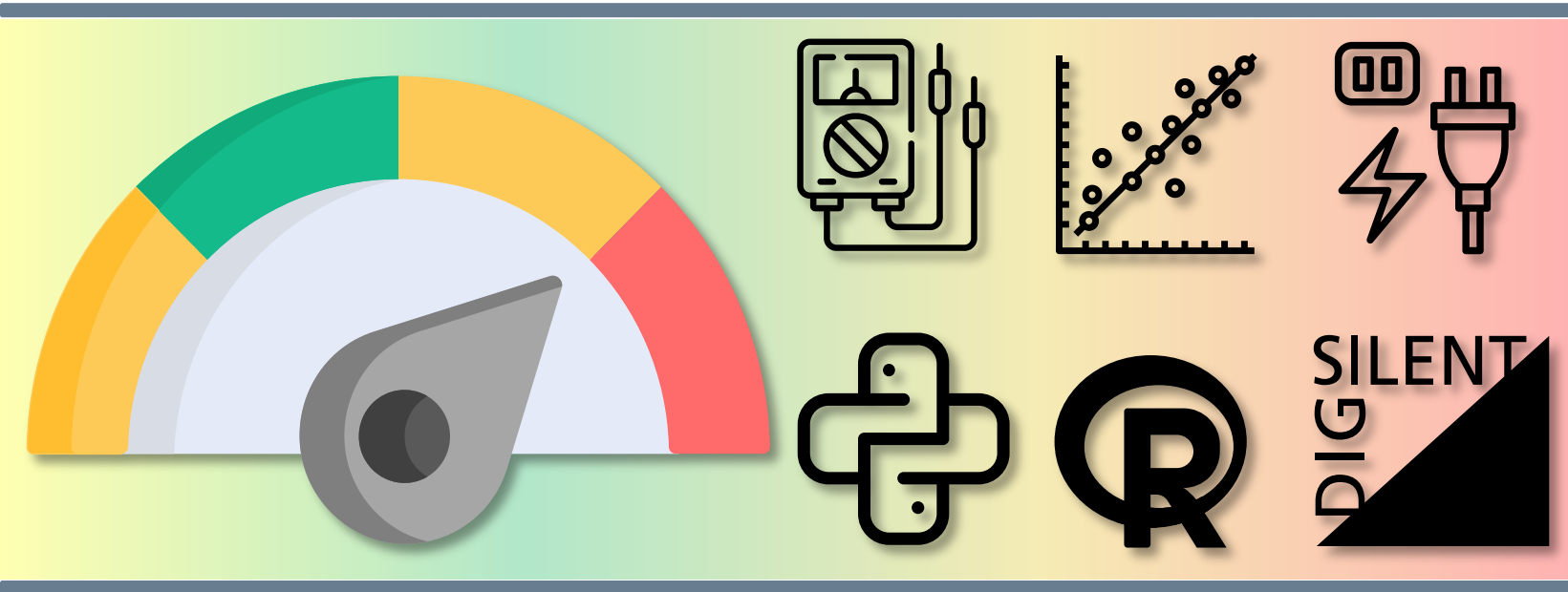




Berner Fachhochschule
Haute école spécialisée bernoise
Bern University of Applied Sciences



Masterthesis PQ-Index

Berner Fachhochschule
BFH-Zentrum Energiespeicherung
Labor für Elektrizitätsnetze

► Lukas Heiniger

Nidau, 19.8.2020

Inhalt & Outlook

Methodik PQ-Index

- Entwicklung, Test und Dokumentierung PQ-Index

DISQ

- Software zur Berechnung und Darstellung des PQ-Index aus Messdaten

Messung

- Messkampagne in Biel (ESB) und Kallern (AEW)

Datenanalyse

- Auswertung Langzeitdaten und Messdaten Biel und Kallern
- Korrelation zwischen S_K und PQ-Index
- Regressionsanalyse

