



Dynamische Virtuelle Kraftwerke

Anwendungsfälle im deutschen Verteilnetz

Windenergietage 13.11.2025

Alexander Müller M.Sc.

FGW e.V. - Fördergesellschaft Windenergie
und andere Dezentrale Energien
Oranienburger Straße 45
10117 Berlin

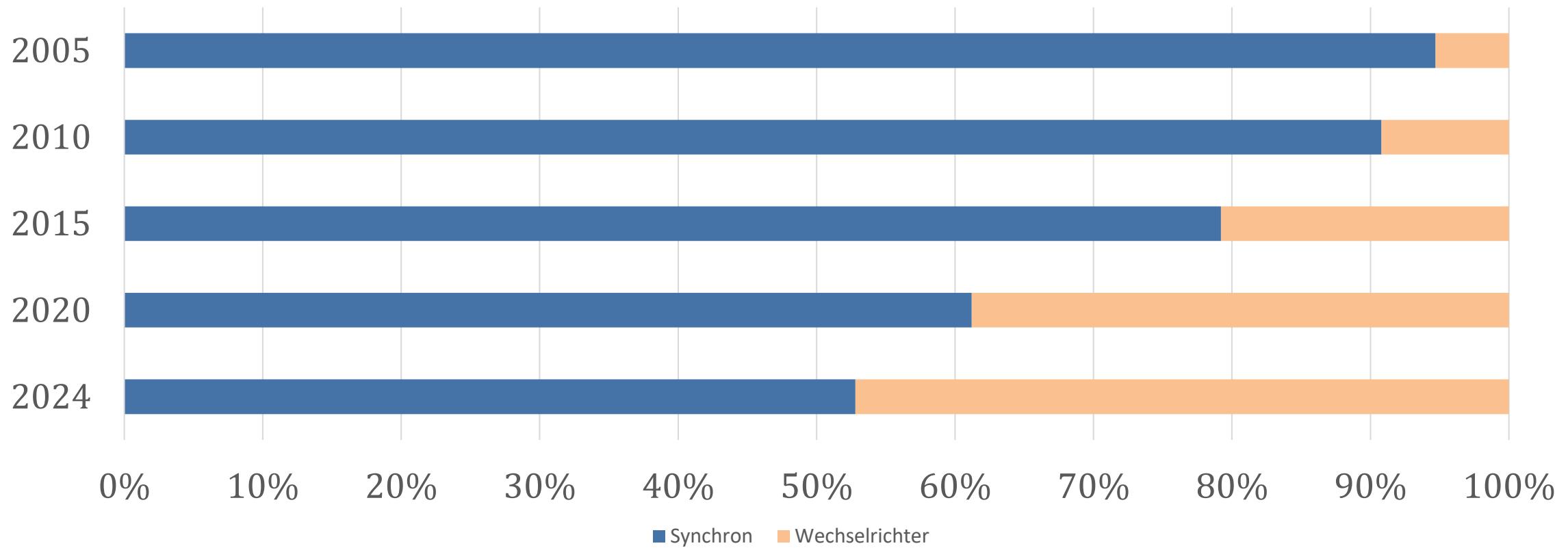


- Masterarbeit zum Thema DVPP in DE
- Aufbauend auf Projekt POSYTF 2020:
 - DVPPs **technisch umsetzbar**
 - Neue Wege bei **Steuerung und Koordination einzelner Akteure**
 - **Systemträchtigkeit** kann durch EE aufgefangen werden
- Überlegungen zur Anwendung des Prinzips auf deutsche Verteilnetze
- Ersetzen bestimmter Capabilities -> bisher aus Trägheit rotierender Massen

