

Ausgewählte Aspekte des Netzanschlusses von Erzeugungsanlagen

Prof. Robert Schürhuber

Institut für Elektrische Anlagen und Netze
Technische Universität Graz

Impulsvortrag am Treffen der CIRED Österreich am 30.1.2018

Übersicht

- Netzanschlussbedingungen
- Blindleistungsbereitstellung



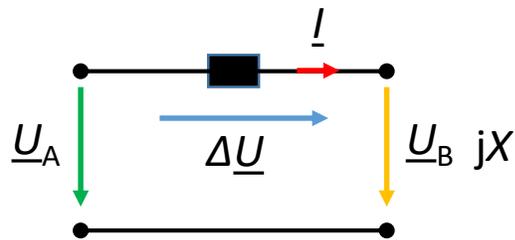
Netzanschlussbedingungen

- Österreich (A): TOR (Technische und Organisatorische Regeln für Betreiber und Benutzer von Netzen)
- Deutschland (D): TAR (Technische Anschlussregeln)
 - 4105 Niederspannung
 - 4110 Mittelspannung
 - 4120 Hochspannung
 - 4130 Höchstspannung

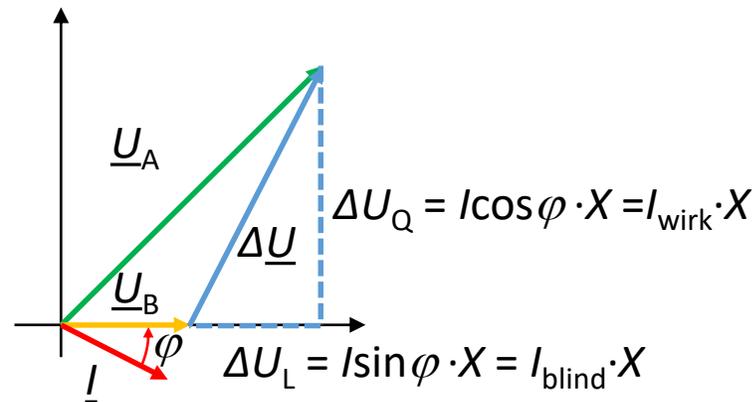
} Entwürfe fertiggestellt, Einspruchnahmefrist abgelaufen
(VDE FNN (Forum Netztechnik/Netzbetrieb))
- EU: Commission Regulation 2016/631: RfG (network code on requirements for grid connection of generators)
 - 14.4.2016 → **Umsetzung bis 14.4.2019**

Blindleistungsbereitstellung

- Blindleistungsbilanz im Gesamtsystem muss ausgeglichen sein.
- **Blindleistung beeinflusst die Spannung** am Netzknoten, die Blindleistungsbereitstellung dient daher der **statischen Spannungshaltung**.



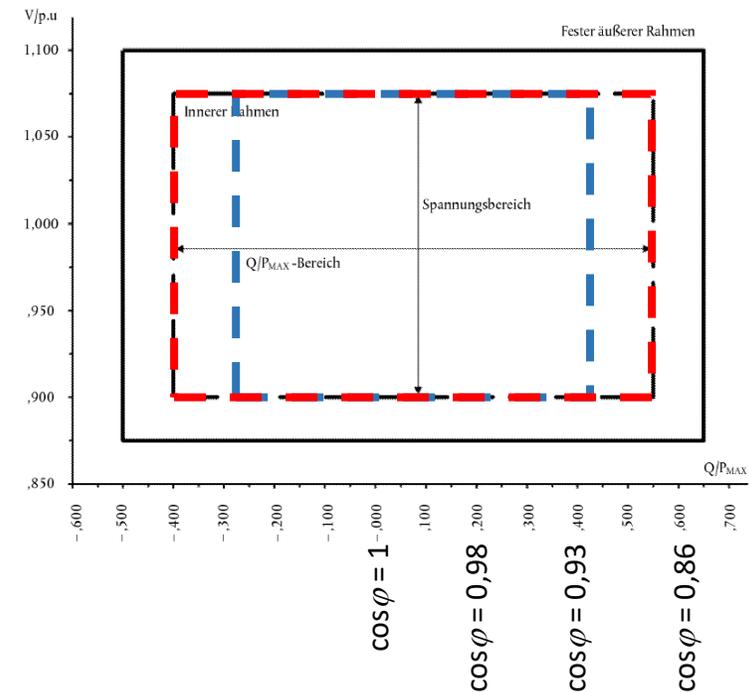
Spannungsverhältnisse
über einer Leitung



- Die Energiewende bedingt Anforderung an Spannungs-Blindleistungsregelung auch in den unteren Netzebenen.
- Blindleistungssollwert Q_{soll} über $\cos \varphi(P)$ -, $Q(U)$ - oder $Q(P)$ -Kennlinie.

