

# Auswirkungen statischer Obergrenzen von Energieübertragungsstrecken

Von Patrick Möbius, Maik Plenz, Johannes Schröder, Detlef Schulz  
Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg

1. Was kostet das Netzenspassmanagement in der 50Hertz-Regelzone?
2. Welche Kapazitätspotentiale bieten Chancen für die Flexibilisierung der starren Kapazitätsgrenzen?
3. Wie stark muss die Kapazität der Energieübertragungsnetze erweitert werden, um den Umfang des Netzenspassmanagements zu reduzieren?

- Übertragungskapazität von Energieleitungen
- Netzengpassmanagement: In der 50Hertz-Regelzone
- Netzengpassmanagement: Einzelmaßnahmen
- Kapazitätspotentiale und abgeleitete Szenarien
- Ergebnisse und Diskussion
- Ausblick

- Übertragungskapazität
- Spannungsebene konstruktiv festgelegt
  - Isolatoren, Schalter, Sicherheitstechnik, Dielektrika usw.
- Betriebsstrom hauptsächlich thermisch begrenzt
  - Thermische Modelle, z. B. IEC 60278, bestimmen einen konservativen Grenzwert

$$I_{max} = \sqrt{\frac{\Delta \theta - W_d [0.5 \cdot T_1 + n \cdot (T_2 + T_3 + T_4)]}{R \cdot T_1 + n \cdot R (1 + \lambda_1) \cdot T_2 + n \cdot R (1 + \lambda_2 + \lambda_3) \cdot (T_3 + T_4)}}$$

- Ostdeutschland und Hamburg  
(mit einzelnen Außenstellen)
- Über 10.000 km Übertragungsnetz  
(~9800 km Freileitungen, ~650 km Kabel)



<https://csr.50hertz.com/de/Nachhaltigkeit/Grundsätze-und-Strategie/Grundsätze>

- Statistische Berichte Bundesnetzagentur:
  - Kostenermittlung für Netzengpassmaßnahmen in 2020 und 2021
  - Wesentlich vor allem Redispatch und Einspeisemanagement
- Datensatz Einzelmaßnahmen 2012-2022:
  - Berichterstattung ÜNB gem. EEG Teil 5 Transparenz
  - Abgeregelte Leistung als 15-Minuten-Mittelwerte in [MW]
  - Auswertung von kabel- und freileitungsbedingten Maßnahmen

Tabelle 1: "Redispatch" Maßnahmen in der 50Hertz-Zone in 2020 und 2021

2020	Kosten [Mio. €]	Dauer [h]	Einsp.-Reduktion [GWh]	Einsp.-Erhöhung [GWh]
Q1 [11]	14,4	151	47	47
Q2 [12]	4,1	731	314	315
Q3 [13]	2,6	87	41	41
Q4 [14]	12,3	189	29	29
Ges.2020	33,4	1158	431	432
2021	Kosten [Mio. €]	Dauer [h]	Einsp.-Reduktion [GWh]	Einsp.-Erhöhung [GWh]
Q1 [15]	3,2	414	16	17
Q2 [16]	5,5	548	59	60
Q3 [17]	2,9	332	13	12
Q4 [10]	56,4	891	32	33
Ges.2021	68,0	2185	120	122

Tabelle 1: "Redispatch" Maßnahmen in der 50Hertz-Zone in 2020 und 2021

2020	Kosten [Mio. €]	Dauer [h]	Einsp.-Reduktion [GWh]	Einsp.-Erhöhung [GWh]
Q1 [11]	14,4	151	47	47
Q2 [12]	4,1	731	314	315
Q3 [13]	2,6	87	41	41
Q4 [14]	12,3	189	29	29
Ges.2020	33,4	1158	431	432
2021	Kosten [Mio. €]	Dauer [h]	Einsp.-Reduktion [GWh]	Einsp.-Erhöhung [GWh]
Q1 [15]	3,2	414	16	17
Q2 [16]	5,5	548	59	60
Q3 [17]	2,9	332	13	12
Q4 [10]	56,4	891	32	33
Ges.2021	68,0	2185	120	122

