

# Verträglichkeit der dynamischen Netzstützung der EZE mit dem $Q \rightarrow \&U <$ Schutz der EZA

Rainer Klosse, WindGuard Certification, Oldenburgerstr. 65, 26316 Varel,  
r.klosse@windguard.de, www.windguard-certification.de

## Vorwort zur Revision

Dankenswerterweise gab es auf die vorherigen Versionen dieses Fachbeitrags wertvolle Kommentare, die hier eingearbeitet wurden. Insbesondere bei der dynamischen Blindleistungsstützung wurde nicht berücksichtigt, dass sich das Totband nach /SDLWindV/ sich auf die Vorfehlerspannung bezieht. Im Rahmen der /FGW TR8/ Rev. 5 ist sowohl ein festes als auch variables Totband bis zum 01.07.2012 zulässig.

Weiter wurde seitens eines Vertreters der Netzbetreiber darauf hingewiesen, dass eine Auslösung des  $Q \rightarrow \&U <$  Schutz/es nach 500 ms gewollt ist. Die Anregung solle nicht durch eine „empfindlichere“ Einstellung verhindert werden.

Die Auslegungskriterien des  $Q \rightarrow \&U <$  Schutz/es sind in der /FGW TR8/ bzw. im Lastenheft Blindleistungsrichtungs- u. Unterspannungsschutz nicht behandelt worden, wodurch es zu Unsicherheiten im Rahmen der EZA-Zertifizierung kommt, was letztlich zu diesem Fachartikel führte.

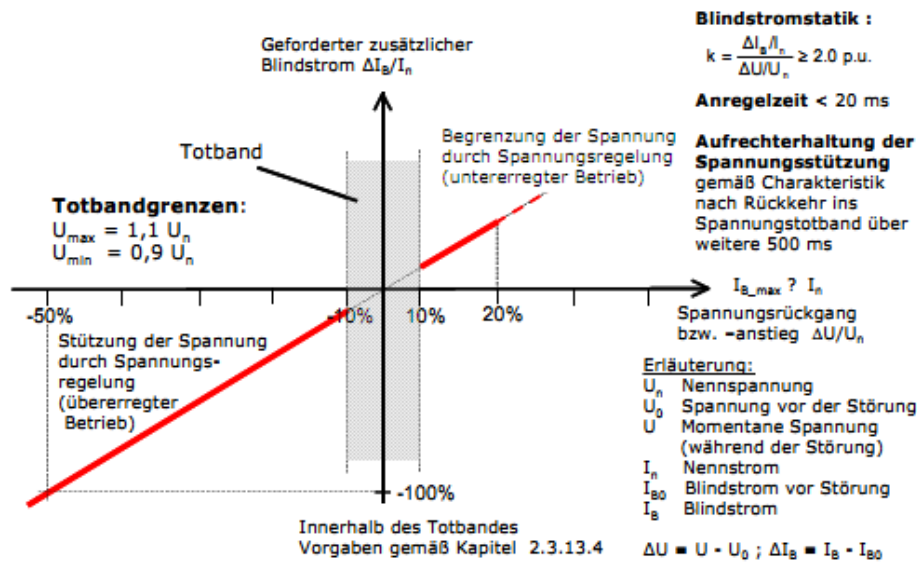
## 1 Dynamische Netzstützung

Die EZE müssen folgende Fähigkeiten bei Spannungseinbrüchen besitzen:

- Sich nicht vom Netz zu trennen bis zu den vom Netzbetreiber vorgegebenen Abschaltzeiten des Systemschutzes.
- Während der Fehler entsprechend der Anforderungen des Netzbetreibers zusätzlich Blindleistung ins Netz einspeisen bis die Grenzlinien entsprechend der Richtlinien erreicht wurden. Ab Überschreitung ist eine Kurzzeitunterbrechung (KTE) erlaubt, allerdings ohne Auslösen des Leistungsschalters.
- Spätestens 5 s nach dem Einbruch muss der vorherige Betrieb ohne eine höhere Blindleistungsentnahme wieder aufzunehmen sein, siehe /FGW TR8/ Kapitel 5.1.8 und /BDEW-MSR/ Kapitel 2.5.1.2.

Dies dient der überregionalen Netzstützung, um großflächige Abschaltungen zu vermeiden.

Die Anforderung an die Blindstromstützung entsprechend des /TC2007/ sind im Folgenden Diagramm dargestellt. Der k-Faktor an der EZE muss  $\geq 2$  sein, vergleiche /TC2007/ Kapitel 3.13.5 (17). Bei größeren EZA internen Netzen, die zu einer Unwirksamkeit der Spannungsregelung führen, muss der k-Faktor  $>2$  sein, siehe /TC2007/ Kapitel 3.13.5 (20).



**Bild 3.6: Prinzip der Spannungsstützung bei Netzfehlern bei Erzeugungsanlagen mit regenerativen Energiequellen**

Abbildung 1.1: Blindstromanforderung nach /TC2007/

Für Wind-EZE sind die Anforderungen entsprechend der /SDLWindV/ zu erfüllen.