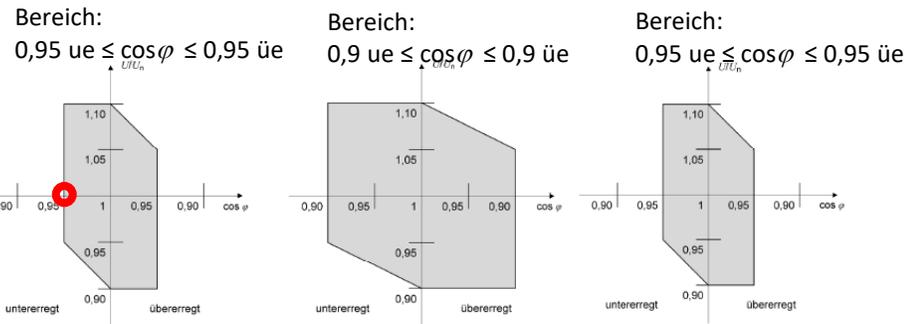
Anforderungen Blindleistung gemäß RfG

- RfG: Maximalbereich für Blindleistungskapazität in Abhängigkeit von der Spannung, festgelegter Bereich liegt zwischen innerem und äußerem Rahmen ($Q/P_{\max} = \tan \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} / \cos \varphi$).
- **rot**: synchrone Erzeugung, **blau**: nichtsynchrone Erzeugung
- Für Betrieb mit reduzierter Leistung, d. h. $P < P_{\max}$, darf die Blindleistung gemäß einer vorgegebenen Kennlinie reduziert werden.



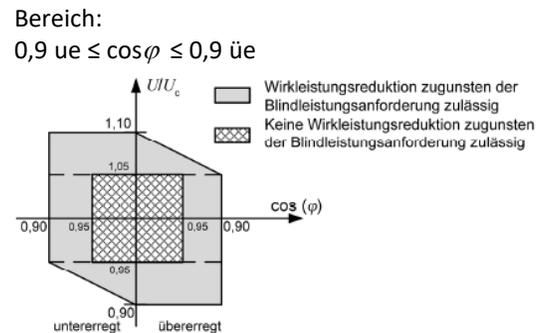
Anforderungen Blindleistung TAR (D)

TAR 4105 (Niederspannung):

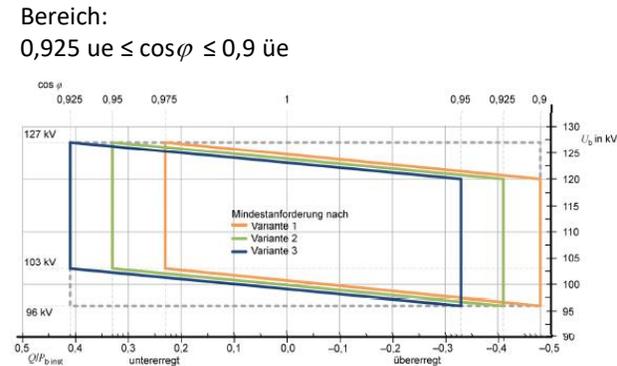


Umrichter $\leq 4,6 \text{ kVA}$ Umrichter $> 4,6 \text{ kVA}$ Synchrongeneratoren, Stirlingmaschinen,
 (o: Asynchrongeneratoren) Brennstoffzellen $> 4,6 \text{ kVA}$
 ($\leq 4,6 \text{ kVA}$: $\cos \varphi$ beliebig $\geq 0,95$ unter/übererregt)

TAR 4110 (Mittelspannung):