Tabelle 2: Einspeisemanagement in der 50Hertz-Zone in 2020 und 2021

2020	Ausfallarbeit [GWh]	Kosten [Mio. €]	2021	Ausfallarbeit [GWh]	Kosten [Mio. €]
Q1 [11]	424	37,634	Q1 [15]	196	16,771
Q2 [12]	158	13,349	Q2 [16]	315	30,864
Q3 [13]	110	10,8	Q3 [17]	185	18,4
Q4 [14]	129	11,412	Q4 [10]	312	41,6
Ges.2020	821	73,195	Ges.2021	1008	107,6

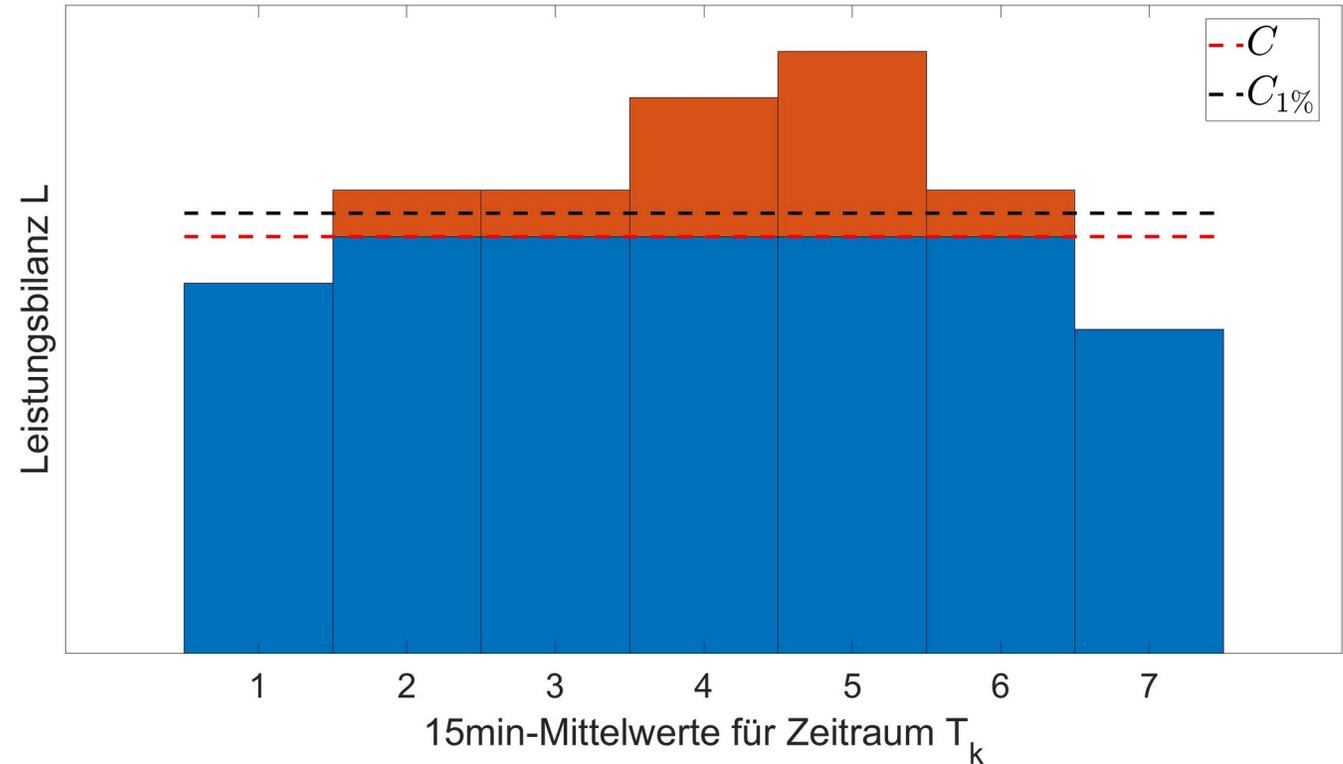
Tabelle 2: Einspeisemanagement in der 50Hertz-Zone in 2020 und 2021