**Bild 3.6: Prinzip der Spannungsstützung bei Netzfehlern bei Windenergie-Erzeugungseinheiten**

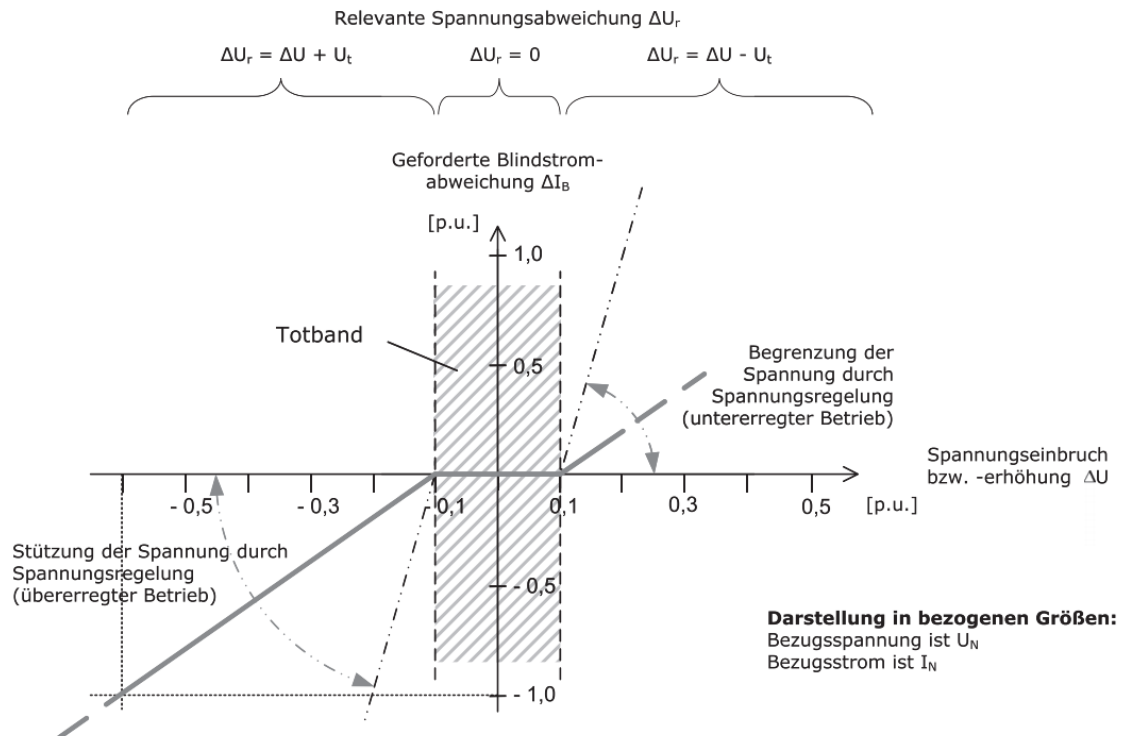


Abbildung 1.2: Blindstromanforderung nach /SDLWindV/

„Das Spannungstotband  $U_t$  entspricht 10% der Nennspannung, kann aber mit Einverständnis des Netzbetreibers .... reduziert bzw. gleich null gesetzt werden“, siehe /SDLWindV/.

- **In beiden Fällen addiert sich der zusätzliche Blindstrom  $\Delta I_q$  auf den Blindstrom vor dem Fehlereinbruch.**
- **Die Spannungsänderung  $\Delta U$  errechnet sich aus der Spannung vor dem Einbruch abzüglich der Spannung während des Einbruchs.**
- **Für /TC2007/ gilt: Die Totbandgrenzen beziehen sich auf die Nennspannung  $U_n$  unabhängig von der Spannung vor dem Einbruch.**
- **Für /SDLWindV/ gilt: Die Totbandgrenzen beziehen sich auf die Spannung vor der Spannungsänderung. Sowohl die unteren als auch die oberen Totbandgrenzen können  $U_c$  erreichen, vergleiche /SDLWindV/ Anlage 1, III-13.**

Diese Anforderung gilt für 1-, 2- und 3-phasige Fehler. Im folgenden werden nur die 3-phasigen Fehler betrachtet.

Die verlangten Anforderungen an die EZE werden im Rahmen der EZE-Typvermessung nach /FGW TR3/ und der EZE-Zertifizierung abgefragt und im Rahmen der EZA-Zertifizierung weitergegeben. Im Rahmen der EZA-Untersuchungen wird überprüft, ob die Anforderungen des Netzbetreibers in einem plausiblen Zusammenhang stehen, es nicht zu ungewollten Schutzauslösungen kommt und ob die Gesamtheit aller Komponenten den Anforderungen nicht im Wege steht bzw. diese erfüllen kann.

Werden die Ein- und Anschlagzeiten vernachlässigt und nur der eingeschwungene Zustand berücksichtigt, entsteht durch die erlaubten Toleranzen im Rahmen der /FGW TR3/ Vermessung von +20% und -10% im kapazitiven Blindstrom bezogen auf den Nennstrom ein Bereich von zulässigen k-Faktoren, siehe Abbildung 1.3 für  $U_0=U_n$  mit  $\cos \varphi = 1$  bzw. Abbildung 1.5 für  $U_0=0,9U_n$  und  $\cos \varphi = 0,95_{ind}$ . Das Blindstrom-Spannungsänderungsverhältnis der Ober- bzw. Untergrenze (k-Faktor  $_{Obergrenze}$  bzw. k-Faktor  $_{Untergrenze}$ ) ergibt sich für die Restspannung von  $0,8 U_c$  für Einstellungen nach dem /TC2007/ wie folgt:

$$\begin{aligned} \text{von k-Faktor}_{\text{Untergrenze}} &= \text{k-Faktor}_{\text{vorgegeben}} - 0,5 \\ \text{bis k-Faktor}_{\text{Obergrenze}} &= \text{k-Faktor}_{\text{vorgegeben}} + 1 \end{aligned}$$

Nach /SDLWindV/ können für  $\Delta U=0,2 U_n$  folgende Verhältnisse abgeschätzt werden:

$$\begin{aligned} \text{von k-Faktor}_{\text{Untergrenze}} &= \text{k-Faktor}_{\text{vorgegeben}} - 1 \\ \text{bis k-Faktor}_{\text{Obergrenze}} &= \text{k-Faktor}_{\text{vorgegeben}} + 2 \end{aligned}$$

Sollte das Blindstrom-Spannungsänderungsverhältnis von  $k=2$  an der EZE eingestellt sein, so lässt der /TC2007/ keine Toleranz zur geringeren Blindstromstützung zu. Nach /TC2007/ wird immer ein k-Faktor  $\geq 2$  gefordert. Dies wird im Rahmen der Prototypenvermessung nach /FGW TR3/ bzw. der Einheitenzertifizierung nach /FGW TR8/ jedoch nicht explizit berücksichtigt. In den Beispielen aus Abbildung 1.3 bis Abbildung 1.6 ist die gestrichelt blaue Linie die Untergrenze der Anforderung nach /TC2007/.

