

Abschlusspräsentation Forschungspraxis

Validierung von Holomorphic Embedding Load Flow

Benedikt Schmidt (benediktibk@aon.at)

Sascha Altschäffl/16.09.2014

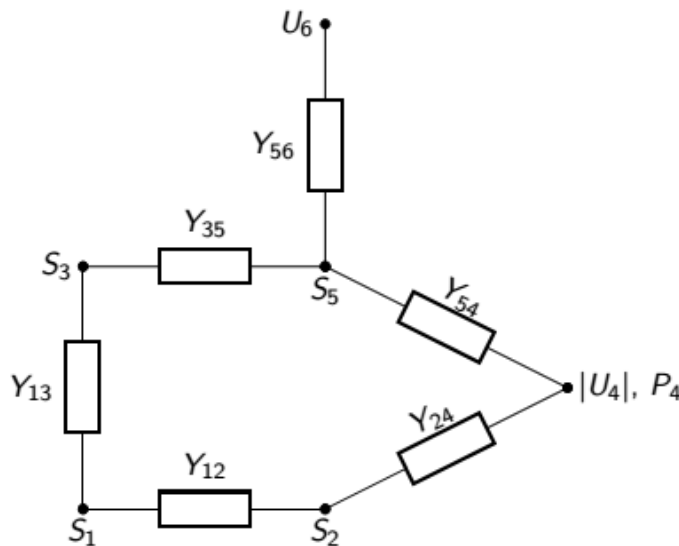
Technische Universität München,
Fachgebiet Elektrische Energieversorgungsnetze

Gliederung

- Holomorphic Embedding Load Flow (HELM)
- Implementierung
- Ergebnisse
- Fazit

Lastflussproblem

- Ausgangspunkt ist ein Netz, bestehend aus
 - Knoten mit Spannungen und Lastentnahmen (bzw. Einspeisungen)
 - Admittanzen zwischen den Knoten
- Beschreibung über einen Satz von Gleichungen



$$\sum_j Y_{ij} U_j = I_j + \frac{S_j^*}{U_j^*}$$

Embedding

- Einführung eines Parameter s
- Darstellung der Knotenspannungen als Funktionen in s

$$\sum_j Y_{ij} U_j = I_j + \frac{S_j^*}{U_j^*}$$



$$\sum_j Y_{ij} U_j(s) = s I_j + \frac{s S_j^*}{U_j^*} + (1 - s) \sum_j Y_{ij}$$

$$U_i \rightarrow U_i(s)$$

Berechnungsschritte

1. Einsetzen der Laurent-Reihe
$$U_i(s) = \sum_{n=0}^{\infty} c_{i,n} s^n$$
2. Berechnung der Koeffizienten durch Entwicklung an $s = 0$
3. Auswertung an $s = 1$ über analytische Fortsetzung, z.B.: Epsilon Wynn

Implementierung

- Entwickelt in C++ und C#
- Netze in SQL-Datenbank (Einspeisungen, Transformatoren, Lasten, ...)
- GUI um Netze zu bearbeiten
- Berechnung der Knotenspannungen

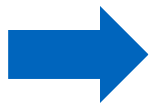
Implementierung

Implementierte Verfahren:

- Knotenpunktpotentialverfahren
- Stromiteration
- Newton-Raphson
- Fast-decoupled-load-flow (FDLF)
- HELM, 64 Bit Genauigkeit
- HELM mit Stromiteration
- HELM mit Newton-Raphson
- HELM, beliebige Genauigkeit

