

Technische Beschreibung

Inertia Emulation

ENERCON Windenergieanlage

Herausgeber ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Deutschland
Telefon: +49 4941 927-0 ▪ Telefax: +49 4941 927-109
E-Mail: info@enercon.de ▪ Internet: http://www.enercon.de
Geschäftsführer: Hans-Dieter Kettwig, Simon-Hermann Wobben
Zuständiges Amtsgericht: Aurich ▪ Handelsregisternummer: HRB 411
Ust.Id.-Nr.: DE 181 977 360

Urheberrechtshinweis Die Inhalte dieses Dokuments sind urheberrechtlich sowie hinsichtlich der sonstigen geistigen Eigentumsrechte durch nationale und internationale Gesetze und Verträge geschützt. Die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments liegen bei der ENERCON GmbH, sofern und soweit nicht ausdrücklich ein anderer Inhaber angegeben oder offensichtlich erkennbar ist.

Die ENERCON GmbH räumt dem Verwender das Recht ein, zu Informationszwecken für den eigenen, rein unternehmensinternen Gebrauch Kopien und Abschriften dieses Dokuments zu erstellen; weitergehende Nutzungsrechte werden dem Verwender durch die Bereitstellung dieses Dokuments nicht eingeräumt. Jegliche sonstige Vervielfältigung, Veränderung, Verbreitung, Veröffentlichung, Weitergabe, Überlassung an Dritte und/oder Verwertung der Inhalte dieses Dokuments ist – auch auszugsweise – ohne vorherige, ausdrückliche und schriftliche Zustimmung der ENERCON GmbH untersagt, sofern und soweit nicht zwingende gesetzliche Vorschriften ein Solches gestatten.

Dem Verwender ist es untersagt, für das in diesem Dokument wiedergegebene Know-how oder Teile davon gewerbliche Schutzrechte gleich welcher Art anzumelden.

Sofern und soweit die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments nicht bei der ENERCON GmbH liegen, hat der Verwender die Nutzungsbestimmungen des jeweiligen Rechteinhabers zu beachten.

Geschützte Marken Alle in diesem Dokument ggf. genannten Marken- und Warenzeichen sind geistiges Eigentum der jeweiligen eingetragenen Inhaber; die Bestimmungen des anwendbaren Kennzeichen- und Markenrechts gelten uneingeschränkt.

Änderungsvorbehalt Die ENERCON GmbH behält sich vor, dieses Dokument und den darin beschriebenen Gegenstand jederzeit ohne Vorankündigung zu ändern, insbesondere zu verbessern und zu erweitern, sofern und soweit vertragliche Vereinbarungen oder gesetzliche Vorgaben dem nicht entgegenstehen.

Dokumentinformation

Dokument-ID	D0608480-0		
Vermerk	Originaldokument		
Datum	Sprache	DCC	Werk / Abteilung
2019-05-29	de	DA	WRD Management Support GmbH / Technische Redaktion

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Zeitliche Abfolge der Inertia Emulation	5
3	Frequenzbänder	7
3.1	Toleranzband	7
3.2	Kontrollband	7
3.3	Unteres Frequenzband	7
4	Wirkleistungsverhalten	8
4.1	Wirkleistungssteigerung mit konstantem Sollwert	8
4.2	Wirkleistungssteigerung mit variablem Sollwert	10
5	Parameter	11

1 Einleitung

Mit der Inertia Emulation können ENERCON Windenergieanlagen bei einem Einbruch der Netzfrequenz einen Beitrag zur Stabilisierung und Versorgungssicherheit des Netzes leisten. Die Stabilisierung wird durch eine kontrollierte, kurzzeitige Wirkleistungssteigerung erreicht.

Die Inertia Emulation wird zusammen mit der FACTS-Steuerung (FACTS 1.1 und FACTS 2.0) bei ENERCON Windenergieanlagen eingesetzt, um zusätzliche Leistung zur Stützung der Netzfrequenz zur Verfügung zu stellen. Die Inertia Emulation ermöglicht eine kurzfristige Wirkleistungssteigerung von beispielsweise 10 % der Nennleistung zum Zeitpunkt des Frequenzeinbruchs. Diese zusätzliche temporäre Leistung wird aus der Rotationsenergie des Rotors bezogen. Die Wirkleistung wird nach einem Frequenzeinbruch wieder an die Sollwirkleistung zurückgeführt.

