



# **Einhaltung der Netzanschlussregeln am Beispiel von WEA mit DFIM**

**Prof. Dr.-Ing. I. Erlich**

Universität Duisburg-Essen

**Dr.-Ing. A. Dittrich**

IDS AG Zürich

**Dr.-Ing. W. Winter**

E.ON Netz GmbH Bayreuth





# Inhalt

---

➤ Netzanschlussregeln

*Fault-Ride-Through*

*Spannungsstützung*

*Systemautomatik*

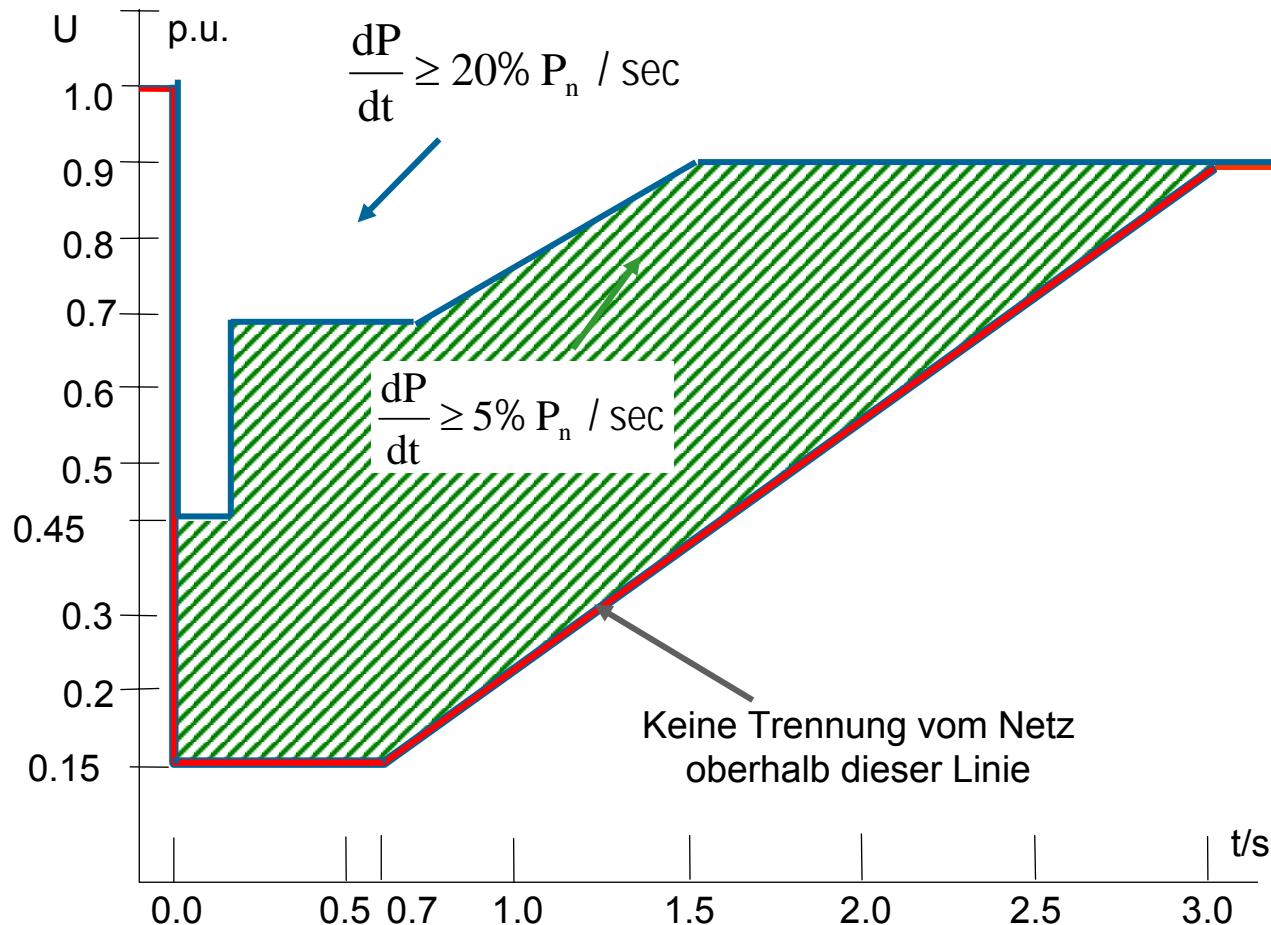
➤ Erfüllung der Netzanschlussregeln bei

**DFIM-WEA**

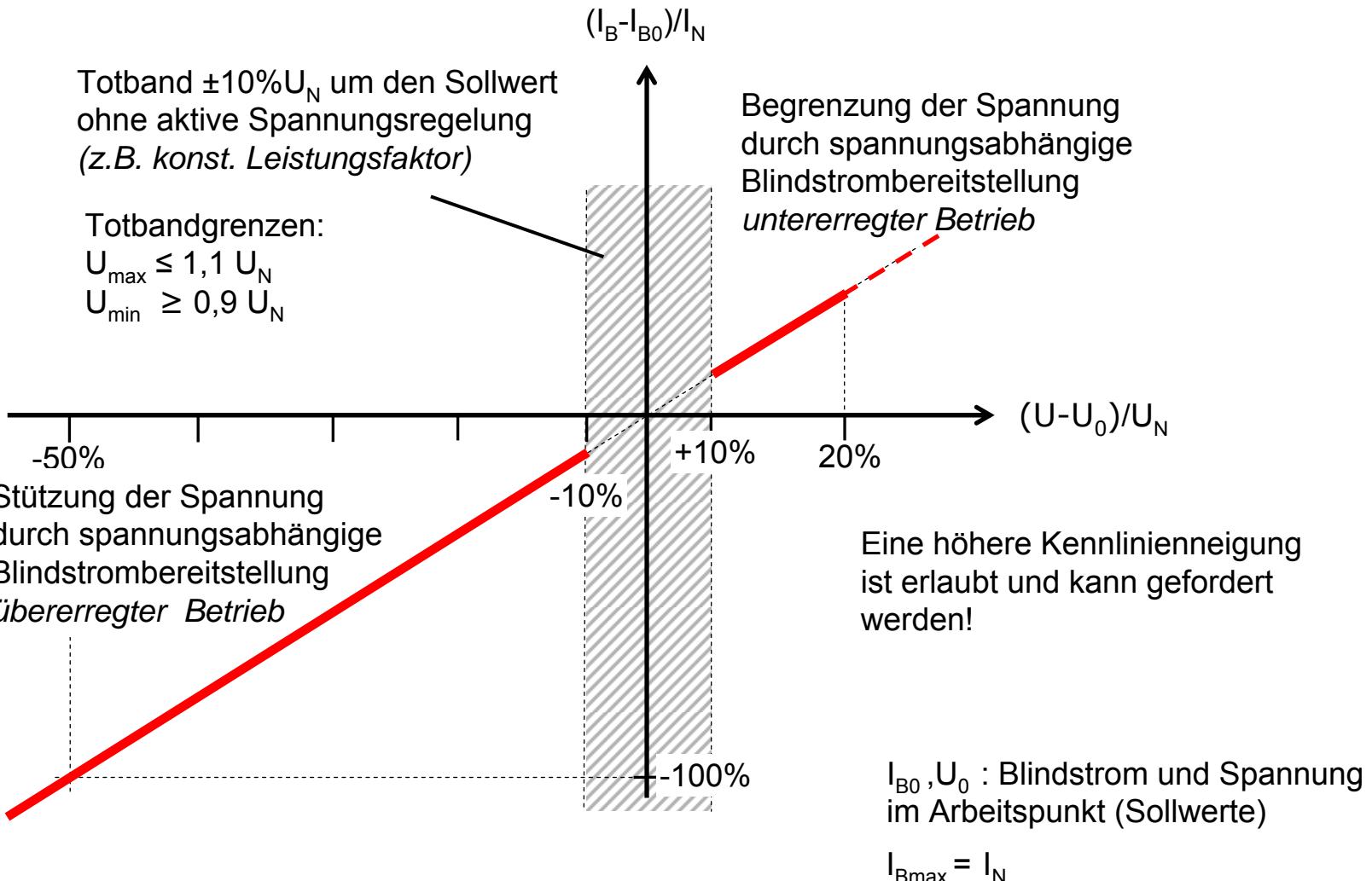
*Fault-Ride-Through*

*Spannungsstützung*

# FRT-Anforderungen

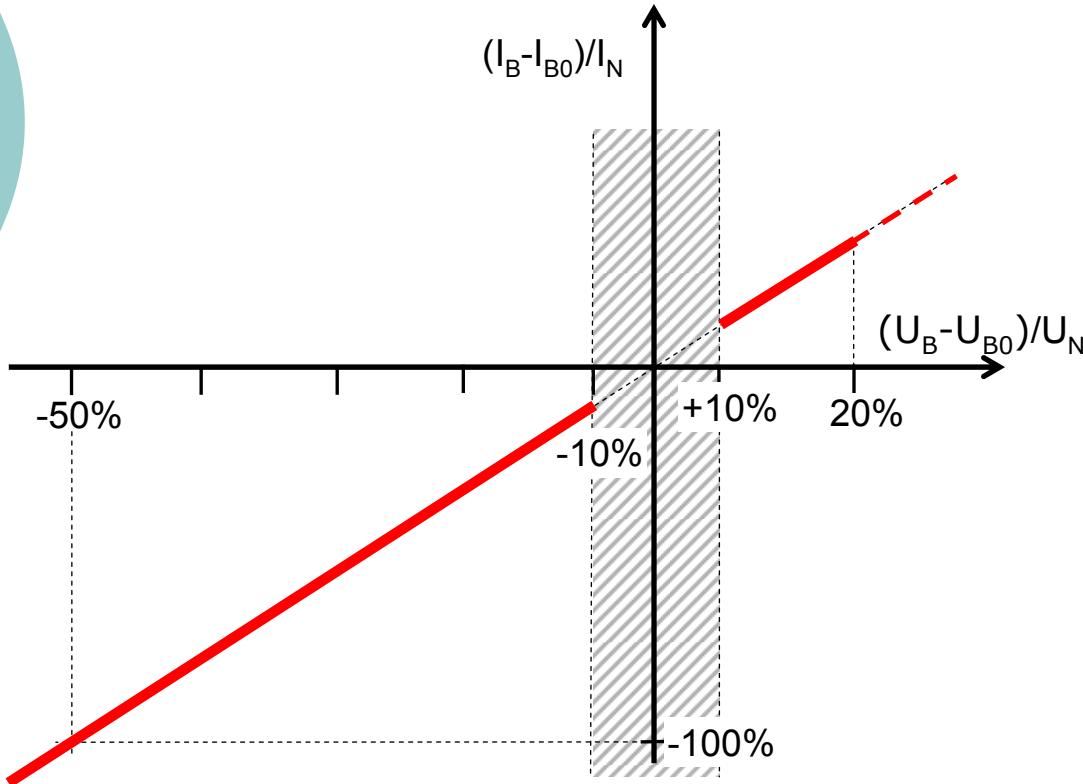