Bei tieferen Spannungseinbrüchen verringert sich die Toleranz des k-Faktors bei konstantem Toleranzband des Blindstromes, siehe Abbildung 1.4 und Abbildung 1.6.

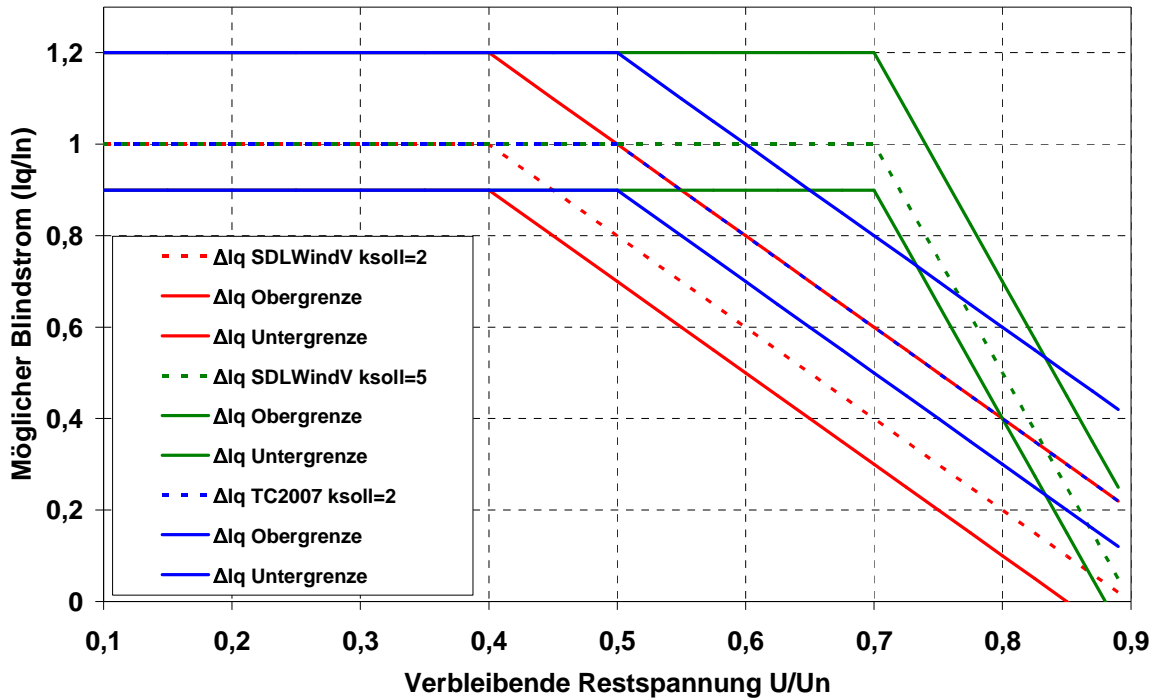


Abbildung 1.3: Blindstrom bei verbleibender Restspannung ausgehend von  $U=U_n$  und  $I_q=0$  vor dem Einbruch für verschiedene k-Faktor-Anforderungen (kapazitiver Blindstrom ist hier positiv dargestellt, die gestrichelt blaue Linie ist die Untergrenze nach /TC2007/).