Die Funktion Inertia Emulation kann mit der Massenträgheit konventioneller Kraftwerke verglichen werden. Konventionelle Kraftwerke tragen durch die Freisetzung von Rotationsenergie der laufenden Turbinen und Generatoren einen großen Teil zur schnellen Leistungsreserve bei Frequenzstörungen bei.

2 Zeitliche Abfolge der Inertia Emulation

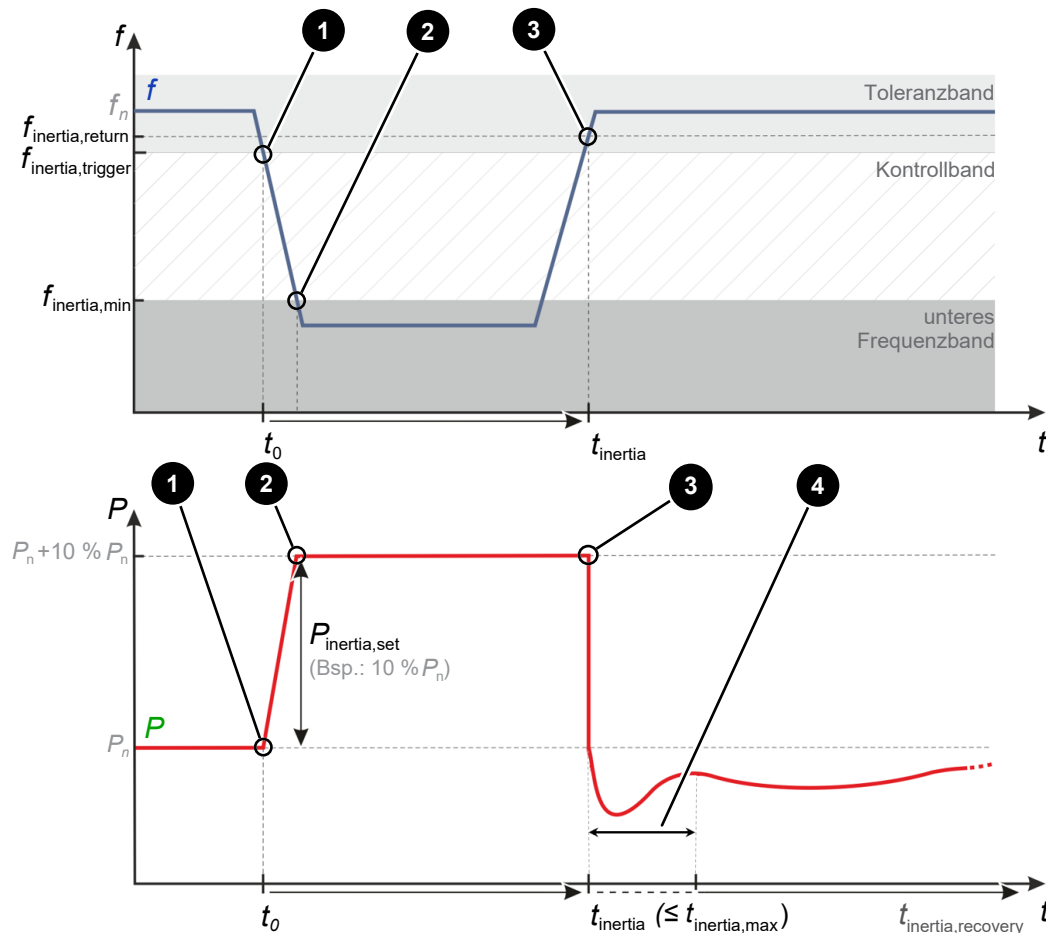


Abb. 1: Wirkleistungssteigerung in Abhängigkeit von der Netzfrequenz

1	Beginn der Leistungssteigerung	2	Ende der Leistungssteigerung
3	Leistungsrückführung	4	Pausenzeit

Die Wirkleistungssteigerung wird aktiviert, sobald die gemessene Netzfrequenz den Grenzwert $f_{inertia,trigger}$ unterschreitet. Die Wirkleistungssteigerung ist nach etwa 0,5 s bis 1 s abgeschlossen und die maximale Wirkleistung ist erreicht. Um den Wirkleistungsanstieg zu beschleunigen, kann der Parameter *Trägheits-Boost* aktiviert werden, der eine direkte Erhöhung des Erregerstroms des Generators während der ersten 300 ms nach Auslösen der Wirkleistungssteigerung ermöglicht.

