Traktionsstromversorgung und Schutztechnik

oder: wie man den Überblick in komplexen Fahrstromnetzen behalten kann…

ÖVG-Kongress Fahrstromanlagen

TU Wien, 24.11.2016, Martin Aeberhard

Ziele des Vortrages:

- Aufzeigen des aktuellen Standes der Simulation in den Bereichen Traktionsstromversorgung und Schutz
- Von einfachen Beispielen bis zur Analyse sehr komplexer Bahnknoten
- Beispiel Bahnknoten Zürich

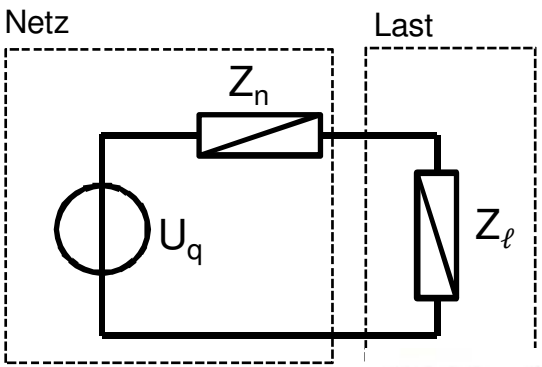
Zielsetzungen neues Fahrstromkonzept Zürich

- Ermöglichen weiterer Angebotsverbesserungen (mehr und leistungsfähigere Züge)
- Reduktion der Komplexität der Anlagen
- Notspeisefähigkeit UW Zürich:
  Totalausfall (inkl. 15-kV-Sammelschienen und Speisepunkte), die Notschaltung muss rasch und einfach erstellt werden können, keine Einschränkungen des Zugsverkehrs

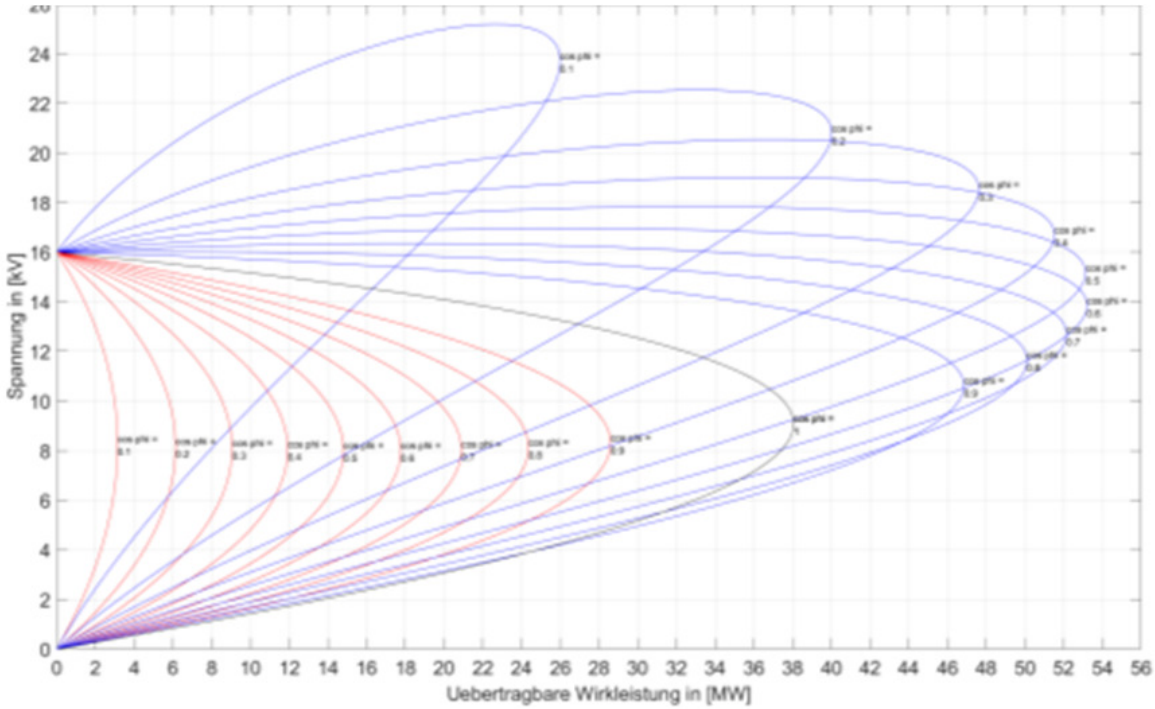
Wichtigste Untersuchungs-Gegenstände

- Spannung
  - Spannungs-Stabilität
  - Spannungsdifferenzen (Streckentrennungen!)
- Strom
  - Betriebsströme (thermische Belastung von Leitungen, Trafos, Schaltern…)
  - Kurzschlussströme
- Schutz
  - Kurzschlussschutz
  - Thermischer Schutz