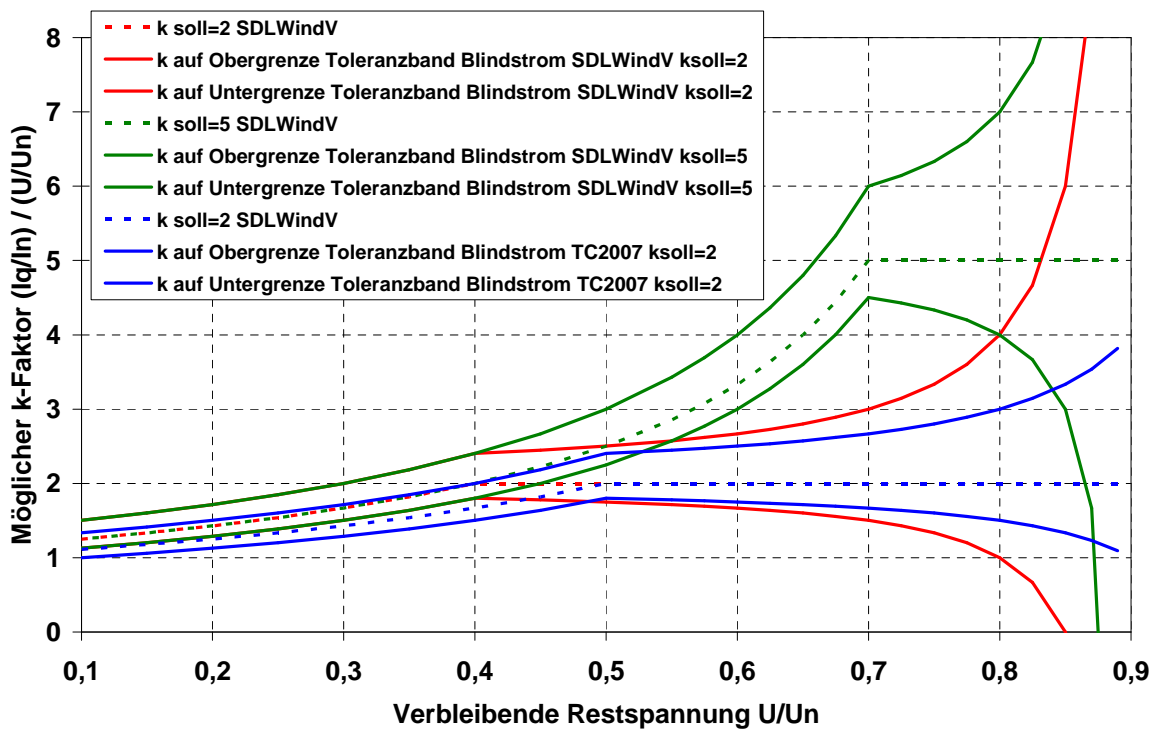


Abbildung 1.4: k-Faktor bei verbleibender Restspannung ausgehend von  $U_0=U_n$  und  $I_q=0$  vor dem Einbruch für verschiedene k-Faktor-Anforderungen (die gestrichelt blaue Linie ist die Untergrenze nach /TC2007/).

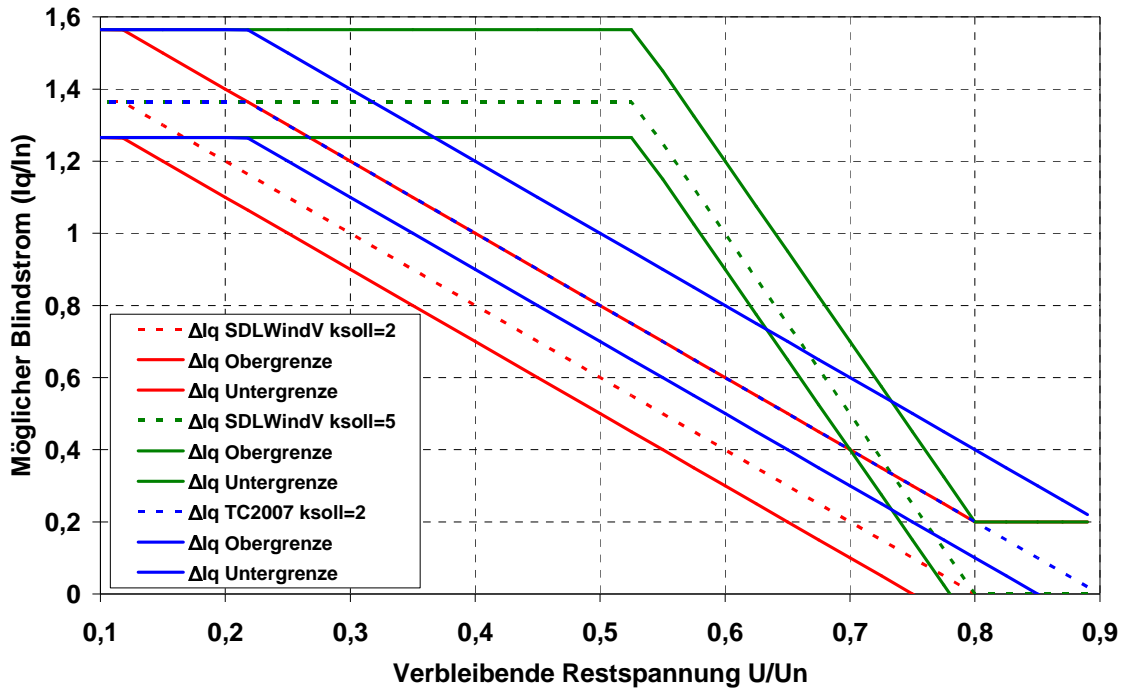


Abbildung 1.5: Blindstrom bei verbleibender Restspannung ausgehend von  $U_0=0,9U_n$  und  $I_q = 0,365_{ind} I_n$  ( $\cos \varphi = 0,95_{ind}$ ) vor dem Einbruch für verschiedene k-Faktor-Anforderungen (kapazitiver Blindstrom ist hier positiv dargestellt, die gestrichelt blaue Linie ist die Untergrenze nach /TC2007/).