2020	Ausfallarbeit [GWh]	Kosten [Mio. €]	2021	Ausfallarbeit [GWh]	Kosten [Mio. €]
Q1 [11]	424	37,634	Q1 [15]	196	16,771
Q2 [12]	158	13,349	Q2 [16]	315	30,864
Q3 [13]	110	10,8	Q3 [17]	185	18,4
Q4 [14]	129	11,412	Q4 [10]	312	41,6
Ges.2020	821	73,195	Ges.2021	1008	107,6

- Gesamtkosten der Maßnahmen des Netzengpassmanagements
  - 2020: ~107 Mio. €
  - 2021: ~175 Mio. €

- Statistische Berichte Bundesnetzagentur:
  - Kostenermittlung für Netzengpassmaßnahmen in 2020 und 2021
  - Wesentlich vor allem Redispatch und Einspeisemanagement
- Datensatz Einzelmaßnahmen 2012-2022:
  - Berichterstattung ÜNB gem. EEG Teil 5 Transparenz
  - Abgeregelte Leistung als 15-Minuten-Mittelwerte in [MW]
  - Auswertung von kabel- und freileitungsbedingten Maßnahmen

- ~11.000 Abregelungen durch Energieübertragungsstrecken
- in 852 Ereignissen zusammengefasst
- Basis-Übertragungskapazitäten C
  - 220kV: 520 MVA
  - 380kV: 1790 MVA



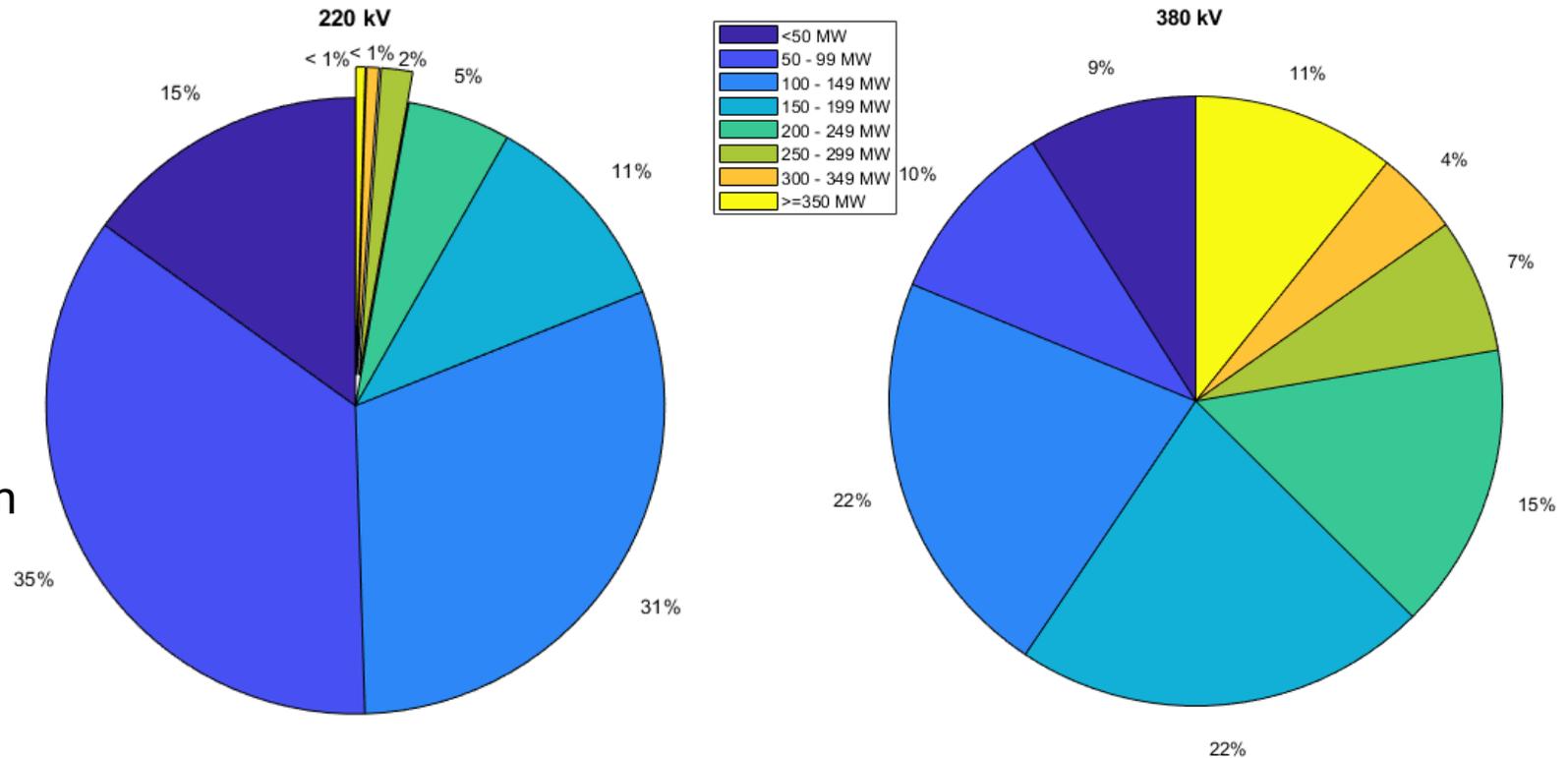
- Aufteilung nach Spannungsebenen und Leistungsklassen