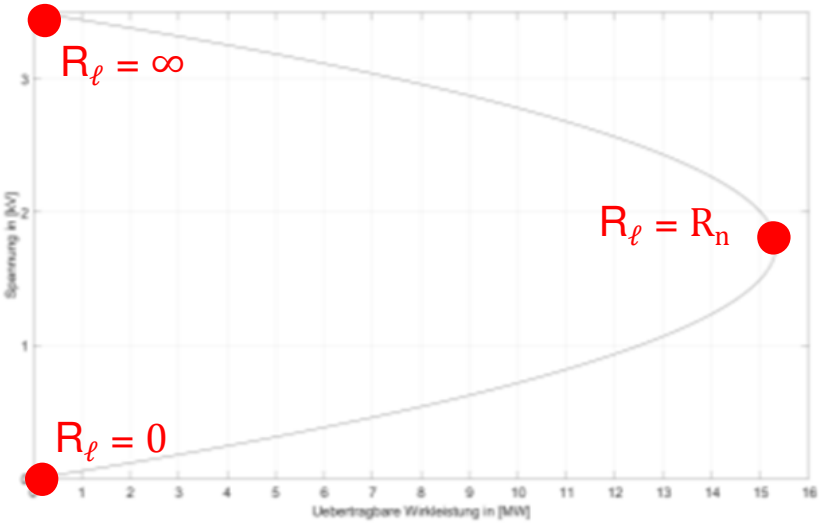
Spannungsstabilität



AC, U_q = 16 kV, Z_n = 1.2 + j*1.8 Ω



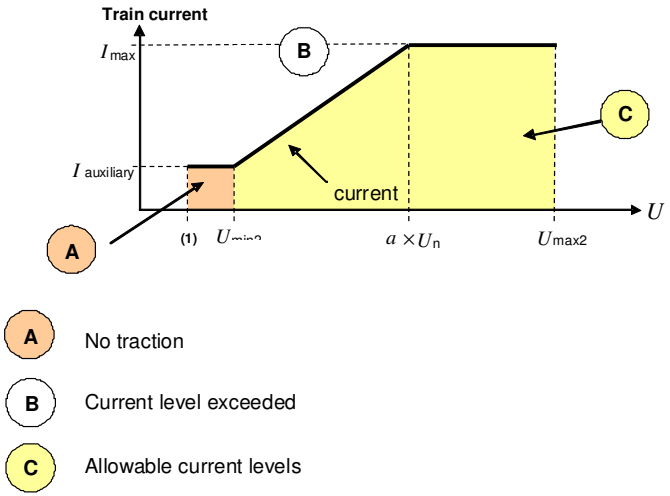
DC, U_q = 3.5 kV, R_n = 0.2 Ω



Kann es überhaupt sein, dass man über den Punkt P_{max} «hinausfällt»?

Antwort: Jein

Einerseits:



Begrenzungskennlinie aus der EN 50388
Neu darf anstelle des Stromes auch die Leistung begrenzt werden

Bei $U = U_{min2}$ ist die Traktionsleistung = 0
Wenn alle Fahrzeuge so reagieren, kann die Spannung gar nicht unter U_{min2} fallen

Aber:

- Stufenschalterlokomotiven:

  $P \approx U^2$ (Reihenschlussmotor bei konstanter Drehzahl), d.h. bei $U = U_{min2}$ ist $P \neq 0$!

- Die Begrenzung wirkt nur auf die Traktionsleistung

Abstellanlage Zürich Herdern, gemessene 1-Minutenleisten 19 MW 13 MVAr (bei -5°C)

