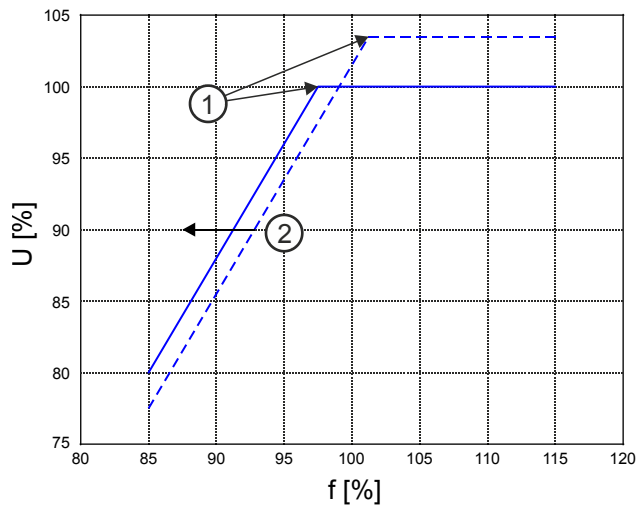


Abbildung 8. Frequenz-Spannung-Kennlinie

U [%]	Spannung [% Nennwert]	①	Spannungsknie
f [%]	Frequenz [% Nennwert]	②	Steigung

Um die Motorstabilität zu erhöhen ist es in Abstimmung mit den Verbrauchern möglich das Spannungsknie über 100% der Nenndrehzahl anzusetzen (gestrichelte Linie).

12 Anhang A. Kennwerte zur Auswertung der Performance im Inselbetrieb

A.1. Generatorfrequenz

Sowohl die statischen als auch die dynamischen Frequenzkennwerte werden vom gesamten Regelkreis (Motorregelung, AVR, Motorverhalten, Massenträgheitsmoment, etc.) beeinflusst.

In der Abbildung 9 sind die relevanten Parameter zur Auswertung des stationären und nicht-stationären Frequenzverhaltens eines Aggregats gemäß ISO 8528-5: zu finden. Dabei wird das Frequenzverhalten nach jeweils einem positiven und einem negativen Sprung des Frequenzsollwerts (speed droop) dargestellt. Die Kennwerte können in der Tabelle 2 entnommen werden.