- 220 kV

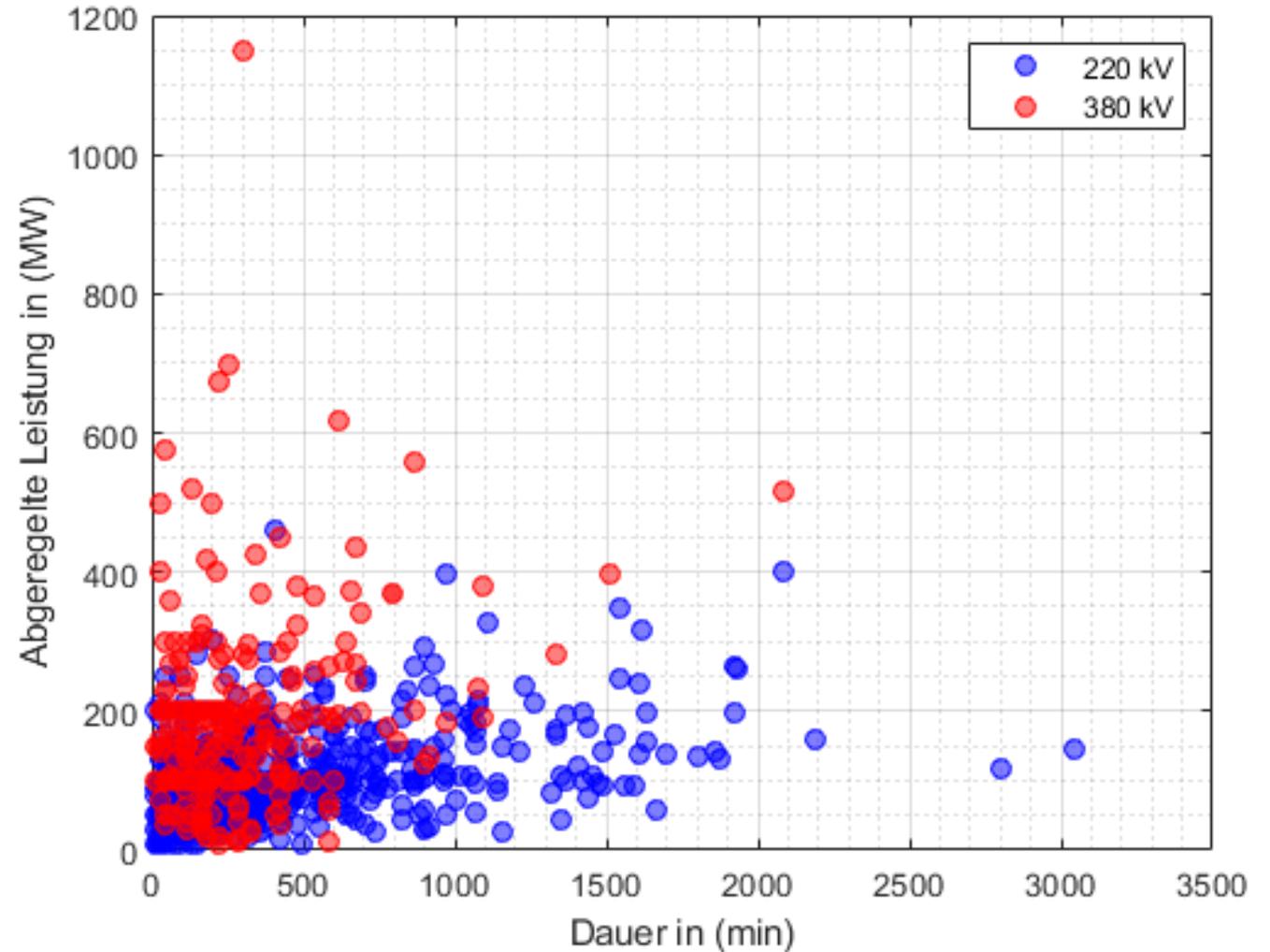
- > 50% der Szenarien bis 100 MW
- = 103,72 MW