# Spannungsstützung - Spannungsregelung



# Spannungsstützung – Spannungsregelung

*Fortsetzung*



**Blindstromstatik :**  
 $k = \Delta I_B / \Delta U_B \geq 2.0 \text{ p.u.}$

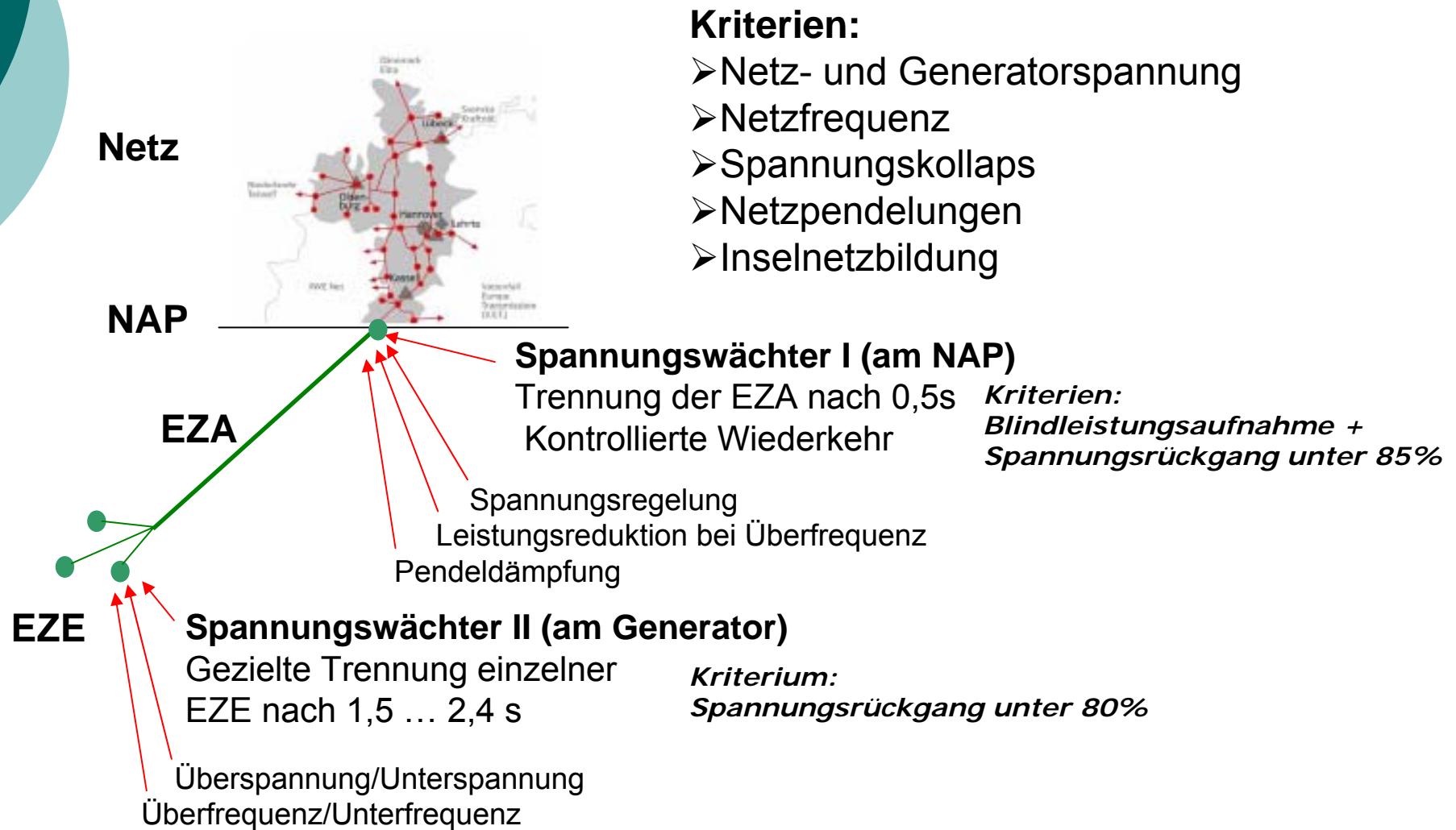
**Anregelzeit** < 20 ms

**Übergang auf die Spannungsstützung** nach Abklingen transienter Ausgleichsvorgänge spätestens nach 300 ms

**Aufrechterhaltung der Spannungsstützung** gemäß Charakteristik nach Rückkehr ins Spannungstotband über weitere 500 ms

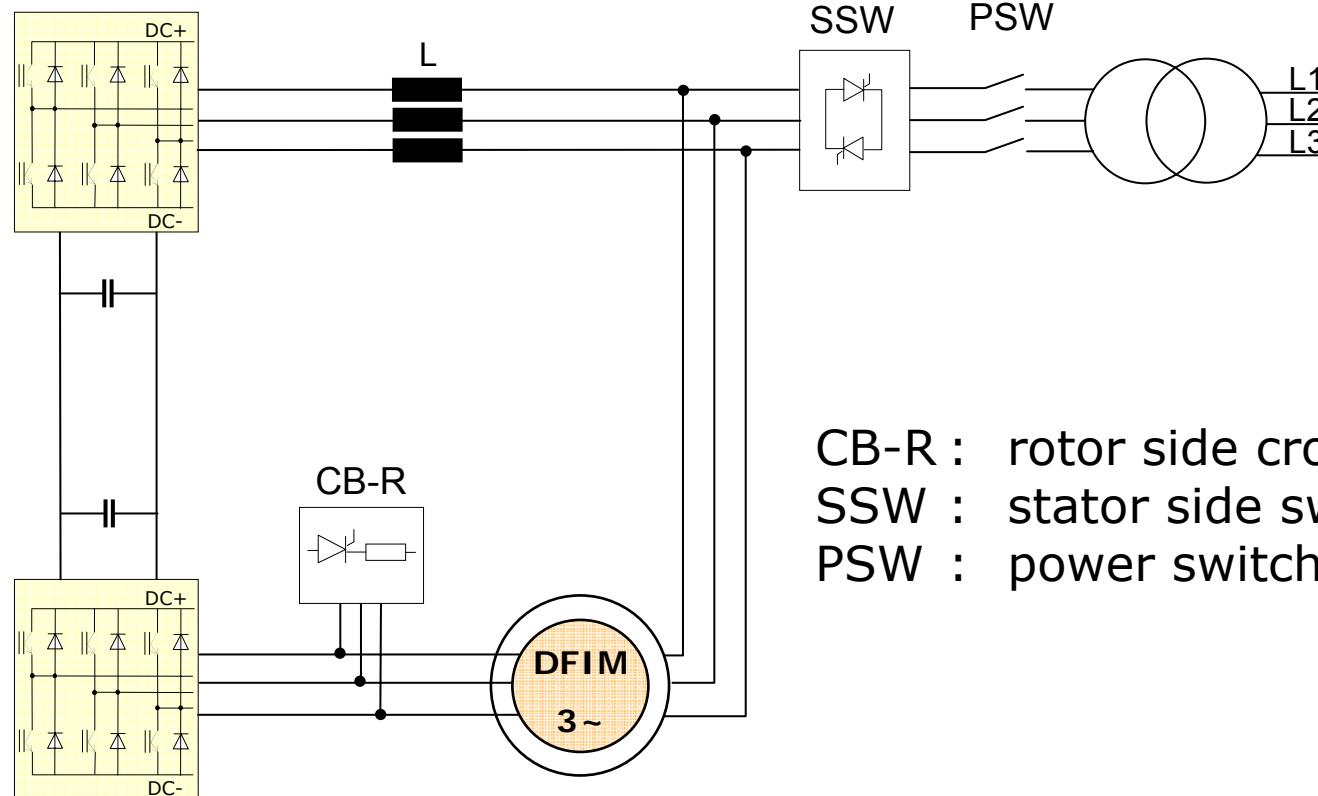
**Auch eine kontinuierliche Spannungsregelung ohne Totband und mit höherer Statik kann verlangt werden!**