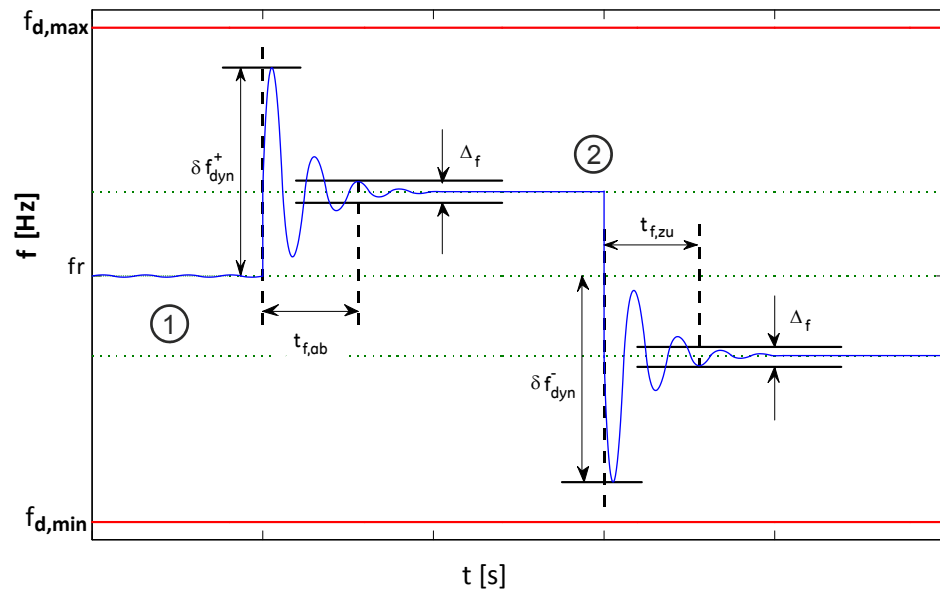


Abbildung 9. Frequenzregelverhalten

f Frequenz	t Zeit
① Lastabwurf	② Lastaufschaltung

Parameter	Symbol	Einheit	Beschreibung
Bandbreite der Frequenzabweichung für die Bestimmung der Ausregelzeit	α_f	%	Frequenzband um die Beharrungsfrequenz, in das nach einer Leistungszu- oder -abschaltung die Frequenz innerhalb einer vorgegeben Ausregelzeit bleibend eintritt, ausgedrückt in Prozent der Nennfrequenz. $\alpha_f = \frac{\Delta_f}{f_r} \times 100$
Stationäre Frequenzbandbreite	β_f	%	Bereich der um einen stationären Mittelwert auftretenden Frequenzschwingung bei konstanter Leistung, ausgedrückt in Prozent der Nennfrequenz.
Unterschwingungsfrequenz	$f_{d,min}$	Hz	Minimale zulässige Frequenzabweichung, nach einer plötzlichen Lastzuschaltung.
Überschwingungsfrequenz	$f_{d,max}$	Hz	Maximale zulässige Frequenzabweichung nach einer plötzlichen Lastabschaltung.
Dynamische (vorübergehende) Frequenzabweichung (ausgehend von Netzfrequenz) nach einer Lastzuschaltung	δf_{dyn}	%	Vorübergehende, beim Ausregelvorgang nach einer plötzlichen Lastzuschaltung auftretenden Frequenzdifferenz zwischen Unterschwingfrequenz und Nennfrequenz, ausgedrückt in Prozent der Nennfrequenz. Die dynamische Frequenzabweichung darf die zulässige Frequenztoleranz nicht überschreiten.

Dynamische (vorübergehende) Frequenzabweichung (ausgehend von Netzfrequenz) nach einer Lastabschaltung	δf_{dyn}^+	%	Vorübergehende, beim Ausregelvorgang nach einer plötzlichen Lastabschaltung auftretenden Frequenzdifferenz zwischen Überschwingfrequenz und Nennfrequenz, ausgedrückt in Prozent der Nennfrequenz. Die dynamische Frequenzabweichung darf die zulässige Frequenztoleranz nicht überschreiten.
Frequenzausregelzeit nach einer Lastzuschaltung	$t_{f,\text{zu}}$	s	Zeit zwischen der plötzlichen Lastzuschaltung und dem bleibenden Eintritt der Frequenz in das stationäre Toleranzband.
Frequenzausregelzeit nach einer Lastabschaltung	$t_{f,\text{ab}}$	s	Zeit zwischen der plötzlichen Lastabschaltung und dem bleibenden Eintritt der Frequenz in das stationäre Toleranzband.

A.2. Generatorspannung

Das Spannungsverhalten des Aggregats wird im Wesentlichen vom Spannungsverhalten des Generators und gegebenenfalls des Spannungsreglers beeinflusst. Einfluss auf das statische Verhalten und insbesondere das dynamische Verhalten im Nennbereich haben auch das statische und dynamische Frequenzverhalten des Aggregats. Dies ist damit auch von der individuellen Auslegung des Aggregats abhängig. Abbildung 9 stellt die Grenzwerte für die Spannung nach jeweils einem positiven und einem negativen Sprung des Spannungssollwerts (Voltage droop) dar.

