

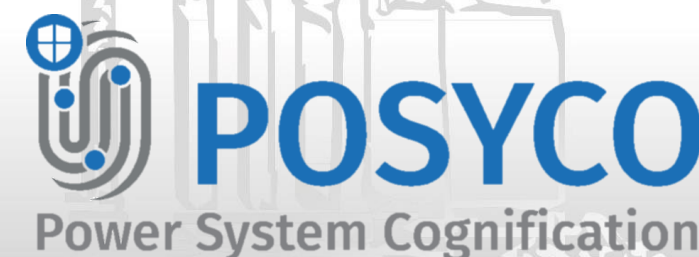
Ein Beitrag zur automatisierten Netzrekonfiguration in der Niederspannung

EnInnov2022 – 17. Symposium Energieinnovation (online)



Daniel Herbst, TU Graz - IEAN
17.02.2022

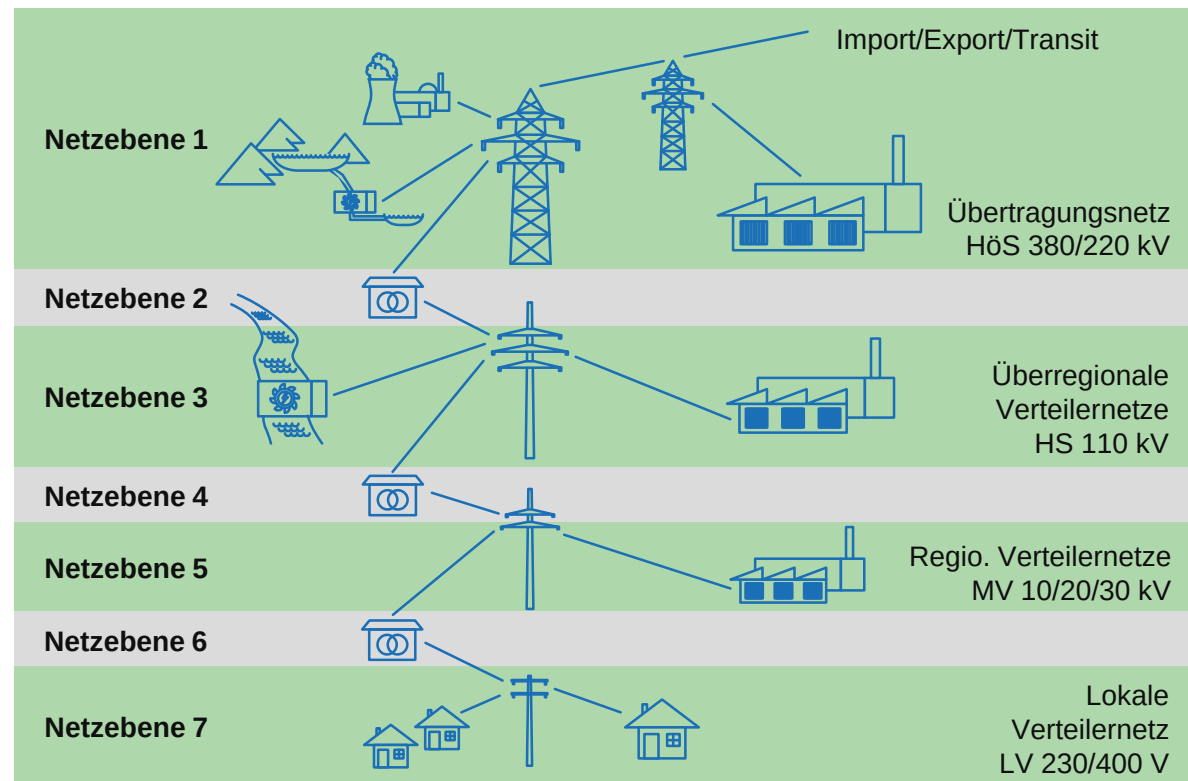
daniel.herbst@tugraz.at



Zum Einstieg...

Motivation und Hintergrund

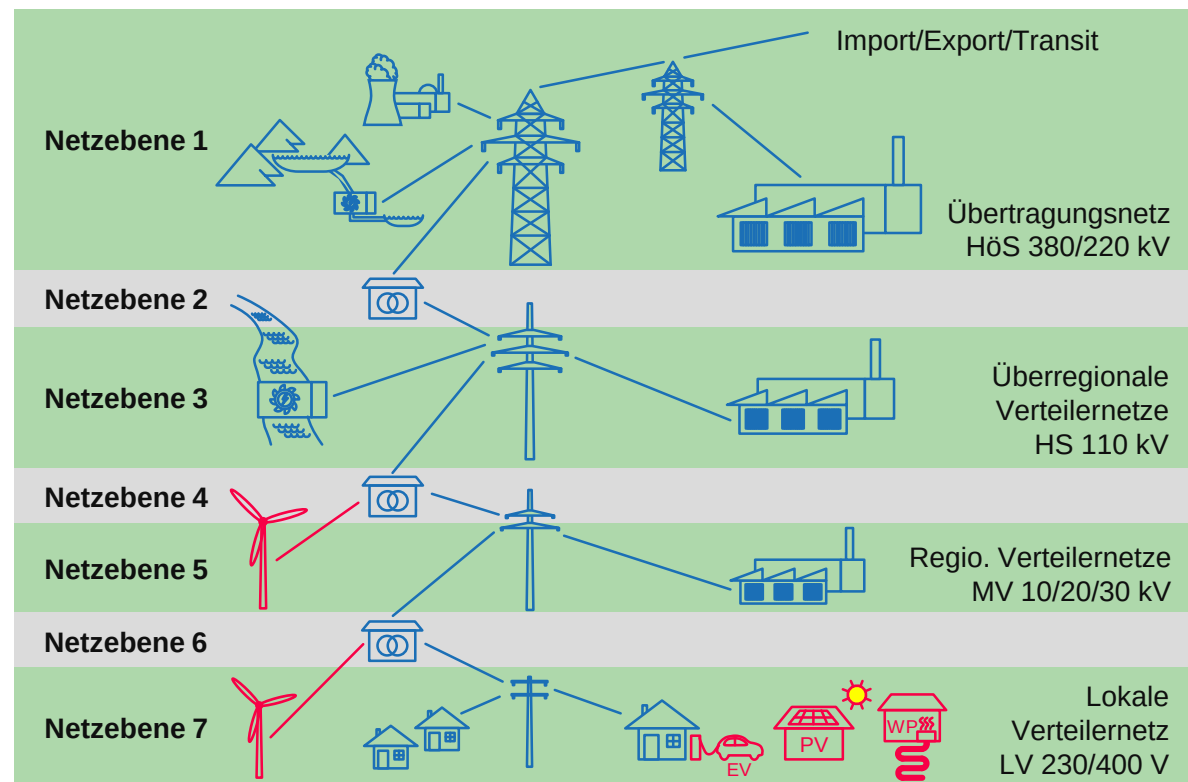
Motivation und Hintergrund



Vergangenheit - "traditioneller Weg":

- Elektrische Energie fließt unidirektional von großen Kraftwerken zu Endkunden (*top down*)

Motivation und Hintergrund



Vergangenheit - "traditioneller Weg":

- Elektrische Energie fließt unidirektional von großen Kraftwerken zu Endkunden (*top down*)

Gegenwart/Zukunft:

- Vermehrt lokale Einspeisung dezentraler/erneuerbarer Energiequellen (DER/RES) und "Prosumer,, (*bottom up*)
- Vermehrt hohe fluktuierende Lasten im Nieder- und Mittelspannungsnetz, zB Ladestationen für Elektrofahrzeuge, Wärmepumpen, Klimaanlage, ...

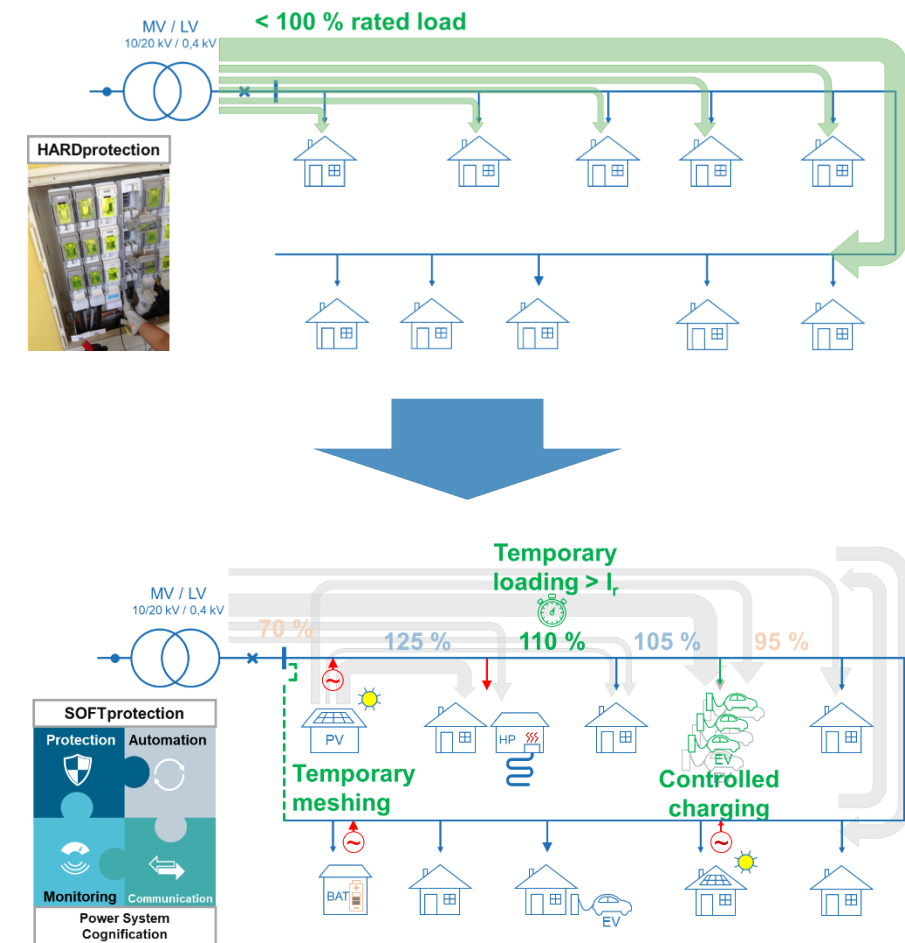
Das Forschungsprojekt PoSyCo



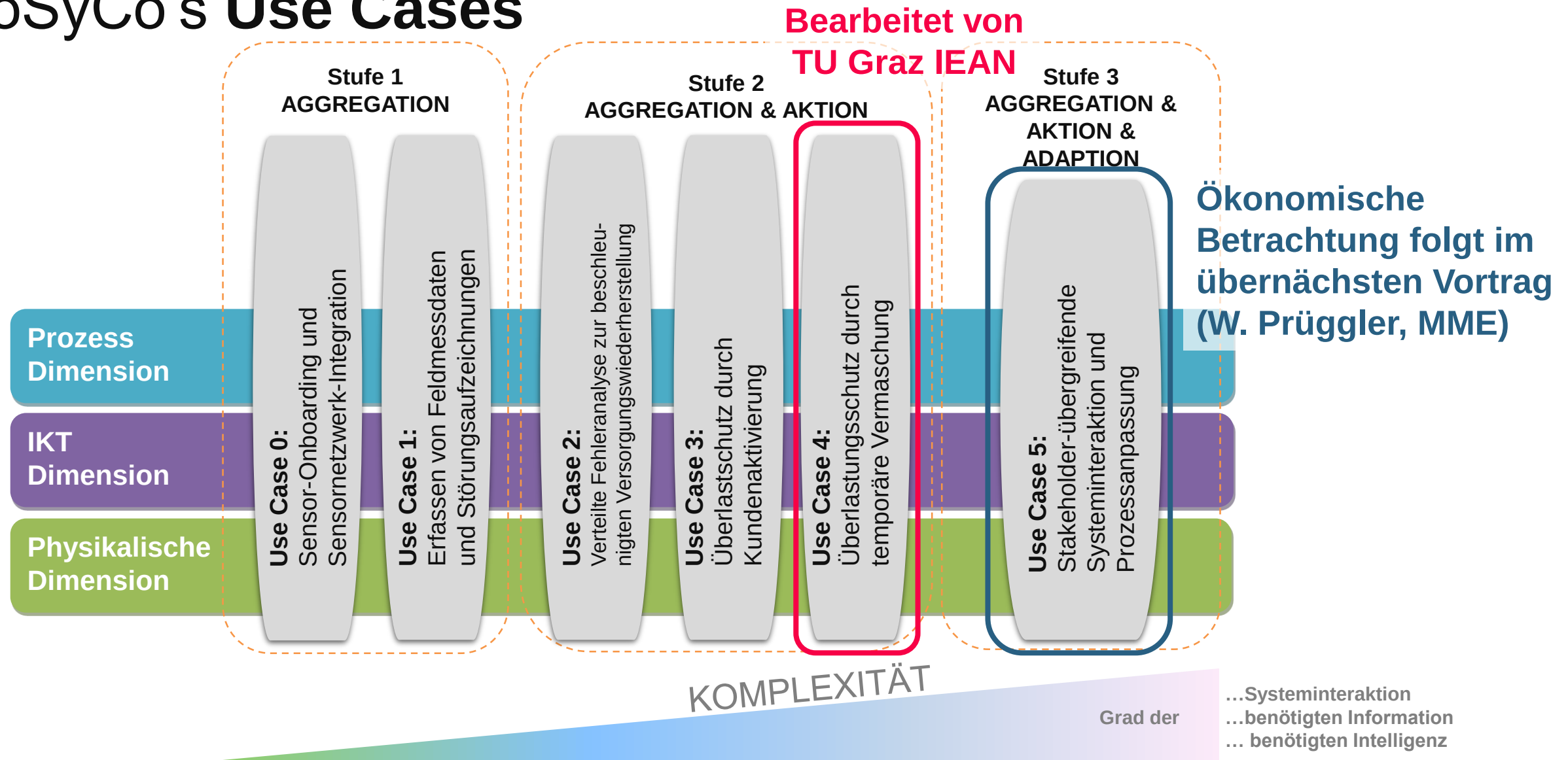
Das Forschungsprojekt PoSyCo (Power System Cognification)

“In a Nutshell”

- **"SOFTprotection"**-Konzept als Add-on für Schutz und Regelung in Nieder- und Mittelspannungsnetzen – weitgehend autonomes Unterstützungssystem
- Lösungen, wie ein Verteil(er)netzbetreiber (VNB) **fortschrittliche Schutz- und Steuerungsfunktionen** für „**Smart Grids**“ in seine Topologien und seine technischen sowie organisatorischen Strukturen implementieren kann
- **Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) System** für automatisierten Betrieb
- **Integration in Arbeitsabläufe** samt Mensch-Maschine-Interaktion



PoSyCo's Use Cases



Die entwickelten Methoden

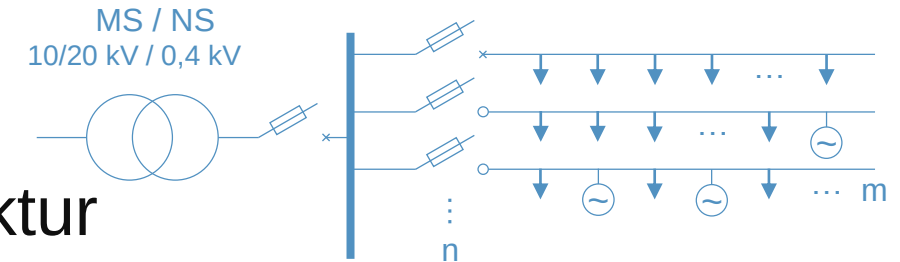
Methoden und Algorithmen – eine Übersicht

- **Sensor Rollout** samt intuitivem **Onboarding** (UC 0)
- Dezentrale **Fehleranalyse** mittels **CAM***-Ansatz (UC 2)
- **Überlastschutz** zB durch **kontrolliertes Laden** von Elektrofahrzeugen (UC 3)
- **Automatisierte** temporäre **NS-Netzrekonfiguration** (UC 4)
- Entwicklung eines spezifischen **ICT-Frameworks** bzw. einer Runtime
- Erste Ansätze zur Stakeholder übergreifenden **Systeminteraktion** und **Prozessanpassung** (UC 5)
- **Ökonomische Bewertung** der unterschiedlichen Use Cases