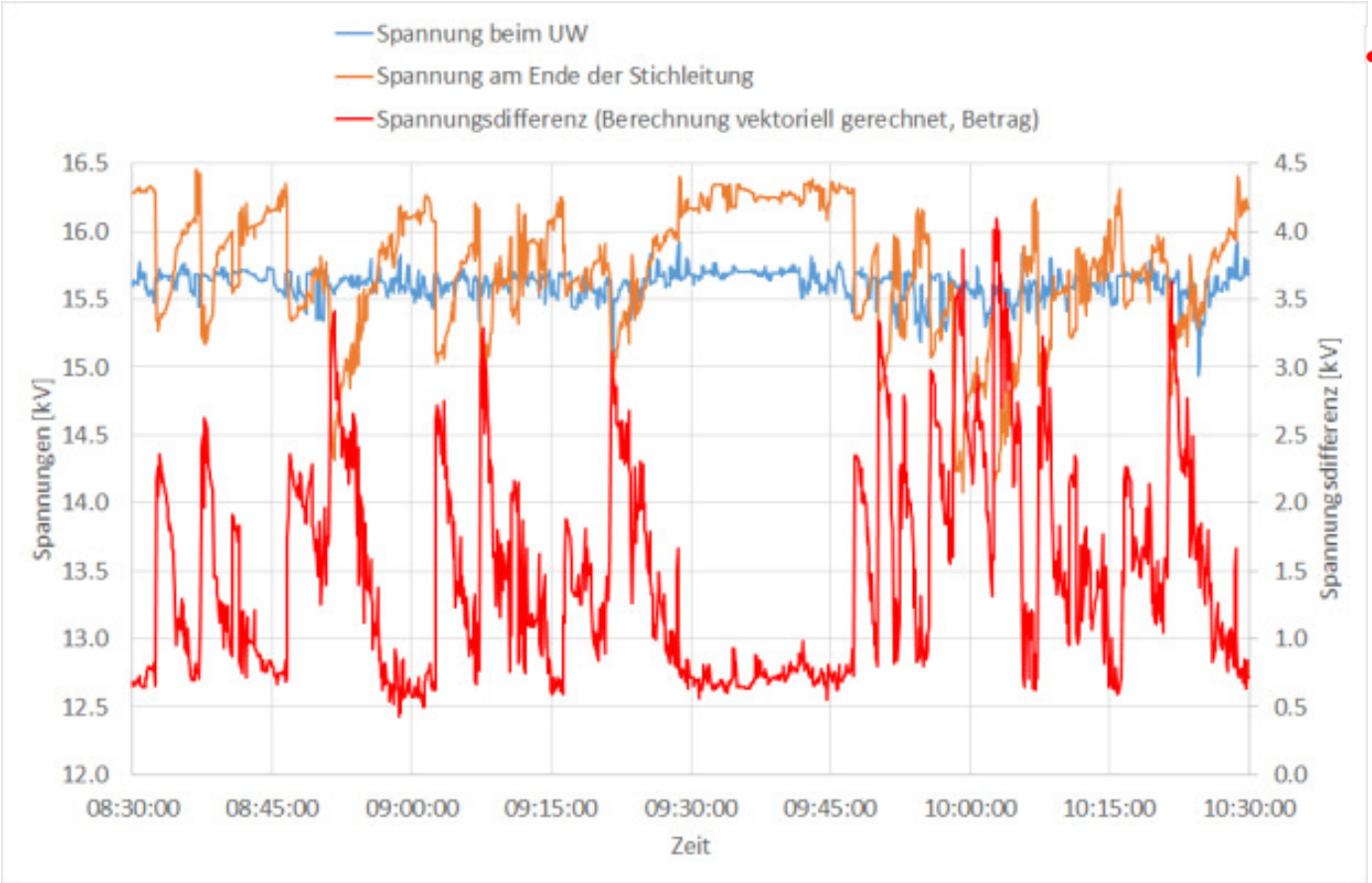
Fazit: Es kann jederzeit sein, dass die Verbraucher mehr Leistung wollen als das Netz liefern kann

Für die Zugfahrtsimulation mit integrierter Lastflussrechnung bedeutet das:

- Keine Konvergenz der Lastflussrechnung:
  - Mindestens ein gesuchter Arbeitspunkt liegt ausserhalb der «Nasenkurve», der Newton-Raphson-Algorithmus findet keine Lösung.
  - Auswirkungen können von gering (Hauptschalterauslösung auf einem einzigen Zug) bis sehr gross sein (grösserer Netzausfall), eine Prognose ist mit keiner Simulation möglich (dynamisches Verhalten, Dominoeffekte, Faktor Mensch)
  - Solche Zustände müssen durch Netzplanung bzw. –betrieb ausgeschlossen werden
- oder, die Lastflussrechnung konvergiert:
  - Die Leistungsbegrenzungen haben das Netz genügend stabilisiert. Es ist zu prüfen, ob die Züge die Fahrpläne noch einhalten können.