ZNPlight

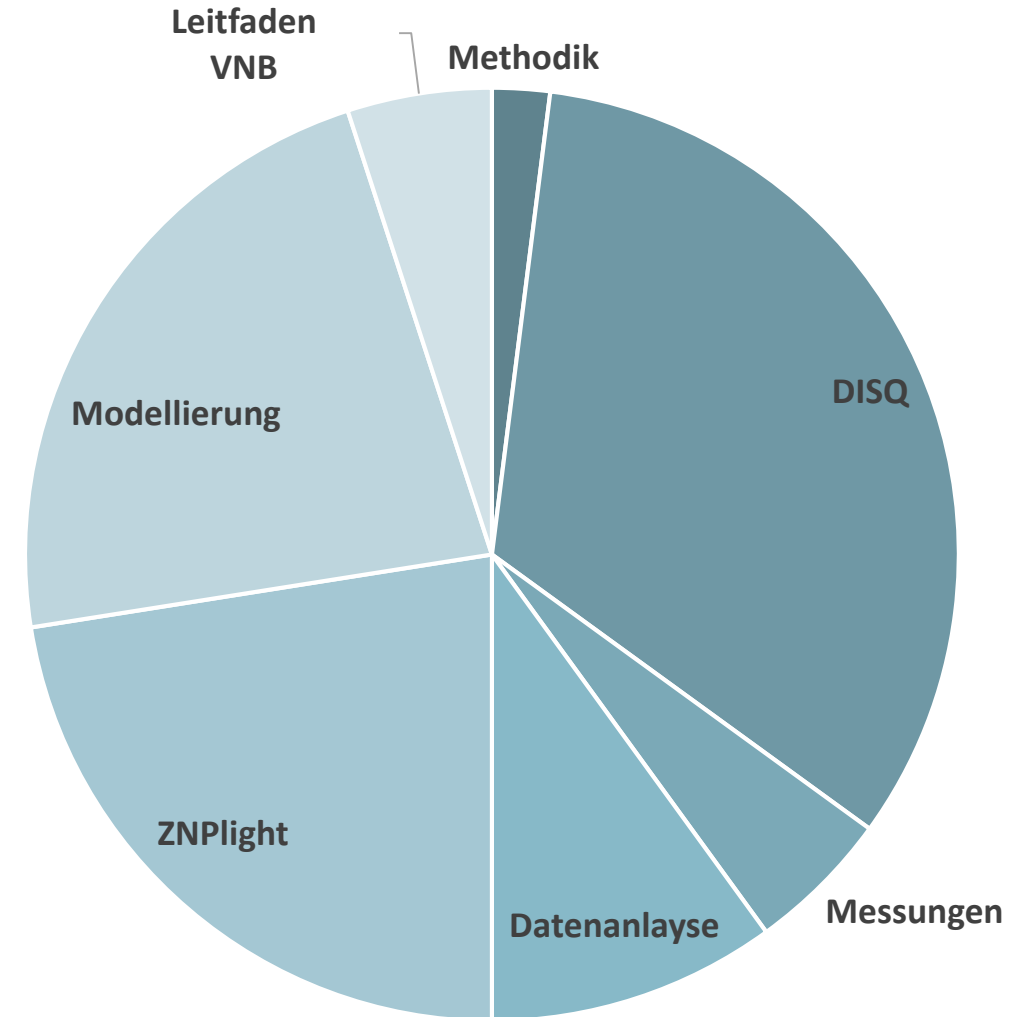
- PQ-Index in ZNPlight abschätzen

Modellierung

- Untersuchung des PQ-Index anhand verschiedener Szenarien

Leitfaden für VNB

- Leitfaden für die Anwendung des PQ-Index



Methodik

Entwicklung einer Methodik zur Berechnung des PQ-Index

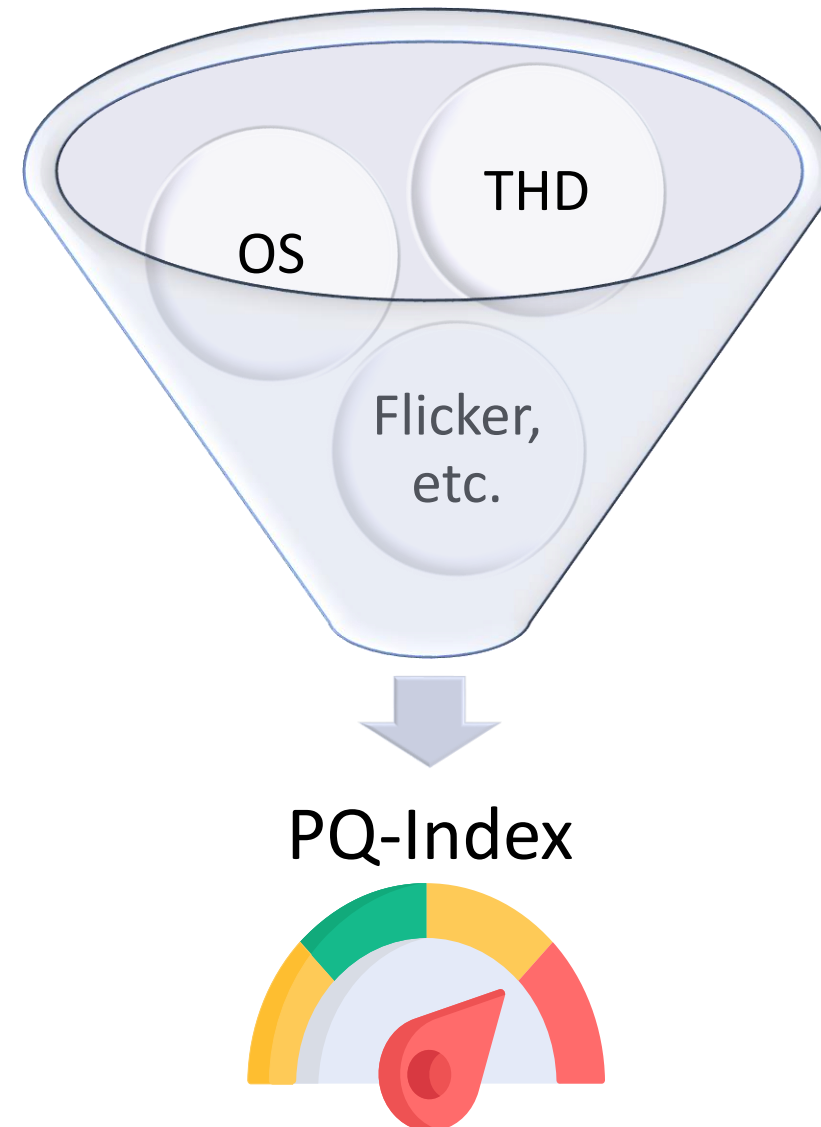
PQ-Index

Ausgangslage:

- Die Vielzahl der PQ-Parameter erschwert ...
 - einen netzübergreifenden Vergleich
 - die Analyse der Entwicklung
- ... der Power Quality

Ziel:

- Entwicklung und Anwendung eines Index, der alle PQ-Phänomene in einem einzelnen repräsentativen und stabilen Wert zusammenfasst.