Beispiel: Automatisierte NS-Netzrekonfiguration

Allgemeine Anforderungen

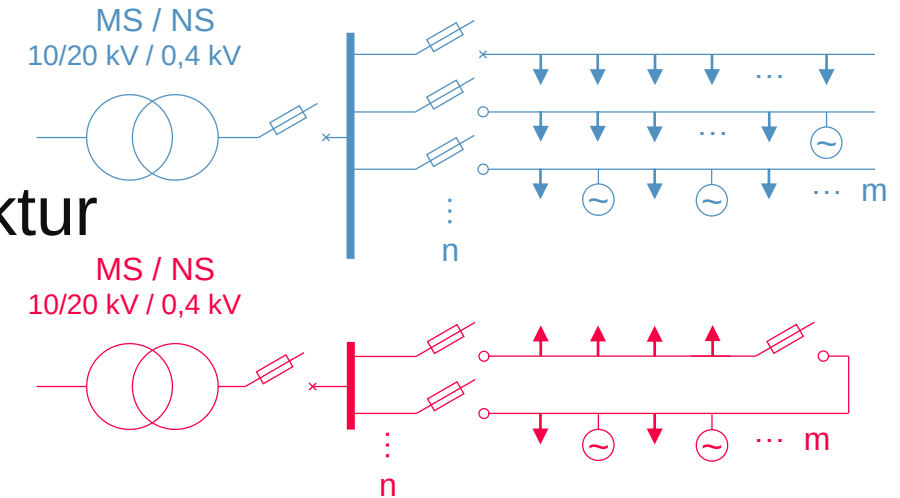
- Radiales Netz / offener Ring / vermaschte Struktur



Beispiel: Automatisierte NS-Netzrekonfiguration

Allgemeine Anforderungen

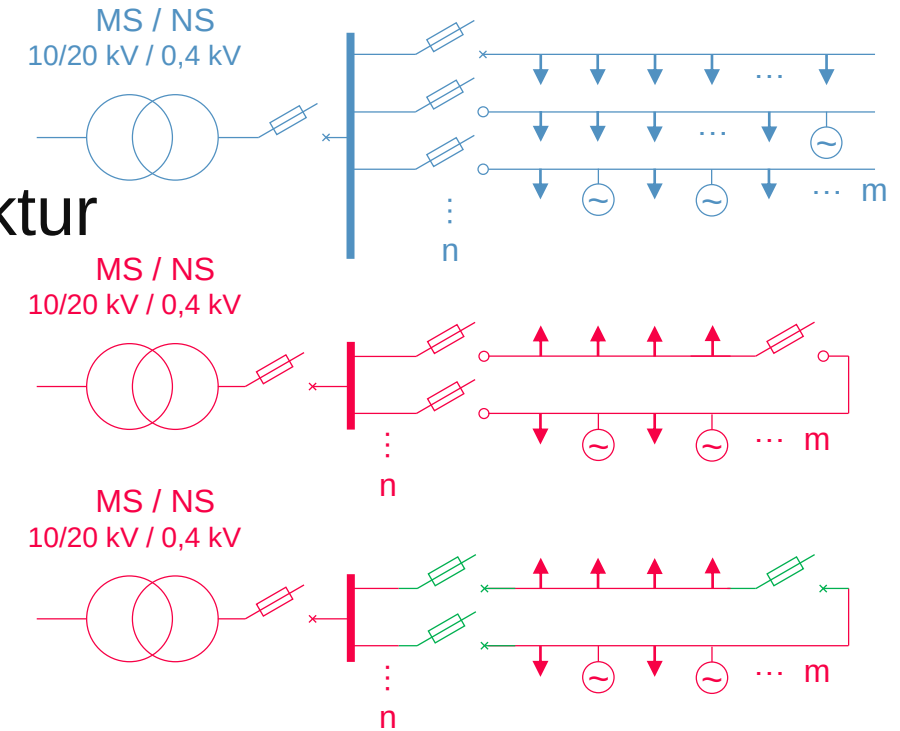
- Radiales Netz / offener Ring / vermaschte Struktur



Beispiel: Automatisierte NS-Netzrekonfiguration

Allgemeine Anforderungen

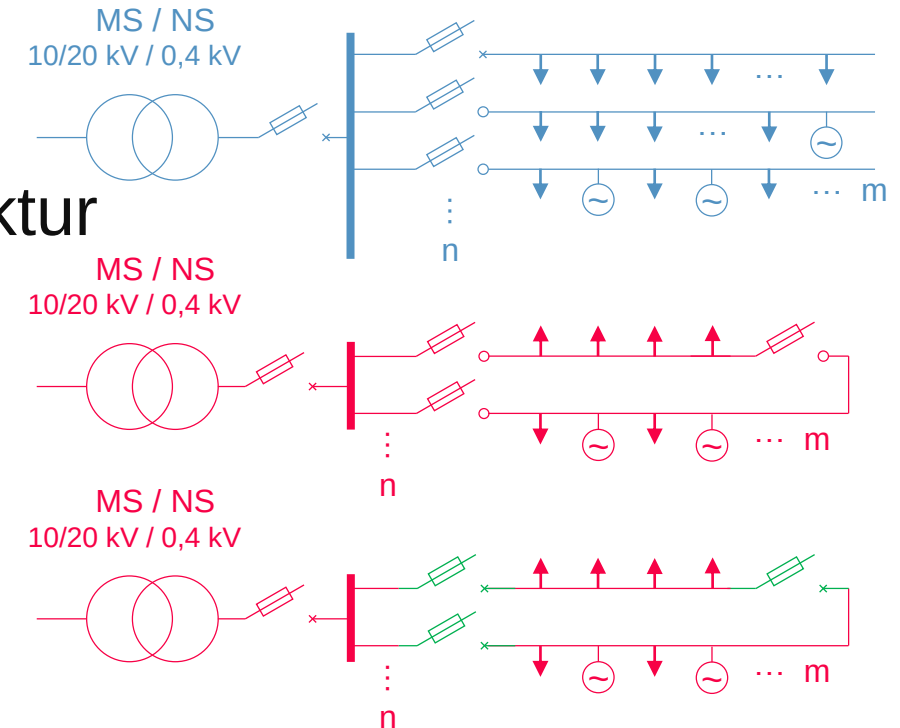
- Radiales Netz / offener Ring / vermaschte Struktur
- Verfügbarkeit von automatisierbaren Schaltern



Beispiel: Automatisierte NS-Netzrekonfiguration

Allgemeine Anforderungen

- **Radiales** Netz / **offener Ring** / **vermaschte** Struktur
- Verfügbarkeit von **automatisierbaren Schaltern**
- **Lastverteilung** und **Leitungsauslastung**
- Eine **Netztopologie** – verschiedene **Netzkonfigurationen**

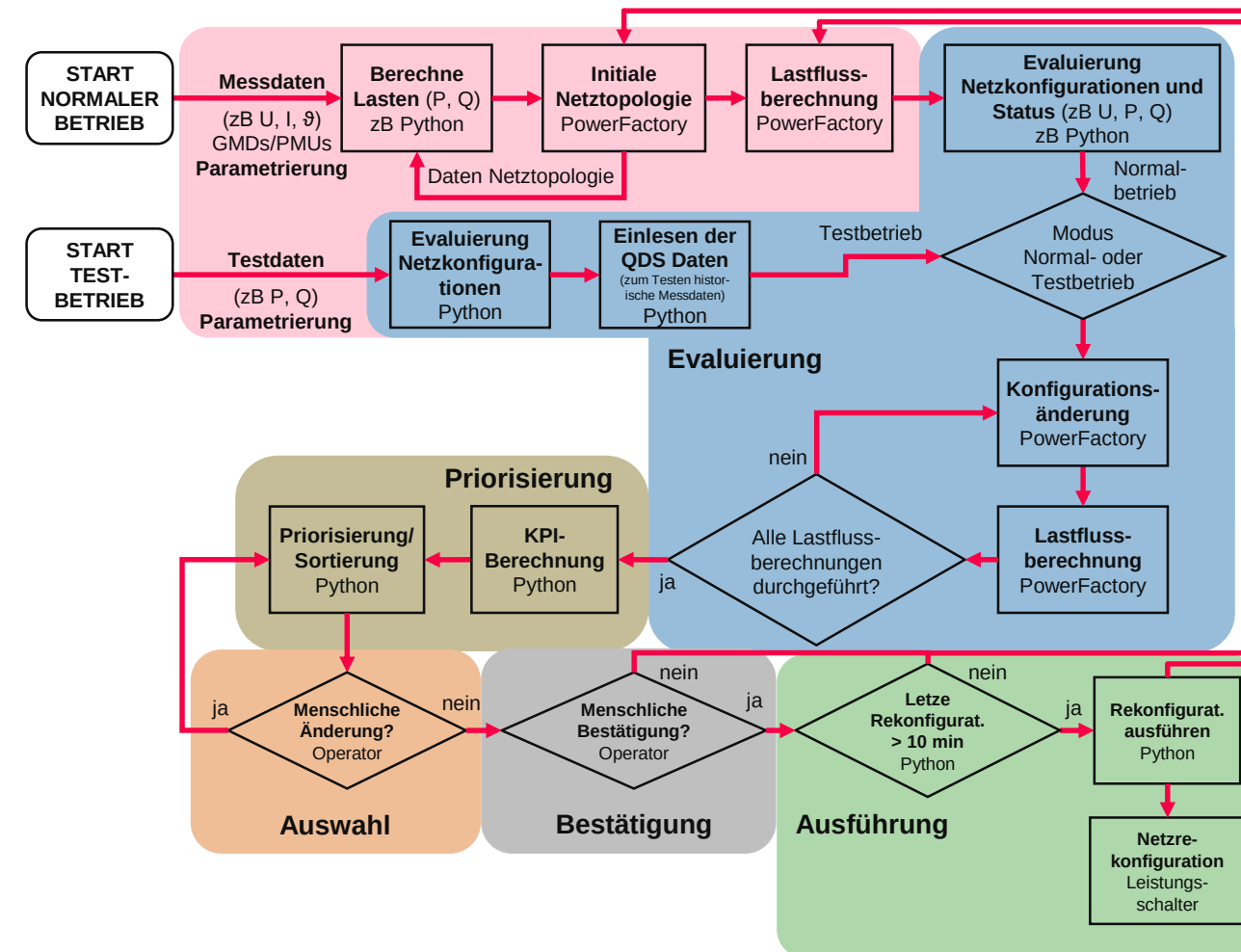


→ **Notwendigkeit einer Rekonfiguration** (Auslastung/Durchdringung des Netzes)
→ Automatisierte NS Netzrekonfiguration mit **Switching Management Module**

Automatisierte NS-Netzrekonfiguration

SMM Algorithmus (Switching Management Module)

- ***Datenerfassung und Aufbereitung***
- ***Fünf Submodule***
 - **Evaluierung** der Konfigurationen
 - **Priorisierung** mittels 6 KPIs (Key Performance Indicators)
 - **Auswahl** einer Konfiguration
 - **Bestätigung**
 - **Ausführung** der Rekonfiguration



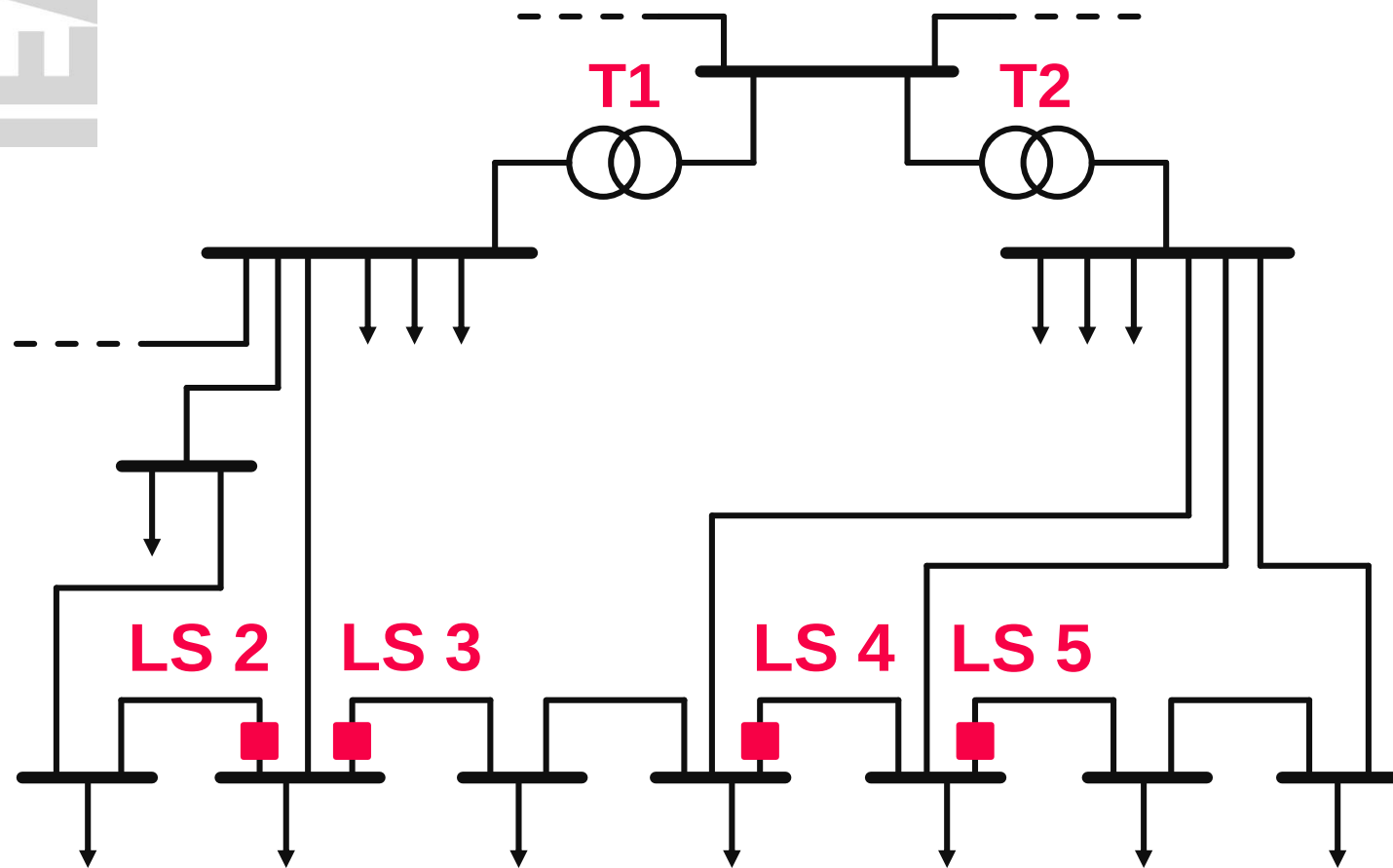
Automatisierte NS-Netzrekonfiguration

SMM Algorithmus – Netz Key Performance Indicators (KPIs)

- KPI_1 – Anzahl an **Verletzungen** der **Spannungsgrenzen**
- KPI_2 – Anzahl an **Verletzungen** der Grenzen der **Leitungsauslastungen**
- KPI_3 – Gesamte **Netzverluste**
- KPI_4 – **Reduktion** der **Leitungsauslastung** der am häufigsten ausgelasteten Leitung
- KPI_5 – **Abstand** (Leitungslänge) zwischen dem **nächsten Leistungsschalter** und der am häufigsten ausgelasteten Leitung
- KPI_6 – **Vermaschung** des Netzes