- 380 kV

- Verteilung mit mehr Variation
- = 188,41 MW



- Viele Ereignisse mit:
  - geringen Dauern und
  - geringen Leistungen
- 220-kV-Tendenz mit
  - geringeren Leistungen aber
  - längeren Abregelungsdauern
- 380-kV-Tendenz mit
  - hohen Abregelungsleistungen



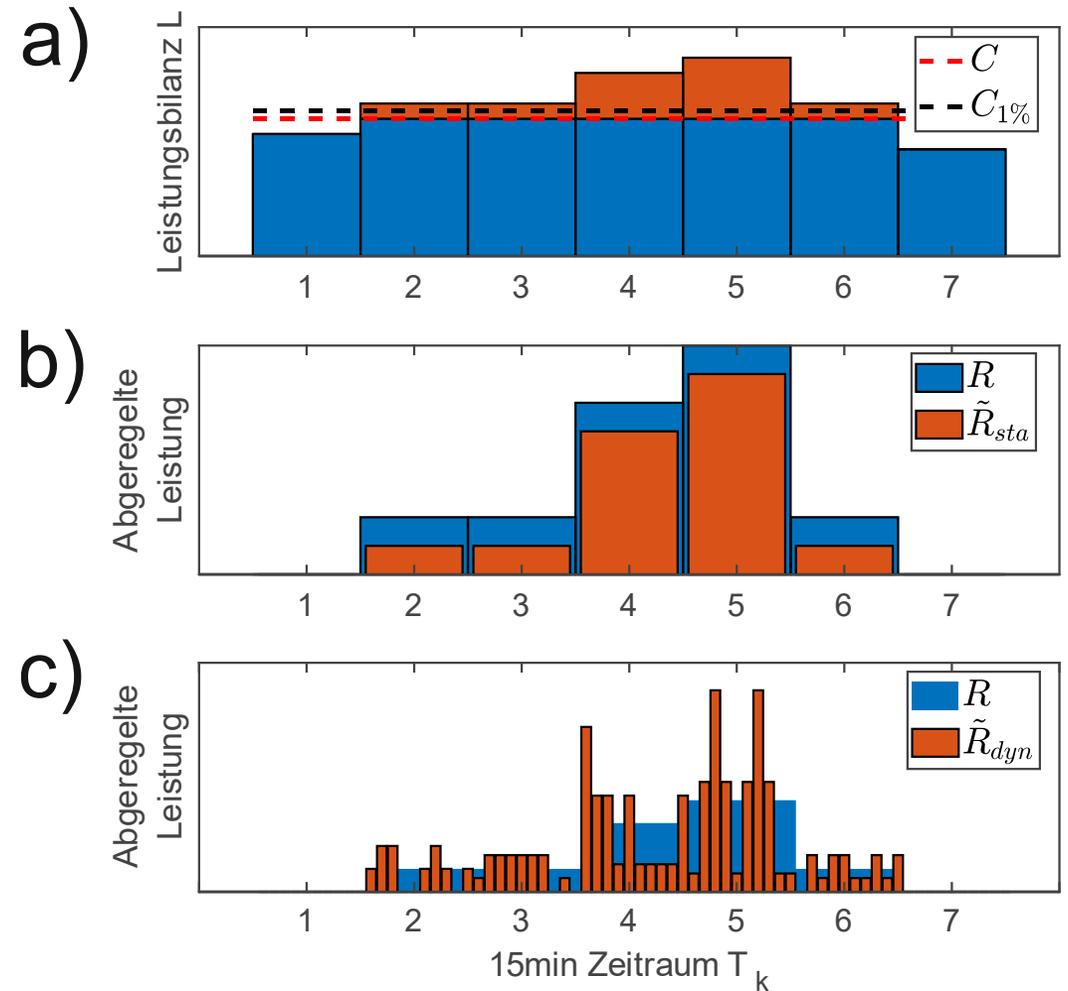
- Szenarien basieren auf zwei strukturellen Kapazitätspotentialen
  - I „statisches Potential“
    - Sicherheitsfaktoren bei der Grenzwertbestimmung von
    - Unsicherheiten durch unbekannte und volatile Randbedingungen
    - Untersuchungsgegenstand
  - II „dynamisches Potential“
    - Thermische Trägheit von Materialien und der unmittelbaren Umgebung
    - Zeitkonstanten unterschiedlich, i.d.R. jedoch deutlich kleiner als 15-Minuten

- Szenarien basierend auf zwei strukturellen Kapazitätspotentialen
  - I „statisches Potential“
    - Sicherheitsfaktoren bei der Grenzwertbestimmung von
    - Unsicherheiten durch unbekannte und volatile Randbedingungen
    - Untersuchungsgegenstand