Anforderungen an einen PQ-Index



Einfache Erkennbarkeit



Berücksichtigung aller Grenzwerte gemäss EN50160



Bereits vorhandenes Rauschen (normale Pegel im Netz) ignorieren

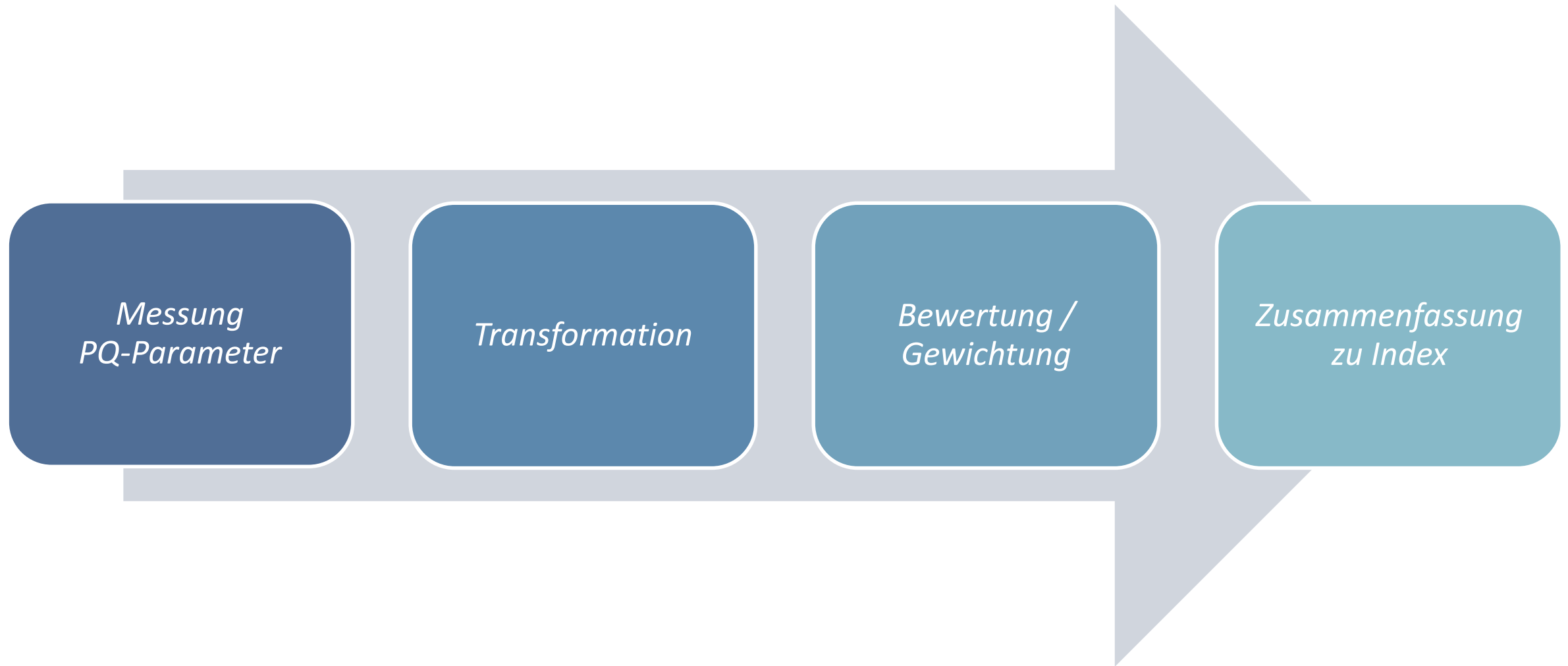


Sobald ein Parameter eine Grenzwertverletzung aufweist, muss dies im Index repräsentiert werden



Wenn mehrere Parameter schlechter werden und keine Grenzwertverletzung vorliegt, muss dies dennoch im Index erkannt werden

Prozess zur Ermittlung des PQ-Index



Der PQ-Index

- Zusammenfassung der einzelnen bezogenen PQ-Parameter zu drei Teilindizes

$$PQ\ Index = \{PQ_{Avg}, PQ_{Max}, PQ_{99}\}$$

Teilindex:	Beschreibung	Vorteile	Nachteile
PQ_{Avg}	Arithmetischer Mittelwert aller bezogenen PQ-Parameter	Zeigt die allgemeine Entwicklung der PQ-Parameter im Netz	Einzelne Ausreisser, d.h. Grenzwertverletzungen einzelner PQ-Parameter, werden nicht erkannt.
PQ_{Max}	Maximaler bezogene PQ-Parameter	Zeigt Grenzwertverletzungen einzelner PQ-Parameter.	Keine Informationen über die Entwicklung der übrigen PQ-Parameter.
PQ_{99}	9. Wurzel des Polynoms 9. Grades aller PQ-Parameter	Kombination aus PQ_{Avg} und PQ_{Max} .	Liegt generell etwas höher als PQ_{Max} . Dies liegt in der Natur der Berechnungsmethode. Somit werden unter Umständen fälschlicherweise Grenzwertverletzungen angezeigt.