Automatisierte NS-Netzrekonfiguration

Beispielhaftes NS-Teilnetz TS10, *asperm Seestadt, Wien*

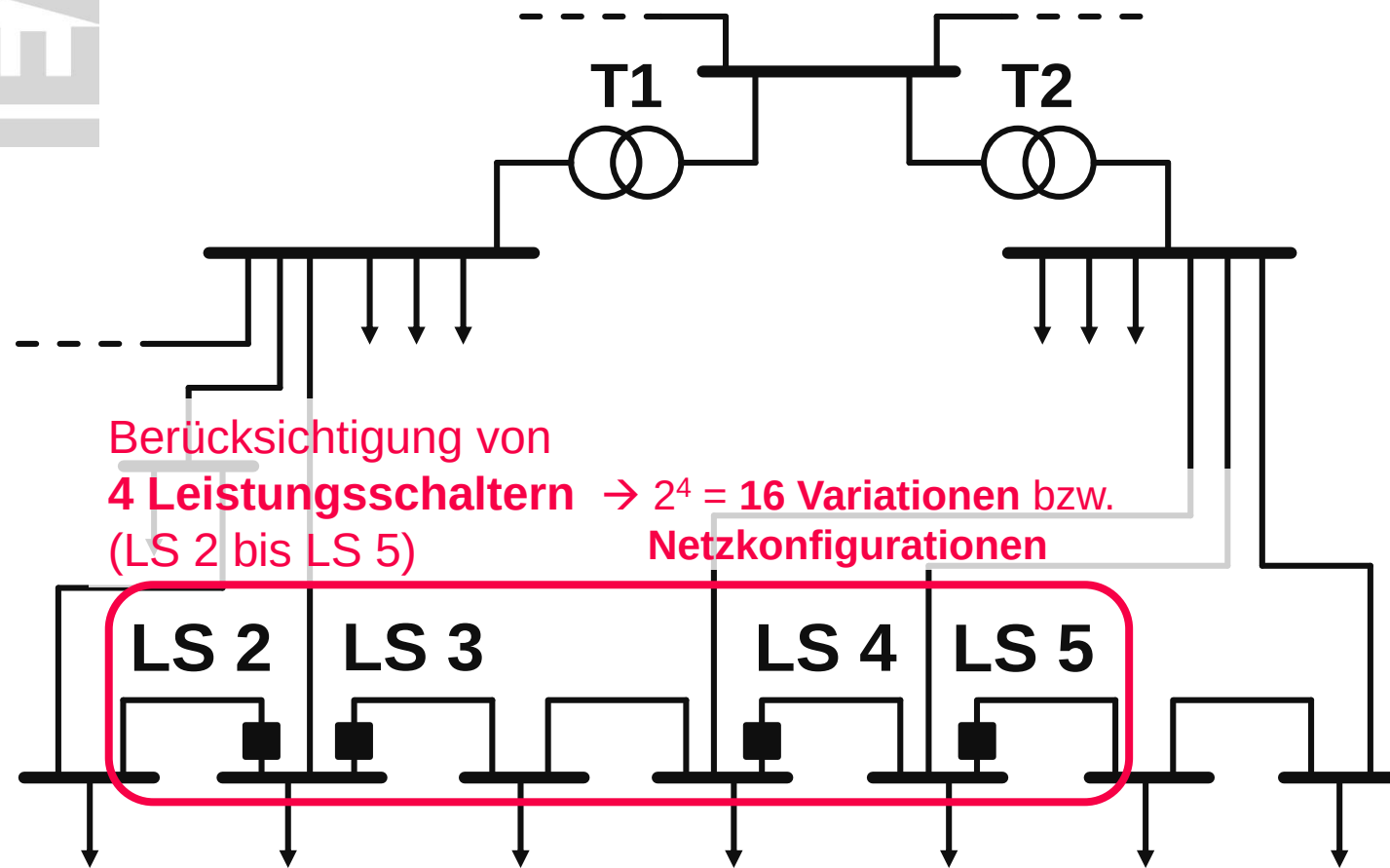


Modernes, **urbanes NS-Netz**

- 2 Transformatoren 630 kVA, 20/0.4 kV (**T1**, **T2**)
- 22 Knoten/Terminals mit 21 Leitungen
- Gesamte Leitungslänge 1,58 km
- 17 Haushaltskunden
- 4 Trennstellen (mögliche Leistungsschalter **LS 2** - **LS 5**)

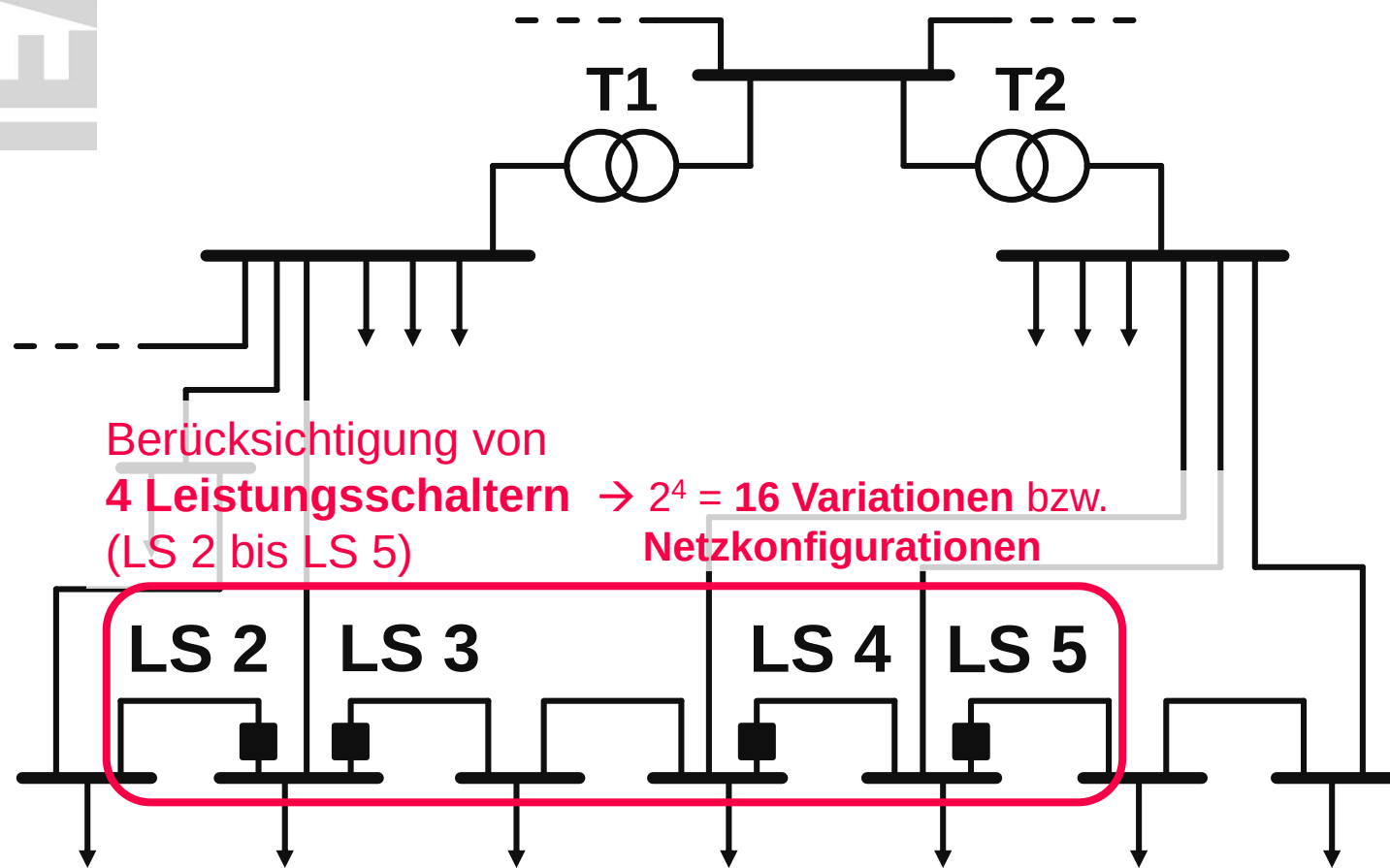
Automatisierte NS-Netzrekonfiguration

Beispielhaftes NS-Teilnetz TS10, *aspersn Seestadt, Wien*



Automatisierte NS-Netzrekonfiguration

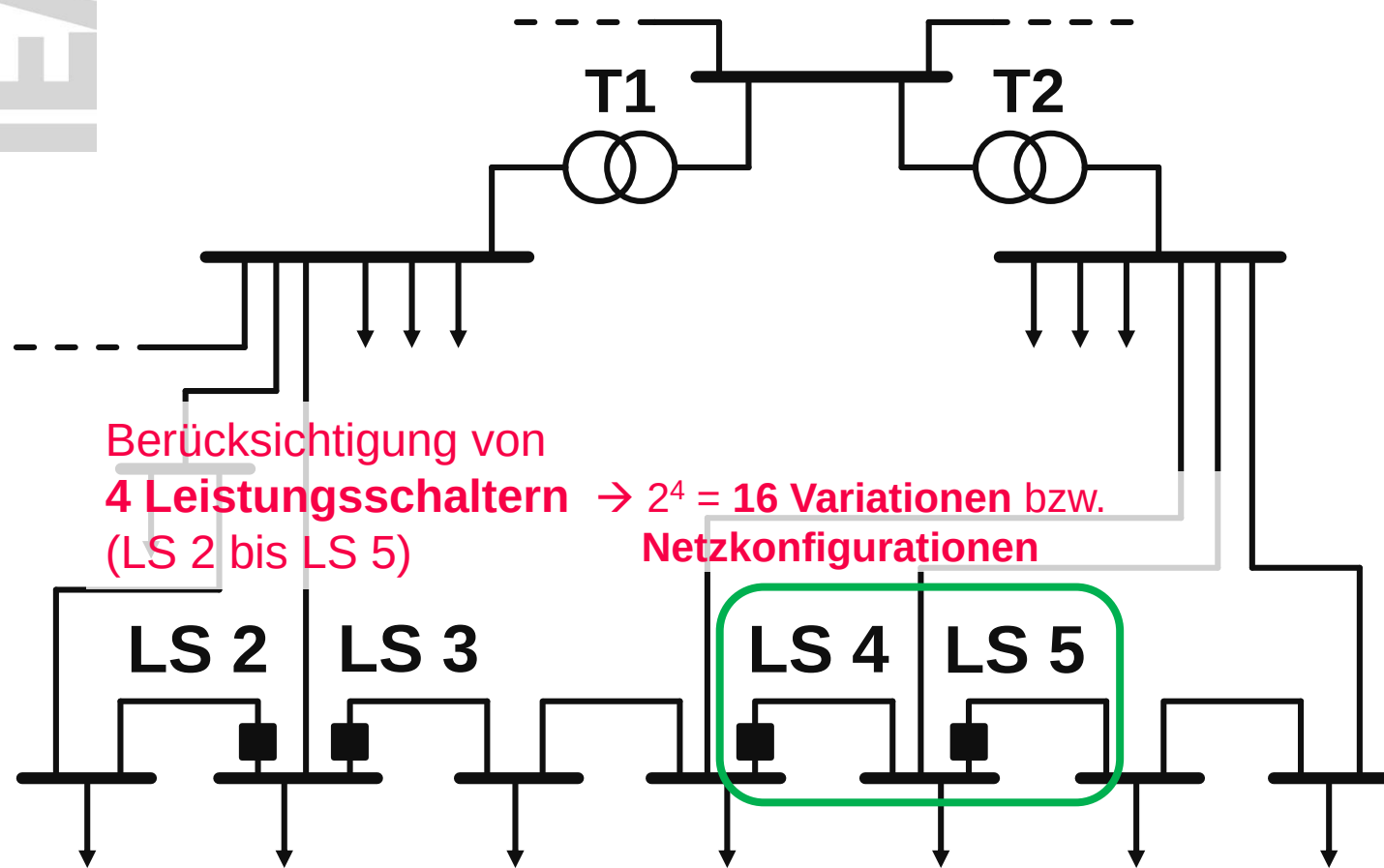
Beispielhaftes NS-Teilnetz TS10, *aspersn Seestadt, Wien*



Kon- figuration	Schaltstellung der LS			
	LS 2	LS 3	LS 4	LS 5
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
8	1	0	0	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
13	1	1	0	1
14	1	1	1	0
15	1	1	1	1

Automatisierte NS-Netzrekonfiguration

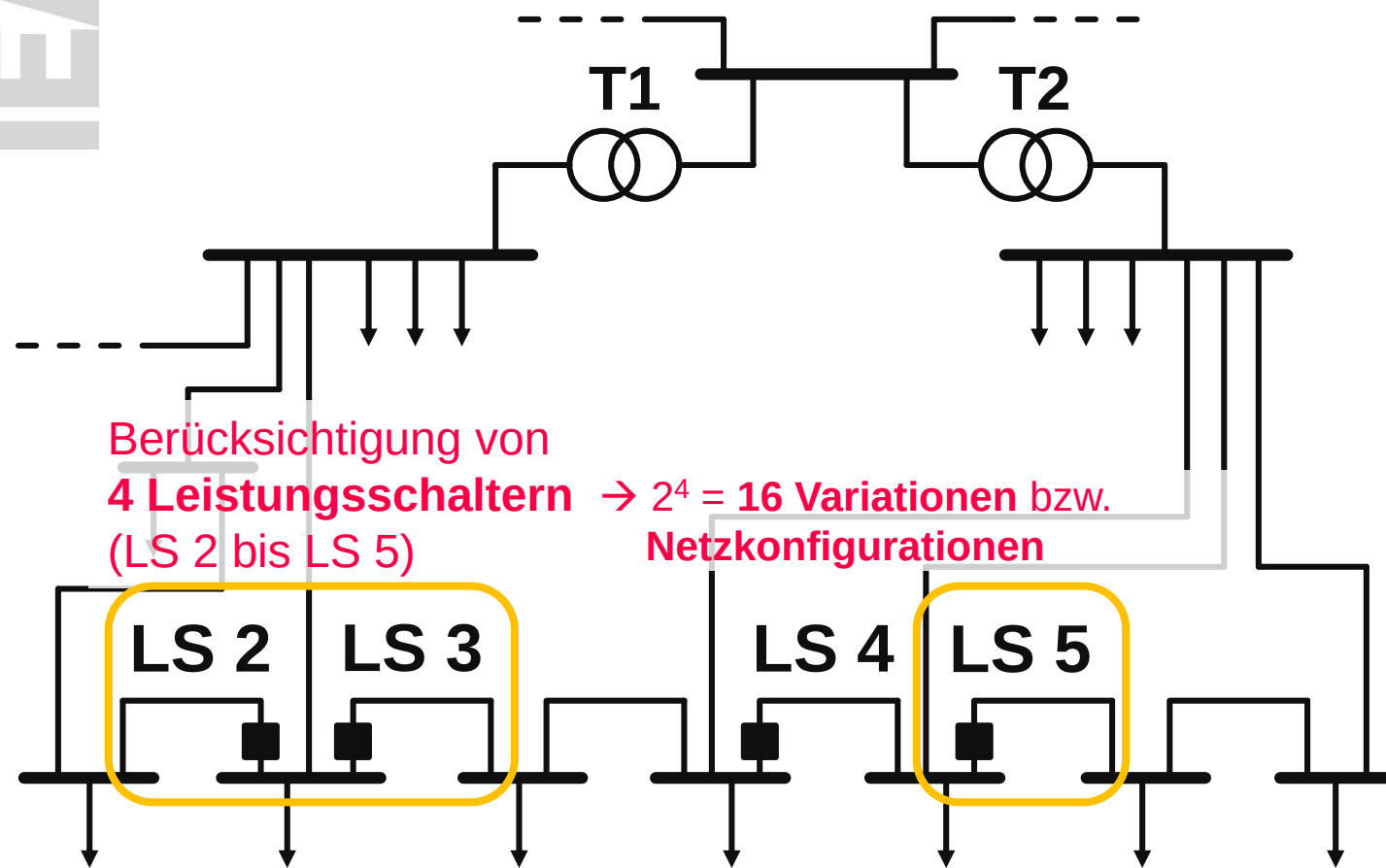
Beispielhaftes NS-Teilnetz TS10, *aspersn Seestadt, Wien*



Konfiguration	Schaltstellung der LS			
	LS 2	LS 3	LS 4	LS 5
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
8	1	0	0	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
13	1	1	0	1
14	1	1	1	0
15	1	1	1	1

Automatisierte NS-Netzrekonfiguration

Beispielhaftes NS-Teilnetz TS10, *aspersn Seestadt, Wien*



Konfiguration	Schaltstellung der LS			
	LS 2	LS 3	LS 4	LS 5
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
8	1	0	0	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
13	1	1	0	1
14	1	1	1	0
15	1	1	1	1

LS ... Leistungsschalter
 T ... Transformator

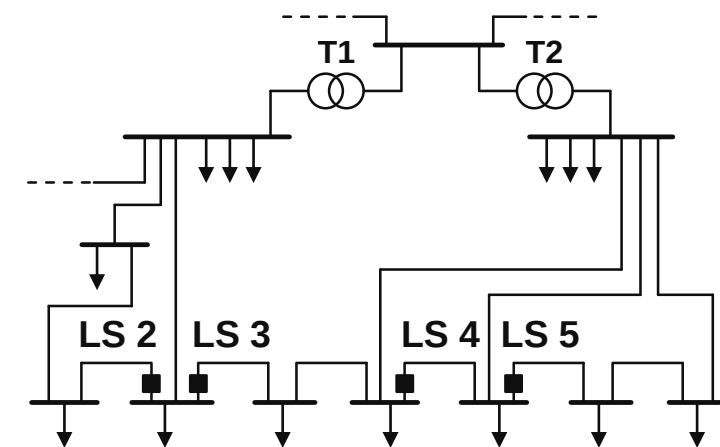
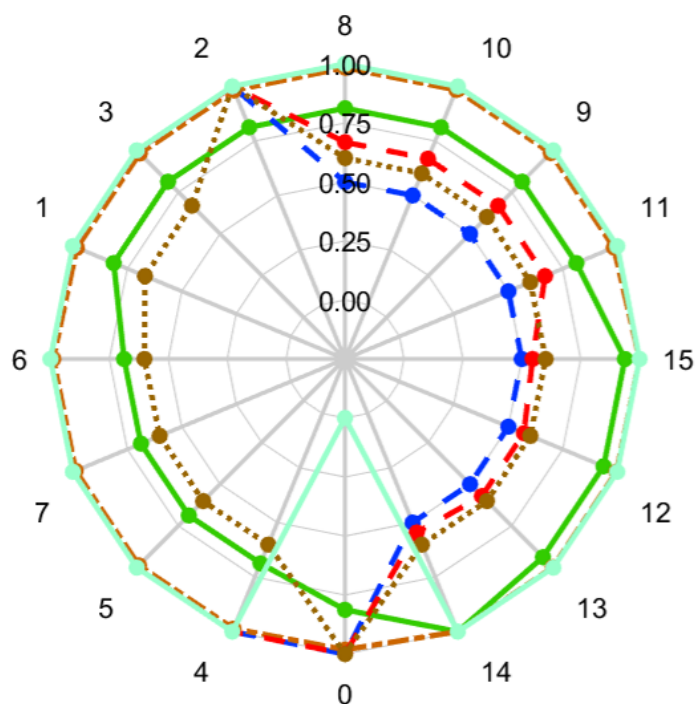