# Systemübergreifende Automatiken



# Übliche Struktur einer WEA mit DFIM

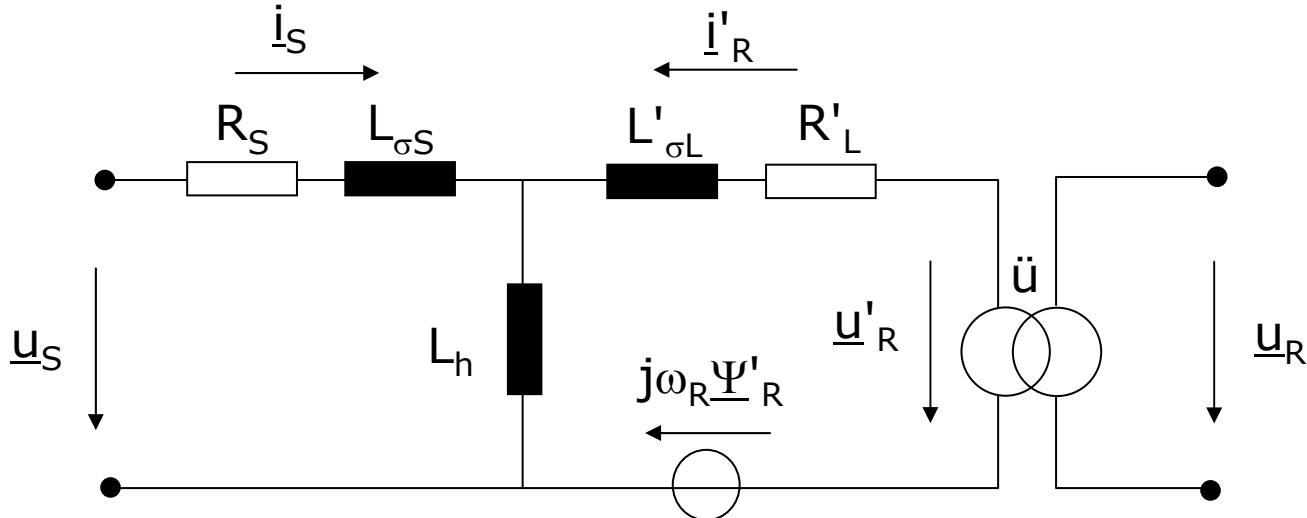
Front end converter



CB-R : rotor side crow-bar  
SSW : stator side switch  
PSW : power switch

Rotor side converter

# Begrenzte Stellmöglichkeit der DFIM

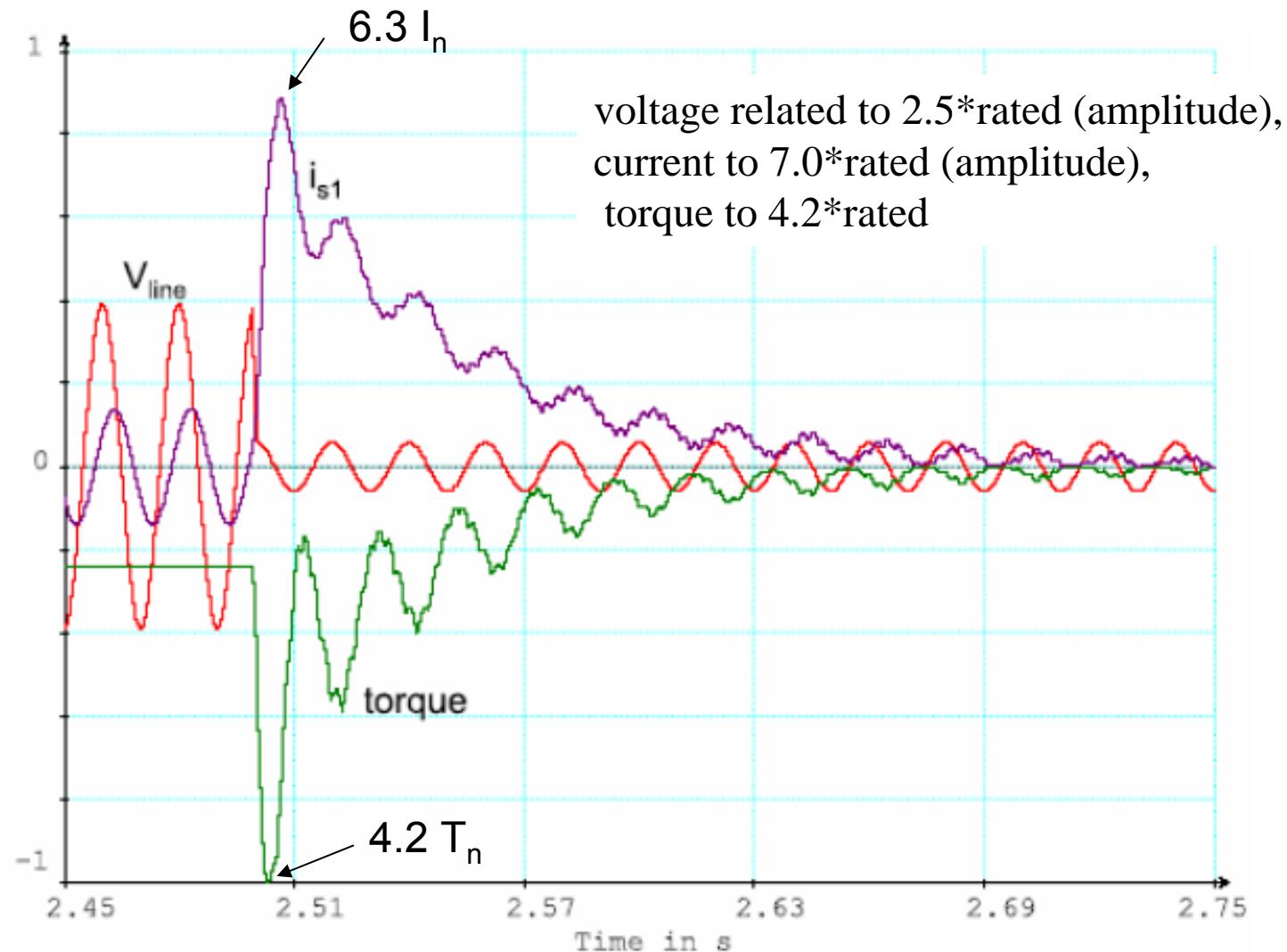


$$\underline{u}_S - \underline{u}'_R - j\omega_R \Psi'_R = R_S i_S + L_{\sigma S} \frac{di_S}{dt} - R'_L i'_R - L'_{\sigma L} \frac{di'_R}{dt}$$

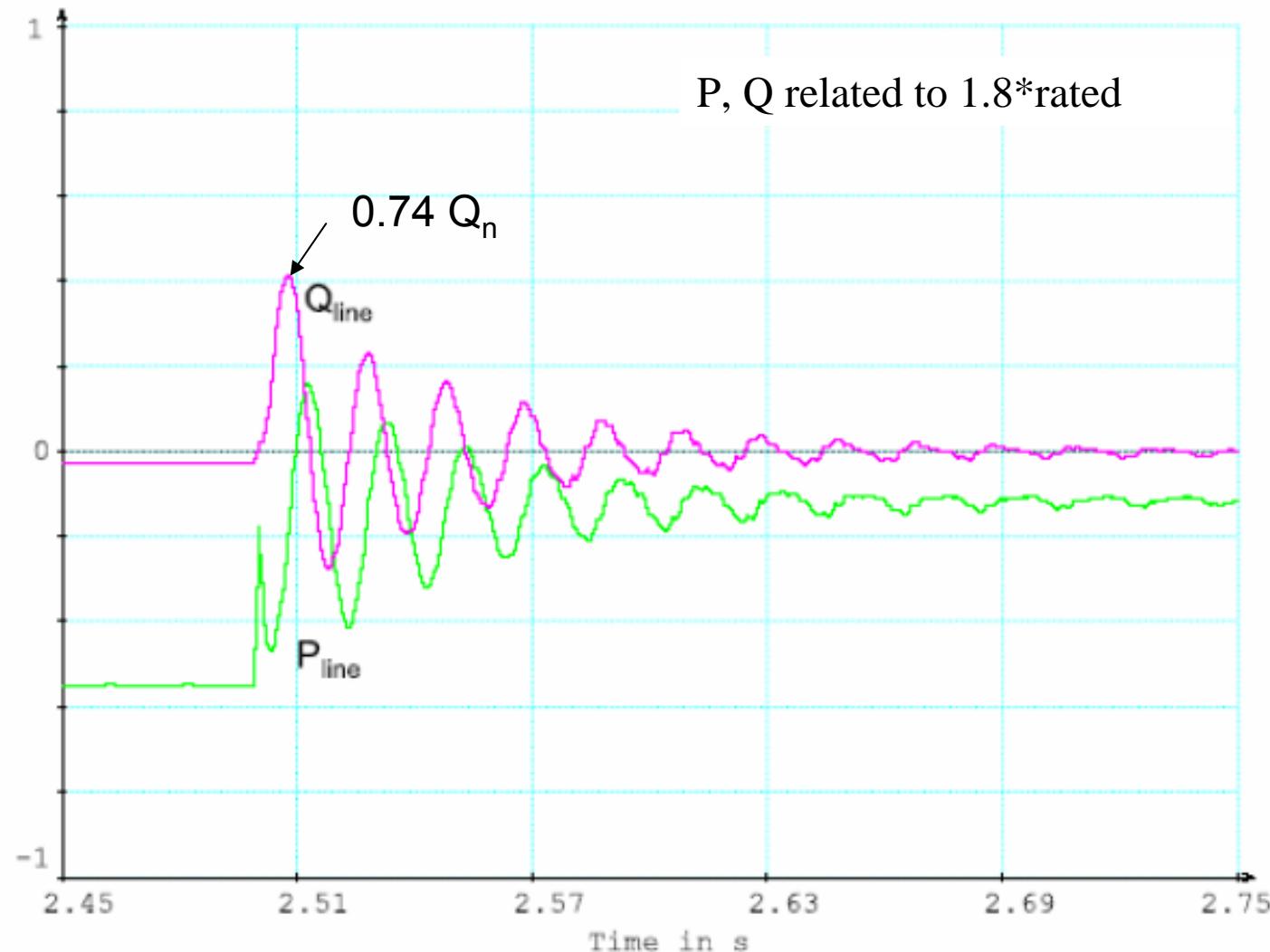
angenommen:  $\underline{u}_S = \underline{u}'_R$ ,  $\ddot{\Psi} = 1/3$