Die zusätzliche Wirkleistung wird maximal für eine einstellbare Trägheitszeit $t_{inertia,max}$ aufrechterhalten.

Überschreitet die Frequenz den Grenzwert des Parameters *Trägheits-Rückkehrfrequenz* $f_{inertia,return}$ während der Wirkleistungssteigerung, wird die Inertia Emulation beendet und der Leistungssollwert kehrt nach der Erholungszeit auf den zur Drehzahl gehörenden Sollwert zurück.

Die zusätzliche Wirkleistung wird nach Ablauf der maximalen Trägheitszeit $t_{inertia,max}$ zurückgesetzt und die Wirkleistung fällt auf einen niedrigeren Wirkleistungssollwert. Durch die zusätzliche Leistungsentnahme während der Dauer der Inertia Emulation kann die eingespeiste Wirkleistung geringer sein als vor dem Frequenzeinbruch. Die Rückführung der Wirkleistung auf den zur aktuellen Drehzahl gehörenden Sollwert erfolgt innerhalb der Erholzeit $t_{inertia,recovery}$.

Die Aktivierung der Wirkleistungsrückführung kann mittels einer Pausenzeit $t_{\text{inertia, recovery delay}}$ verschoben werden. Ist eine Pausenzeit $t_{\text{inertia, recovery delay}}$ eingestellt, wird nach Ablauf der maximalen Trägheitszeit $t_{\text{inertia, max}}$ der Leistungssollwert so geregelt, dass die Drehzahl der Windenergieanlage konstant gehalten wird. Nach Ablauf der Pausenzeit beginnt die Erholzeit $t_{\text{inertia, recovery}}$ und die Wirkleistung sowie die Drehzahl werden auf den zur aktuellen Windgeschwindigkeit passenden Wirkleistungssollwert zurückgeführt.

Solange die Netzfrequenz unterhalb des Grenzwerts $f_{\text{inertia, return}}$ bleibt, wird keine erneute Wirkleistungssteigerung gestartet. Eine weitere Wirkleistungssteigerung ist möglich, sobald die Frequenz den Grenzwert $f_{\text{inertia, return}}$ überschritten hat und die Erholzeit $t_{\text{inertia, recovery}}$ abgelaufen ist.

3 Frequenzbänder

3.1 Toleranzband

Damit die Inertia Emulation nur bei definierten Frequenzeinbrüchen reagiert, kann der Bereich des Toleranzbands durch den Parameter *Trägheits-Trigger-Frequenz* $f_{\text{inertia,trigger}}$ festgelegt werden. Die Festlegung erfolgt gemäß den Anforderungen der Netzbetreiber.

Frequenzen über dem Wert *Trägheits-Trigger-Frequenz* $f_{\text{inertia,trigger}}$ sind für die Auslösung der Inertia Emulation nicht relevant.

3.2 Kontrollband

Das Kontrollband reicht von der Trägheits-Trigger-Frequenz $f_{\text{inertia,trigger}}$ bis zur Trägheits-Minimal-Frequenz $f_{\text{inertia,min}}$. Sinkt die Frequenz unter den Grenzwert der Trägheits-Trigger-Frequenz $f_{\text{inertia,trigger}}$, wird die Inertia Emulation ausgelöst.

Die Höhe der zusätzlichen Wirkleistung bei Betrieb innerhalb des Kontrollbands hängt von der aktuell gemessenen Netzfrequenz, der Breite des Kontrollbands und dem eingestellten Faktor der Sollwertsteigerung $P_{\text{inertia,set}}$ ab.