PQ-Index	Powerquality
$0 < PQ\text{-Index} < 0.5$	zu gut
$0.5 < PQ\text{-Index} < 1.5$	gut
$1.5 < PQ\text{-Index} < 2$	kritisch
$2 < PQ\text{-Index}$	schlecht

PQ_{99} hebt einzelne ausreissende PQ-Parameter stark hervor während geringe Veränderungen der PQ-Parameter zwar gezeigt, aber nicht überbewertet werden.

DISQ

Software zur Berechnung und Darstellung des PQ-Index

DISQ

Data View Help

[1] PQ-Index [2] Summary

PQ-Index

Date	PQ_Avg	PQ_Max	PQ_99
12.02.2018	1.05	1.75	1.98
13.02.2018	1.05	1.75	2.00
14.02.2018	1.05	1.75	1.98
15.02.2018	1.03	1.65	1.92
16.02.2018	1.02	1.55	1.90
17.02.2018	1.03	1.55	1.90
18.02.2018	1.05	1.65	1.95
19.02.2018	1.05	1.70	1.98
20.02.2018	1.05	1.70	1.98
21.02.2018	1.05	1.72	1.98

Parameters

	D:	N:	G:	GF:	Bewertung:
UL1_max_[V]:	237.0	230.0	254.0	1.0	linear
UL2_max_[V]:	237.0	230.0	254.0	1.0	linear
UL3_max_[V]:	237.0	230.0	254.0	1.0	linear
UL1_min_[V]:	227.0	230.0	207.0	1.0	linear
UL2_min_[V]:	227.0	230.0	207.0	1.0	linear
UL3_min_[V]:	227.0	230.0	207.0	1.0	linear
THDL1_[%]:	2.12	0.0	8.0	1.0	linear
THDL2_[%]:	2.12	0.0	8.0	1.0	linear
THDL3_[%]:	2.12	0.0	8.0	1.0	linear
Pft_UL1:	0.35	0.0	1.0	1.0	linear

Settings

Parameter values:

Measurement interval: min.

Period of time: 13.02.2018 22.02.2018

Resolution:

SQLite-Tables:

Advanced Settings:

Welcome to DISQ.
 Please import the measurement data from a csv-File or a SQLite-Database.
 Data successfully loaded.
 Please enter the Parameters: Average value (D), Nominal value (N), Limit (G) and weighting factor (GF).
 You can also load a Parameter-Preset-File.
 Parameter successfully loaded.
 PQ-Index calculation successful.

100%

DISQ

Data View Help

[1] PQ-Index [2] Summary

Infos

Time range: 13.02.2018 to 22.02.2018

Resolution: Day

Number of days: 9

Filename: Measurement_VK.csv

Index

	Max.	Min.	Mean
PQAvg:	1.06	1.02	1.05
PQMax:	1.74	1.54	1.69
PQ99:	2.0	1.89	1.96

all transformed PQ-Parameters

all transformed PQ-Parameters

range of transformed PQ-Parameters

Parameters

	D:	N:	G:	GF:	Bewertung:
UL1_max_[V]:	237.0	230.0	254.0	1.0	linear
UL2_max_[V]:	237.0	230.0	254.0	1.0	linear
UL3_max_[V]:	237.0	230.0	254.0	1.0	linear
UL1_min_[V]:	227.0	230.0	207.0	1.0	linear
UL2_min_[V]:	227.0	230.0	207.0	1.0	linear
UL3_min_[V]:	227.0	230.0	207.0	1.0	linear
THDL1_[%]:	2.12	0.0	8.0	1.0	linear
THDL2_[%]:	2.12	0.0	8.0	1.0	linear
THDL3_[%]:	2.12	0.0	8.0	1.0	linear
Pft_UL1:	0.35	0.0	1.0	1.0	linear

Settings

Parameter values:

Save Load

Measurement interval: 1.0 min.

Period of time:

Start Date: 13.02.2018 7-Days

End Date: 22.02.2018

Resolution:

Day Week

SQLite-Tables:

Choose a Table from the SQLite-Database.

Advanced Settings:

Calculate and Plot PQ-Index

Welcome to DISQ.
 Please import the measurement data from a csv-File or a SQLite-Database.
 Data successfully loaded.
 Please enter the Parameters: Average value (D), Nominal value (N), Limit (G) and weighting factor (GF).
 You can also load a Parameter-Preset-File.
 Parameter successfully loaded.
 PQ-Index calculation successful.