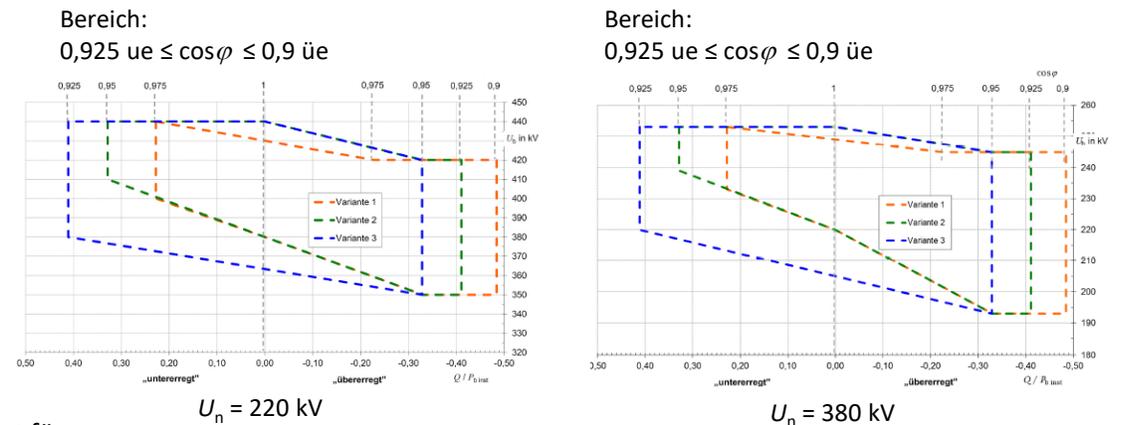


TAR 4120 (Hochspannung):



(ue .. untererregt,
 ue .. übererregt)

TAR 4130 (Höchstspannung):



Anforderungen Blindleistung TOR 2008 (A)

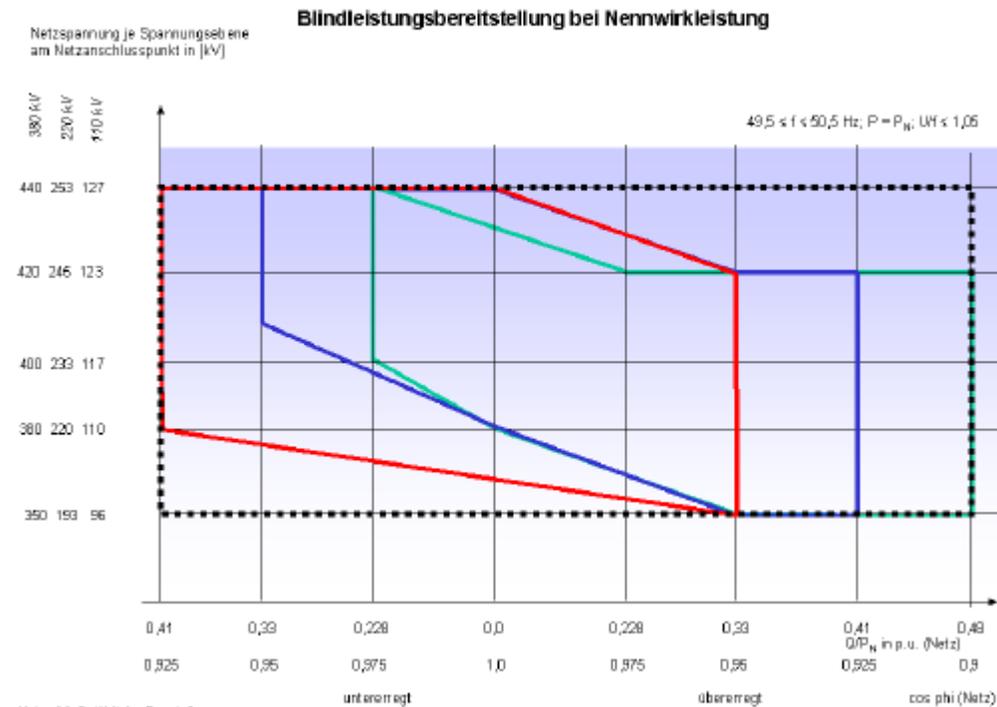
$$U_n < 110 \text{ kV}$$

Kennlinien nicht explizit definiert.