Parameter *Trägheitsfaktor halten* deaktiviert

Der Betrag der zusätzlichen Wirkleistung ergibt sich aus der aktuellen Netzfrequenz sowie der linearen Abhängigkeit zwischen der Breite des Kontrollbands und dem eingestellten Faktor der *Sollwertsteigerung* $P_{\text{inertia,set}}$. Innerhalb des Kontrollbands wird der Leistungssollwert bei abfallender Frequenz linear erhöht. Maßgebend ist die folgende Gleichung:

$$P_{\text{inertia}} = \frac{f_{\text{inertia,trigger}} - f_{\text{actual}}}{f_{\text{inertia,trigger}} - f_{\text{inertia,min}}} P_{\text{inertia,set}}$$

Parameter *Trägheitsfaktor halten* aktiviert

Bei Aktivierung des Parameters *Trägheitsfaktor halten* kommt es unmittelbar nach Unterschreitung des Grenzwerts der Trägheits-Trigger-Frequenz $f_{\text{inertia,trigger}}$ zur sofortigen Wirkleistungssteigerung auf den maximalen Wert des Trägheitsfaktors $P_{\text{inertia,set}}$. Die Wirkleistungssteigerung wird während der Dauer der Inertia Emulation konstant auf dem Trägheitsfaktor gehalten.

Die maximale Wirkleistungssteigerung ist unabhängig davon, ob der Frequenzeinbruch den unteren Frequenzbereich durch Unterschreitung des Parameters *Trägheits-Min-Frequenz* $f_{\text{inertia,min}}$ erreicht.

Der Betrag der zusätzlichen Wirkleistung ergibt sich bei Betrieb im Kontrollband aus dem eingestellten Faktor der Sollwertsteigerung $P_{\text{inertia,set}}$.

3.3 Unteres Frequenzband

Unterschreitet die Frequenz den Parameter *Trägheits-Min-Frequenz* $f_{\text{inertia,min}}$, entspricht der Sollwert der Wirkleistungssteigerung dem Trägheitsfaktor $P_{\text{inertia,set}}$.

4 Wirkleistungsverhalten

Das Verhalten der Wirkleistungssteigerung bei einem Frequenzeinbruch ist abhängig von den vorherrschenden Windgeschwindigkeiten. Bei Veränderung der Windverhältnisse während der Dauer der Inertia Emulation kann sich das Wirkleistungsverhalten ändern. Es ist möglich, dass bei ungünstigen Windverhältnissen die eingestellte Wirkleistungssteigerung nicht über die eingestellte Dauer beibehalten werden kann.

Die Erhöhung des Wirkleistungssollwerts kann dazu führen, dass die maximal mögliche Scheinleistung der Windenergieanlage erreicht wird und eine Begrenzung der Leistungssteigerung erforderlich ist. Bei Bedarf wird die Blindleistung durch Priorisierung der Wirkleistung während der Inertia Emulation begrenzt.

Speist die Windenergieanlage bei einem Frequenzeinbruch eine Wirkleistung von unter 25 % von P_n in das Netz ein, kann dies dazu führen, dass während der Inertia Emulation nicht die maximale zusätzliche Wirkleistung innerhalb der geforderten Zeit eingespeist wird.

Nach Beenden der Inertia Emulation wird die Wirkleistungssteigerung $P_{\text{inertia,set}}$ auf Null zurückgeführt. Aufgrund der Reduzierung der Drehzahl durch die zusätzliche Leistungsentnahme während der Inertia Emulation, wird die eingespeiste Wirkleistung in diesem Moment geringer als zu Beginn der Inertia Emulation sein.

Die Rückführung der Wirkleistungseinspeisung erfolgt unter Zuhilfenahme einer errechneten aktuellen Windleistung innerhalb von einer Minute nach Ende der Leistungssteigerung.

Bei einer Windgeschwindigkeit (v) oberhalb der Nennwindgeschwindigkeit kommt es während der Dauer der Inertia Emulation weder zu einem Drehzahleinbruch noch zu einem Leistungseinbruch. Der Rotor behält seine Drehzahl bei, indem er den Blattwinkel entsprechend regelt. Somit ist eine Rückführung auf die zur aktuellen Windgeschwindigkeit gehörende Drehzahl nicht mehr notwendig.

4.1 Wirkleistungssteigerung mit konstantem Sollwert

Bei der Wirkleistungssteigerung mit konstantem Sollwert wird die aktuell verfügbare Wirkleistung P_{actual} zum Zeitpunkt der Aktivierung der Inertia Emulation (t_0) um eine vordefinierte Wirkleistungssteigerung $P_{\text{inertia,set}}$ (z. B. 10 % der Nennleistung P_n) erhöht. Die erhöhte Wirkleistung zum Zeitpunkt t_0 wird bis zum Ende der Inertia Emulation konstant beibehalten.