Spannungsdifferenzen an Streckentrennungen

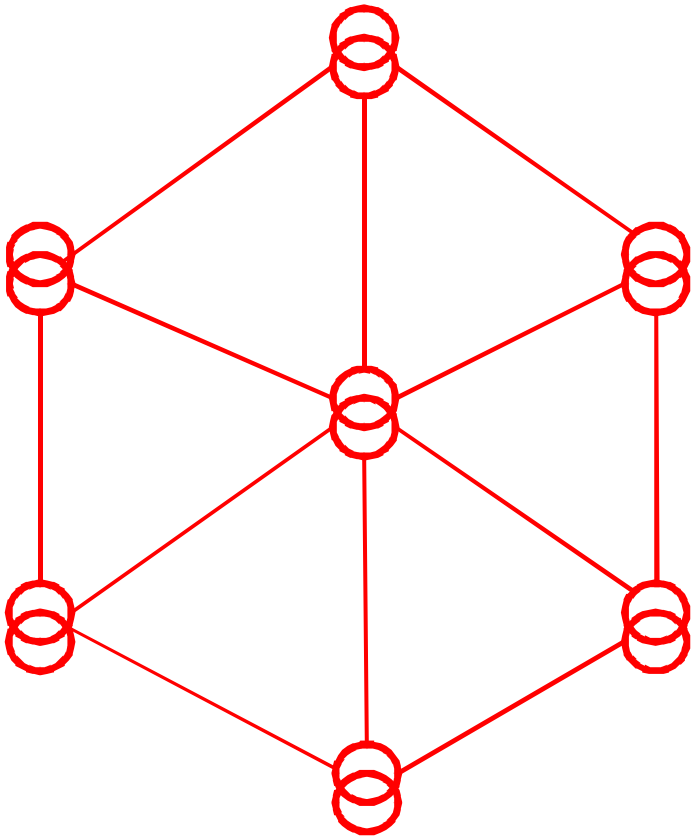
oder: Wo braucht es Schutzstrecken?



- Allerdings: Eindeutige Kriterien, welche ΔU zulässig sind (bei jeder Zugsdurchfahrt, bzw. nur in Ausnahmefällen) scheint es nicht zu geben

Grossraum Zürich, 2016 installierte UW-Transformatoren

Vermaschung – oder besser doch nicht?

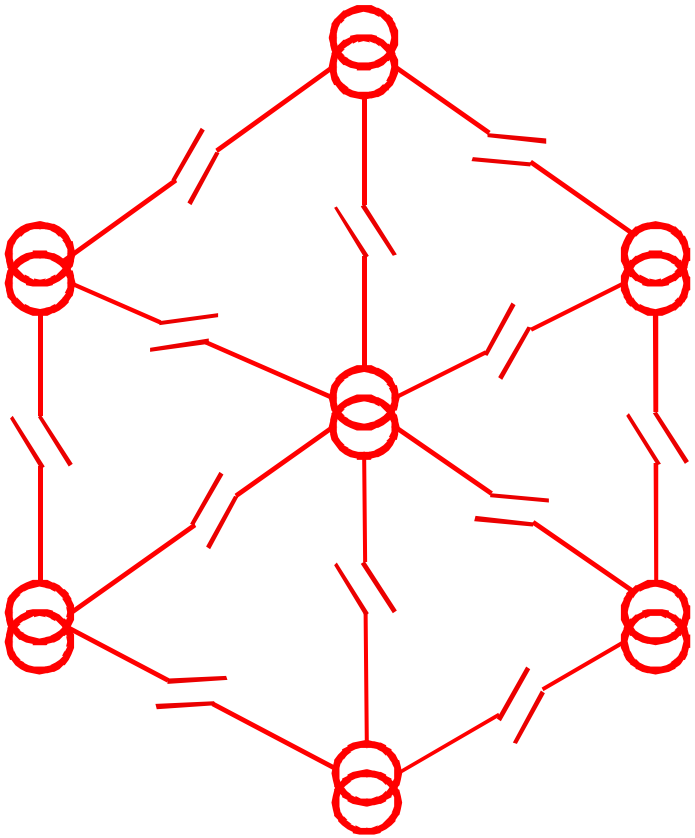


- Gute Lastaufteilung zwischen den Transformatoren/ Unterwerken
- Keine Schutzstrecken

Aber:

- Kurzschlussströme (zu) hoch

Vermaschung – oder besser doch nicht?