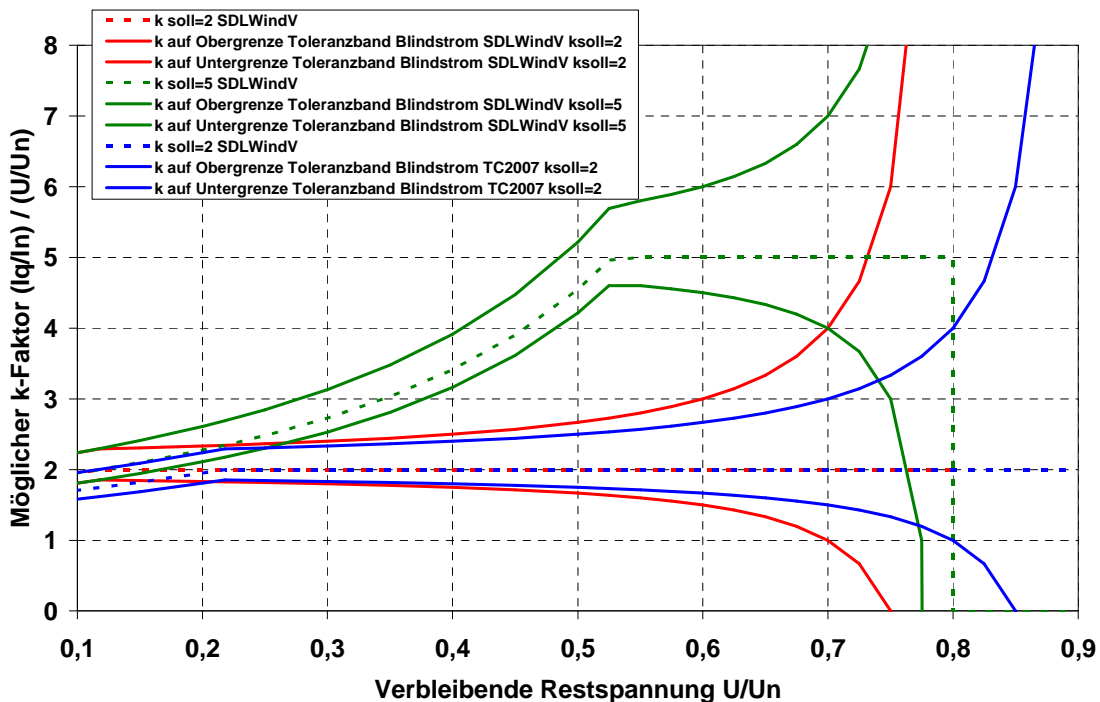


Abbildung 1.6: K-Faktor bei verbleibender Restspannung ausgehend von  $U_0=0,9U_n$  und  $I_q = 0,365_{ind} I_n$  ( $\cos \varphi = 0,95_{ind}$ ) vor dem Einbruch für verschiedene k-Faktor-Anforderungen (die gestrichelt blaue Linie ist die Untergrenze nach /TC2007/).

## 2 Auswirkungen der dynamischen Netzstützung auf das Verhalten des Q→&U< Schutzes

Für Wind EZE (Windenergieanlagen) wird eine Blindstromcharakteristik durch die /SDLWindV/ vorgegeben. Für Solar EZE (Photovoltaikanlagen) wird über den Verweis der /BDEW-MSR/ die Charakteristik des /TC2007/ verlangt. In der Regel sind nur diese durch das EZE-Zertifikat abgedeckt und die EZE-Modelle verifiziert.

Der Netzbetreiber darf entsprechend der /SDLWindV/ bei Wind EZE nicht die Fahrweise nach /TC2007/ fordern. Er kann lediglich das Spannungstotband verringern lassen (üblich nach SDLWindV sind 10%). Ein Spannungseinbruch von >10% bei einem Spannungstotband von 0% nach SDLWindV entspricht dem Verhalten nach /TC2007/. Die Anforderungen von /TC2007/ und /SDLWindV/ unterscheiden sich hier lediglich bei Spannungseinbrüchen  $\leq 10\%$ .

Wird durch den Netzbetreiber eine dynamische Netzstützung verlangt, gibt dieser einen k-Faktor an. Wird eine untererregte Fahrweise im ungestörten Betrieb der EZE verlangt und ist der k-Faktor zu niedrig, kann es zu einer Auslösung des /Q→&U< Schutz/es bei hoher Leistung kommen. Um eine Auslösung des /Q→&U< Schutz/es zu vermeiden, kann auch die Abschaltswelle des /Q→&U< Schutz/es erweitert werden (z.B. von 5% auf maximal 10%  $Q_{ind}/S_A$ ). Die Blindstromcharakteristik ist dynamisch bezogen auf die Spannung vor dem Einbruch, während die Schaltschwelle des /Q→&U< Schutz/es statischer natur ist. Herrscht vor dem Spannungseinbruch bereits eine niedrigere Spannung, so reduziert sich die Wirkung des k-Faktors auf den Blindstrom.

Bei einem Spannungseinbruch auf eine Restspannung von knapp unter 85% bezogen auf Nennspannung und Blindleistungsfahrweise nach /SDLWindV/ kommt es **immer** zu einer Auslösung des /Q→&U< Schutz/es, **wenn** vor dem Einbruch bereits die Spannung auf 95% der Nennspannung und niedriger lag und das übliche Spannungstotband von 10% gewählt wurde.

In Abbildung 2.1 sind beispielsweise die Mindest-k-Faktoren als Funktion des untererregten Leistungsfaktors  $\cos \varphi$  ohne Auslösung des Q→&U< Schutzes angegeben. Hier sind zusätzliche EZA-Effekte, wie Trafo- oder Leitungsimpedanzen nicht berücksichtigt. In 3 der berechneten Fälle wird von Nennspannung vor dem Spannungseinbruch ausgegangen, (nicht die hellblaue Linie). Toleranzen im Blindstrom -10% bis +20% wurden ausgeklammert und sind ggf. noch hinzuzuaddieren.