→  $\underline{u}'_R = 1/3 \underline{u}_S$  → mit der Rotorspannung kann man nur begrenzt Spannungseinbrüche auf der Ständerseite kompensieren

# Spannungseinbruch auf 15% $U_n$

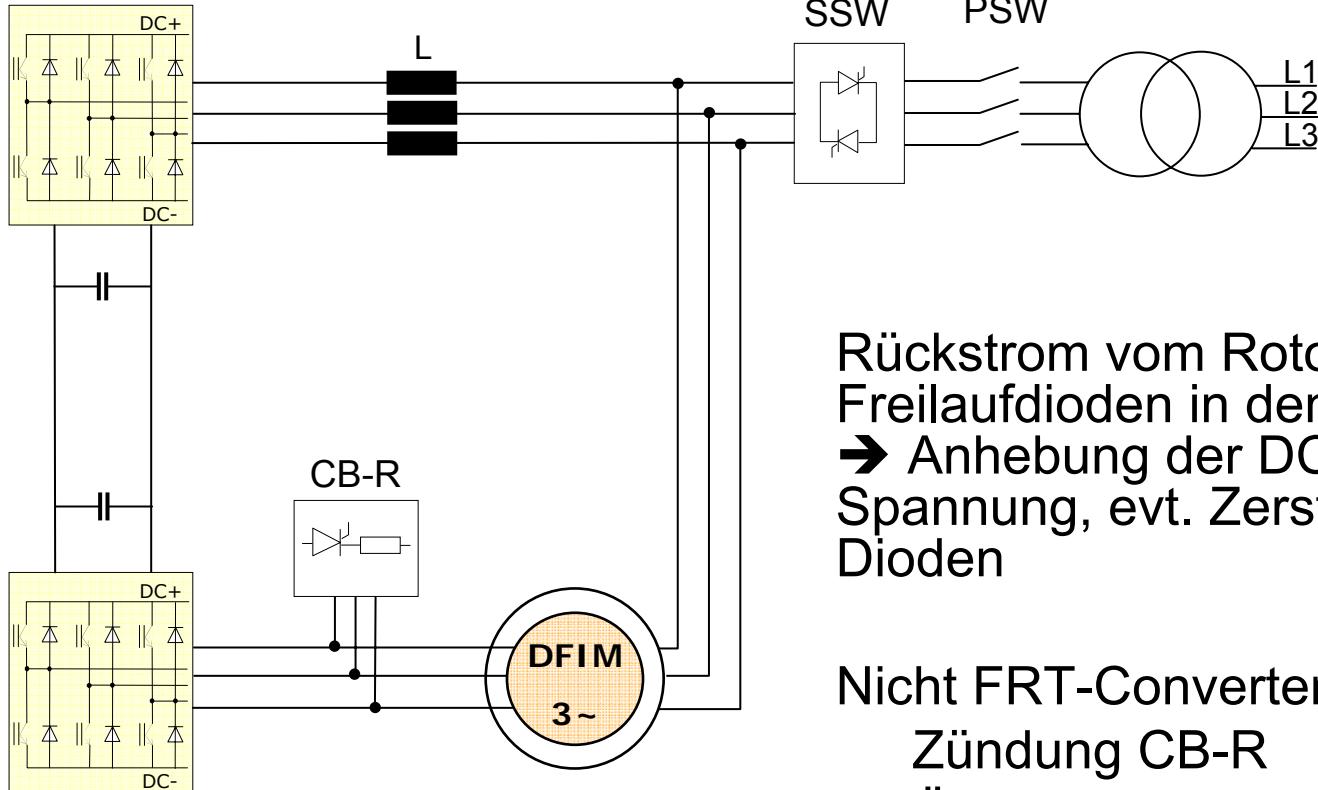


# Spannungseinbruch auf 15% $U_n$



# Auswirkungen von netzseitigen Spannungseinbrüchen

Front end converter



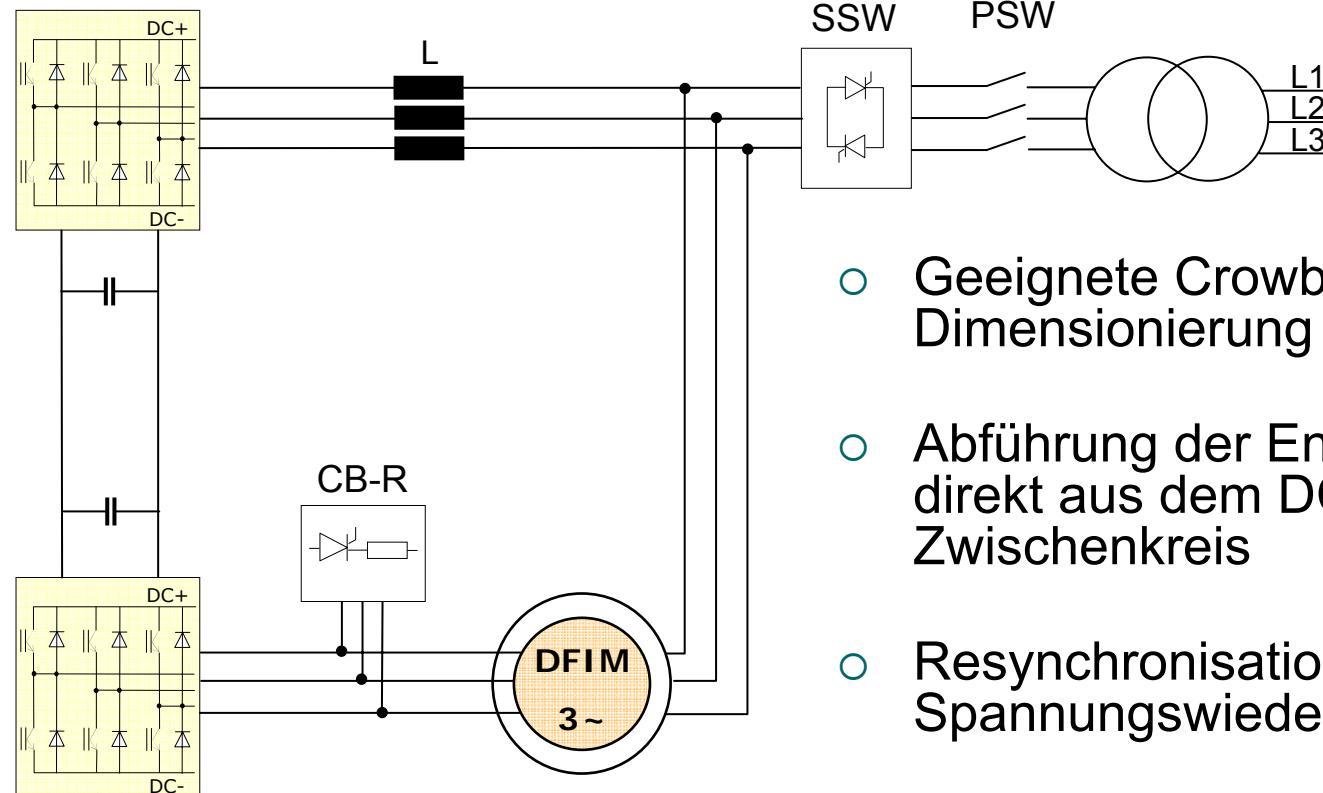
Rotor side converter

Rückstrom vom Rotor über die Freilaufdioden in den DC-Kreis  
→ Anhebung der DC-Spannung, evt. Zerstörung der Dioden