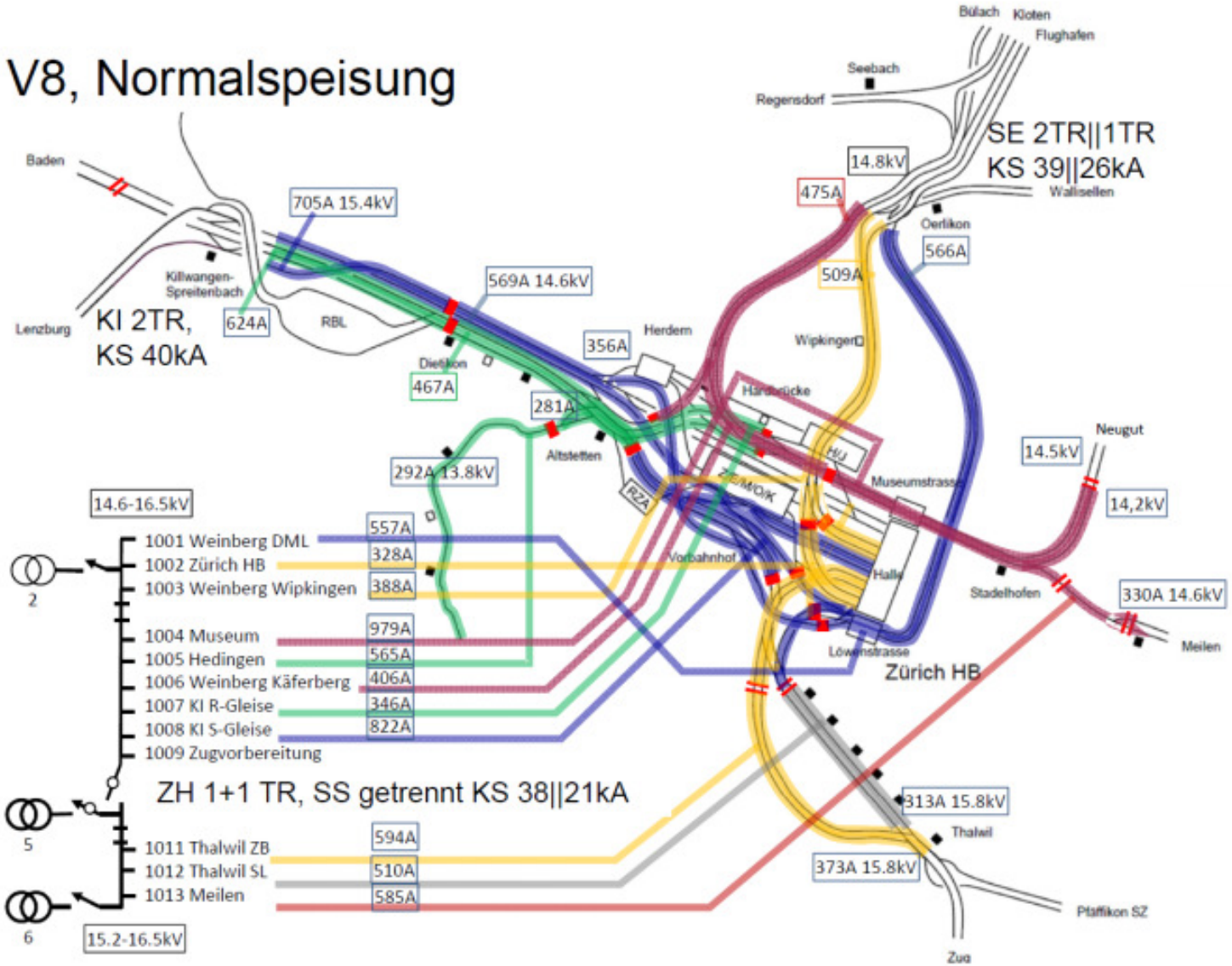


- Kurzschlussströme kleiner

Aber:

- Schutzstrecken
- Keine Lastaufteilung zwischen den Transformatoren

Knoten Zürich: Es geht nur mit einem Kompromiss



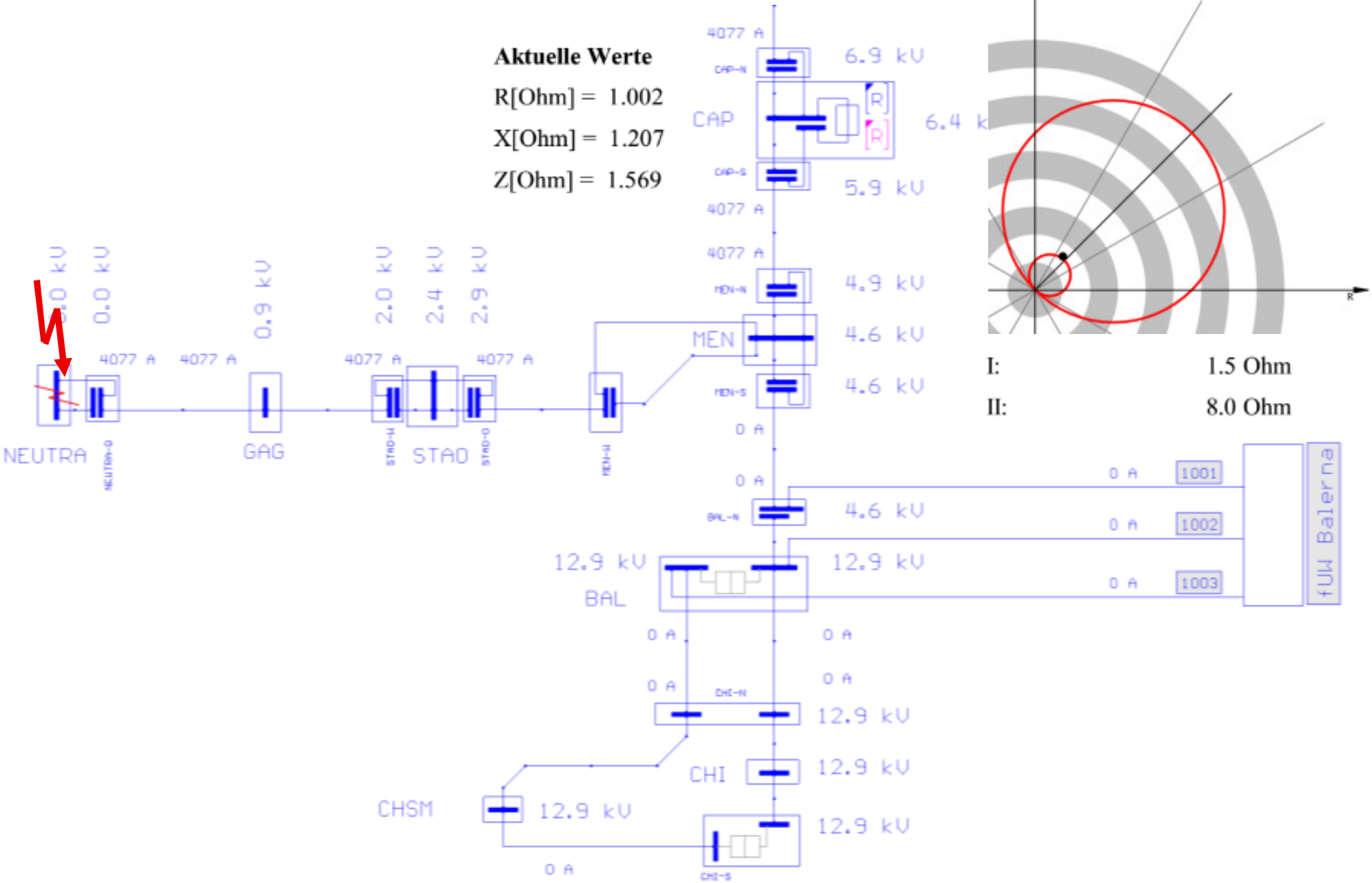
Schutz: Stichspeisung KS NEUTRA