  - II „dynamisches Potential“
    - Thermische Trägheit von Materialien und der unmittelbaren Umgebung
    - Zeitkonstanten unterschiedlich, i.d.R. jedoch deutlich kleiner als 15-Minuten

- $i$  Ereignisse über  $k$  Zeitintervalle in  $I$  Szenarien:

- werden mit und

- dargestellt.



- 1% Szenario mit  $i=847$ , = 98,52 MW (-5 %) und = 174,46 MW (-7,5 %)

Leistungsbereich	220 kV		380 kV	
	Dauer (Mittel / Summe)	Delta	Dauer (Mittel / Summe)	Delta
< 50 MW	234 min / 22.245 min	0,0 %	236 min / 3.765min	-24,0 %
50 – 99 MW	325 min / 70.830 min	0,0 %	234 min / 7.395 min	37,3 %
100 – 149 MW	467 min / 88.080 min	0,5 %	257 min / 11.970 min	-6,7 %
150 – 199 MW	611 min / 41.775 min	-2,1 %	326 min / 15.045 min	-7,6 %
200 – 249 MW	544 min / 18.495 min	0,0 %	243 min / 9.120 min	7,4 %
250 – 299 MW	775 min / 8.535 min	8,8 %	381 min / 5.385 min	16,9 %
300 – 349 MW	1.118 min / 4.470 min	0,0 %	298 min / 5.145 min	57,3 %
>= 350 MW	1.155 min / 3.465 min	0,0 %	700 min / 5.190 min	-17,6 %