Clear

100%

Messungen

Messkampagnen in Biel und Kallern

Eindrücke der Messkampagnen

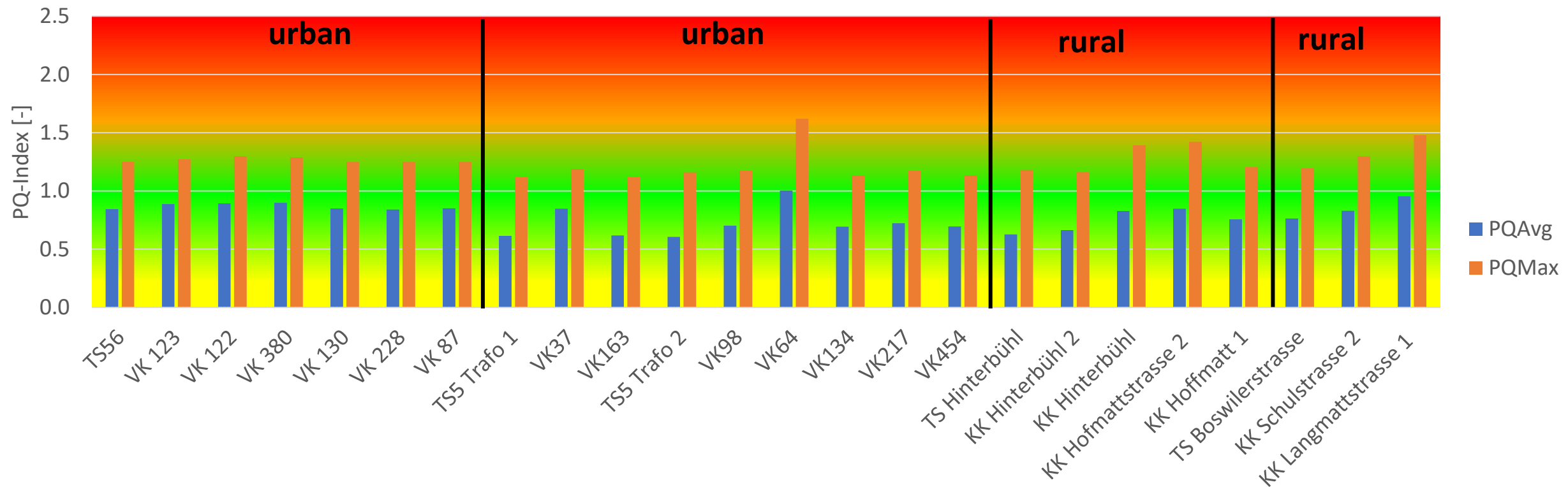


Datenanalyse

Auswertung der Messkampagnen und Langzeitdaten,
Korrelation zwischen S_K und PQ-Index,
Regressionsanalyse

Messung Biel & Kallern

- ▶ Teilindizes, PQ_{Avg} , PQ_{Max} und PQ_{99} , von allen Messpunkten
- ▶ Index in den TS besser und an den entfernten VKs schlechter
- ▶ Spannungsqualität bei allen Messpunkten im grünen Bereich
- ▶ Kein prägnanter Unterschied zwischen urbanen und ruralen Netzen



Regressionsanalyse

- ▶ Je niedriger S_K und je höher die Belastung desto höher der PQ-Index
- ▶ Im Netz urbanen Netz 1 ist dieser Trend weniger stark ausgeprägt
- ▶ Kein deutlicher unterschied im PQ-Index zwischen urbanem Netz 2 und den ruralen Netzen

▶ Regressionsmodell

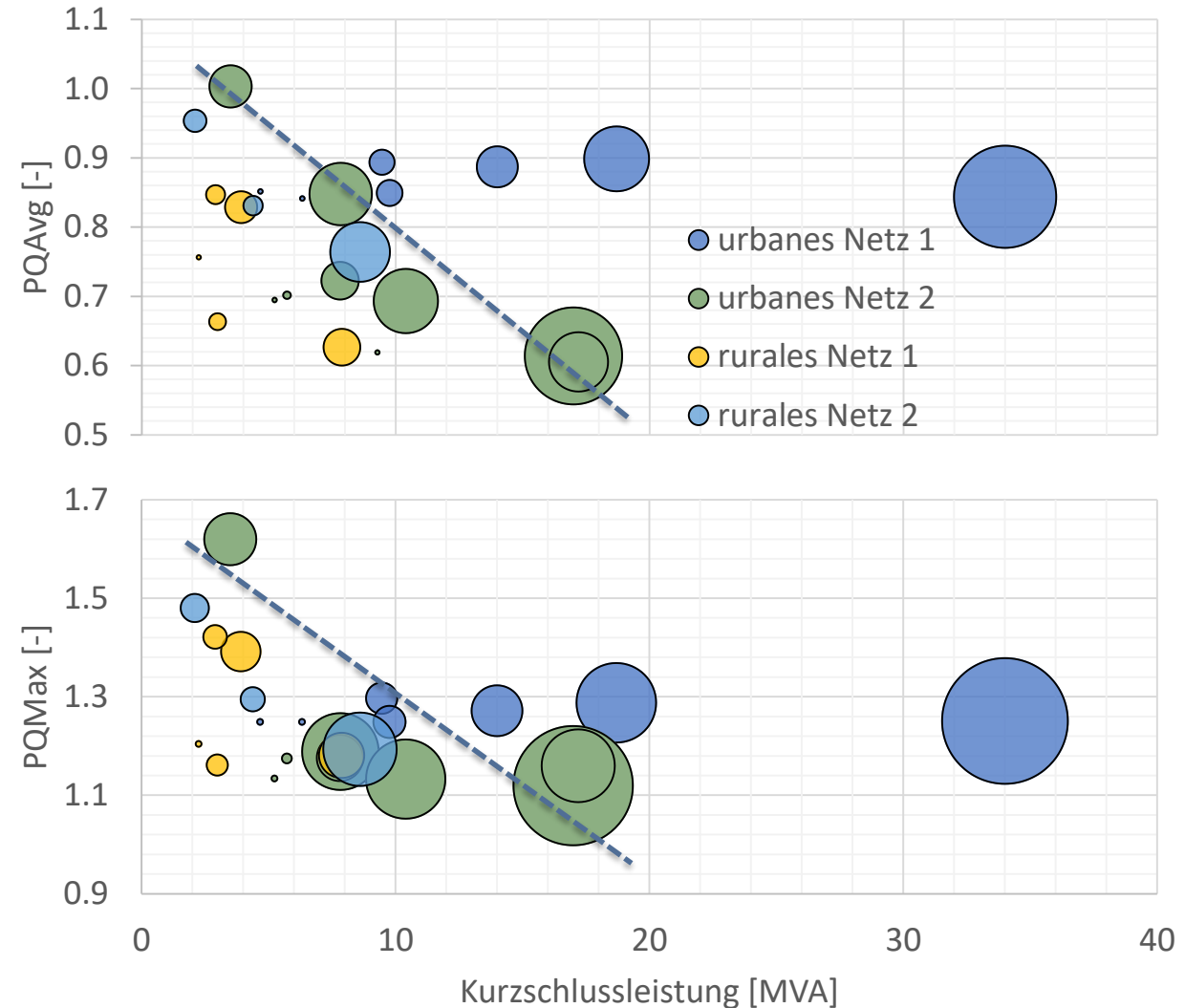
- ▶ Linear:

$$PQ_{Avg_j} = \beta_0 + \beta_1 * S_{K,i} + \beta_2 * P_i + E_i$$

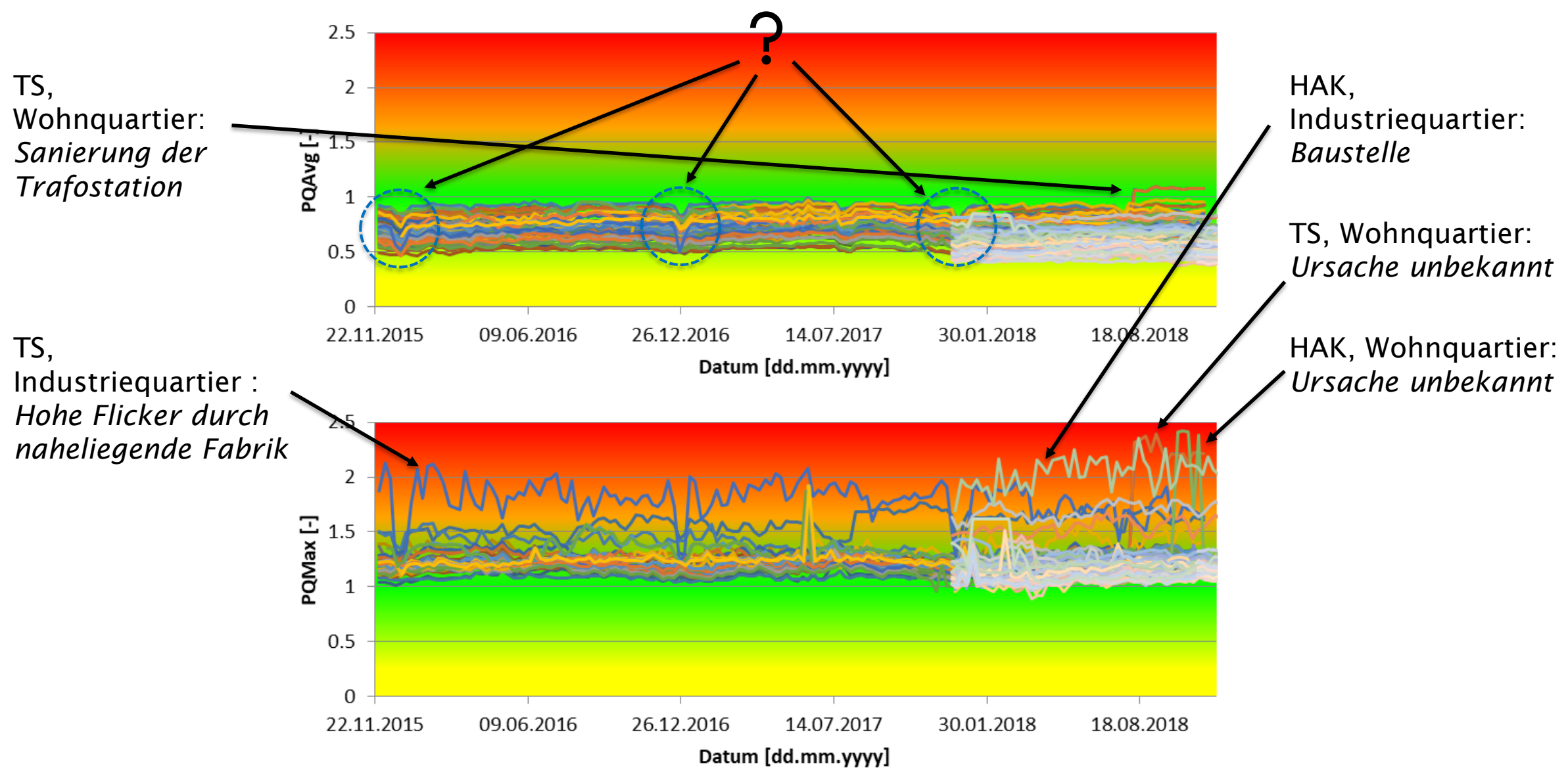
- ▶ Transformiert:

$$PQ_{Avg_j} = 10^{\beta_0} * S_{K,i}^{\beta_1} * P_i^{\beta_2} * 10^{E_i}$$

Gemäss R existiert ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen den beschreibenden Variablen, S_K und P , und der Zielgrösse, dem PQ-Index