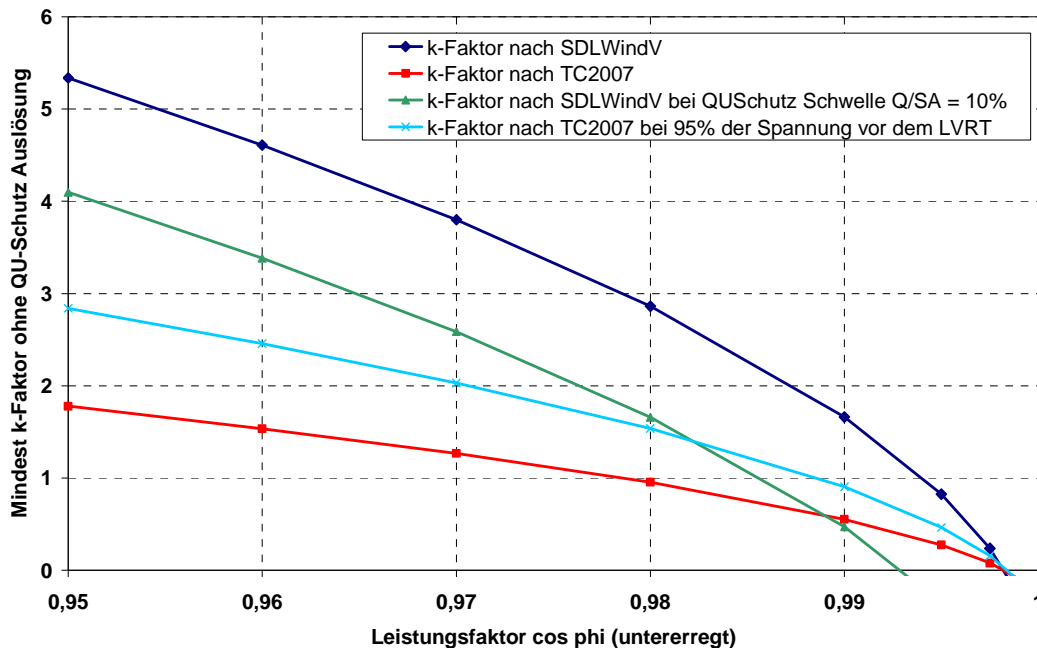


Abbildung 2.1: Mindest-k-Faktor bei untererregtem Betrieb der EZA, um eine Q->U< Schutzauslösung verhindern zu können. Restspannung ist knapp unter  $U=85\%U_n$ .

In Abbildung 2.2 und Abbildung 2.3 sind die dynamischen Blindstromstützungscharakteristiken nach /TC2007/ und /SDLWindV/, wenn vor dem Einbruch eine Betriebsweise von  $\cos \phi = 0,95_{ind}$  (untererregt) herrschte, dargestellt. Der Blindstrom ist über der Restspannung aufgetragen. (vergleiche Bild 3.6 aus /TC2007/ und /SDLWindV/) Hierbei sind verschiedene K-Faktoren und verschiedene Vorfehlerspannungen eingetragen.

Zur Veranschaulichung wurde in Abbildung 2.4 eine feste Totbandeinstellung auf  $0,9 U_n$  dargestellt. Diese Einstellung stellen einige EZE abweichend zur /SDLWindV/ zur Verfügung. Diese Funktionsweise ist abweichend zur /SDLWindV/ noch bis zum 1.7.2012 nach /FGW TR8/ Rev. 5 zulässig.

Der linke obere Quadrant des dunkelgrünen Kreuzes bildet den Abschaltbereich, in dem der Q->U< Schutz nach 500 ms auslösen würde. Hier sind die Varianten  $Q=5\%S_{AV}$  und des unüblichen Wertes von  $Q=10\%S_{AV}$  (dünne Linie) eingetragen. Die senkrechte graue Linie zeigt das konstante Totband von  $U_t=10\% U_n$ . Die rote und die rosa Linie durchqueren den Bereich, in dem der Q->U< Schutz auslösen wird. Die gestrichelte rote Linie zeigt den k-Faktor, bei dem es nicht zur Auslösung des Q->U< Schutzes kommen würde – jedoch ohne Berücksichtigung der Regelgenauigkeit, die der Erzeugungsanlage zugestanden wird. Die gestrichelte rote Linie zeigt den ungünstigsten Verlauf der Blindstromcharakteristik, wenn die Erzeugungsanlage am Rande der geforderten Regelgenauigkeit von 10% mit einem geringeren kapazitiven Blindstrom arbeitet. Wenn man davon ausgeht, dass der Blindstrombereich des Q->U< Schutzes von  $Q=5\%S_{AV}$  gewählt wurde, um die Genauigkeit des Q->U< Schutzes von ca.  $\pm 5\%$  zu berücksichtigen, ist als „worst case“ Annahme anstatt der horizontalen dicken grünen Linie die Nulllinie des Blindstroms für  $-5\%$  zu verwenden, um eine mögliche Auslösung des Q->U< Schutzes darzustellen.