ELEKTRISCHE
 ANLAGEN & NETZE
 TU GRAZ

Ergebnisse des SMM Algorithmus

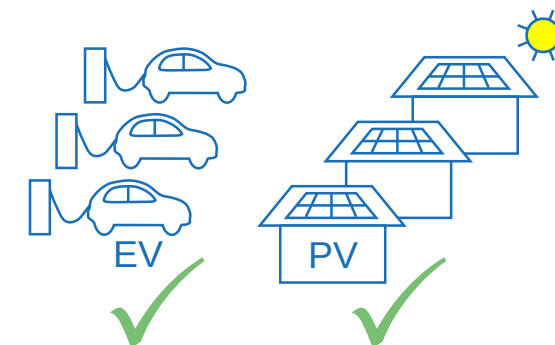
Priorisierung

KPIs abhängig von der Netzkonfiguration



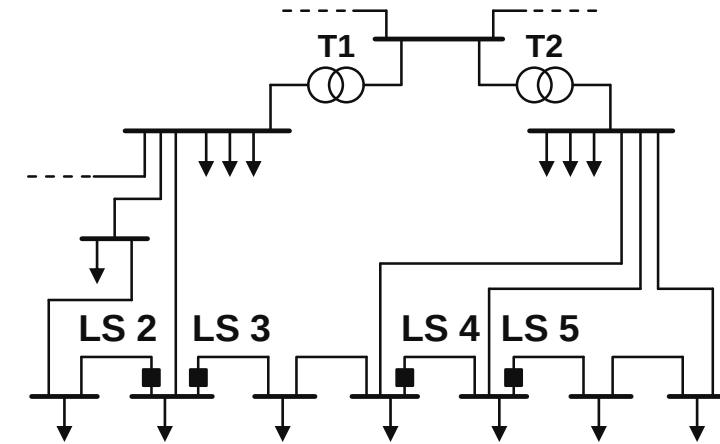
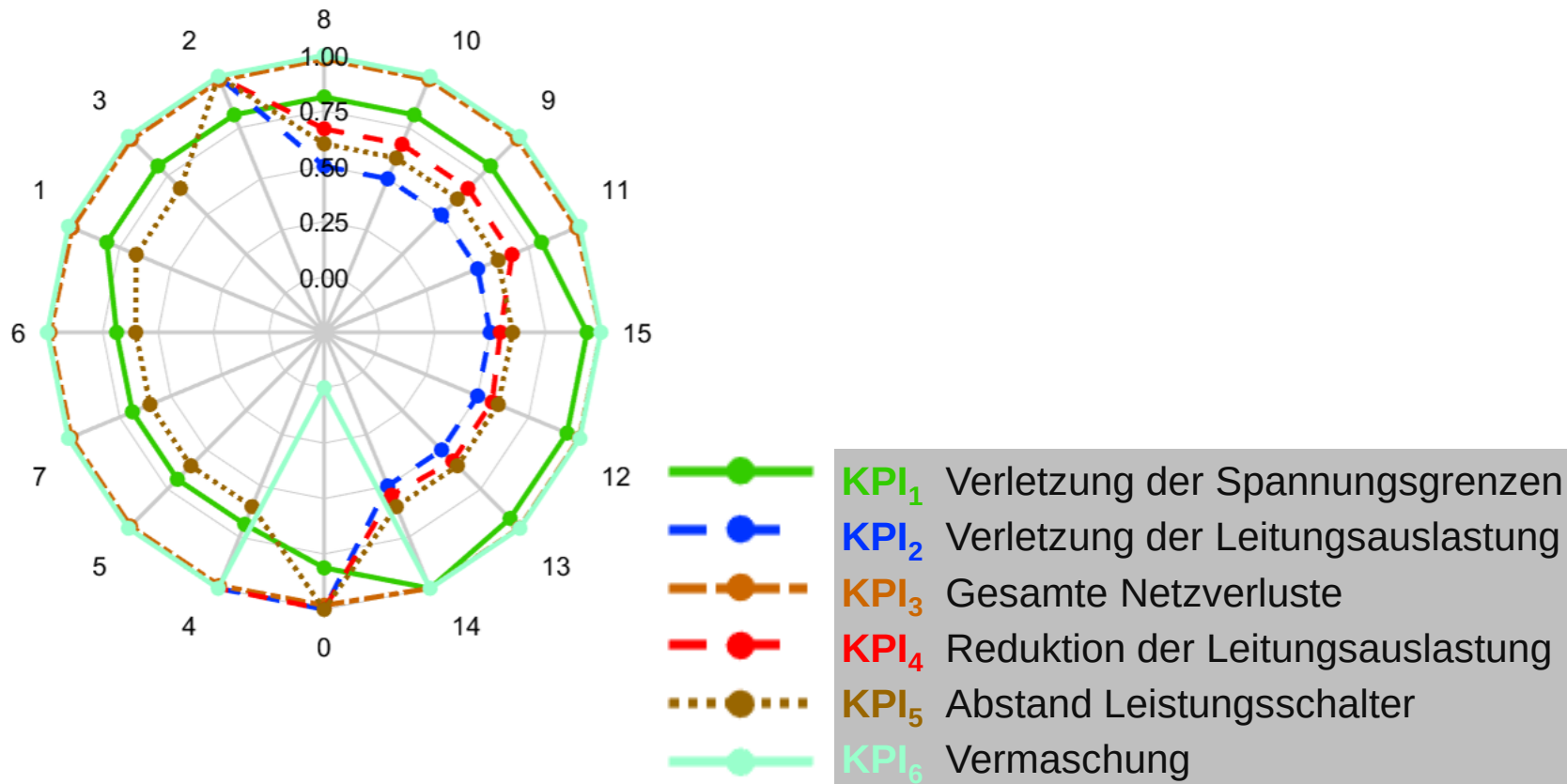
Teilnetz TS10
aspersn Seestadt, Vienna

Szenario 1



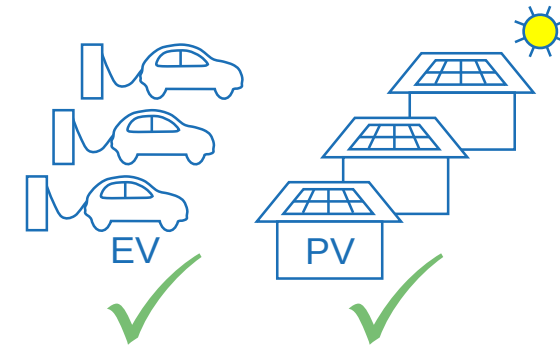
Ergebnisse des SMM Algorithmus Priorisierung

KPIs abhängig von der Netzkonfiguration



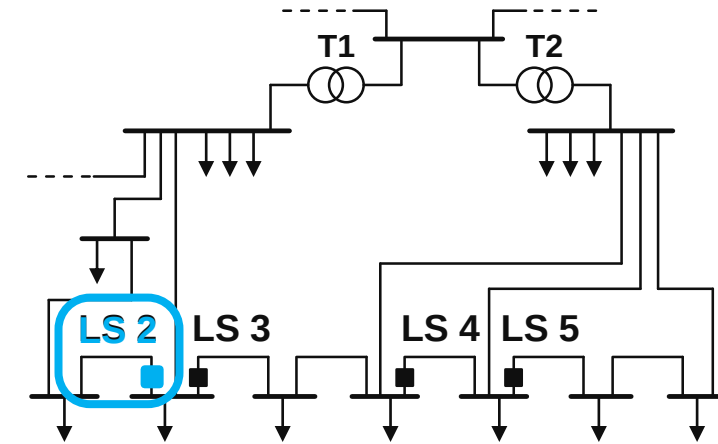
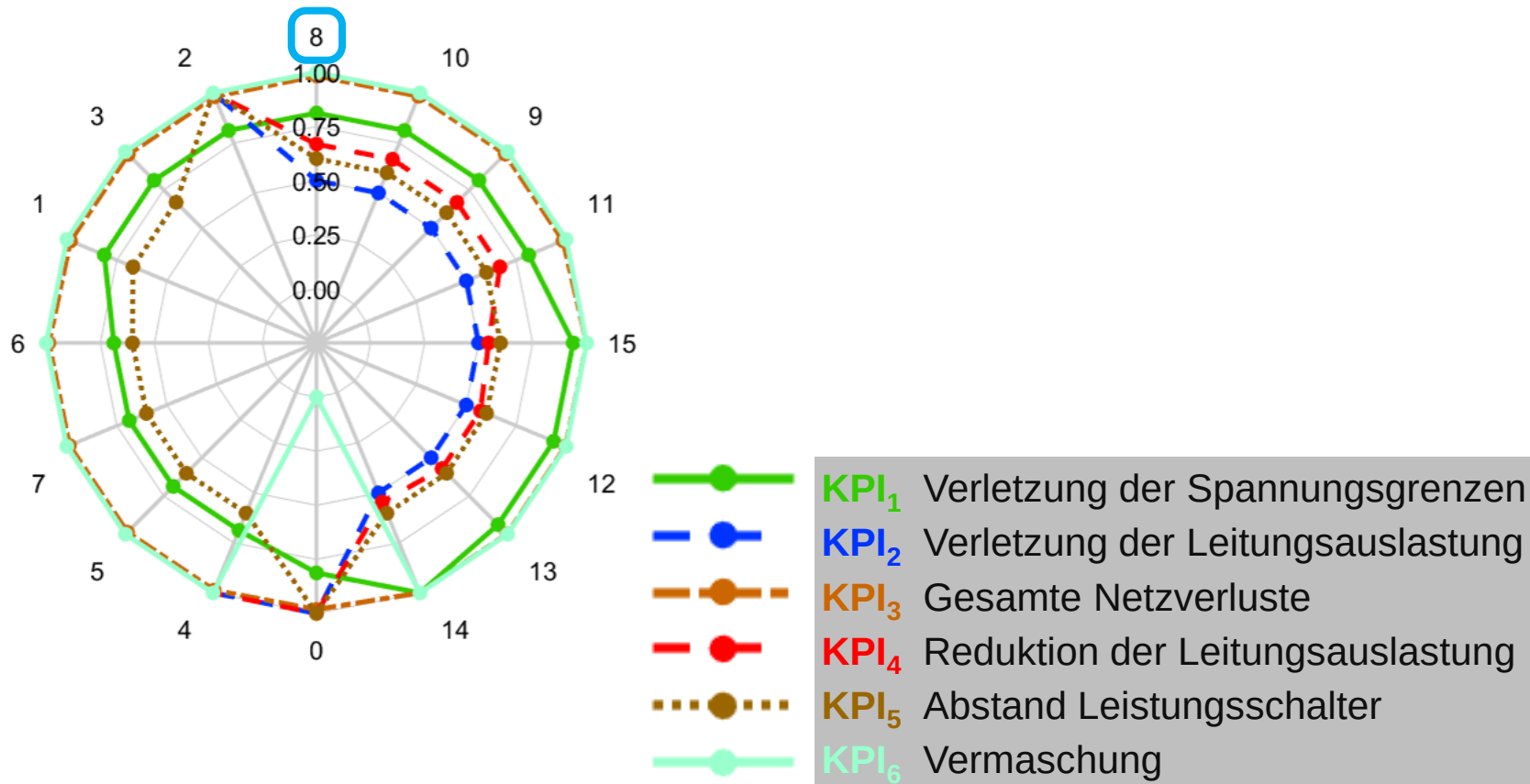
Teilnetz TS10
aspersn Seestadt, Vienna

Szenario 1



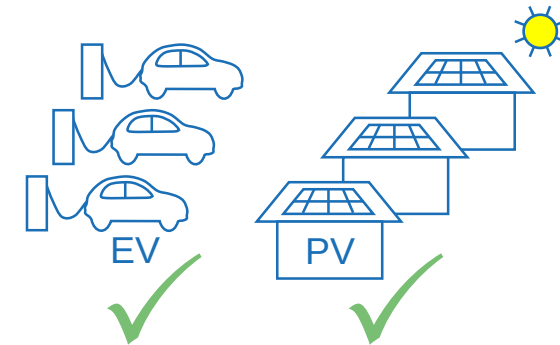
Ergebnisse des SMM Algorithmus Priorisierung

KPIs abhängig von der Netzkonfiguration



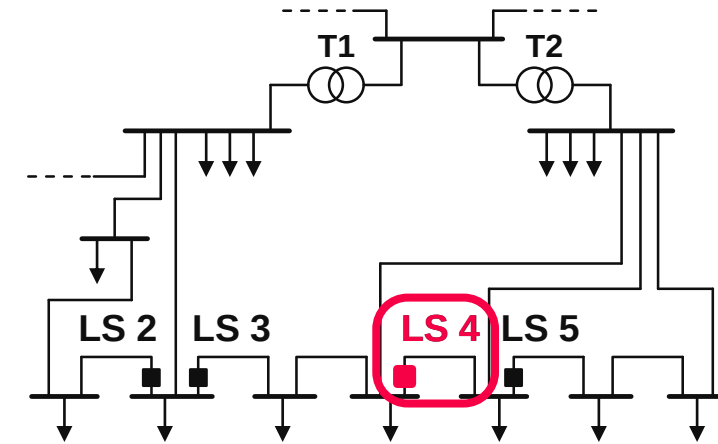
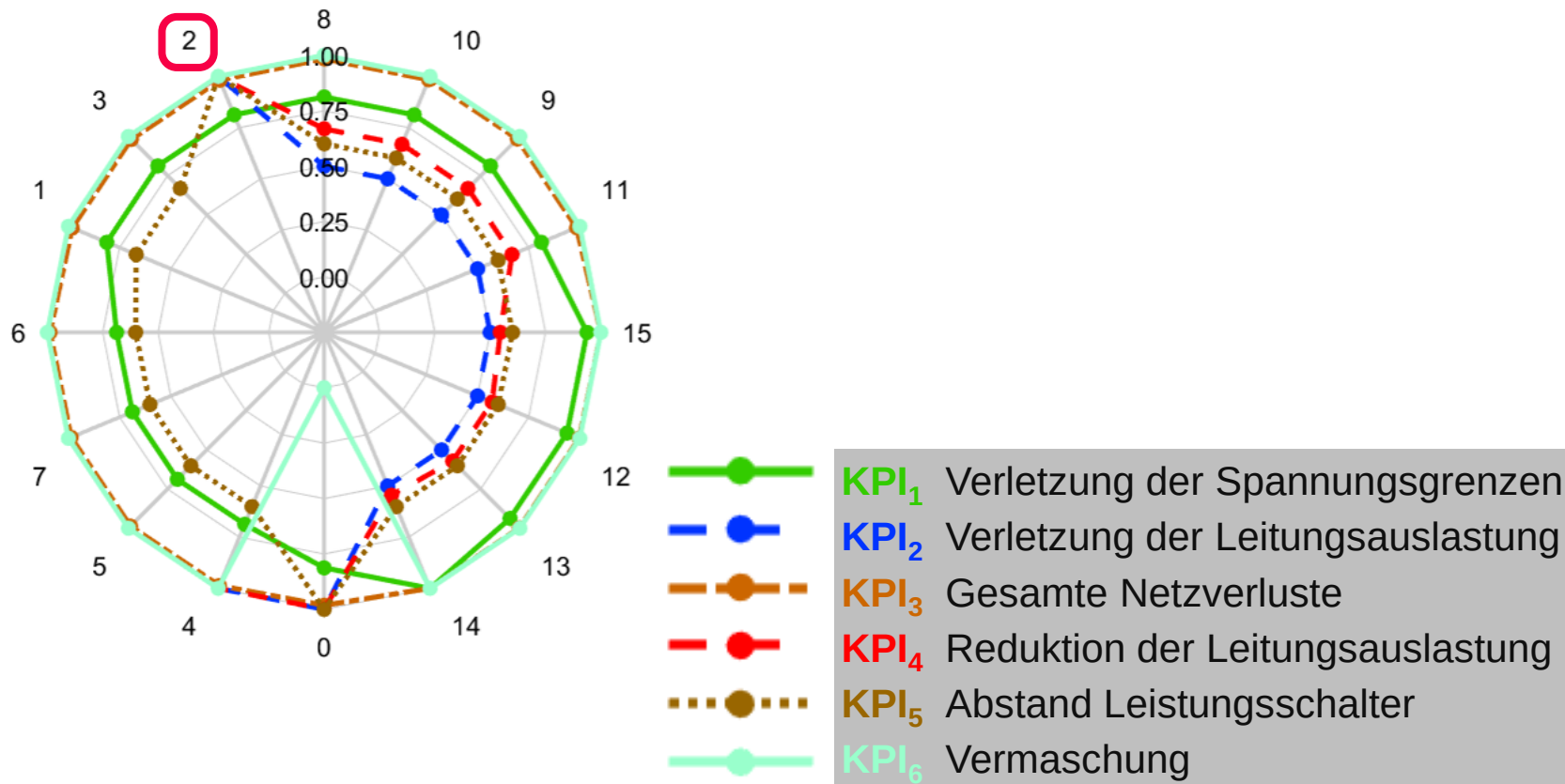
Teilnetz TS10
asperm Seestadt, Vienna