Nicht FRT-Converter:  
Zündung CB-R  
Öffnen von SSW  
→ Trennung vom Netz

# Rotorseitige FRT-Maßnahmen

Front end converter



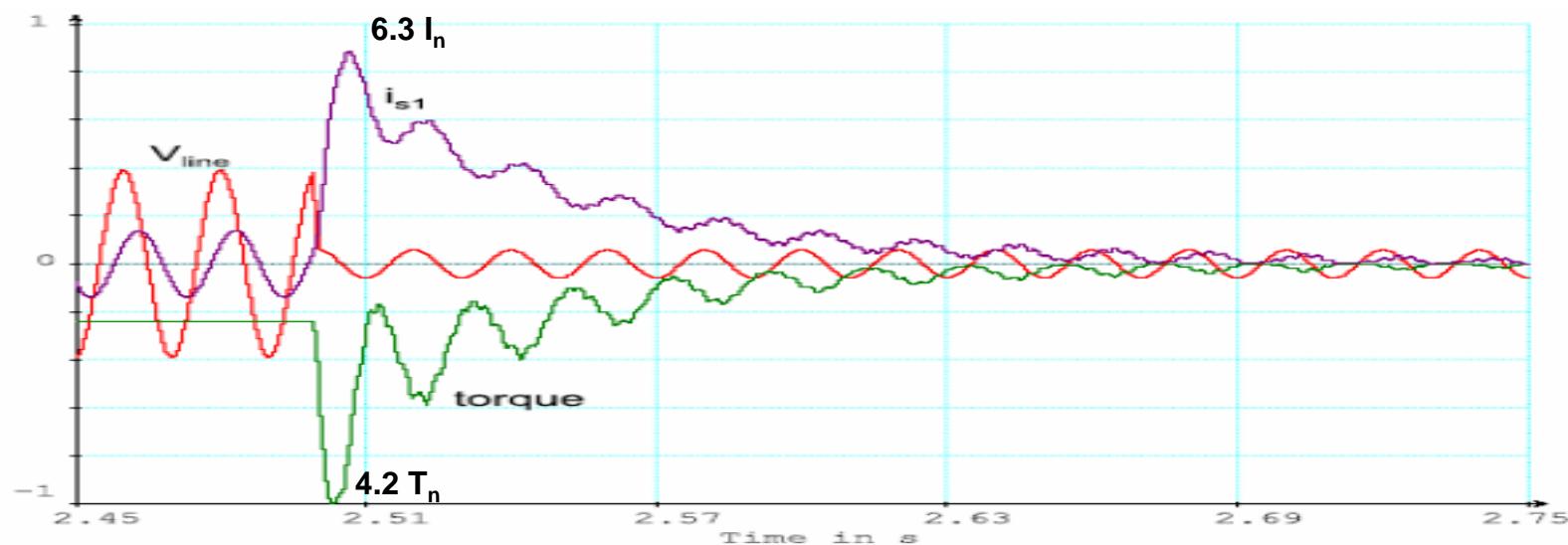
Rotor side converter

- Geeignete Crowbar-Dimensionierung
- Abführung der Energie direkt aus dem DC-Zwischenkreis
- Resynchronisation nach Spannungswiederkehr

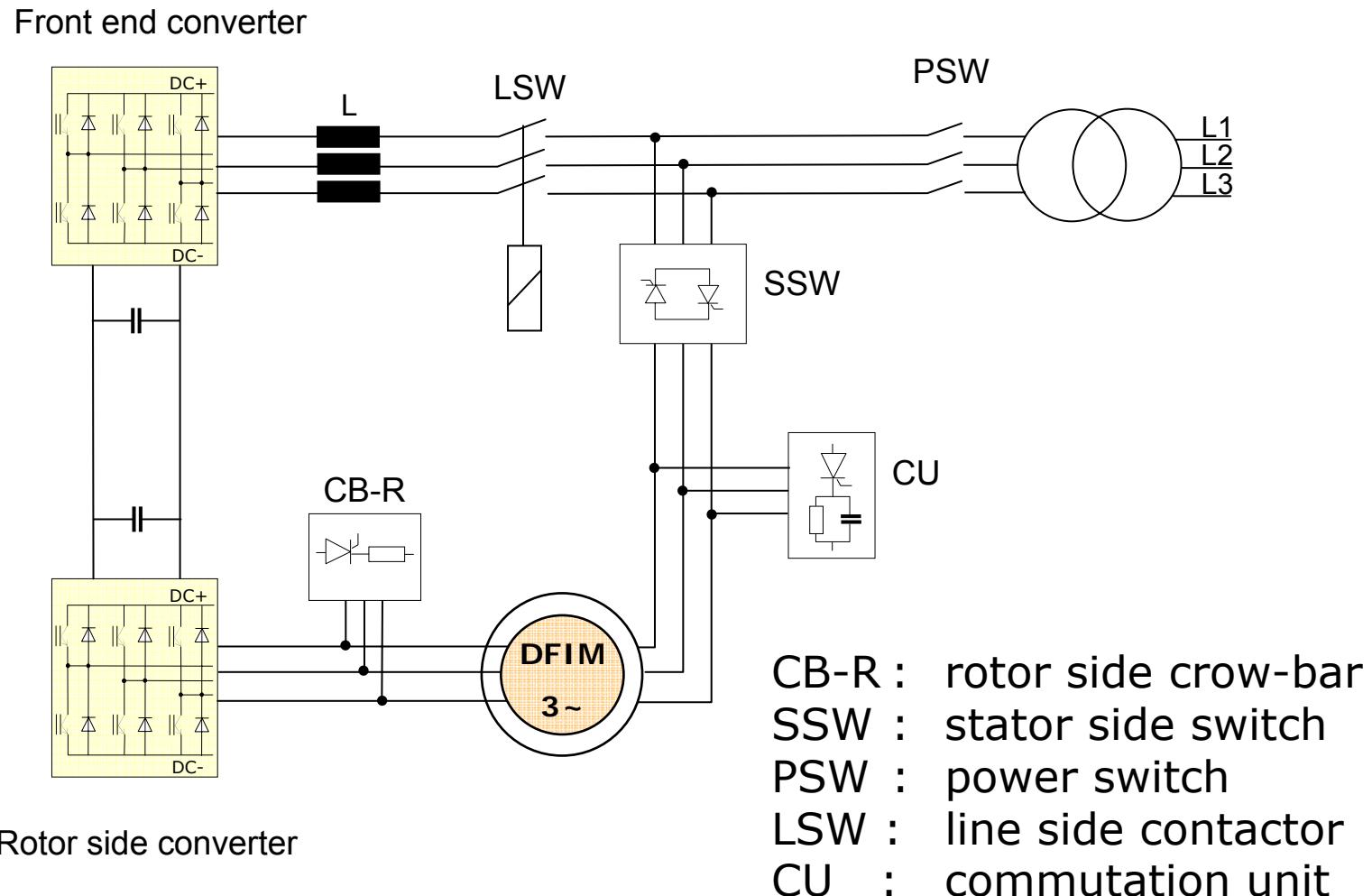
# Rotorseitige FRT-Maßnahmen

## Nachteile:

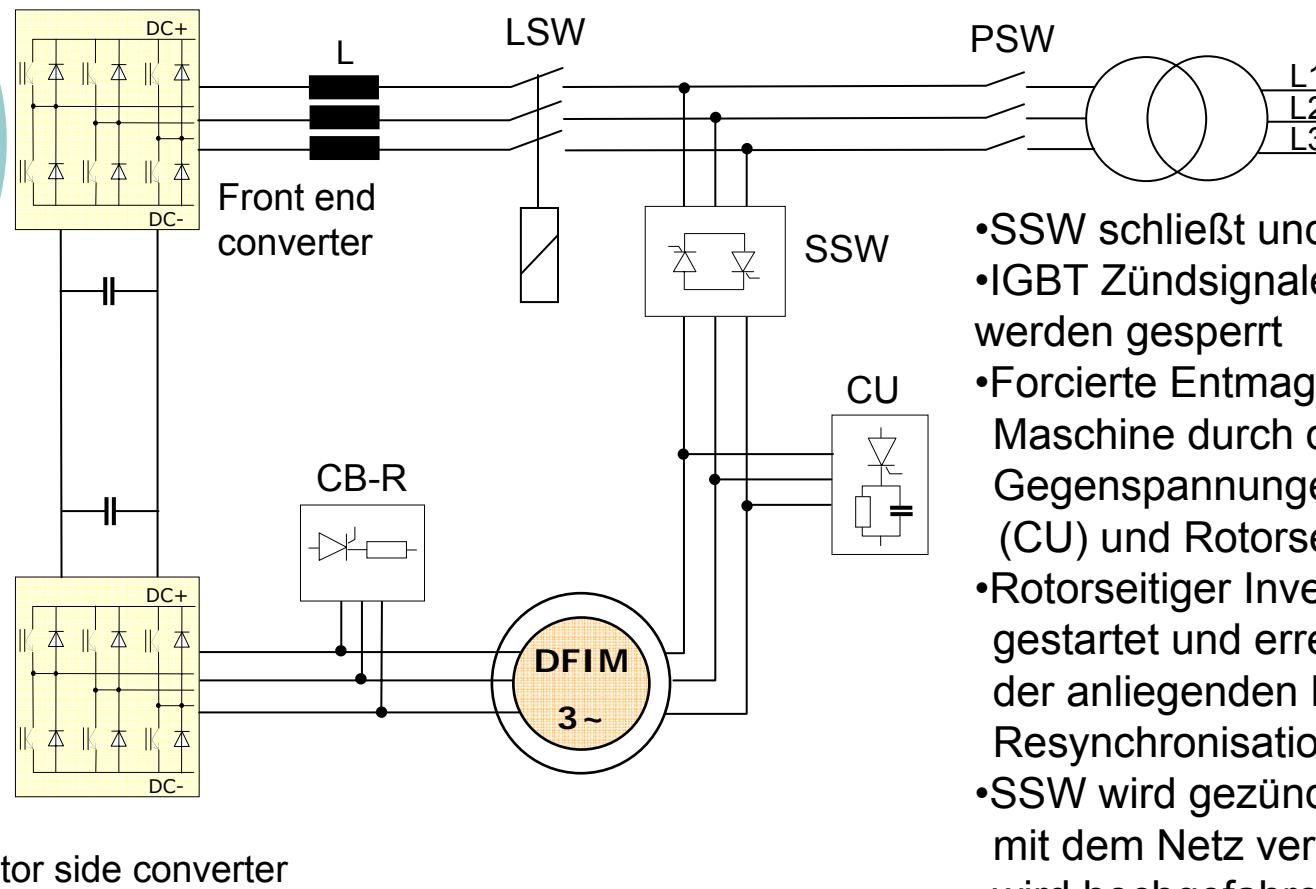
- Stark oszillierende Wirk- und Blindleistung auf der Netzseite
- Durch die Oszillationen und die Drehmomentenspitze wird das mechanische System stark beansprucht
- Der Kurzschlussstromverlauf unterscheidet sich nicht wesentlich von dem ohne FRT-Maßnahmen
- Während der Rotor über die Crowbar kurzgeschlossen ist, bezieht die Maschine aus dem Netz Blindleistung – keine Spannungsstützung