Langzeitdaten



ZNPlight

Implementation des PQ-Index in ZNPlight

Ist-Netz initialisieren	Lineares Modell <input type="radio"/> Exponentielles Modell <input checked="" type="radio"/>	(nur linear)	Hilfe						
PQ-Index Berechnen	Vorgeschlagenes Regressionsmodell		Eigenes Regressionsmodell			lineares Modell $PQAvg_i = \beta_0 + \beta_1 * S_{K,i} + \beta_2 * P_i + E_i$ $PQMax_i = \beta_0 + \beta_1 * S_{K,i} + \beta_2 * P_i + E_i$ exponentielles Modell $PQAvg_i = 10^{\beta_0} * S_{K,i}^{\beta_1} * P_i^{\beta_2} * 10^{E_i}$ $PQMax_i = 10^{\beta_0} * S_{K,i}^{\beta_1} * P_i^{\beta_2} * 10^{E_i}$			
Regression basierend auf eigener Messung berechnen	PQAvg	β0	β1	β2	PQAvg		β0	β1	β2
Extrapolation auf Soll-Netz		Std β0	Std β1	Std β2			Std β0	Std β1	Std β2
Regressionsgerade in Plots anzeigen <input checked="" type="checkbox"/>	R2	P-Wert		R2	P-Wert		Modell ist: gut		
	β0	β1	β2	β0	β1		β2	Std β0	Std β1
	Std β0	Std β1	Std β2	Std β0	Std β1	Std β2	R2	Modell ist: gut	
	P-Wert	0.09%		P-Wert	3.13%		gut		
	β0	β1	β2	β0	β1	β2	Std β0	Std β1	Std β2
	Std β0	Std β1	Std β2	Std β0	Std β1	Std β2	R2	Modell ist: gut	
	P-Wert	0.11%		P-Wert	0.61%		gut		

Net zindex Vorschlag: Messung:	PQAvg: 0.60	0.62	Plot	Plot	
	PQMax: 1.16	2.50			
	PQAvg: 0.61	0.71	Plot	Plot	
	PQMax: 1.16	2.26			

Ist-Netz								Soll-Netz							
Name	Knoten	Sk [MVA]	Last [kW]	Vorgeschlagen		Gemessen		Name	Knoten	Sk [MVA]	Last [kW]	Vorgeschlagen		Extrapoliert	
				PQAvg	PQMax	PQAvg	PQMax					PQAvg	PQMax	PQAvg	PQMax
Trafo 1 (420 V) / TS-Last	3	34.05	591	0.56	1.02	0.50	0.60	Trafo 1 (420)	3	34.05	693	0.56	1.03	0.69	0.78
Trafo 2 (420 V)	4	34.05	591	0.56	1.02	0.50	0.60	Trafo 2 (420)	4	34.05	693	0.56	1.03	0.69	0.78
Trafo 3 (420 V)	5	34.05	591	0.56	1.02	0.50	0.60	Trafo 3 (420)	5	34.05	693	0.56	1.03	0.69	0.78
VK123 / VK123-Last	6	13.83	110	0.65	1.13	0.70	1.00	VK123 / VK1	6	13.83	110	0.65	1.13	0.60	1.47
VK380 / VK380-Last	8	18.66	229	0.62	1.10	0.48	1.00	VK380 / VK3	8	18.66	331	0.63	1.10	0.77	1.48
VK228 / VK228-Last	13	5.68	0	0.53	0.96	0.60	1.60	VK228 / VK2	13	5.68	0	0.53	0.96	0.80	2.03
VK122 / VK122-Last	14	11.27	19	0.65	1.12	0.50	1.80	VK122 / VK1	14	11.27	19	0.65	1.12	0.55	1.52
VK130 / VK130-Last	16	9.59	34	0.68	1.16	0.80	2.20	Gewerbebet	16	11.23	100	0.67	1.16	0.71	1.70
VK87 / VK87-Last	18	3.31	0	0.60	1.04	1.00	2.50	VK130 / VK1	17	9.59	34	0.68	1.16	0.66	1.72

Leitfaden für VNB

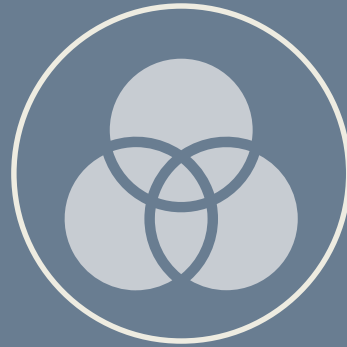
Anwendung des PQ-Index

Anwendungsmöglichkeiten des PQ-Index



Überwachung

- Überwachung wird immer wichtiger
- Viele Knoten sind mit stationären Messgeräten ausgerüstet
- Berechnungsroutine des PQ-Index kann in Leitsystem hinterlegt werden



Vergleich

- Vergleich der PQ aufgrund der Vielzahl der Parameter schwierig
- Mit PQ-Index lassen sich verschiedene Messpunkte einfach vergleichen und kritische Netzknoten besser identifizieren



Datenanalyse

- Oftmals verfügen VNB über PQ-Messdaten von mehreren Jahren
- Anhand des PQ-Index lassen sich Entwicklungen in der PQ einfacher erkennen und Trends besser identifizieren