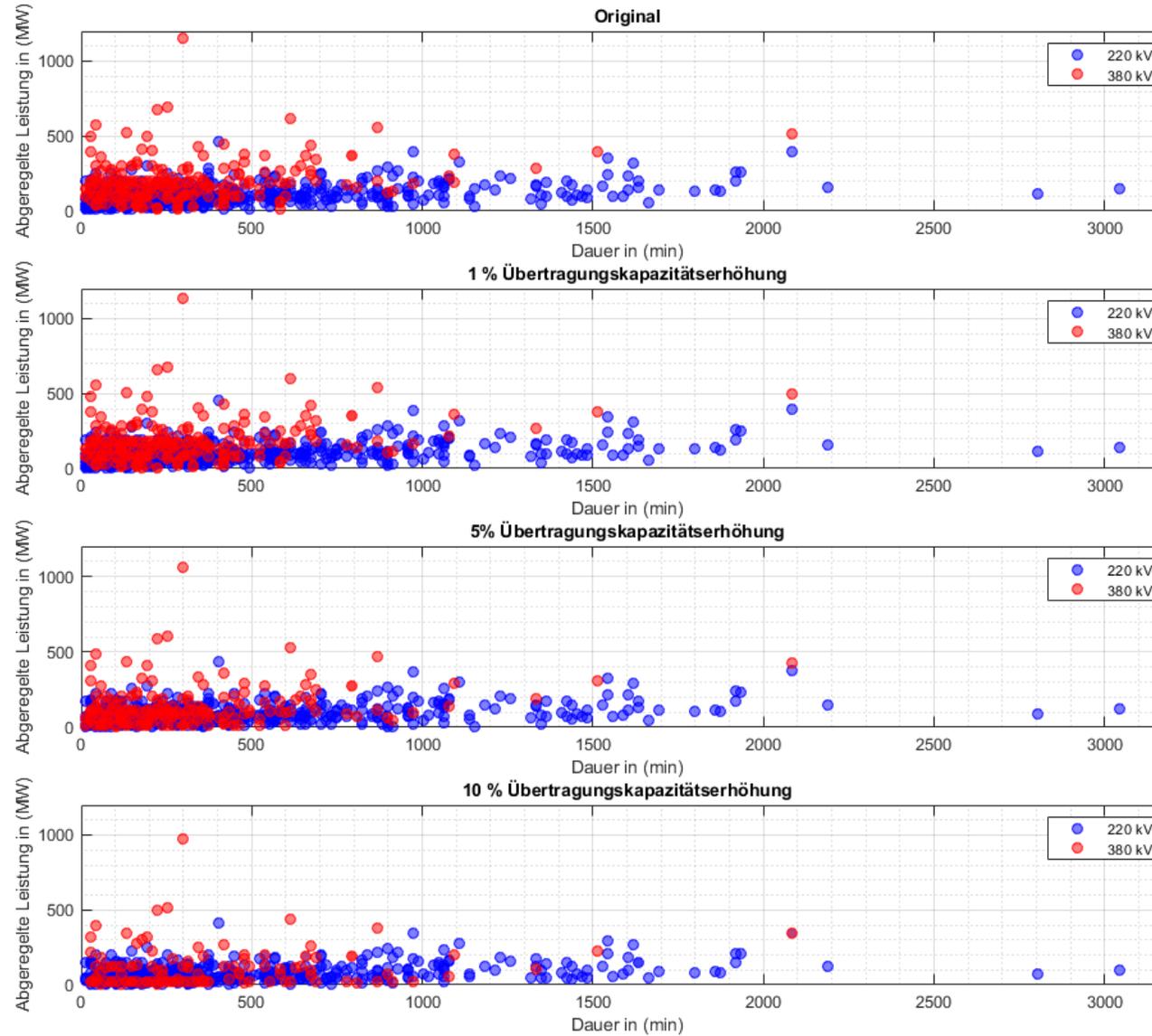
- 5% Szenario mit  $i=782$ ,  $= 83,80 \text{ MW}$  (-19 %) und  $= 131,40 \text{ MW}$  (-30 %)