$$U_n \geq 110 \text{ kV}$$

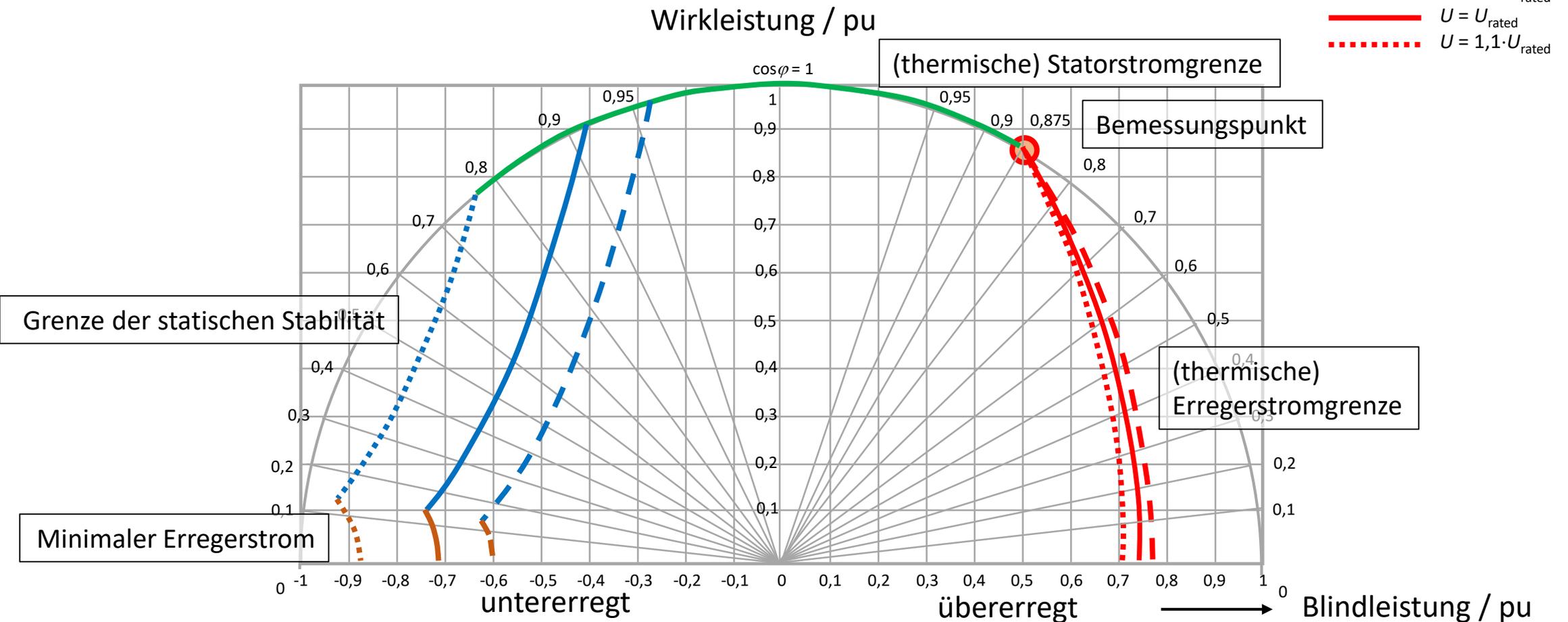
Bereich:

$$0,925_{ue} \leq \cos\varphi \leq 0,9_{ue}$$



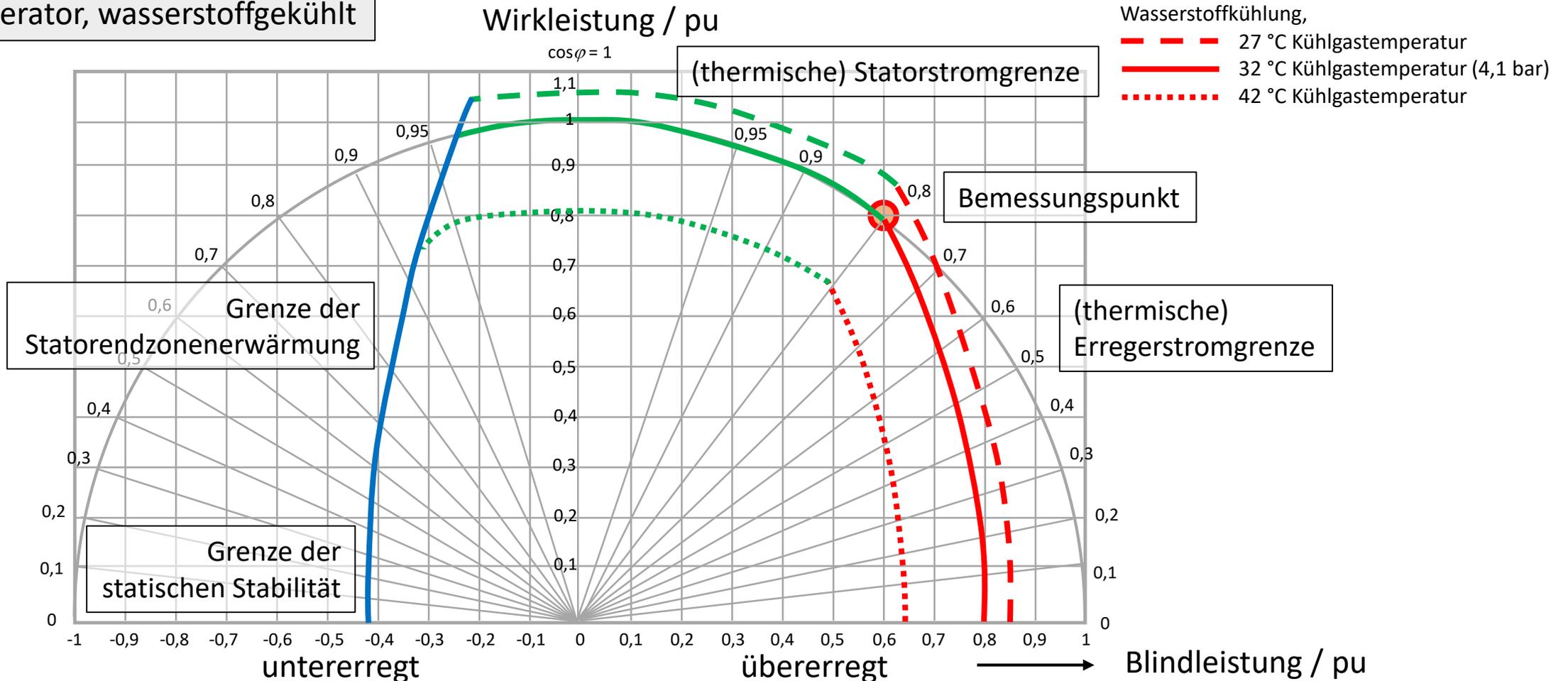
Grenzeleistung Synchrongeneratoren (Hydro)

Hydrogenerator, luftgekühlt



Grenzleistung Synchrongeneratoren (Turbo)