Aktuelle Werte

R[Ohm] = 1.002

X[Ohm] = 1.207

Z[Ohm] = 1.569



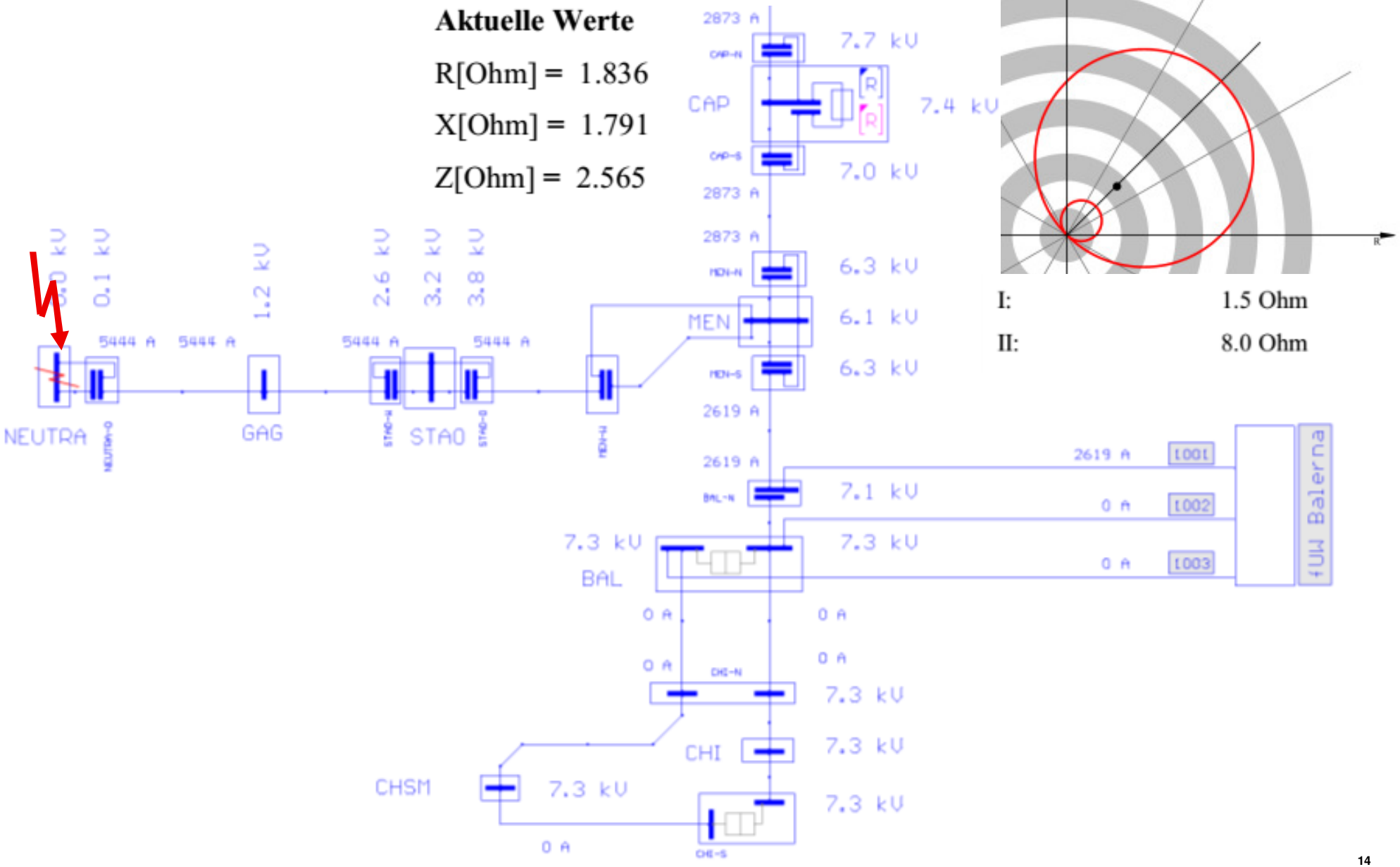
Schutz: T-Speisung KS NEUTRA,
Schutzrelais Capolago **+1 Ω**