Szenario 1



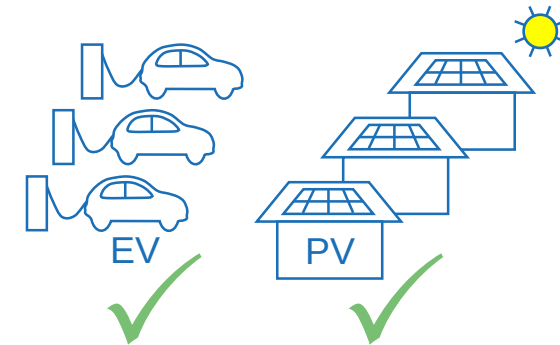
Ergebnisse des SMM Algorithmus Priorisierung

KPIs abhängig von der Netzkonfiguration



Teilnetz TS10
asperm Seestadt, Vienna

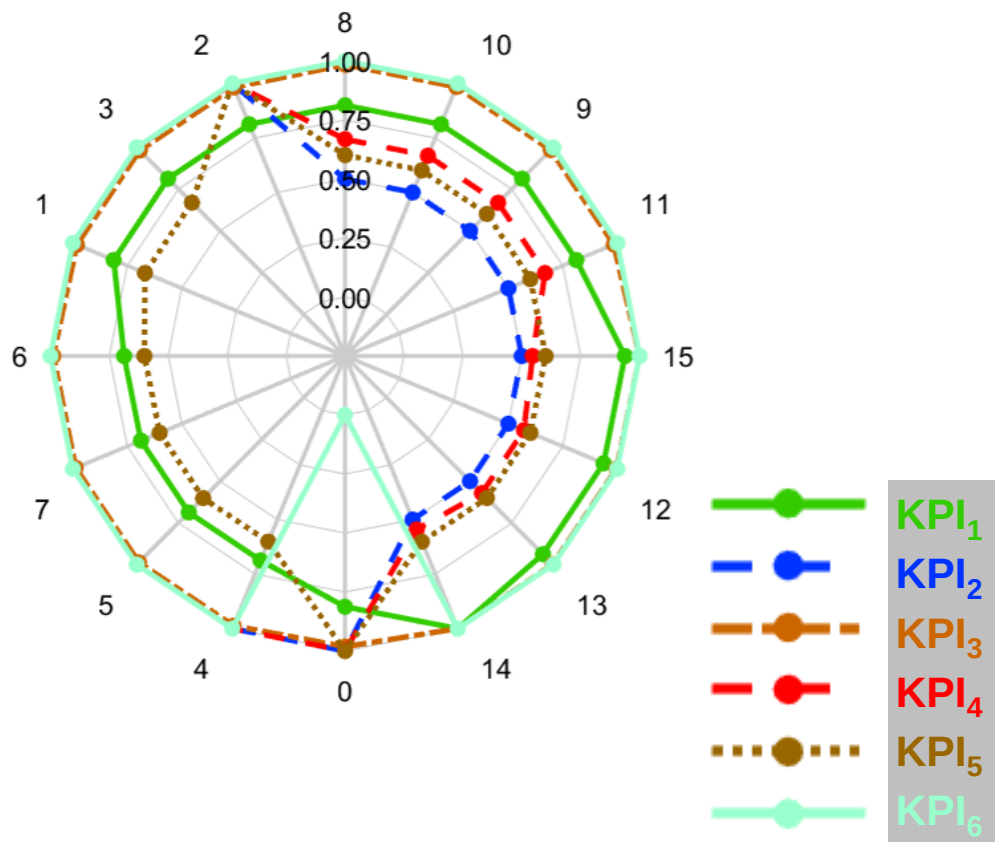
Szenario 1



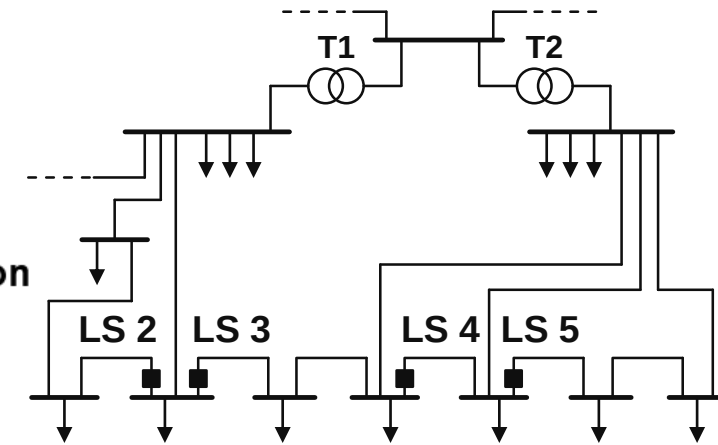
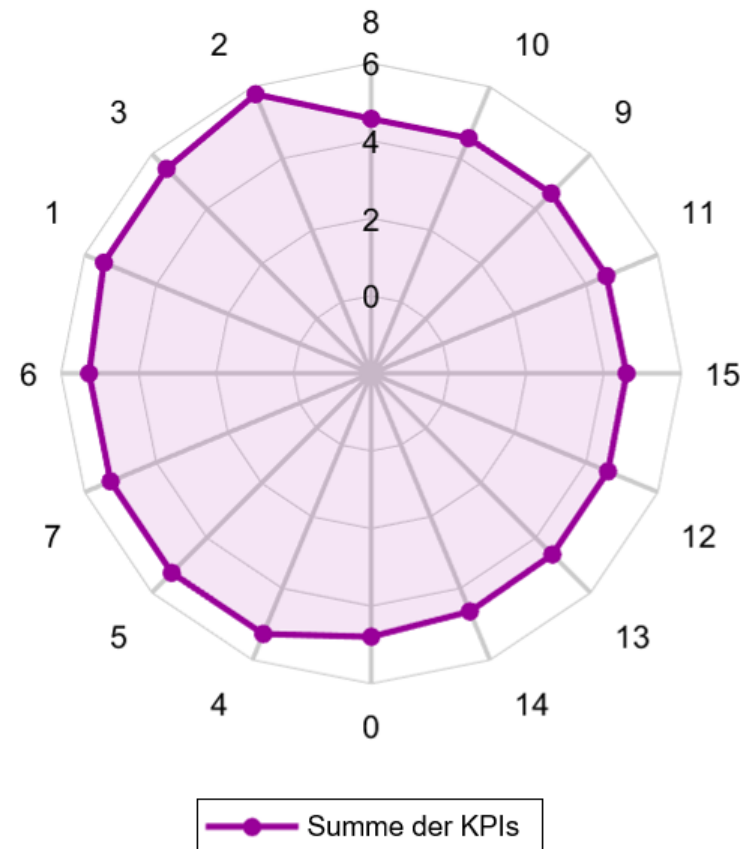
Ergebnisse des SMM Algorithmus

Priorisierung

KPIs abhängig von der Netzkonfiguration

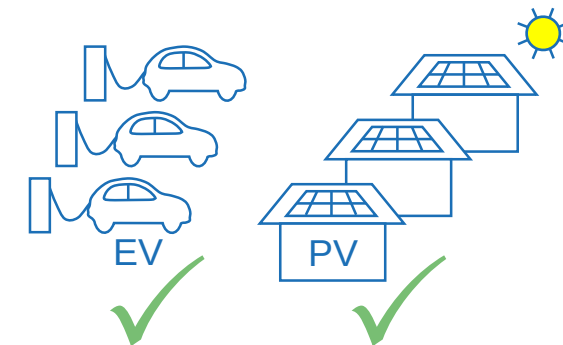


Summe der KPIs abhängig von der Netzkonfiguration



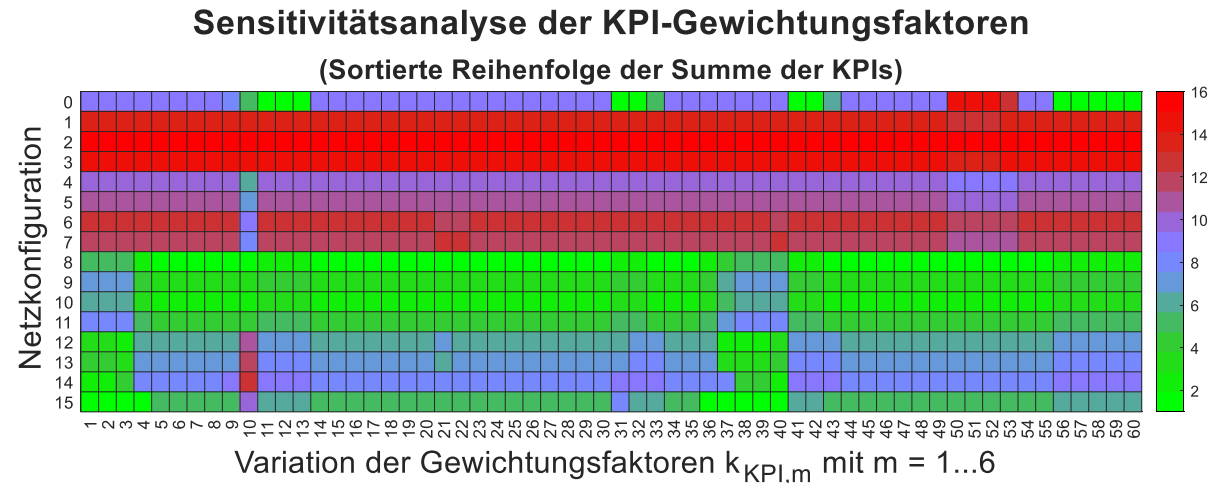
Teilnetz TS10
aspersn Seestadt, Vienna

Szenario 1

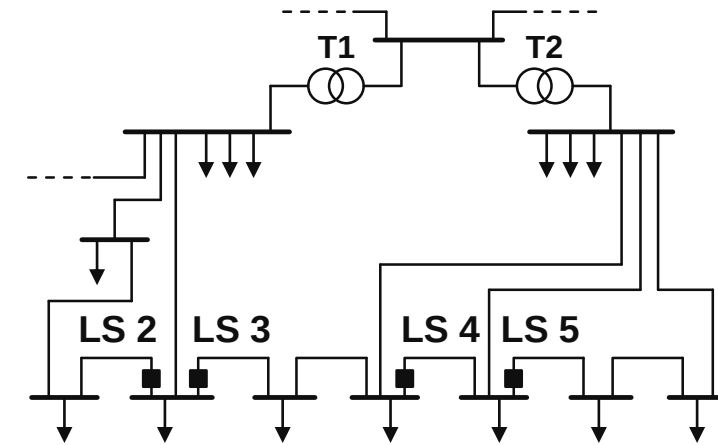
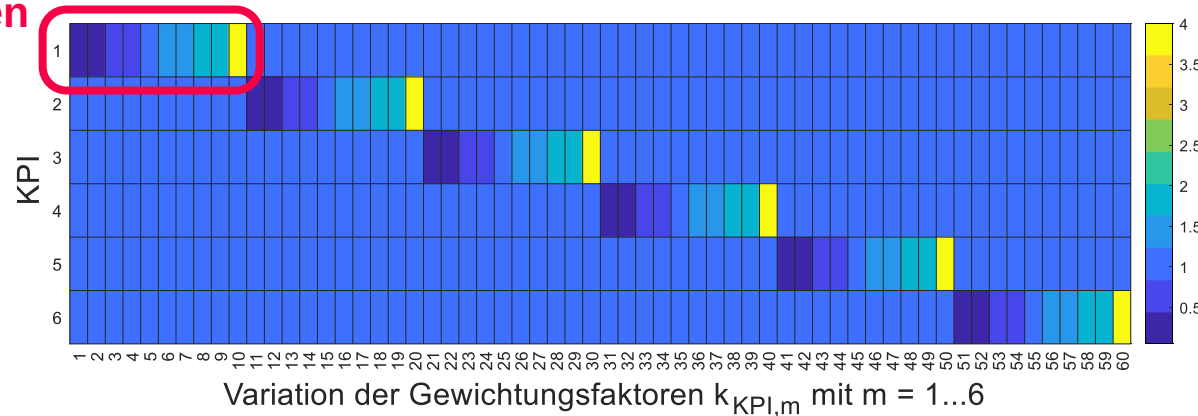


Ergebnisse des SMM Algorithmus

Sensitivitätsanalyse

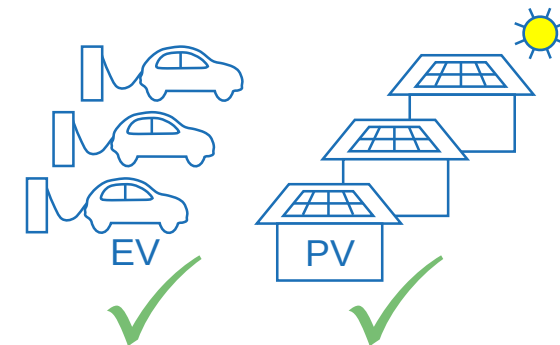


zB KPI 1,
10 Variationen
von $k_{KPI,1}$
(0.05 ... 4.0)



Teilnetz TS10
aspersn Seestadt, Vienna

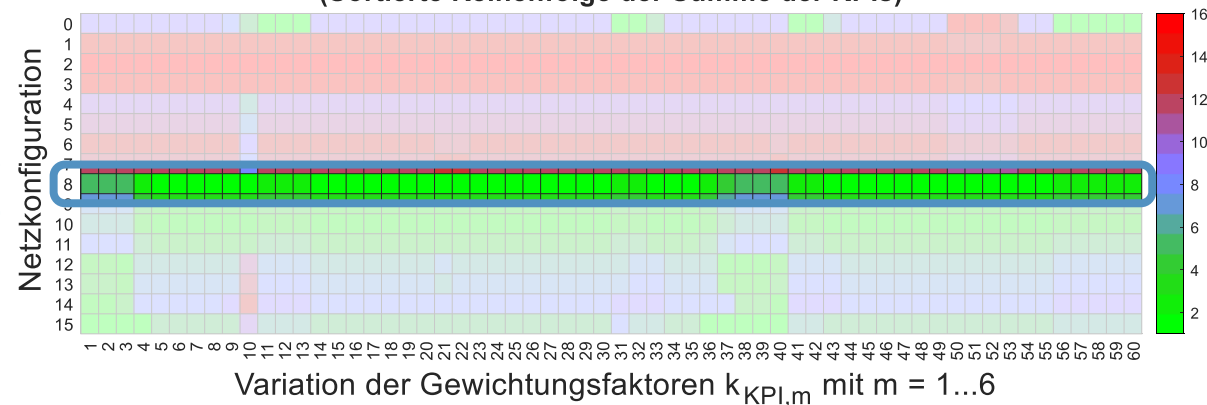
Szenario 1



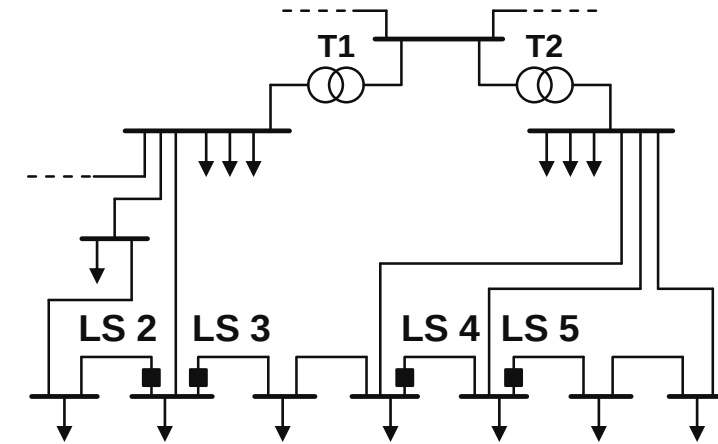
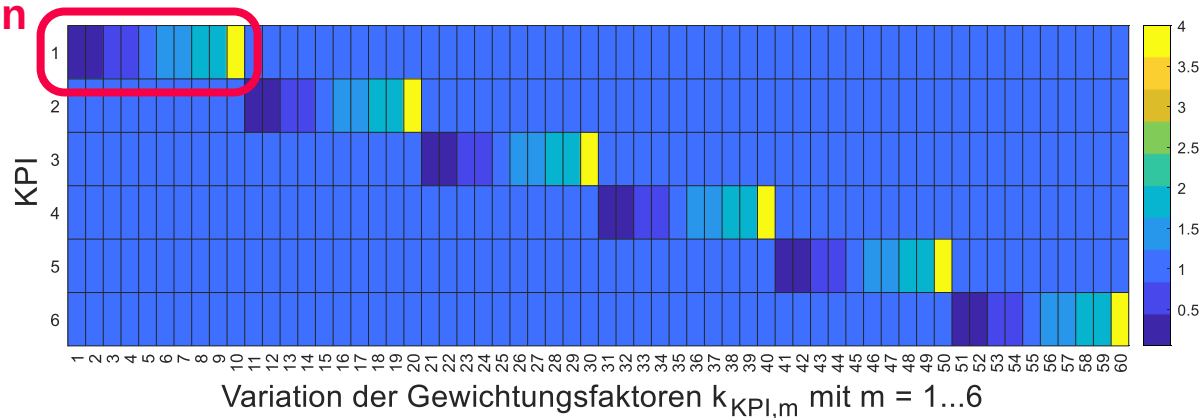
Ergebnisse des SMM Algorithmus