# Statorseitige FRT-Maßnahmen



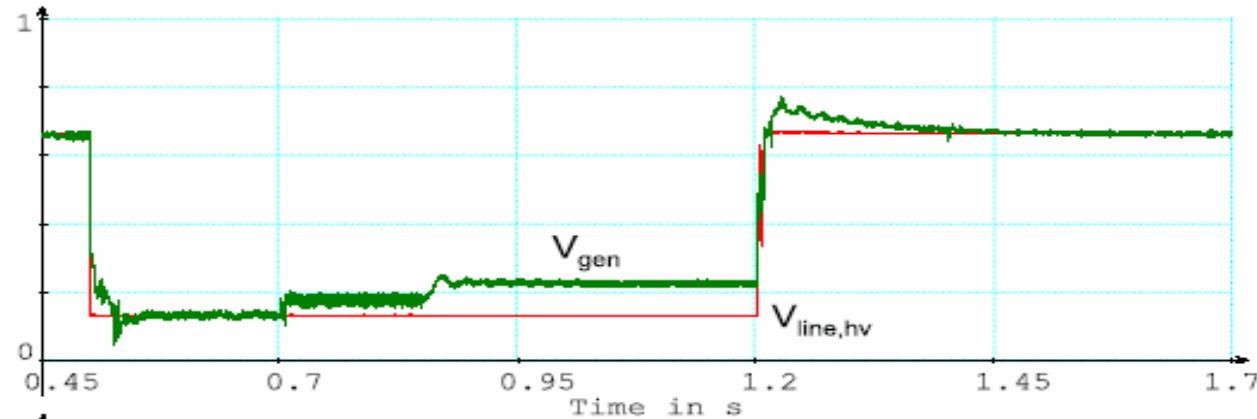
# Statorseitige FRT-Strategie



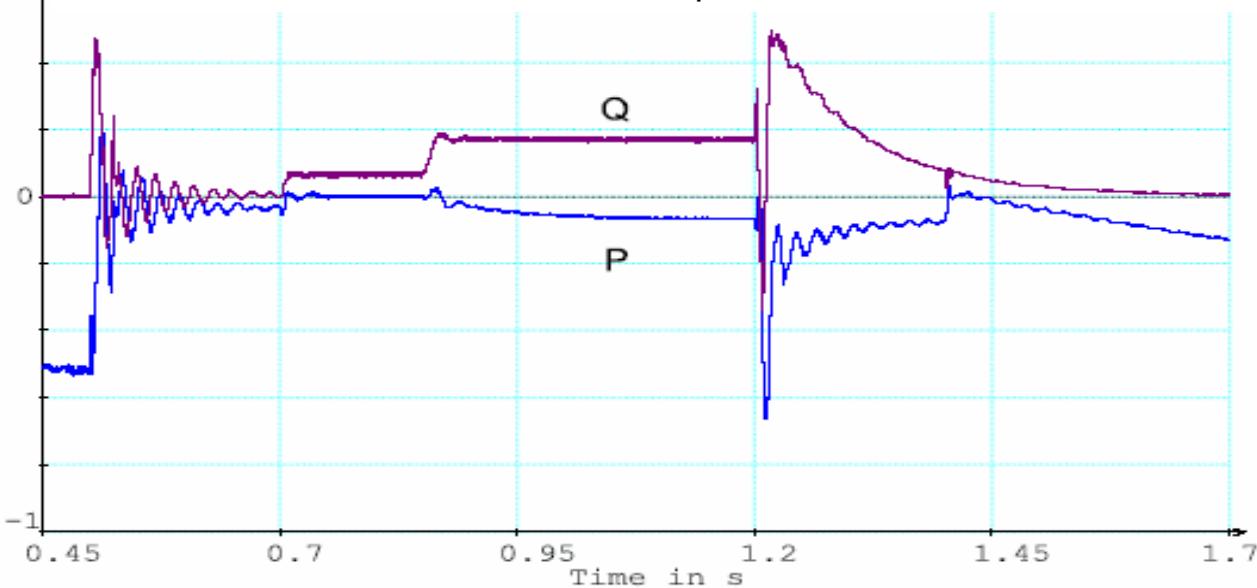
Rotor side converter

- SSW schließt und CU wird gezündet.
- IGBT Zündsignale auf der Rotorseite werden gesperrt
- Forcierte Entmagnetisierung der Maschine durch die Gegenspannungen auf der Statorseite (CU) und Rotorseite (DC link).
- Rotorseitiger Inverter wird neu gestartet und erregt den Generator zu der anliegenden Netzspannung für Resynchronisation
- SSW wird gezündet und der Generator mit dem Netz verbunden. Die Leistung wird hochgefahren entsprechend dem maximalen Rotorstrom.
- Während der Unterbrechung speist der netzseitige Konverter maximalen Blindstrom ins Netz.

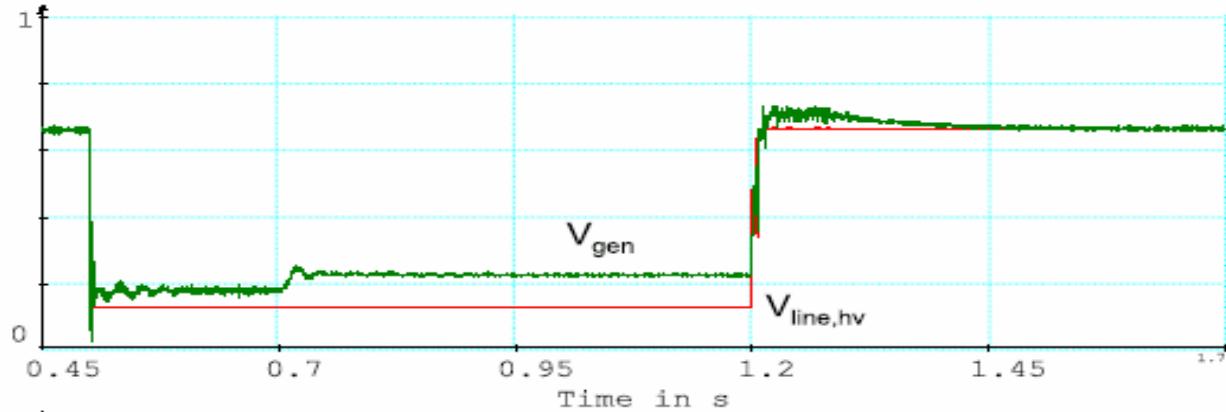
# FRT mit rotorseitigen Maßnahmen



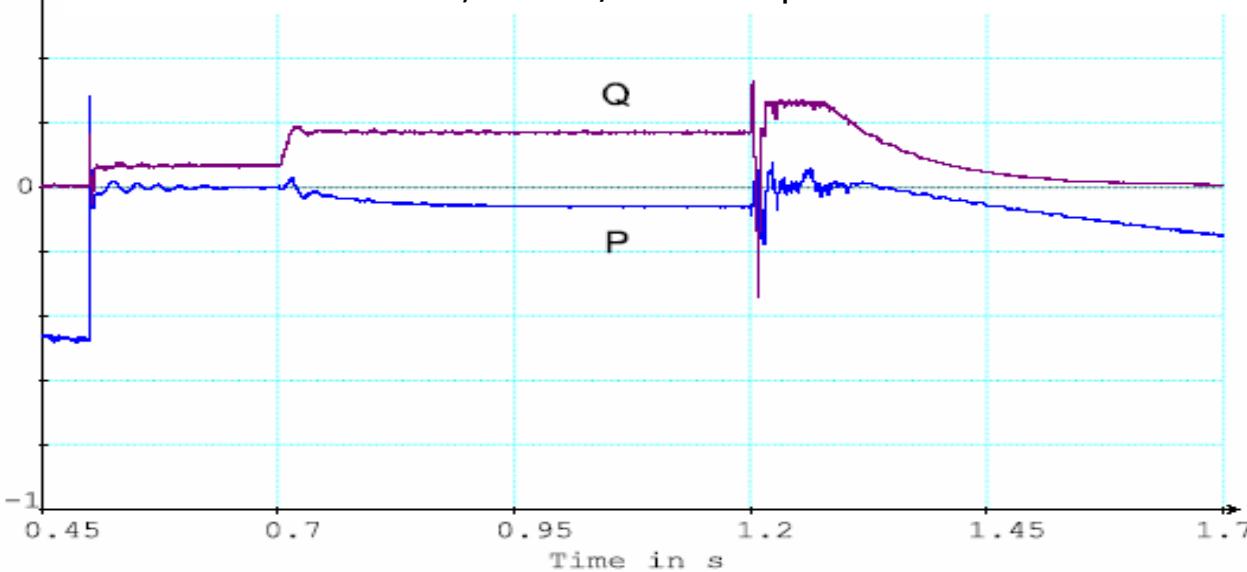
Grid failure of 700 ms with 20% retaining voltage, 2.5 MW turbine;  
 $V_{line}$  = grid voltage at 110 kV level,  $V_{gen}$  = generator voltage, voltages  
related to 1.5\*rated; active/reactive power related to 2\*rated