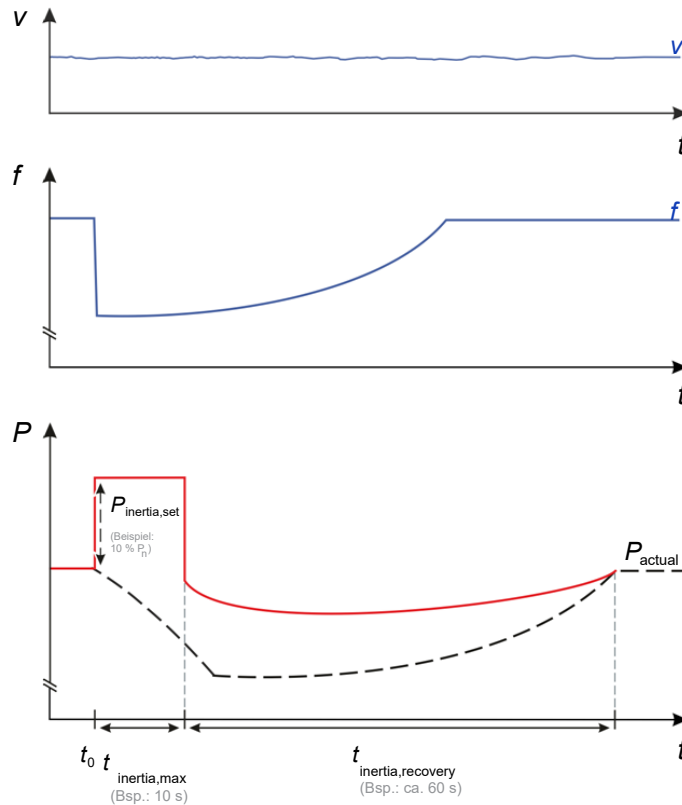


Abb. 2: Wirkleistungsverhalten bei Wirkleistungssteigerung mit konstantem Sollwert

Der Sollwert setzt sich während der Dauer der Inertia Emulation aus der Wirkleistung zum Zeitpunkt t_0 und einer prozentualen Steigerung bezogen auf die Trägheits-Faktorbasis zusammen.

Parameter *Trägheits-Faktorbasis* auf Nennleistung eingestellt (00)

Die Trägheits-Faktorbasis ist die Nennwirkleistung der Windenergieanlage.

$$P(t_0 \leq t \leq t_0 + t_{\text{inertia,max}}) = P_{\text{actual}}(t_0) + P_{\text{inertia,set}}(P_n)$$

Parameter *Trägheits-Faktorbasis* auf Istleistung eingestellt (01)

Die Trägheits-Faktorbasis ist die Istleistung der Windenergieanlage zum Zeitpunkt t_0 .

$$P(t_0 \leq t \leq t_0 + t_{\text{inertia,max}}) = P_{\text{actual}}(t_0) + P_{\text{inertia,set}}(P_{\text{actual}})$$

4.2 Wirkleistungssteigerung mit variablem Sollwert

Bei der Wahl der Wirkleistungssteigerung mit variablem Sollwert setzt sich die Wirkleistung während der Dauer der Inertia Emulation aus der verfügbaren Istleistung P_{actual} und dem vordefinierten relativen Faktor der Sollwertsteigerung $P_{\text{inertia,set}}$ (z. B. 10 % der Nennleistung P_n) zusammen.