Aktuelle Werte

R[Ohm] = 1.836

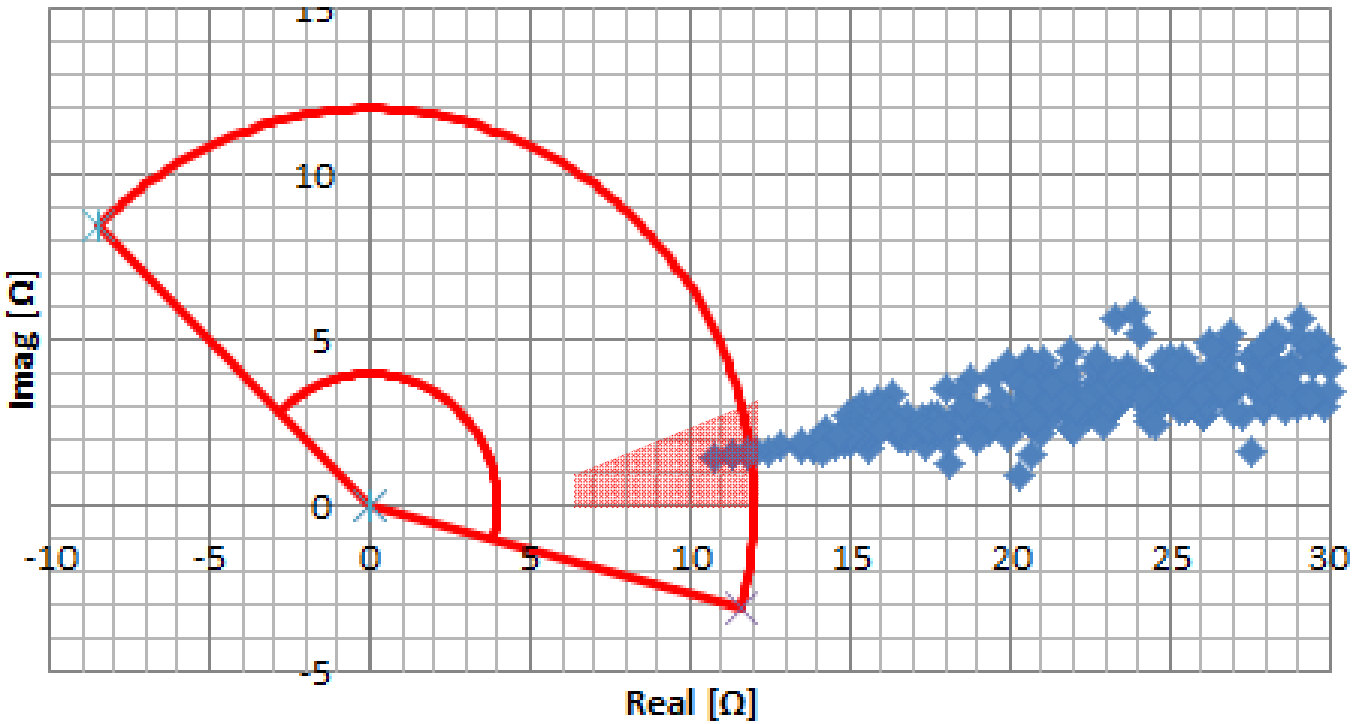
X[Ohm] = 1.791

Z[Ohm] = 2.565

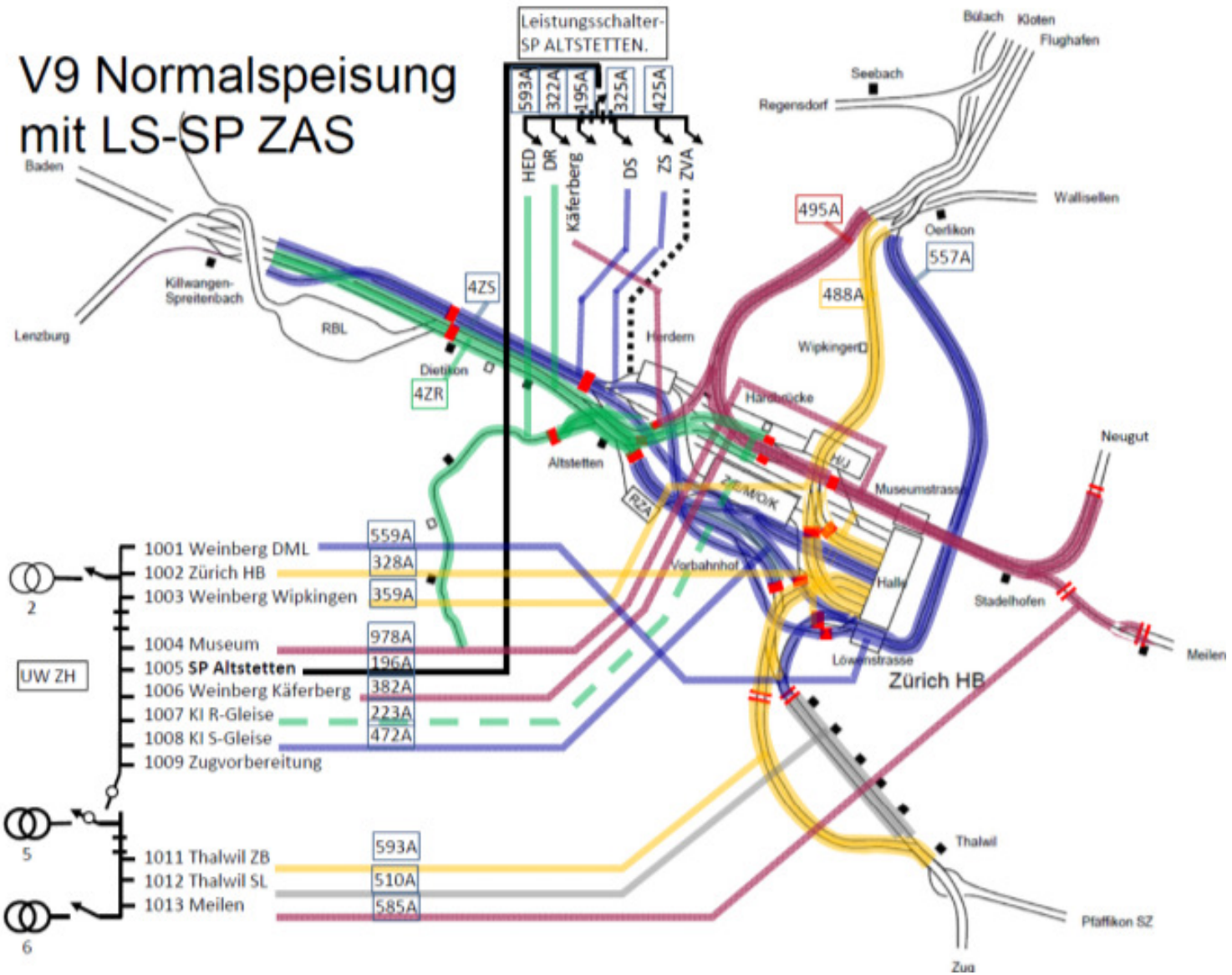


Schutz: Kombination von Zugfahrtsimulation, Lastflussrechnung und Schutzfunktionen

- Schutzfunktion und Betriebsimpedanzen
  - Design Lastausblend-Funktionen im Distanzschutz



Knoten Zürich: Die Quadratur des Kreises ist gelungen!



Die drei wichtigsten Zutaten zum Erfolg

Danke