**Dynamische Blindstromstützung nach TC2007  
bei  $\cos \varphi = 0,95_{ind}$**

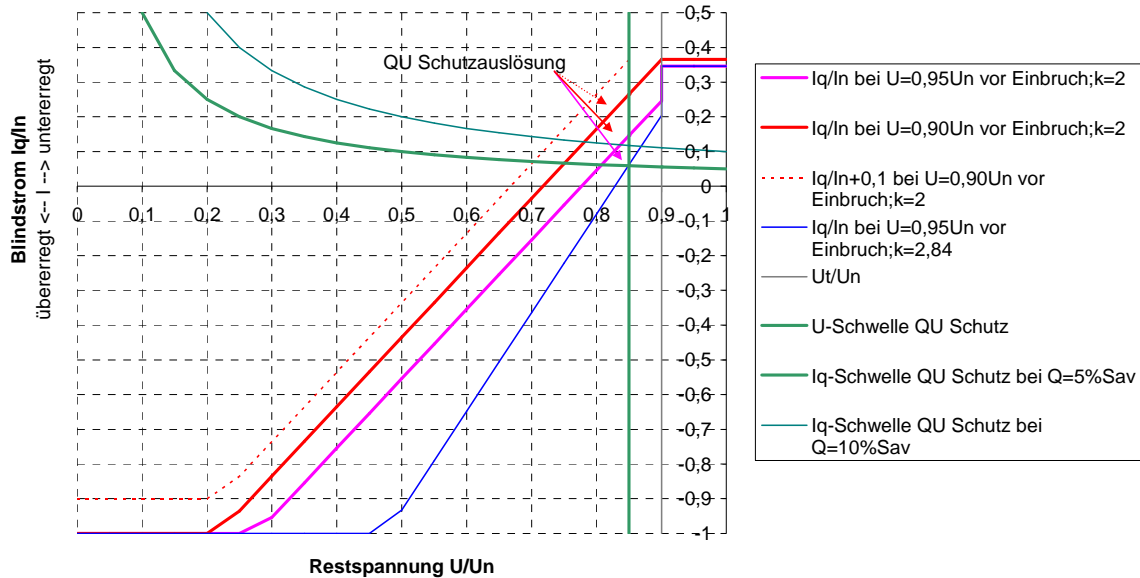


Abbildung 2.2: Dynamische Blindstromstützungscharakteristik nach /TC2007/, wenn vor dem Fehler eine Betriebsweise von  $\cos \varphi = 0,95_{ind}$  (untererregt) herrscht. Der Blindstrom ist über der Restspannung aufgetragen (vergleiche Bild 3.6 aus /TC2007/).

**Dynamische Blindstromstützung nach SDLWindV  
bei  $\cos \varphi = 0,95$**

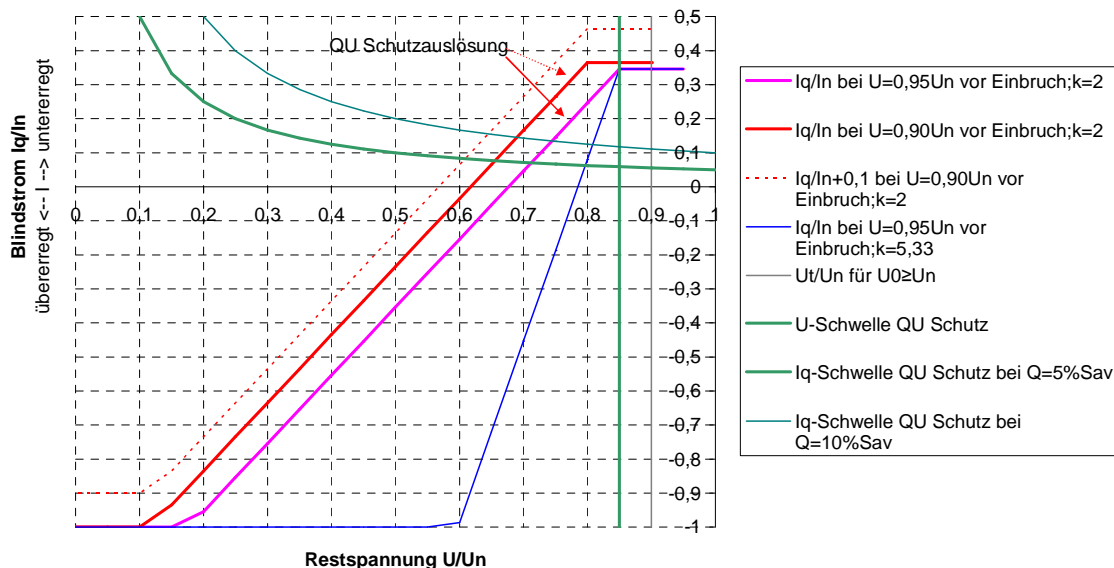


Abbildung 2.3: Dynamische Blindstromstützungscharakteristik nach /SDLWindV/, wenn vor dem Fehler eine Betriebsweise von  $\cos \varphi = 0,95_{ind}$  (untererregt) herrscht und das Totband  $U_t$  auf 10% eingestellt wurde, sich aber bei Unterspannung verschiebt. Der Blindstrom ist über der Restspannung aufgetragen (vergleiche Bild 3.6 aus /SDLWindV/).



**Dynamische Blindstromstützung in Anlehnung an SDLWindV  
mit konstantem Spannungstotband von 10% bei  $\cos \varphi = 0,95$**

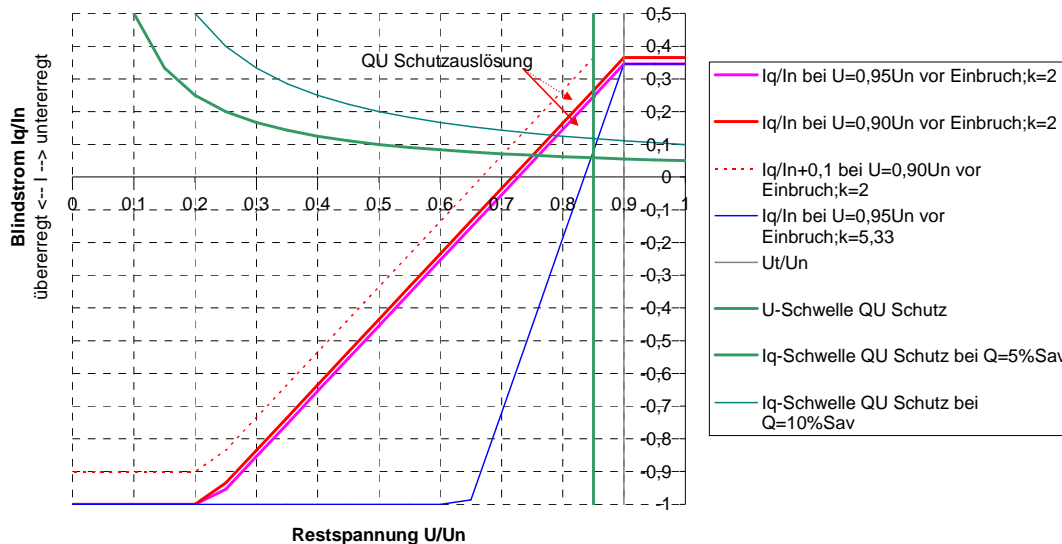


Abbildung 2.4: Dynamische Blindstromstützungscharakteristik in Anlehnung an /SDLWindV/, wenn vor dem Fehler eine Betriebsweise von  $\cos \varphi = 0,95_{ind}$  (untererregt) herrscht und das Totband  $U_t$  **fest** auf 90% Restspannung eingestellt wurde. Der Blindstrom ist über der Restspannung aufgetragen.