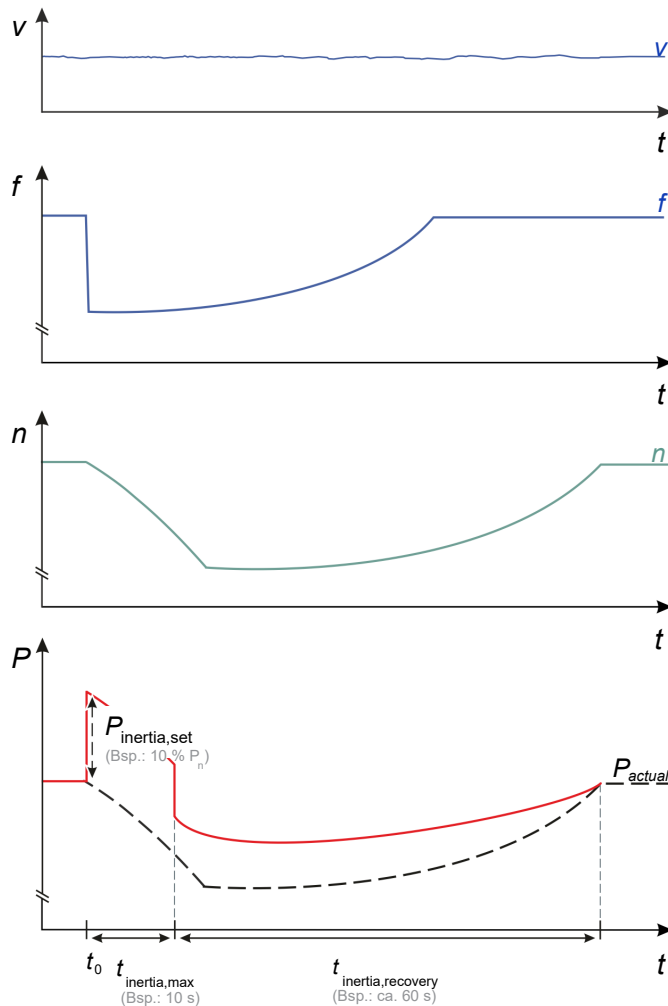


Abb. 3: Wirkleistungsverhalten bei Wirkleistungssteigerung mit variablem Sollwert

Parameter *Trägheits-Faktorbasis* auf Nennleistung eingestellt (00)

Die Trägheits-Faktorbasis ist die Nennwirkleistung der Windenergieanlage.

$$P(t_0 \leq t \leq t_0 + t_{\text{inertia,max}}) = P_{\text{actual}}(t) + P_{\text{inertia,set}}(P_n)$$

Parameter *Trägheits-Faktorbasis* auf Istleistung eingestellt (01)

Die Trägheits-Faktorbasis ist die Istleistung der Windenergieanlage zum Zeitpunkt t_0 .

$$P(t_0 \leq t \leq t_0 + t_{\text{inertia,max}}) = P_{\text{actual}}(t) + P_{\text{inertia,set}}(P_{\text{actual}})$$

5 Parameter

Folgende Parameter sind in der Anlagensteuerung für die Inertia Emulation einzustellen.

Tab. 1: Parameter Inertia Emulation

Parameter		Wert	Default
Trägheits-Regelungsmodus	-	(00) Variable (01) Constant	(00)
Trägheits-Trigger-Frequenz	$f_{inertia,trigger}$	$f_{inertia,min} + 0,01 \text{ Hz} \dots f_n$	49,5 Hz ¹
Trägheits-Min-Frequenz	$f_{inertia,min}$	$f_n - 7,00 \text{ Hz} \dots f_{inertia,trigger} - 0,01 \text{ Hz}$	49,4 Hz ¹
Trägheitsfaktor	$P_{inertia,set}$	0 % ... 20,0 %	10,0 %
Maximale Trägheitszeit	$t_{inertia,max}$	0,10 s ... 30,00 s	10,00 s
Trägheits-Rückkehrfrequenz	$f_{inertia,return}$	$f_{inertia,trigger} + 0,05 \text{ Hz} \dots f_n$	49,9 Hz ¹
Trägheits-Boost	-	0 % ... 10,00 % ²	0 %
Trägheits-Rückführungspause	$t_{inertia,recovery delay}$	0 s ... 30,00 s	0 s
Trägheits-Faktorbasis	-	(00) Nennleistung (01) Ist-Leistung	(00)
Trägheitsfaktor halten	-	(00) OFF (01) ON	(00)

¹ Muss bei Bedarf an die lokale Netznennfrequenz angepasst werden.

² Erhöhung des Erregerstroms innerhalb von 300 ms nach Unterschreitung von $f_{inertia,trigger}$.



Die Defaultwerte und Einstellungen der Parameter beeinflussen sich untereinander und müssen grundsätzlich projektspezifisch geprüft und ermittelt werden. Insbesondere die Parameter *Trägheitsfaktor* und *Maximale Trägheitszeit* müssen in einem geeigneten Verhältnis zueinander stehen.