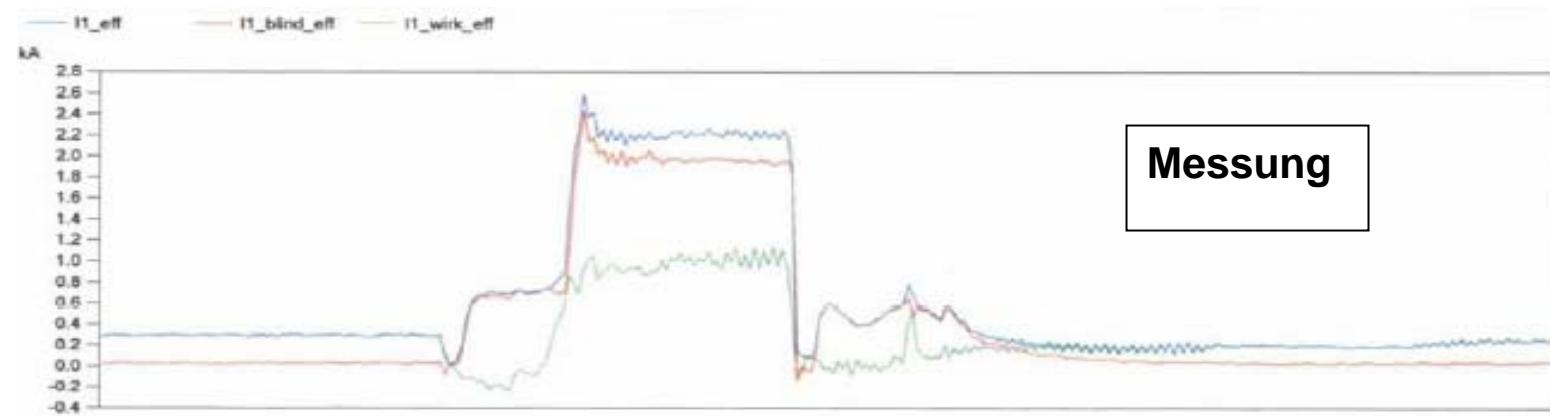
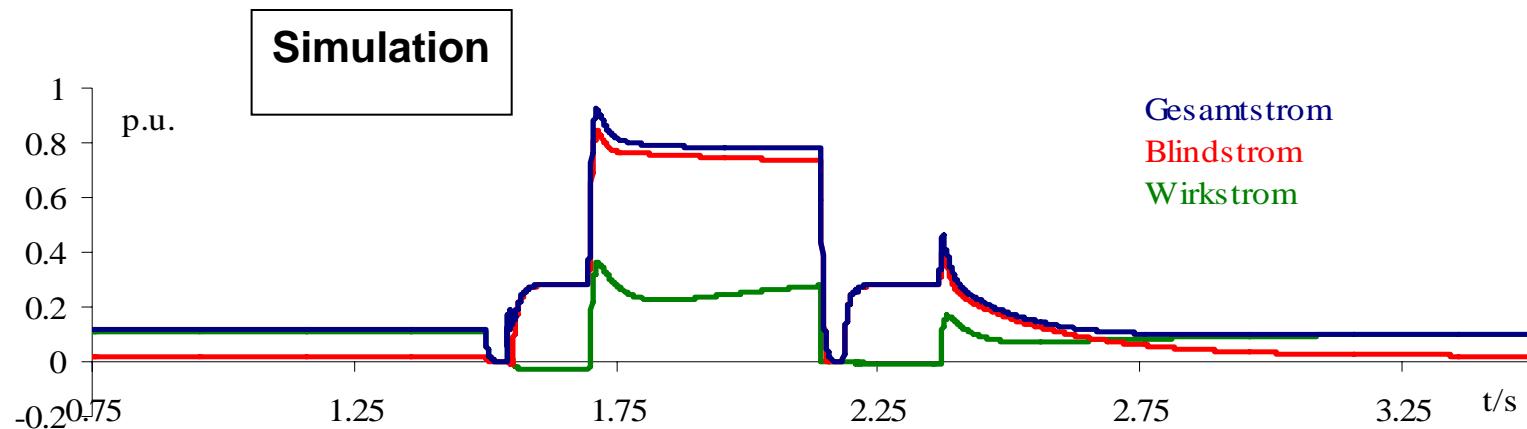
# FRT mit statorseitigen Maßnahmen



Grid failure of 700 ms with 20% retaining voltage, 2.5 MW turbine;  
 $V_{line}$  = grid voltage at 110 kV level,  $V_{gen}$  = generator voltage, voltages  
related to 1.5\*rated; active/reactive power related to 2\*rated