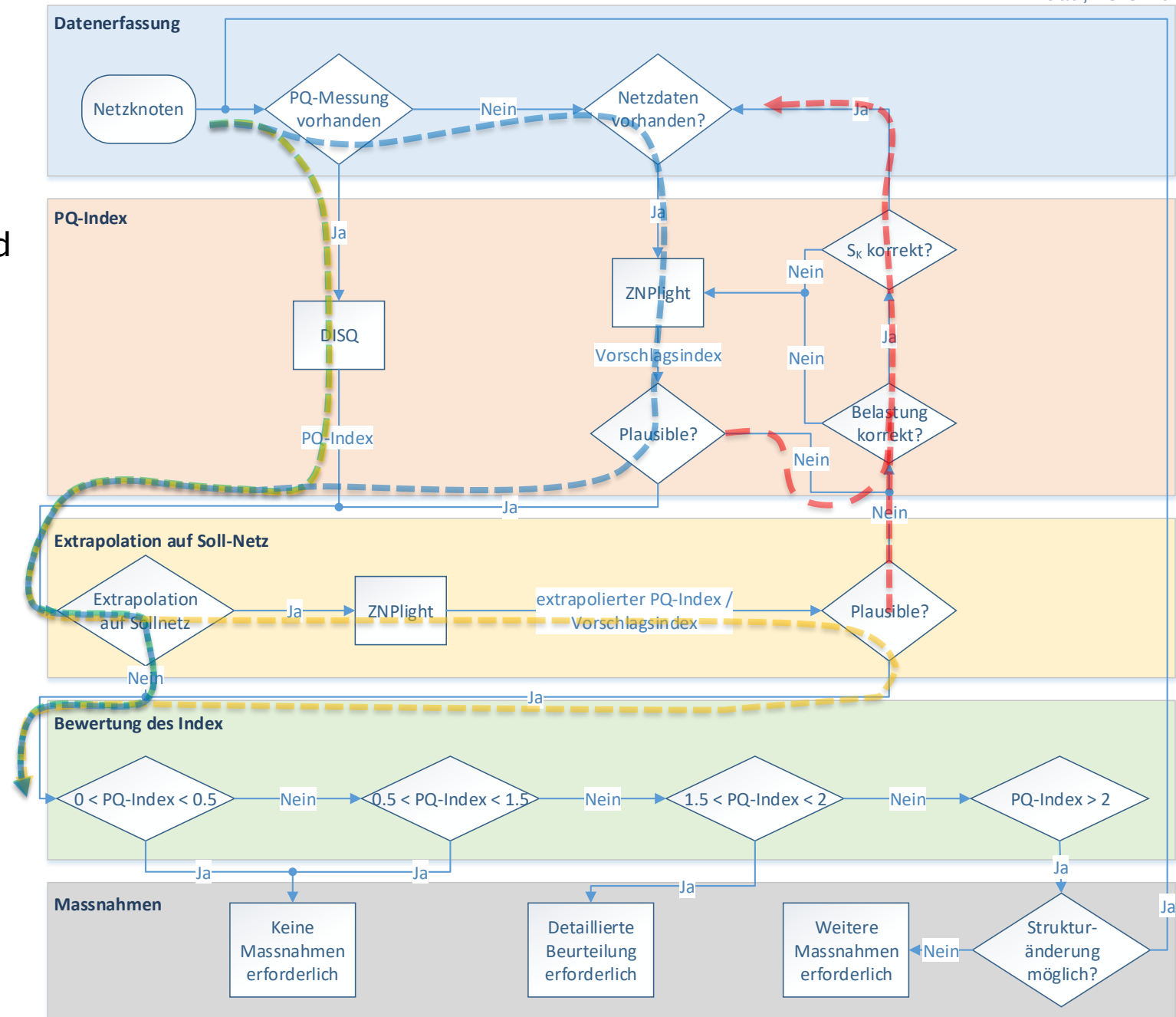


Netzplanung

- Abschätzung und Beurteilung des PQ-Index in ZNPlight bietet dem VNB ein zusätzliches Hilfsmittel
- Untersuchung des Einflusses verschiedener Netzausbauvarianten auf die PQ

Leitfaden für VNB

- ▶ Der PQ-Index und die dafür programmierten Softwaretools DISQ und ZNPlight bieten den VNB neue Möglichkeiten zur Abschätzung und Beurteilung der Spannungsqualität im Netz
- ▶ Der damit verbundene Arbeitsablauf variiert abhängig der zur Verfügung stehenden Datenlage
 - I. **Beurteilung der PQ eines gemessenen Knoten**
 - II. **Extrapolation des PQ-Index eines gemessenen Netzes auf ein zukünftsszenario**
 - III. **Keine Messung vorhanden. Beurteilung des PQ-Index anhand der Vorschlagsindizes**
 - IV. **Indizes nicht plausibel**



Vielen Dank für Eure
Aufmerksamkeit!

BFH-Zentrum Energiespeicherung
Labor für Elektrizitätsnetze
Aarbergstrasse 5
CH-2560 Nidau

Marc Studer
Michael Höckel
Ron Buntschu
Stefan Schori
Steffen Wienands
Thiago Novais
Lukas Heiniger

sdm1@bfh.ch
hkm1@bfh.ch
bcr1@bfh.ch
sos1@bfh.ch
wns2@bfh.ch
rat4@bfh.ch
hgl1@bfh.ch