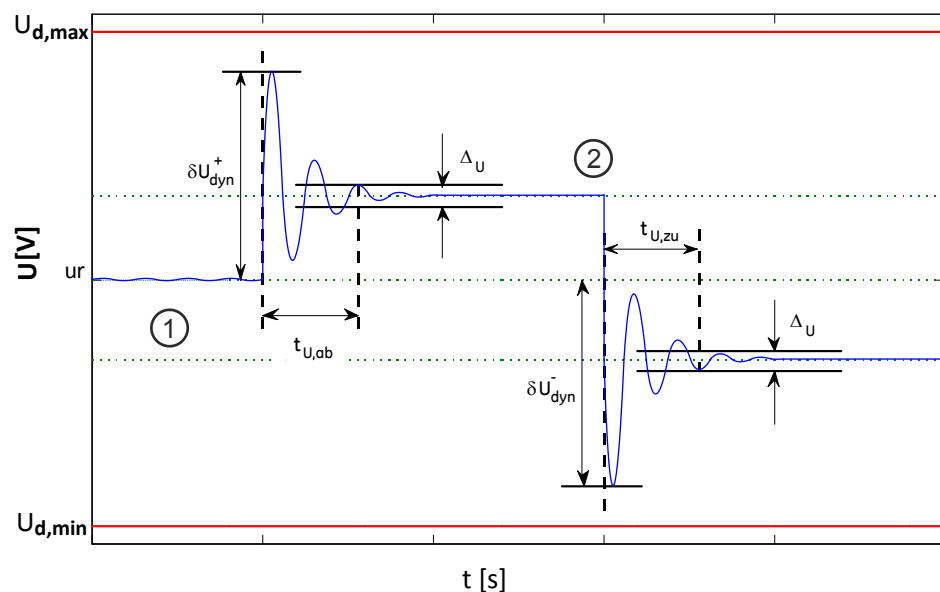


Abbildung 9. Spannungsausregelverhalten

U Spannung	t Zeit
① Lastabwurf	② Lastaufschaltung

Bandbreite der Spannungsabweichung für die Bestimmung der Ausregelzeit	ΔU	V	<p>Frequenzband um die Beharrungsspannung, in das nach einer Leistungszu- oder -abschaltung die Klemmerspannung innerhalb einer vorgegeben Ausregelzeit bleibend eintritt, ausgedrückt in Volt.</p> $\Delta U = 2\delta U_{st} \times \frac{U_r}{100}$
Statische Spannungsabweichung	δU_{st}	%	<p>Maximale Abweichung der Spannung von der Nennspannung nach Abklingen dynamischer Vorgänge im Bereich vom Leerlauf bis Nennleistung, unter Berücksichtigung des Erwärmungseinflusses und des Frequenzverhaltens des Aggregates.</p> <p>Die statische Spannungsabweichung wird in Prozent der Nennspannung ausgedrückt:</p> $\delta U_{st} = \pm \frac{U_{st,max} - U_{st,min}}{2U_r} \times 100$
Unterschwingungsspannung	$U_{d,min}$	V	Minimale zulässige Spannungsabweichung, die nach einer plötzlichen Lastzuschaltung auftritt.
Überschwingungsspannung	$U_{d,max}$	V	Maximale zulässige Spannungsabweichung, die nach einer plötzlichen Lastabschaltung auftritt.
Dynamische (vorübergehende) Spannungsabweichung (nach einer Lastzuschaltung)	δU_{dyn}^-	%	Differenz zwischen minimalem Scheitelwert der Klemmerspannung nach plötzlichem Lastzuschalten und dem Scheitelwert der Nennspannung, bezogen auf den Scheitelwert der Nennspannung. Sie wird im Prozent der Nennspannung angegeben.
Dynamische (vorübergehende) Spannungsabweichung (nach einer Lastabschaltung)	δU_{dyn}^+	%	Differenz zwischen minimalem Scheitelwert der Klemmerspannung nach plötzlichem Lastabschalten und dem Scheitelwert der Nennspannung, bezogen auf den Scheitelwert der Nennspannung. Sie wird im Prozent der Nennspannung angegeben.
Spannungsausregelzeit nach einer Lastzuschaltung	$t_{U,zu}$	s	<p>Zeit zwischen plötzlicher Lastzuschaltung und dem Wiedereintritt sowie dem Verbleiben der Klemmerspannung innerhalb der statischen Spannungsabweichung unter Berücksichtigung der Frequenzausregelzeit.</p> <p>Anmerkung: Von Einfluss ist die Größe und der zeitliche Verlauf der dynamischen Drehzahländerung des Motors.</p>
Spannungsausregelzeit nach einer Lastabschaltung	$t_{U,ab}$	s	<p>Zeit zwischen plötzlicher Lastabschaltung und dem Wiedereintritt sowie dem Verbleiben der Klemmerspannung innerhalb der statischen Spannungsabweichung unter Berücksichtigung der Frequenzausregelzeit.</p> <p>Anmerkung: Von Einfluss ist die Größe und der zeitliche Verlauf der dynamischen Drehzahländerung des Motors.</p>

13 Revisionsvermerk

Revisionsverlauf

Index	Datum	Beschreibung / Änderungszusammenfassung	Experte Prüfer
-------	-------	---	-------------------

Revisionsverlauf

6	31.07.2019	Generelle Überarbeitung aufgrund der Einführung der Gen2 Inselregelung / General adoption due to the introduction of Gen2 island operation	Mayer R. <i>Kopecek H.</i>
5	15.04.2019	GE durch INNIO ersetzt / GE replaced by INNIO	Opoku <i>Pichler R.</i>
4	19.12.2014	Anpassung an Diesel / Adaption to Diesel	Bacher/Attia <i>Hirzinger-Unterrainer</i>
3	05.03.2012	Überarbeitung / revision	Bilek <i>Graus</i>
2	16.02.2011	Komplette Überarbeitung / complete revision	Provin <i>Samiento</i>