Turbogenerator, wasserstoffgekühlt



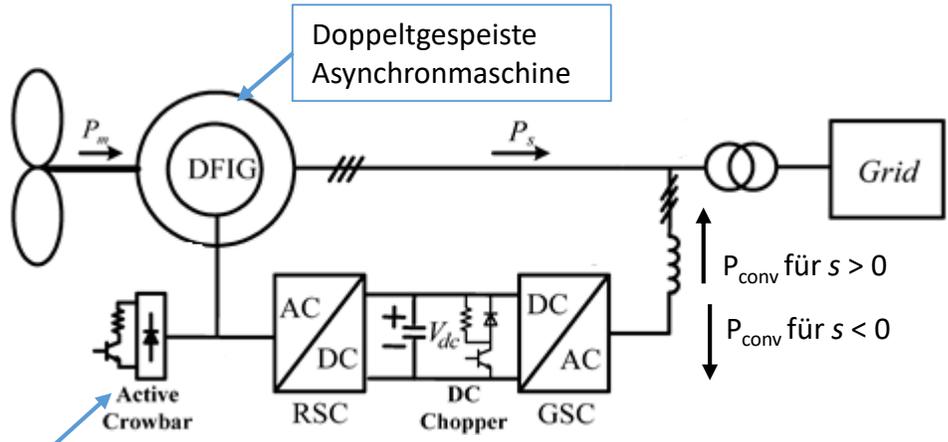
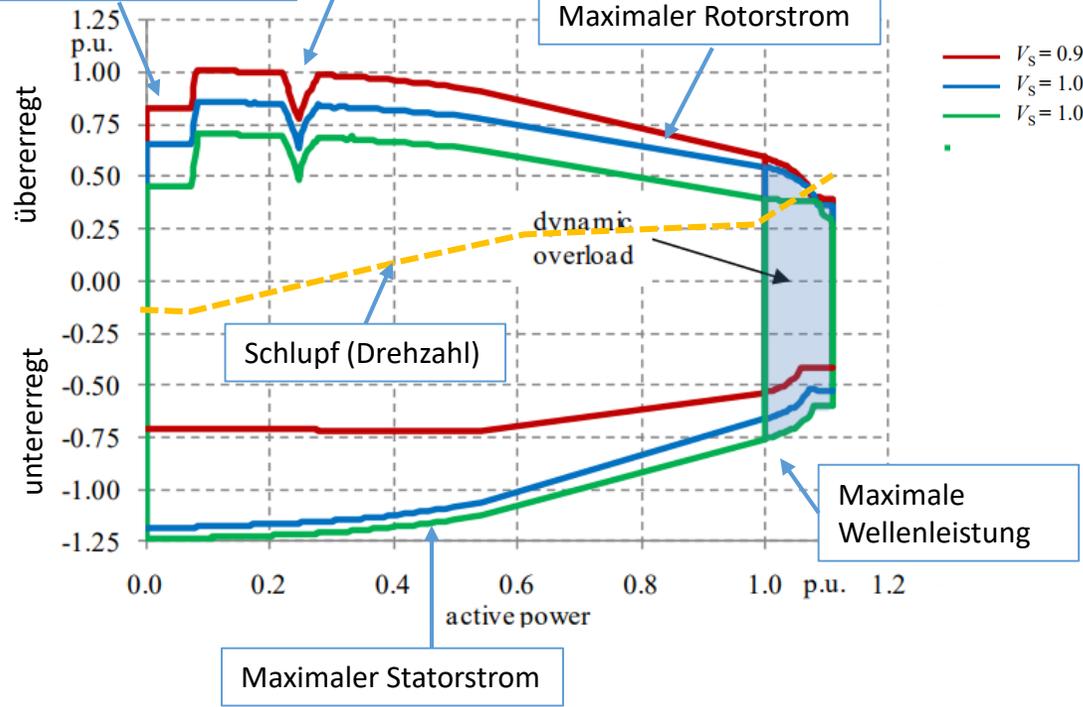
Grenzeleistung Typ 3 Windturbine (doppeltgespeister Generator)