Ergebnisse

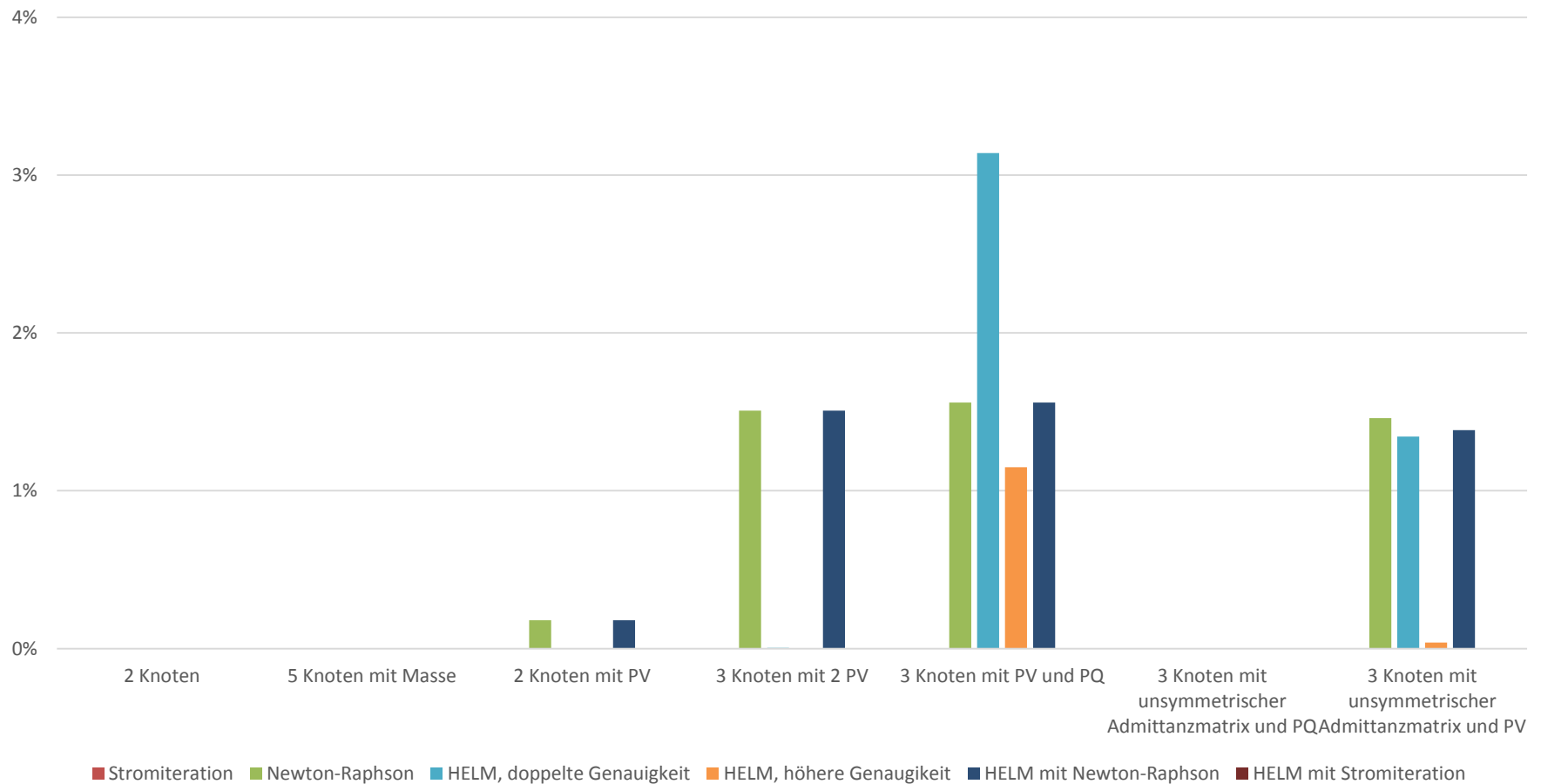
- Eigenes Tool zum Vergleich der Verfahren
- Konstruktion von Netzen über Admittanzmatrizen
- Vorgabe von allen Knotenspannungen und Berechnung der Lastflüsse daraus
- Zur Berechnung werden dann entweder die Spannungen oder die berechneten Leistungen vorgegeben (Slack-, PV- oder PQ-Knoten)