Sensitivitätsanalyse

Sensitivitätsanalyse der KPI-Gewichtungsfaktoren
(Sortierte Reihenfolge der Summe der KPIs)

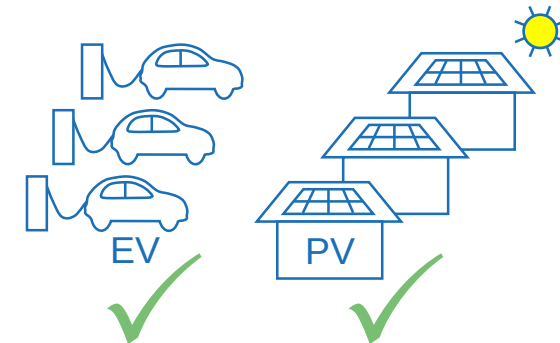


zB KPI 1,
10 Variationen
von $k_{KPI,1}$
(0.05 ... 4.0)



Teilnetz TS10
aspersn Seestadt, Vienna

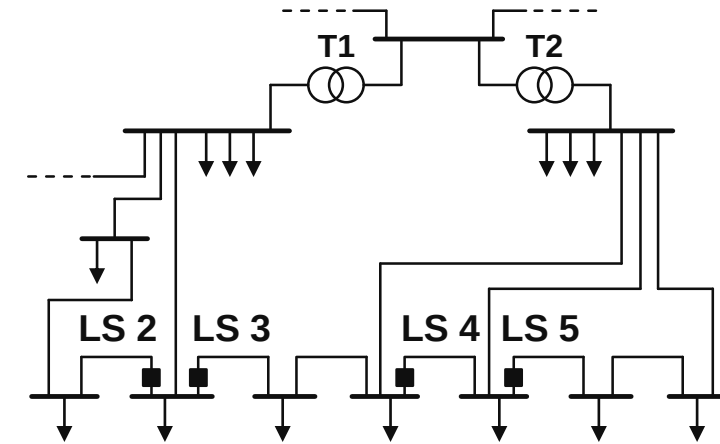
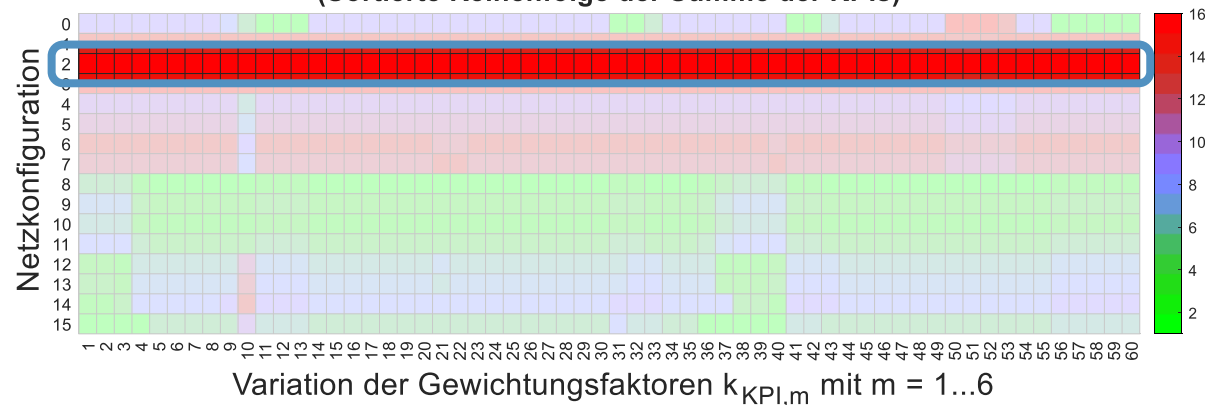
Szenario 1



Ergebnisse des SMM Algorithmus

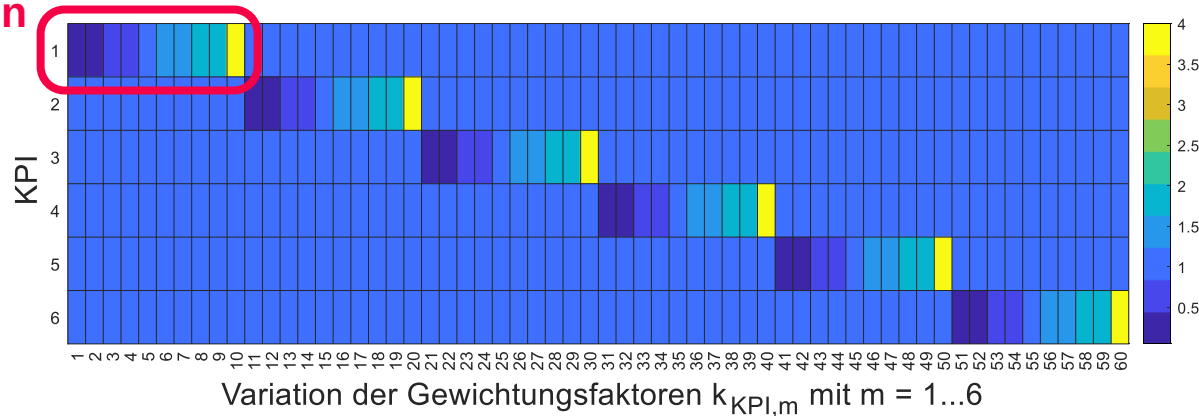
Sensitivitätsanalyse

Sensitivitätsanalyse der KPI-Gewichtungsfaktoren
(Sortierte Reihenfolge der Summe der KPIs)

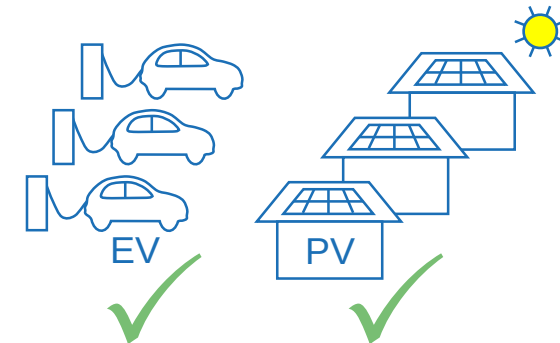


Teilnetz TS10
asperm Seestadt, Vienna

zB KPI 1,
10 Variationen
von $k_{KPI,1}$
(0.05 ... 4.0)

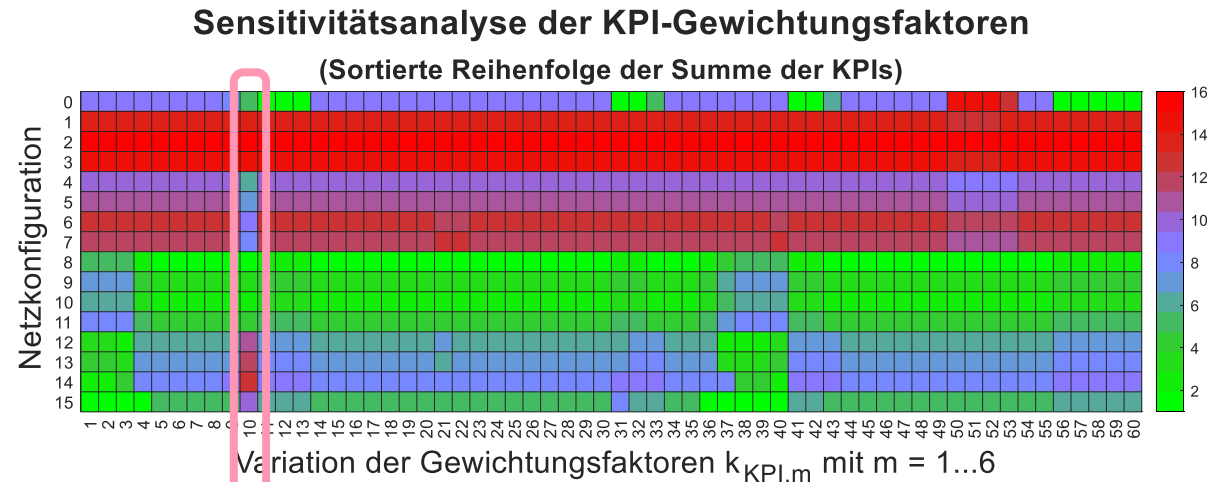


Szenario 1

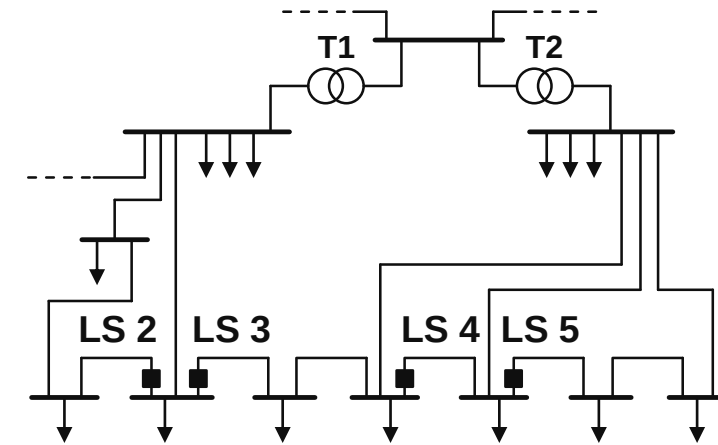
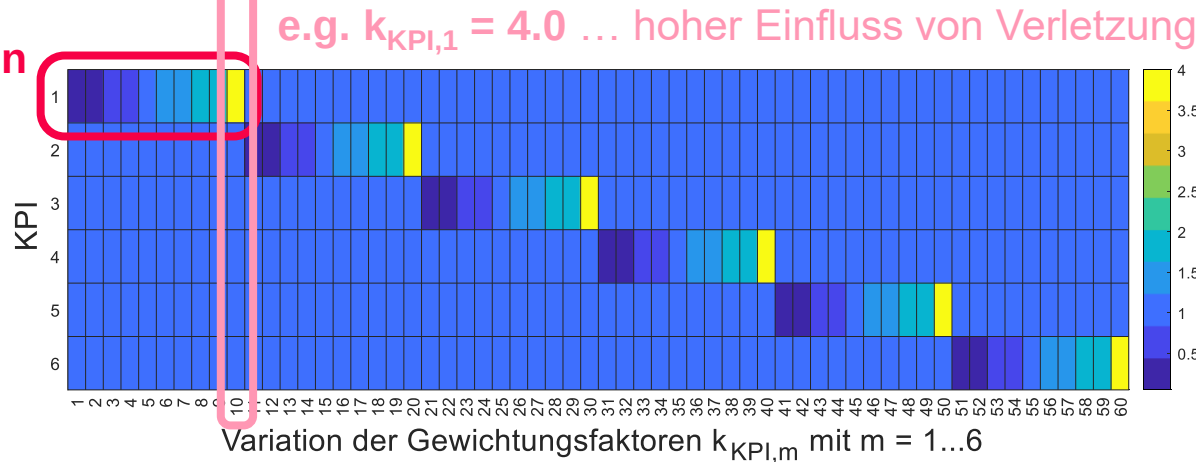


Ergebnisse des SMM Algorithmus

Sensitivitätsanalyse

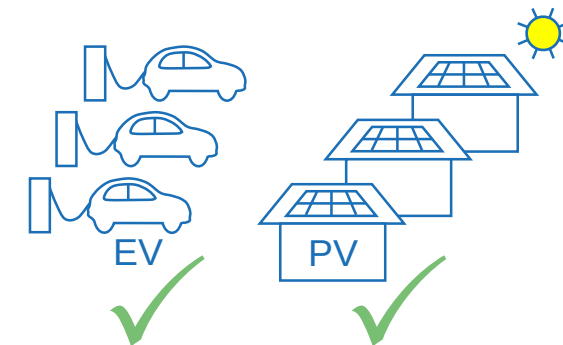


zB KPI 1,
10 Variationen
von $k_{KPI,1}$
(0.05 ... 4.0)



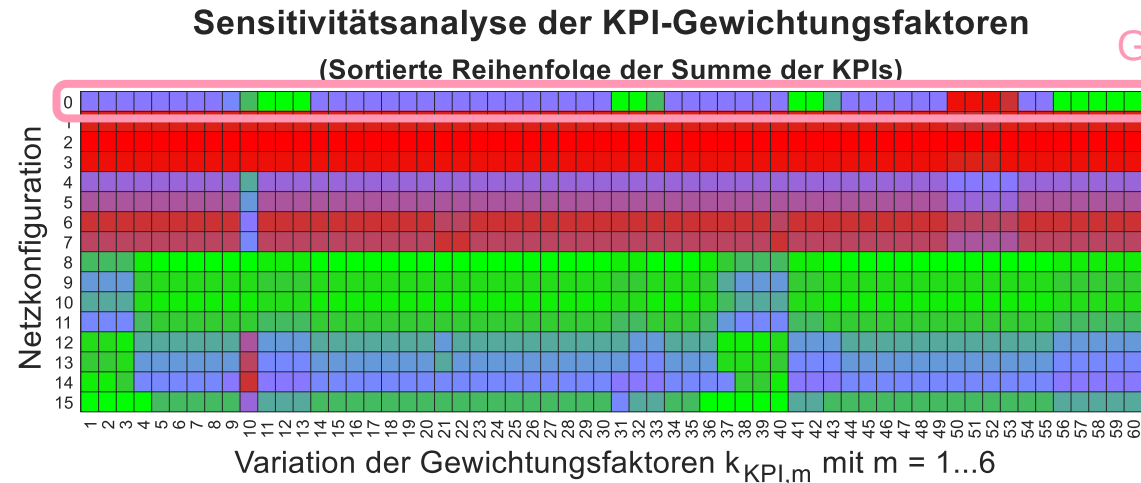
Teilnetz TS10
aspersn Seestadt, Vienna

Szenario 1

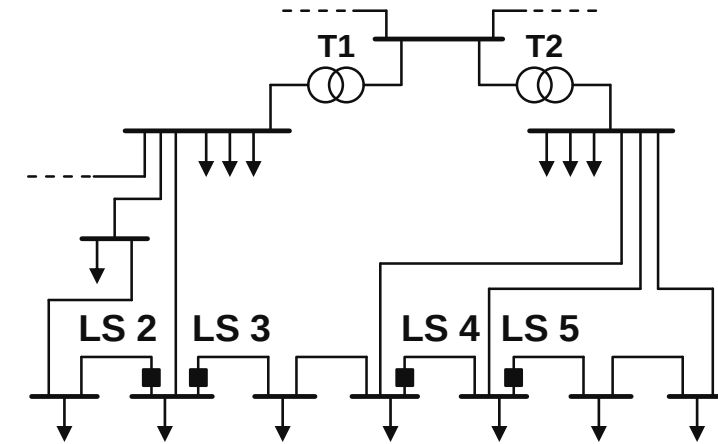


Ergebnisse des SMM Algorithmus

Sensitivitätsanalyse

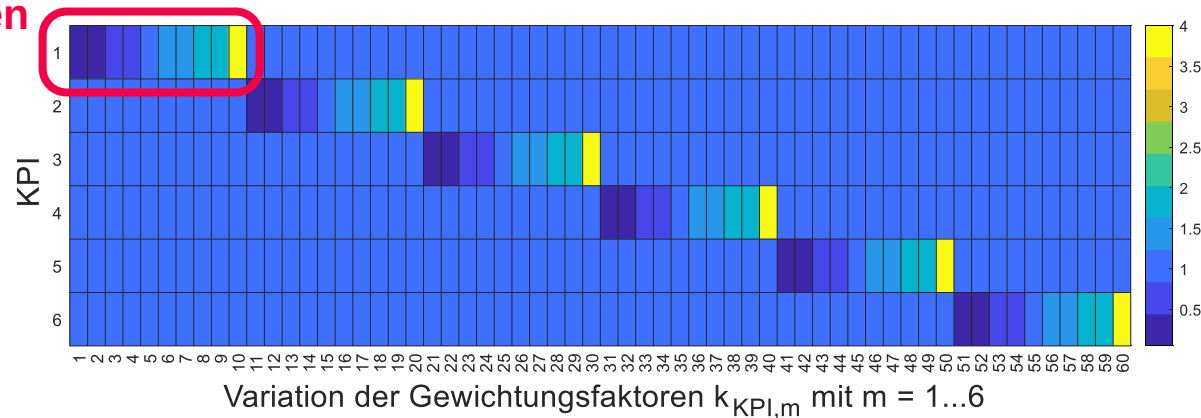


zB Konfiguration 0:
Hoher Einfluss der
Gewichtungsfaktoren
an Priorisierung

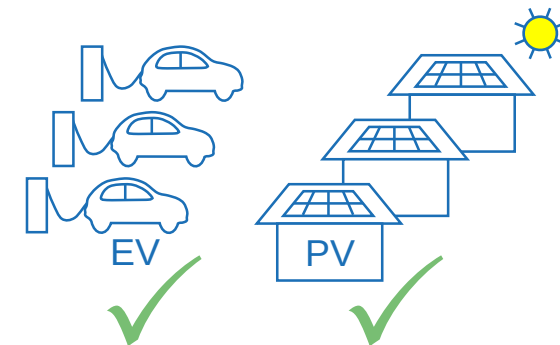


Teilnetz TS10
aspersn Seestadt, Vienna

zB KPI 1,
10 Variationen
von $k_{KPI,1}$
(0.05 ... 4.0)