# FRT mit kurzzeitiger Unterbrechung

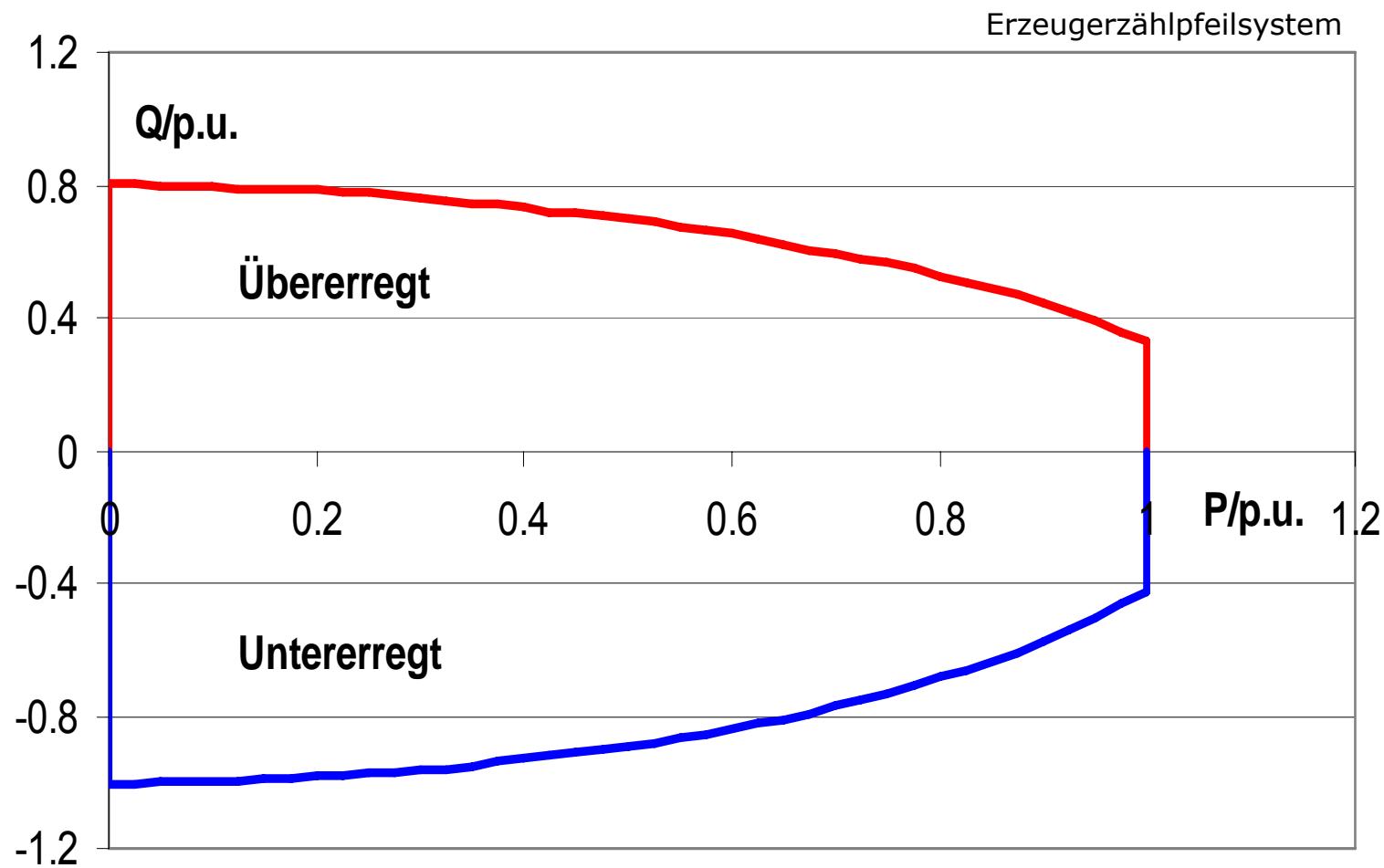


# Vergleich von rotor- und statorseitigem FRT

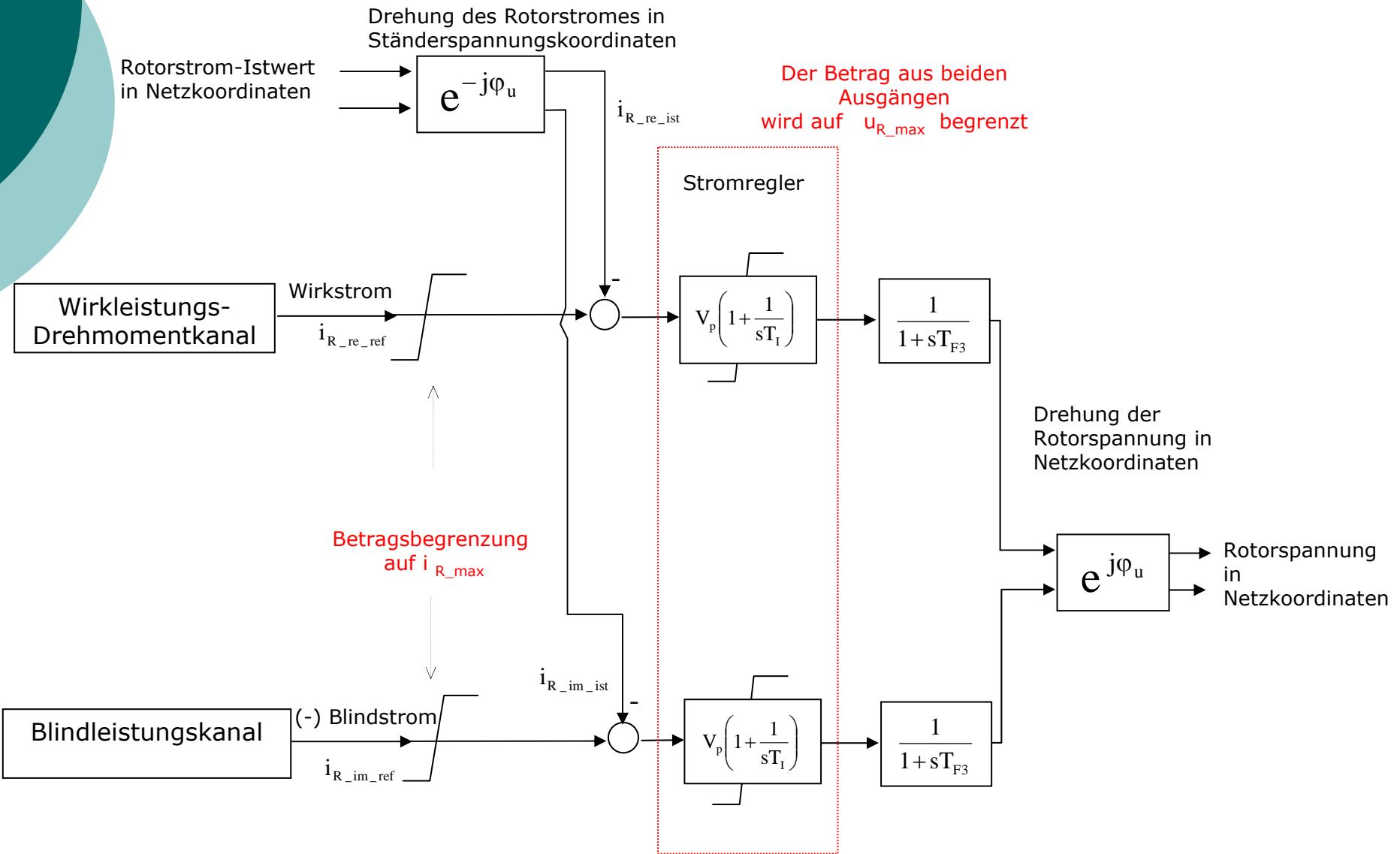
---

Kriterien	Rotorseitiger Ansatz	Statorseitiger Ansatz
<b>Stoßstrom</b>	3 ... 5	< 2.5
<b>Max. Drehmoment</b>	3 ... 4	< 2.5
<b>Stützung der Netzspannung nach</b>	> 100 ms	< 20 ms
<b>Blindleistungsverbrauch während des Fehlers</b>	ja	nein
<b>DC-Komponente im KS-Stromverlauf</b>	ja	nein

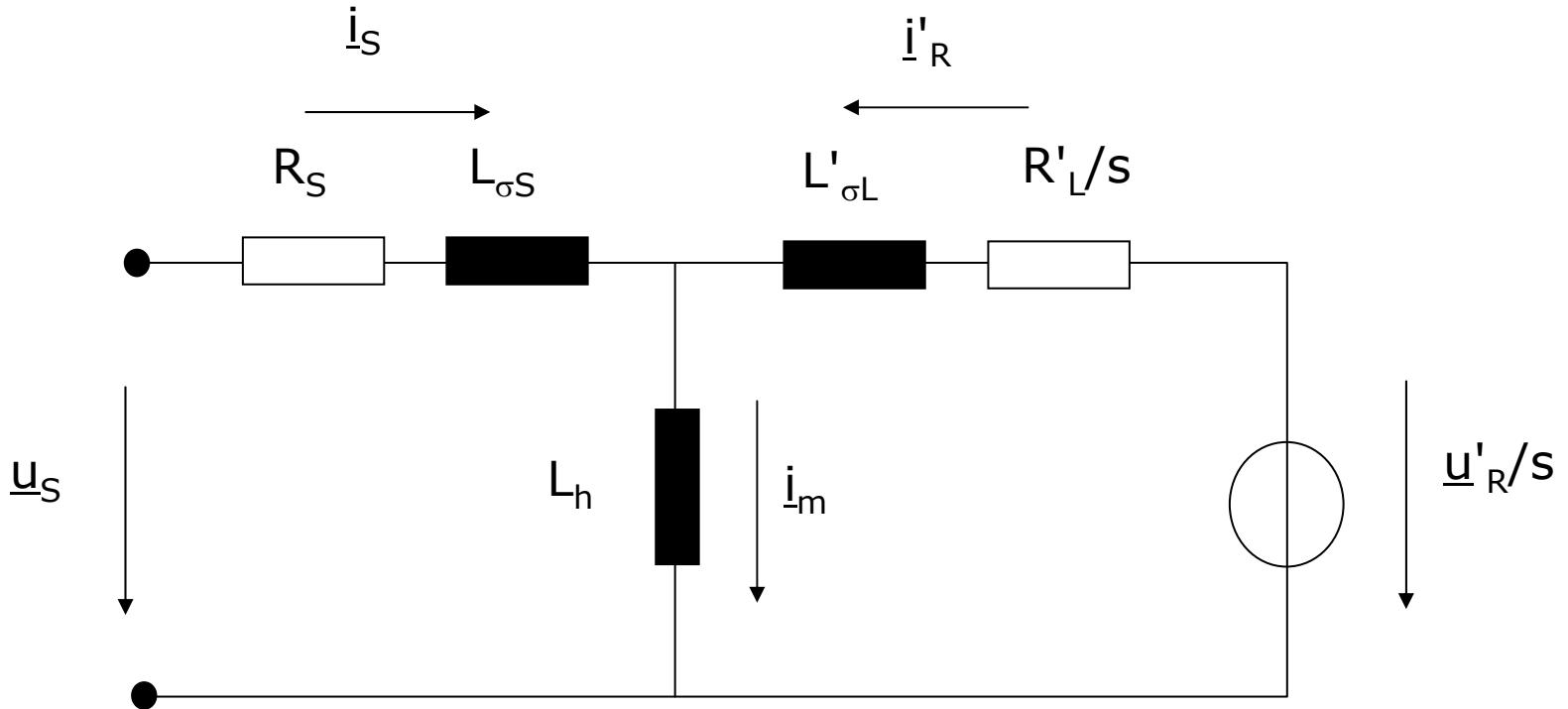
# PQ-Diagramm einer DFIM



# Regelung der DFIM



# Magnetisierungsbedarf einer DFIM

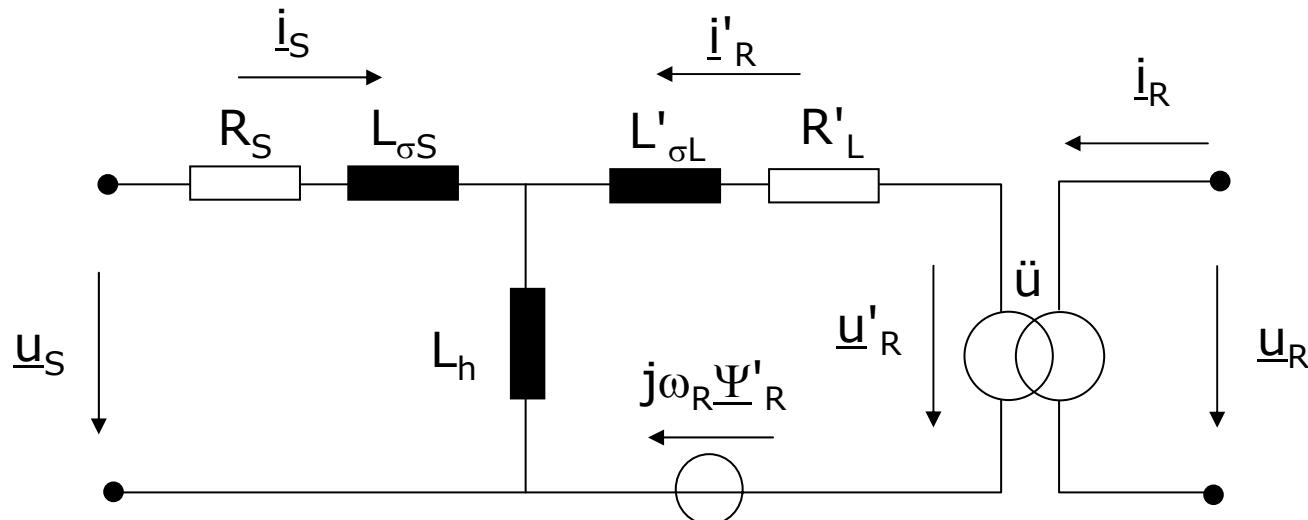


angenommen  $L_h = X_h = 4.0$  p.u. und  $U_h = 1.0$

$$\Rightarrow Q_m = \frac{U_h^2}{X_h} = \frac{1^2}{4} = 0.25 \text{ p.u.}$$

# Wo soll die Blindleistung erzeugt werden?

Alternativen: netzseitiger oder rotorseitiger Umrichter



angenommen:  $\ddot{u}=1/3$  und  $i_R=1/3$  p.u.  $\rightarrow i'_R=1.0$  p.u.

Schlussfolgerung: mit dem rotorseitigen Umrichter erzeugte Blindstrom bewirkt eine mit dem Faktor  $\ddot{u}$  höhere Blindleistung auf der Statorseite

# Danke für ihre Aufmerksamkeit!

---