Spannungsbegrenzung rotorseitiger Umrichter
(Spannung etwa proportional Schlupf), Schlupf
und Drehzahl konstant

Rotorstrombegrenzung
bei Schlupf = 0 →
Rotorfrequenz = 0
(Bemessungsdrehzahl)

Maximaler Rotorstrom

— $V_s = 0.95$ pu
— $V_s = 1.00$ pu
— $V_s = 1.05$ pu



Schutz rotorseitiger
Umrichter

Schutz
Überspannung
Zwischenkreis

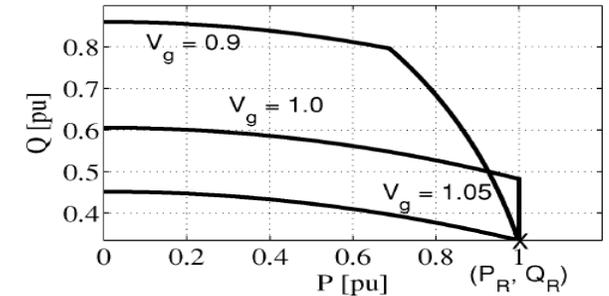
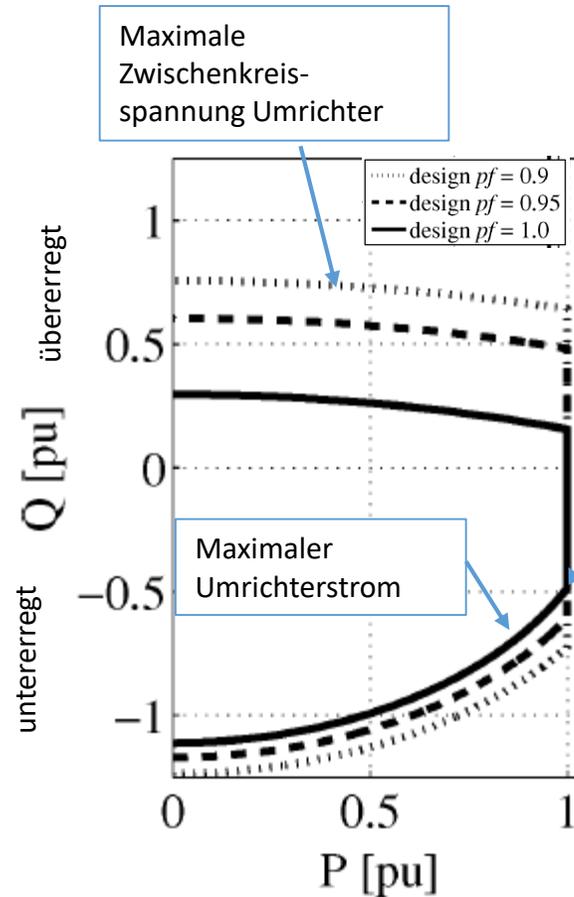
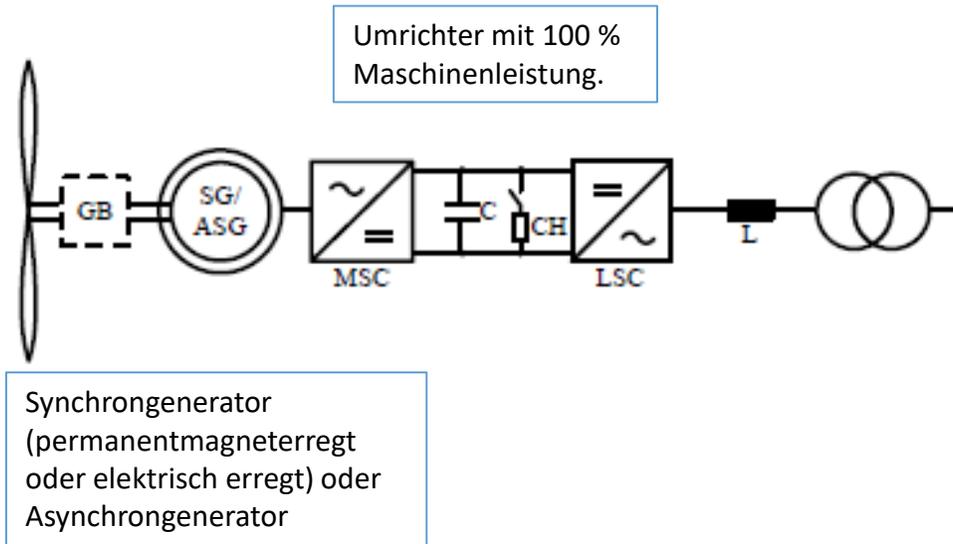
Umrichter mit $\approx 30\%$
Maschinenleistung,
bidirektionaler Leistungsfluss

P_{conv} für $s > 0$
 P_{conv} für $s < 0$

Grenzeleistungskurven:
max. Leistung Maschine + max. Leistung GSC (grid side converter,
netzseitiger Umrichter)

Quelle der Abbildungen:
Reactive Power Capability of Wind Turbines Based on Doubly-Fed Induction Generators,
István Erlich, Universität Duisburg Essen,
IEEE PES General Meeting, Boston MA, USA, July 17th-21th 2016

Grenzeleistung Typ 4 Windturbine (Vollumrichter)

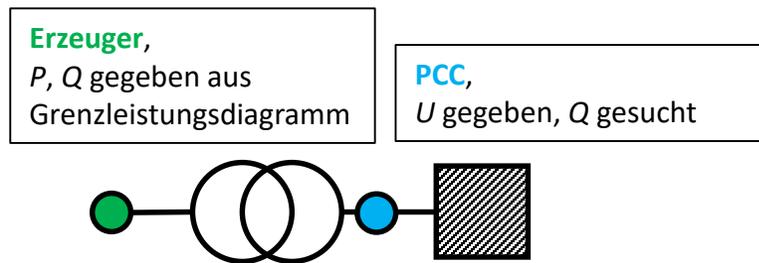


Bemessungsleistungsfaktor $\cos \varphi_r = 0,95$,
Variation der Netzspannung

Grenzkurven von PV Anlagen sehen ähnlich aus, die Wirkleistungsgrenzen schwanken stark mit der Sonneneinstrahlung und der Temperatur.

Anpassung an Blindleistungsanforderungen

Das Leistungsdiagramm wird an den Netzanschlusspunkt (PCC .. point of common coupling, meist überspannungsseitig des Anschlusstransformators) umgerechnet. An dieser Stelle muss das Spannungs/Blindleistungsprofil mit den Anforderungen aus den Anschlussbedingungen übereinstimmen:



Beispiel des Grenzleistungsdiagramms einer Hydromaschine, umgerechnet auf den Netzanschlusspunkt.

Zum Anpassen an die Anforderungen kann außer der Maschine auch der Transformator (Kurzschlussspannung, Übersetzung) variiert werden.