Szenario 1

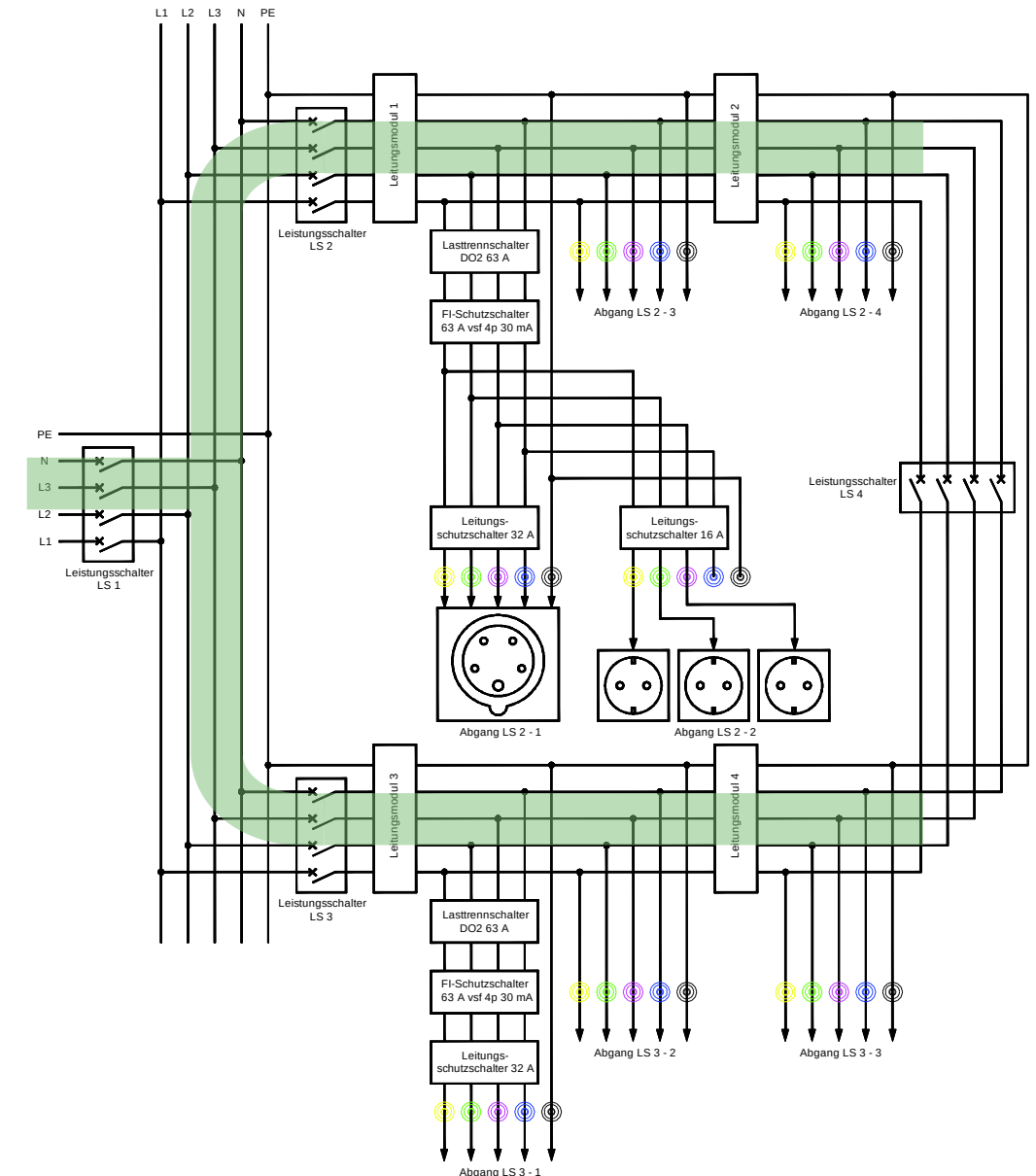


Realitätsnahe Tests mit Labordemonstrator

KLS-Labordemonstrator (I)

Prinzip/Grundstruktur

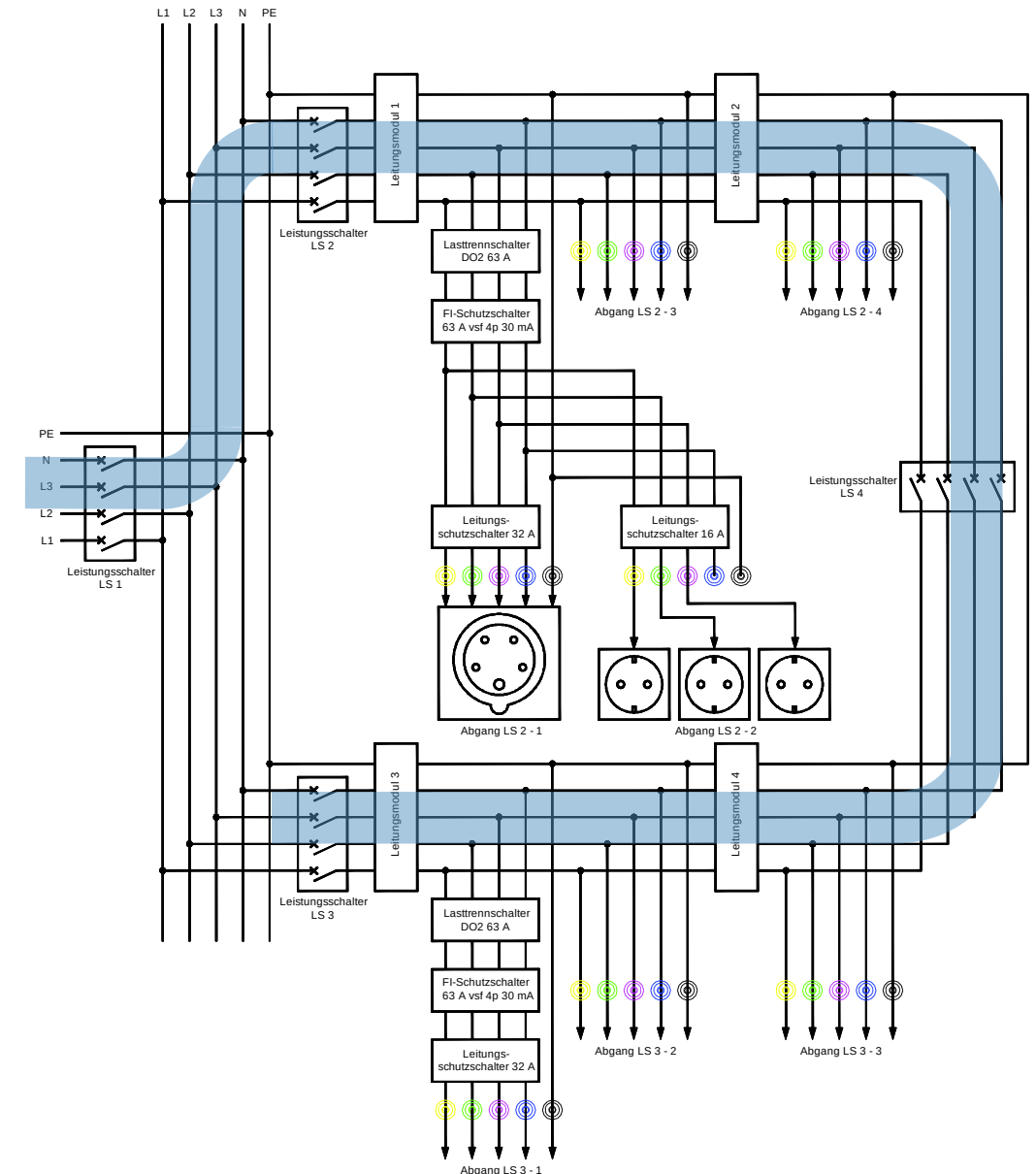
- Sammelschiene mit 2 Abgängen
- 4 Kompaktleistungsschalter (KLS) mit Motorantrieb
- Anbindung von Lasten/Verbrauchern und Quellen
- Verschiedene Netzkonfiguration
 - Zwei Einzelstiche



KLS-Labordemonstrator (I)

Prinzip/Grundstruktur

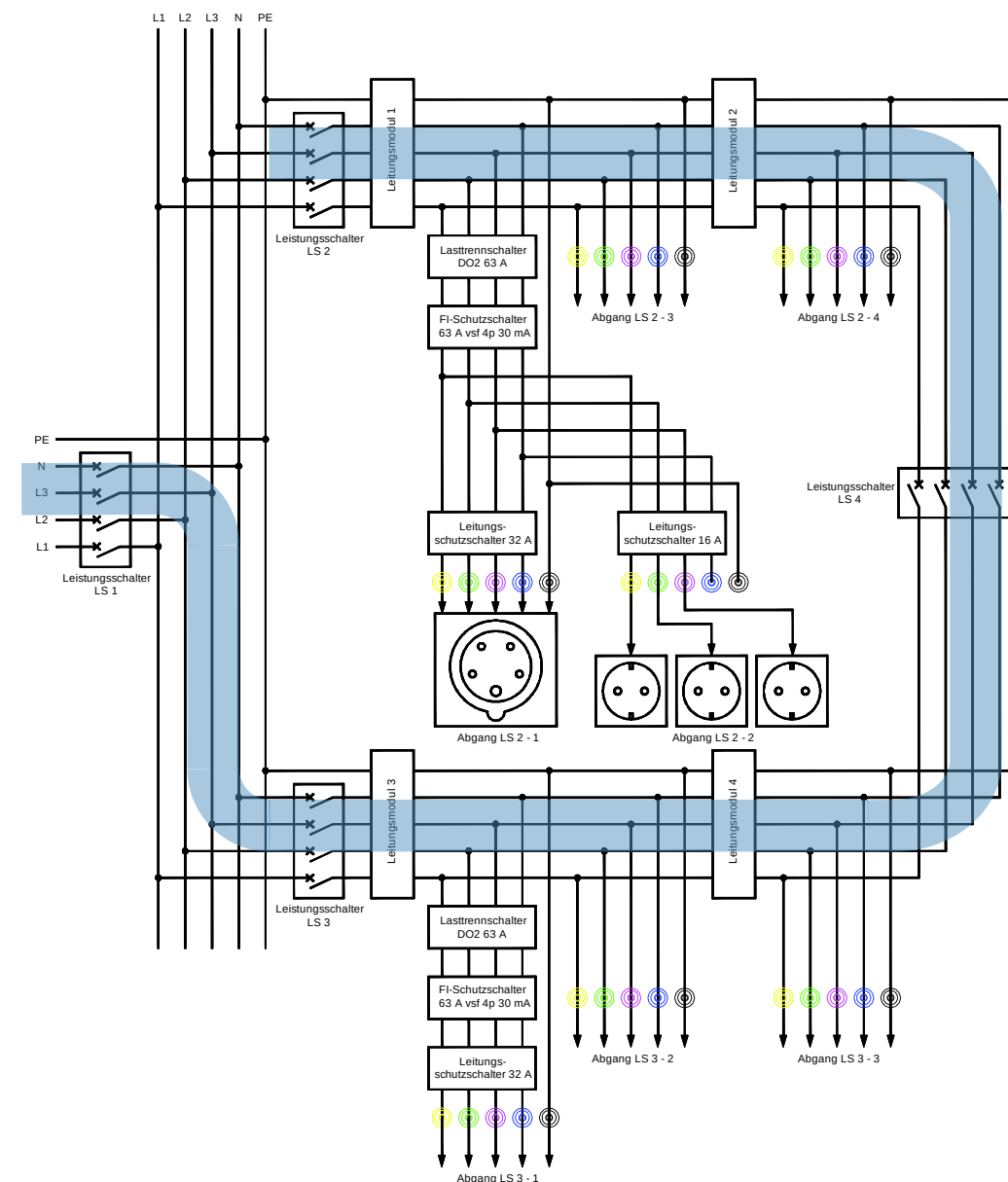
- Sammelschiene mit 2 Abgängen
- 4 Kompaktleistungsschalter (KLS) mit Motorantrieb
- Anbindung von Lasten/Verbrauchern und Quellen
- Verschiedene Netzkonfiguration
 - Zwei Einzelstiche
 - Ein langer Stich (x2)



KLS-Labordemonstrator (I)

Prinzip/Grundstruktur

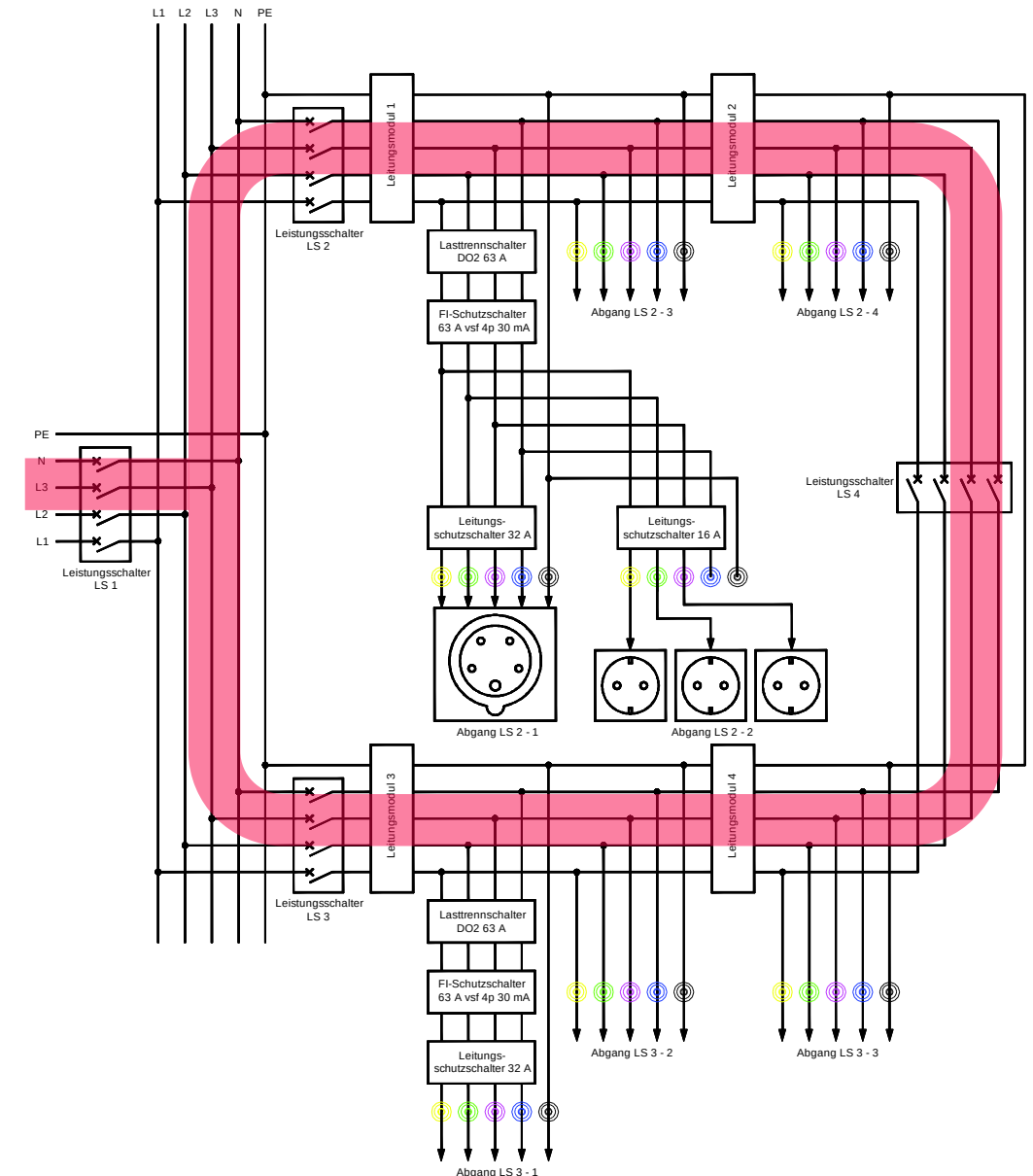
- Sammelschiene mit 2 Abgängen
- 4 Kompaktleistungsschalter (KLS) mit Motorantrieb
- Anbindung von Lasten/Verbrauchern und Quellen
- Verschiedene Netzkonfiguration
 - Zwei Einzelstiche
 - Ein langer Stich (x2)