### 3 Fazit

Die dynamische Netzstützung kann zur Auslösung des /Q->U< Schutz/es bei Restspannungen von knapp unterhalb 85% der Nennspannung führen. Dies ist systembedingt, wenn der Netzbetreiber induktive (untererregte) Fahrweise für den statischen Betrieb fordert. Dies ist unabhängig vom Typ der EZE und beeinträchtigt nicht die Zertifizierungsfähigkeit der EZA.

Die Blindstromcharakteristik ist sensibel gegenüber der Vorfehlerspannung  $U_0$ . Höhere k-Faktoren als auch höhere Blindleistungsschwellen des /Q->U< Schutz/es bewirken eine Desensibilisierung bezüglich einer möglichen Abschaltung.

Beispiel einer Einstellung von  $k=2$  nach SDLWindV an den Klemmen der EZA und  $Q=5\%S_{AV}$ :

Unter Berücksichtigung niedriger Vorfehlerspannungen und erlaubter Fehlertoleranzen bei den EZE-Blindstromregelungen und den Fehlertoleranzen des /Q->U< Schutz/es kann erst unterhalb einer Restspannung von  $U_1=0,55U_n$  von einem Weiterbetrieb der EZA ausgegangen werden.

Im EZA-Zertifikat werden nach /FGW TR8/ nur LVRT-Fälle simuliert, die von Nennspannung vor dem Spannungseinbruch ausgehen.

## 4 Gesetze, Verordnungen, Normen und Technische Richtlinien

/EEG/	Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG) vom 25. Oktober 2008 (BGBl. I S. 2074), das zuletzt durch das Gesetz vom 11. August 2010 (BGBl. I S. 1170) geändert worden ist
/SDLWindV/	Verordnung zu Systemdienstleistungen durch Windenergieanlagen (Systemdienstleistungsverordnung - SDLWindV); Stand: 3. Juli 2009, Bundesgesetzblatt 2009, Teil I Nr. 39, Hrsg.: BMU
/FGW TR8/	Technische Richtlinien für Erzeugungseinheiten und -anlagen Teil 8: Zertifizierung der Elektrischen Eigenschaften von Erzeugungseinheiten und -anlagen am Mittel-, Hoch- und Höchstspannungsnetz, Herausgeber: Fördergesellschaft Windenergie und anderer Erneuerbaren Energien, FGW e.V. Revision 5 vom 01.07.2011 (FGW TR 8 Rev. 5)
/BDEW-MSR/	„Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz“ Richtlinie für den Anschluss und Parallelbetrieb von Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz; Stand: Ausgabe Juni 2008; mit Ergänzungen durch den FNN Frühjahr 2009 Hrsg.: BDEW (BDEW Mittelspannungsrichtlinie)
/TC2007/	TransmissionCode 2007; Stand: August 2007, Hrsg.: VDN
/FGW TR3/	Technische Richtlinien für Erzeugungseinheiten und -anlagen Teil 3: „Bestimmung der Elektrischen Eigenschaften von Erzeugungseinheiten am Mittel-, Hoch- und Höchstspannungsnetz“; Herausgeber: Fördergesellschaft Windenergie und anderer Erneuerbaren Energien, FGW e.V. Revision 21 vom 22.03.2010 (FGW TR 3 Rev. 21)
/IEC 61400-21/	IEC 61400-21 ed. 2, Wind turbine generator systems – Part 21: Measurement and assessment of power quality characteristics of grid connected wind turbines
/DIN EN 60909-0/	DIN EN 60909-0 (VDE 0102), Short-circuit currents in three-phase a.c. systems - Part 0: Kurzschlussströme in Drehstromnetzen - Teil 0: Berechnung der Ströme (IEC 60909-0:2001); Deutsche Fassung 2002/07
/Grundsätze Netzurückwirkungen/	Technische Regeln zur Beurteilung von Netzurückwirkungen der vier Elektrizitätsverbände aus Österreich (VEÖ), Schweiz (VSE/AES), Tschechien (CSRES) und Deutschland (VDN), 2. Ausgabe 2007
/VDN Leitfaden/	EEG-Erzeugungsanlagen am Hoch- und Höchstspannungsnetz. Leitfaden für Anschluss und Parallelbetrieb von Erzeugungsanlagen auf Basis erneuerbarer Energien an das Hoch- und Höchstspannungsnetz in Ergänzung zu den Netz Codes, Ausgabe: August 2004
/BDEW-MSR E2011/	Regelungen und Übergangsfristen für bestimmte Anforderungen in Ergänzung zur technischen Richtlinie: Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz – Richtlinie für Anschluss und Parallelbetrieb von Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz, Stand vom 15. Februar 2011, gültig ab 1. April 2011
/Q→&U< Schutz/	Lastenheft Blindleistungsrichtungs- Unterspannungsschutz (Q-U-Schutz); Forum Netztechnik/ Netzbetrieb (FNN) im VDE, Ausgabe Februar 2010