Leistungsbereich	220 kV		380 kV	
	Dauer (Mittel / Summe)	Delta	Dauer (Mittel / Summe)	Delta
< 50 MW	256 min / 24.360 min	9,5 %	256 min / 5.370 min	8,4 %
50 – 99 MW	330 min / 72.000 min	1,7 %	192 min / 4.410 min	-18,1 %
100 – 149 MW	492 min / 92.580 min	5,7 %	305 min / 15.225 min	18,7 %
150 – 199 MW	641 min / 42.915 min	2,7 %	308 min / 15.405 min	-5,4 %
200 – 249 MW	682 min / 23.220 min	25,5 %	412 min / 14.415 min	69,8 %
250 – 299 MW	53 min / 585 min	-92,5 %	420 min / 7.140 min	10,2 %
300 – 349 MW	180 min / 720 min	-83,9 %	229 min / 2.520 min	-22,9 %
>= 350 MW	215 min / 645 min	-81,4 %	220 min / 1.980 min	-68,6 %

- 10% Szenario mit  $i=628$ , = 74,38 MW (-28 %) und = 113,08 MW (-40 %)

Leistungsbereich	220 kV		380 kV	
	Dauer (Mittel / Summe)	Delta	Dauer (Mittel / Summe)	Delta
< 50 MW	260 min / 24.690 min	11,0 %	316 min / 6.630min	34,0 %
50 – 99 MW	395 min / 86.1000 min	21,6 %	294 min / 6.765 min	25,6 %
100 – 149 MW	616 min / 115.740 min	32,1 %	365 min / 18.225 min	42,1 %
150 – 199 MW	304 min / 20.340 min	-51,3 %	383 min / 19.140 min	17,5 %
200 – 249 MW	209 min / 7.110 min	-61,6 %	240 min / 8.415 min	-0,9 %
250 – 299 MW	194 min / 2.130 min	-72,9 %	214 min / 3.630 min	-44,0 %
300 – 349 MW	120 min / 480 min	-89,3 %	158 min / 1.740 min	-46,8 %
>= 350 MW	145 min / 435 min	-87,4 %	183 min / 1.650 min	-73,8 %

# Ergebnisse und Diskussion



- Kleine Kapazitätserhöhungen führen zu signifikanten Einsparungen im Netzenspassmanagement
  - (220/380 kV) 7,86% / 3,83 % -> 50 %,  
23,70% / 11,90 % -> 90 % und  
46,90% / 27,23 % -> 99 %.
- Netzenspassmanagement kostet 2020 und 2021 über 107 bzw. 175 Million Euro
- Einsparungen durch:
  - weniger Abregelungen und Abregelungsleistung und
  - mehr Flexibilität bei der Auswahl von Maßnahmen.

- Datenakquise und Auswertung im Bereich der 50Hertz Zone
- Netzengpassmanagement allgemein und in Bezug auf Energieübertragungstrecken
- Keine Umspann- oder Schaltwerke
- Einzelmaßnahmen im Zeitraum 2012-2022, Statistik für 2020 und 2021
- Blindleistungsbezug wird nicht betrachtet [MVA]->[MW]

- Statistische Flexibilisierung von Freileitungen durch FLM und WAFB
  - FLM nur begrenzter Einsatz
  - WAFB besser als reine Modelle aber nicht optimal
- Zunehmende Verkabelung der Netze
  - Nur proprietäre Methoden zur Kapazitätserweiterung
- Netzbeanspruchung steigt signifikant an
- Kapazitätsausschöpfung kann Netzausbau ergänzen