KLS-Labordemonstrator (I)

Prinzip/Grundstruktur

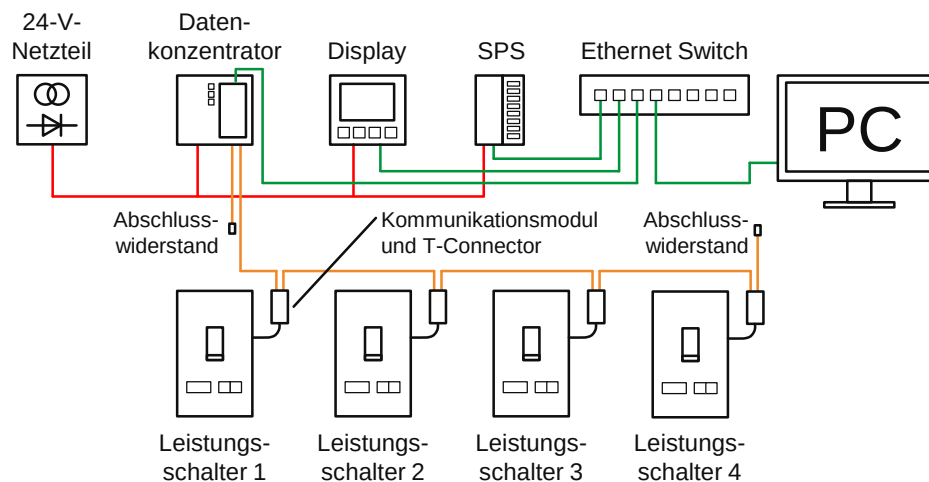
- Sammelschiene mit 2 Abgängen
- 4 Kompaktleistungsschalter (KLS) mit Motorantrieb
- Anbindung von Lasten/Verbrauchern und Quellen
- Verschiedene Netzkonfiguration
 - Zwei Einzelstiche
 - Ein langer Stich (x2)
 - Vermaschter Betrieb



KLS-Labordemonstrator (II)

Kommunikation und Aufbau

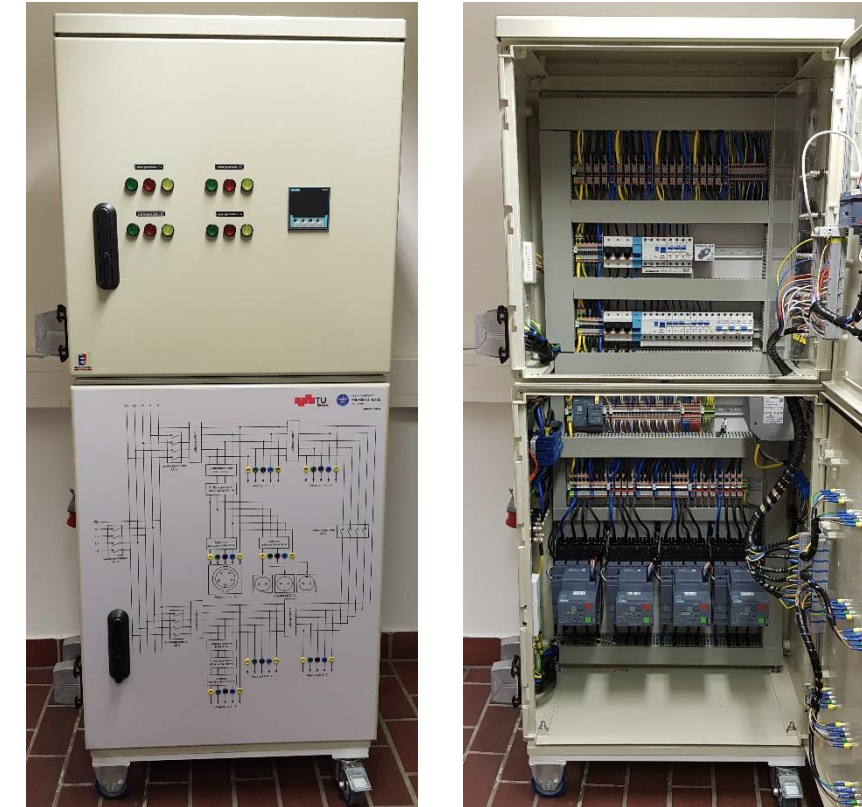
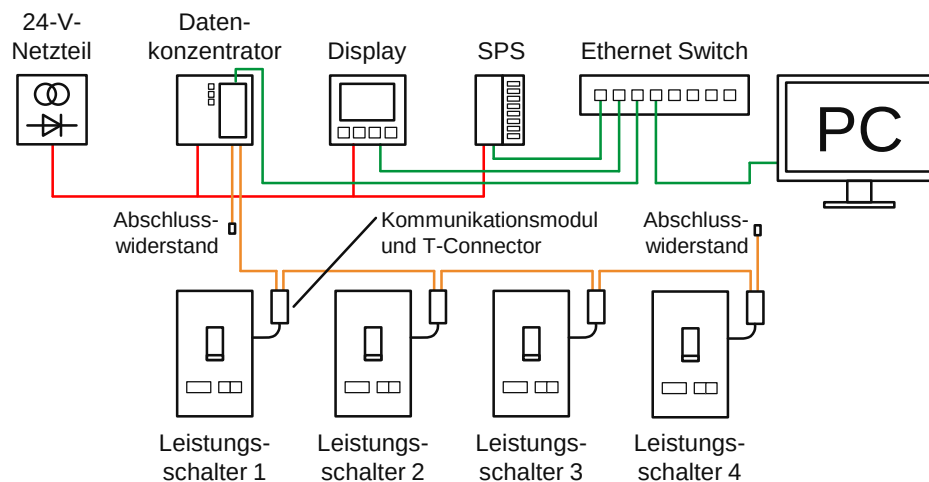
- Leistungsschalter und IKT-Elemente
 - Kommunikationsmodule
 - Datenkonzentrator
 - Display
 - SPS



KLS-Labordemonstrator (II)

Kommunikation und Aufbau

- Leistungsschalter und IKT-Elemente
 - Kommunikationsmodule
 - Datenkonzentrator
 - Display
 - SPS

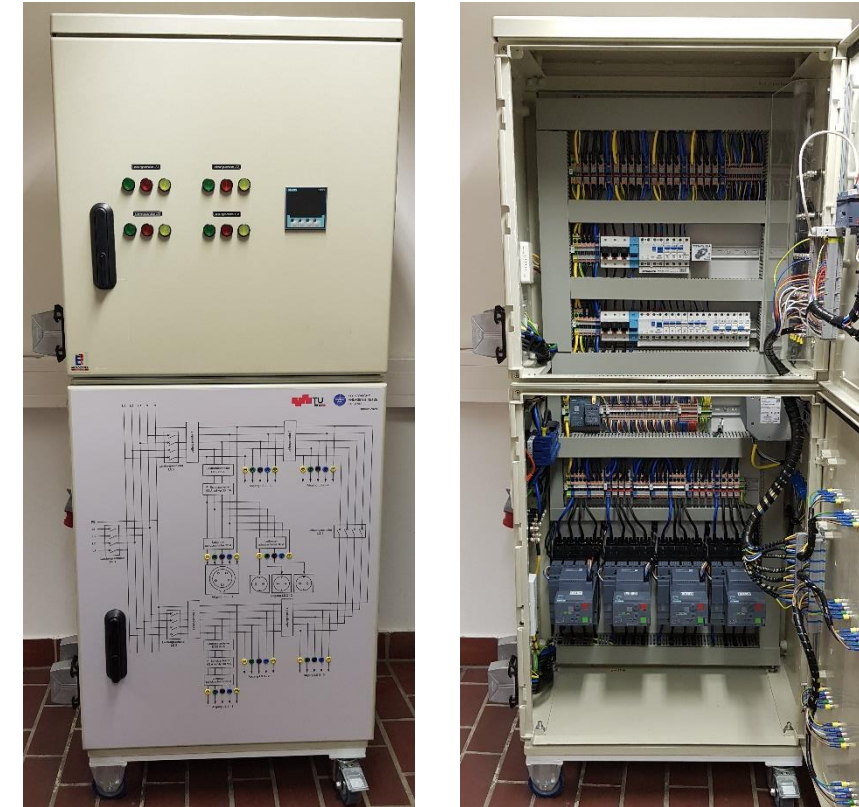


- Entwickelter Aufbau
 - in mobilem Schaltschrank
 - mit industriell verfügbaren Komponenten

KLS-Labordemonstrator (III)

Tests und Untersuchungen

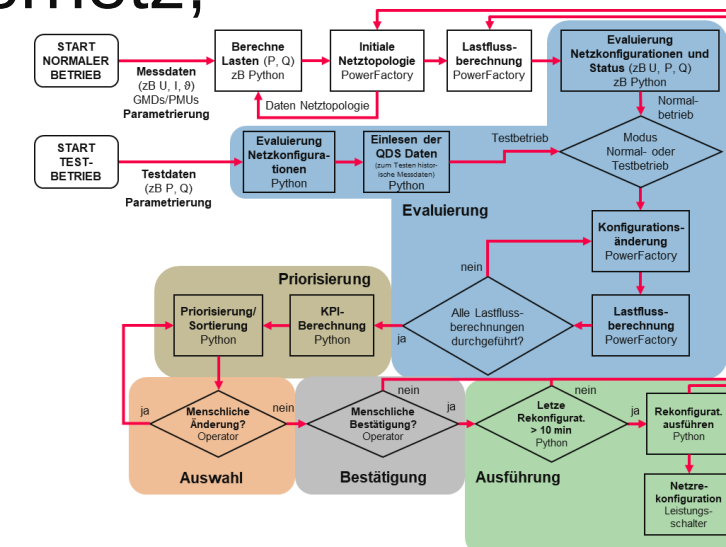
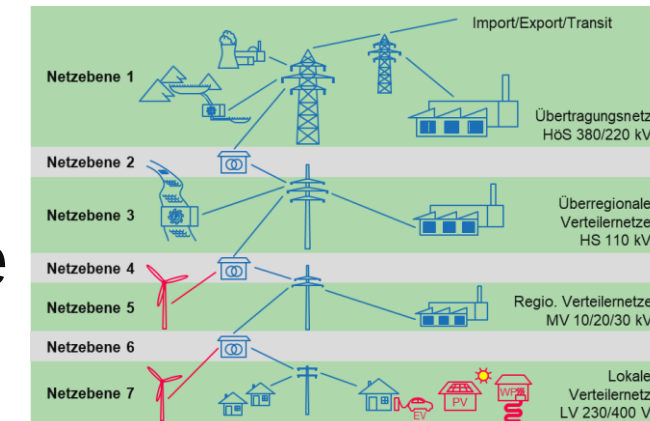
- **Hardwarenahe Tests** des Switching-Management-Module-Algorithmus mit unterschiedlichen
 - *Anwendungsfällen* und
 - *Szenarien*
- Evaluierung unterschiedlicher **Schnittstellen-/IKT-Lösungen**
- Untersuchung der **Praxistauglichkeit** des SMM-Algorithmus



Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung und Ausblick (I)

- Neuartige Herausforderungen an NS-Verteil(er)netze
 - Bidirektionale Lastflüsse
 - DES/RES, Prosumer, Batteriespeicher, Ersatzstromanlagen
 - Lastmanagement bei Prosumern und im Verteilernetz, Elektromobilität, Wärmepumpen, Klimaanlage
- Lösungsansätze und Methoden in PoSyCo, zB
 - Automatisierte temporäre Rekonfiguration (Switching Management Module, SMM)

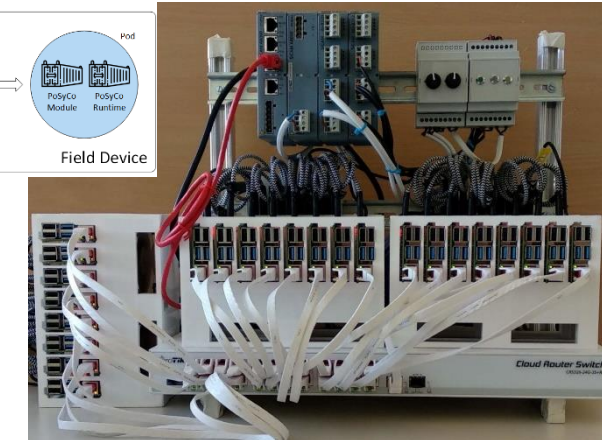
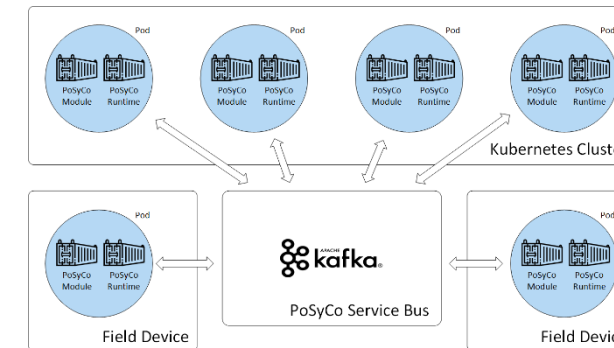


Zusammenfassung und **Ausblick** (II)

- ? Interviews mit Verteilernetzbetreibern geplant (zB Bedarfs- und Bedürfniserhebung, KPI-Auswahl und Gewichtungen)
- ? Analyse der Wechselwirkung zwischen den Algorithmen und dem Schutzsystem des Niederspannungsnetzes

Zusammenfassung und **Ausblick** (III)

- ? Realitätsnahe Tests u.a. mit
 - ? im Feld installierten Sensoren
 - ? entwickeltem IKT-Framework (PoSyCo-Runtime)
 - ? Labordemonstrator mit 4 Kompaktleistungsschaltern





Dieses Projekt wird vom Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Energieforschungsprogramms 2017 durchgeführt.



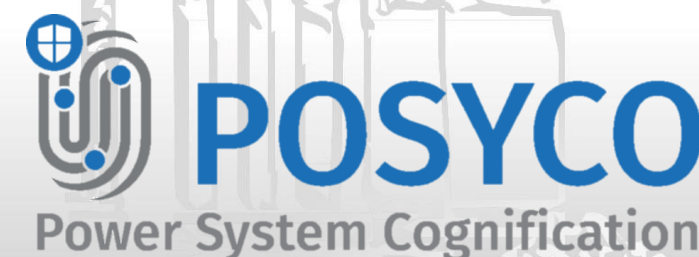
Ein Beitrag zur automatisierten Netzrekonfiguration in der Niederspannung

EnInnov 2022 – 17. Symposium Energieinnovation (online)



Daniel Herbst, TU Graz - IEAN
17.02.2022

daniel.herbst@tugraz.at



Literatur

- [1] Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus; Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, „*mission2030 – Die österreichische Klima- und Energiestrategie*“, Wien, 2018.
- [2] Einfalt, A., Brunner, H., Prügler, W., et al., “Efficient Utilization Of Existing Grid Infrastructure Empowering Smart Communities”, IEEE ISGT NA, Washington DC/USA, 2020.
- [3] Herbst, D., Schürhuber, R., Lagler, M., et al., “Low-Voltage Grids in Transition – Automatic Grid Reconfiguration Approach for Future Smart Grid Challenges”, CIRED, 2021.
- [4] Herbst, D., Schürhuber, R., Schmutzner, E., et al., „Entwicklung und Evaluierung eines Algorithmus zur automatisierten Rekonfiguration von Niederspannungsnetzen“, e&i Elektrotechnik und Informationstechnik, Ausgabe 08.2021, Wien/AT, 2021, <https://doi.org/10.1007/s00502-021-00939-5> (aufgerufen am 12.November 2021).
- [5] Herbst, D., „Ein Beitrag zu neuen Ansätzen im Niederspannungsschutz“ (Arbeitstitel), Dissertation, Technische Universität Graz, laufend.
- [6] Kerber, G., „Kerber networks, <https://pandapower.readthedocs.io/en/v1.3.0/networks/kerber.html>, zuletzt abgerufen am 06.07.2021.
- [7] Herbst, D., „Ein Beitrag zur Bewältigung künftiger Herausforderungen in Niederspannungsverteilnetzen am Beispiel automatisierter Netzrekonfiguration“, ETG-CIRED-Workshop 2021 (D-A-CH) – „Innovationen im Verteilnetz“, München, 2021.
- [8] Promberger, M., „Labordemonstrator zur automatisierten Rekonfiguration im Niederspannungsnetz“, Masterarbeit, Technische Universität Graz, 2021.
- [9] Griesser, R., „Automatisierung eines Kompaktleistungsschalter-Labordemonstrators mit Python Kommunikation“, Masterarbeit, Technische Universität Graz, 2021.