Exakte Ergebnisse sind bekannt

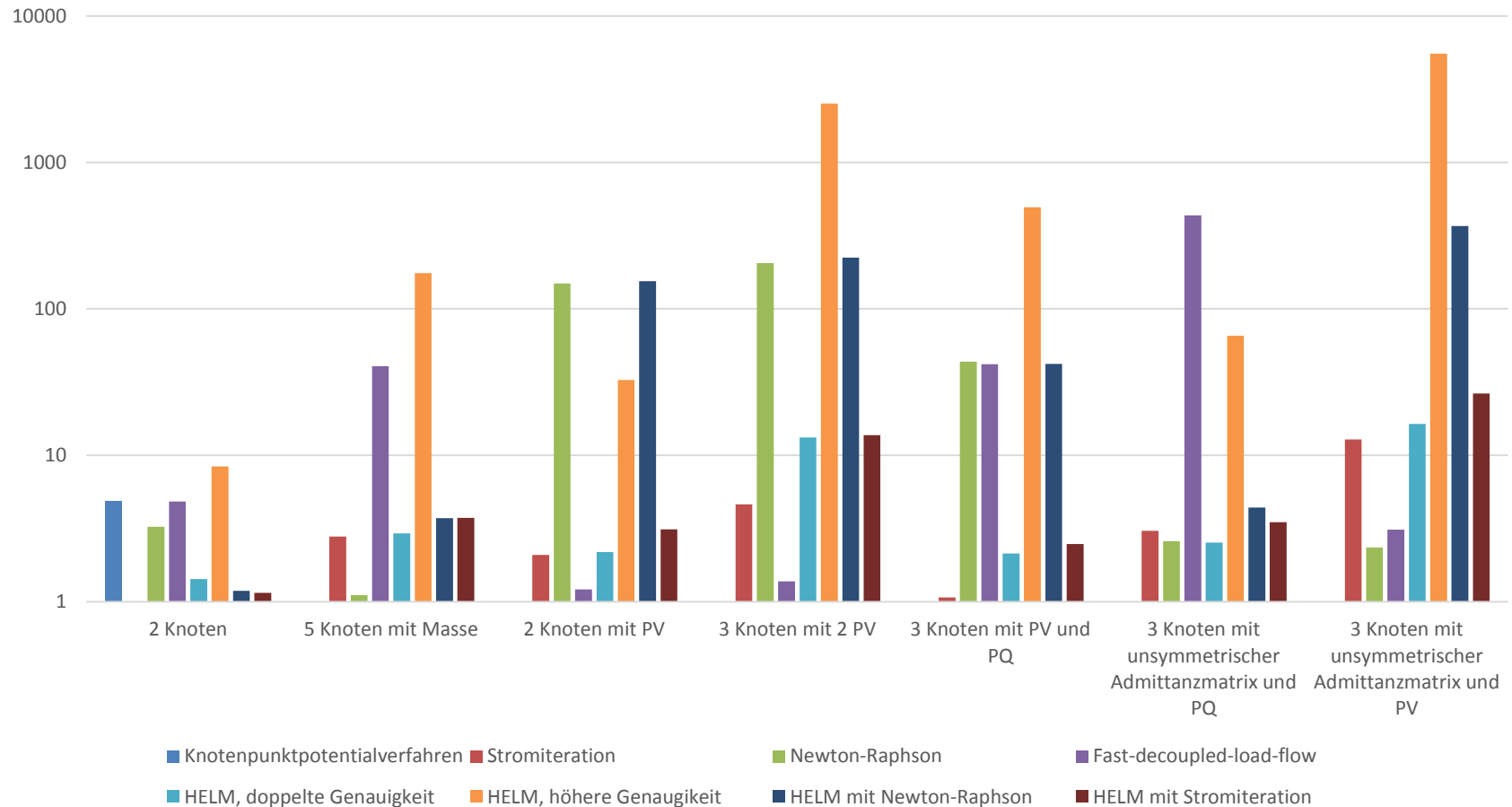
Ergebnisse

Relativer maximaler Fehler der Knotenspannungen

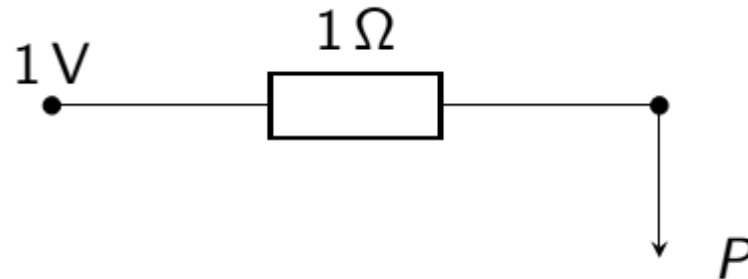


Ergebnisse

Berechnungsdauer normiert auf das jeweils schnellste Verfahren



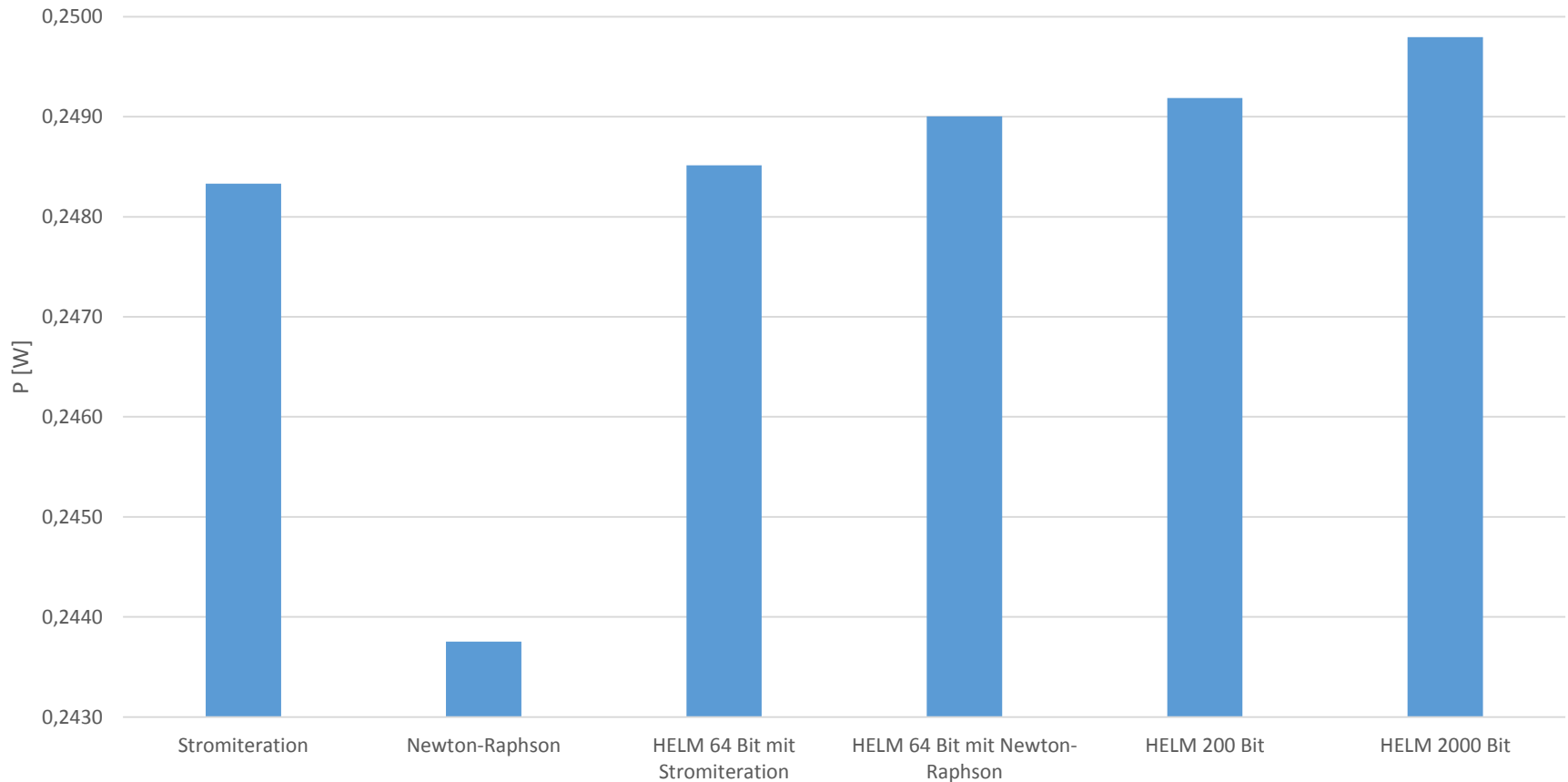
Ermittlung der Konvergenzgrenze



- Bisektion zur Ermittlung der maximalen Last, für den die Verfahren noch konvergieren
- Maximum liegt bei $P = 0.25\text{ W}$

Ermittlung der Konvergenzgrenze

Grenze für Konvergenz mit ausreichender Genauigkeit



Fazit

- Deutlich langsamer als iterative Verfahren
- + Besseres Konvergenzverhalten in der Nähe des Spannungszusammenbruchs
- Alternative zu iterativen Verfahren
- Kombination mit iterativen Verfahren bietet sich an

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.