Entwicklung Systemträgheit aus konv. Erzeugung



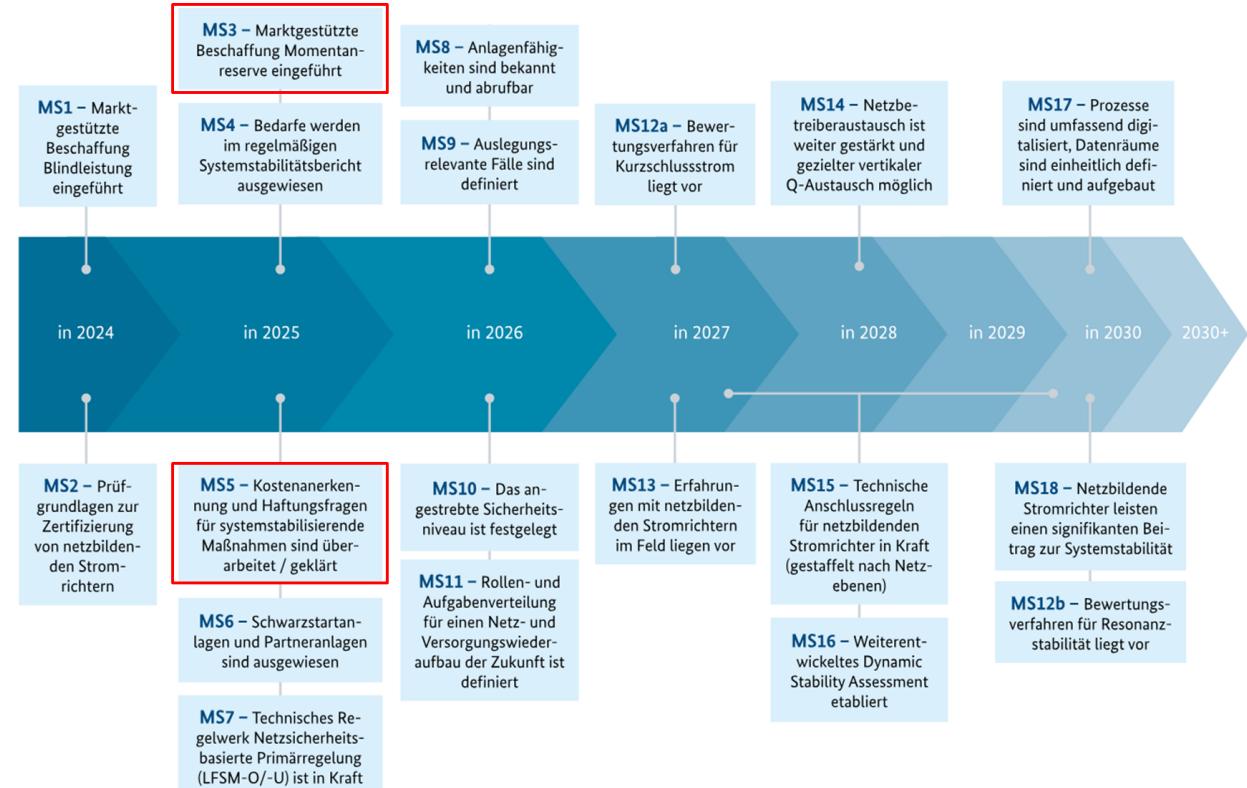
Zunehmender Anteil wechselrichterkoppelter Erzeugung am
Strommix



Verankerung des Trägheitsersatzes in Roadmap SysStab



- Neue Bedarfe für Frequenz- und Spannungshaltung
- Bedarfs- und Kostenanforderungen für dynamische Systemdienstleistungen
- Arbeitspaket F8 der Roadmap [1]



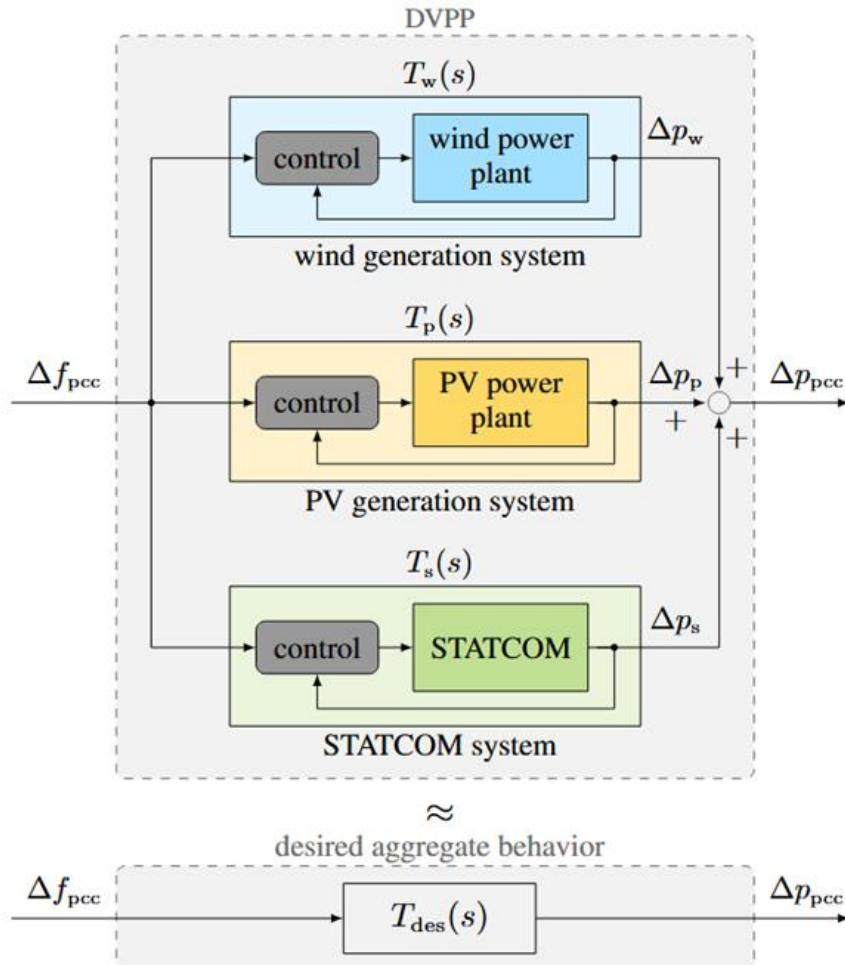
Arbeitspaket F8 der Roadmap Systemstabilität 2050



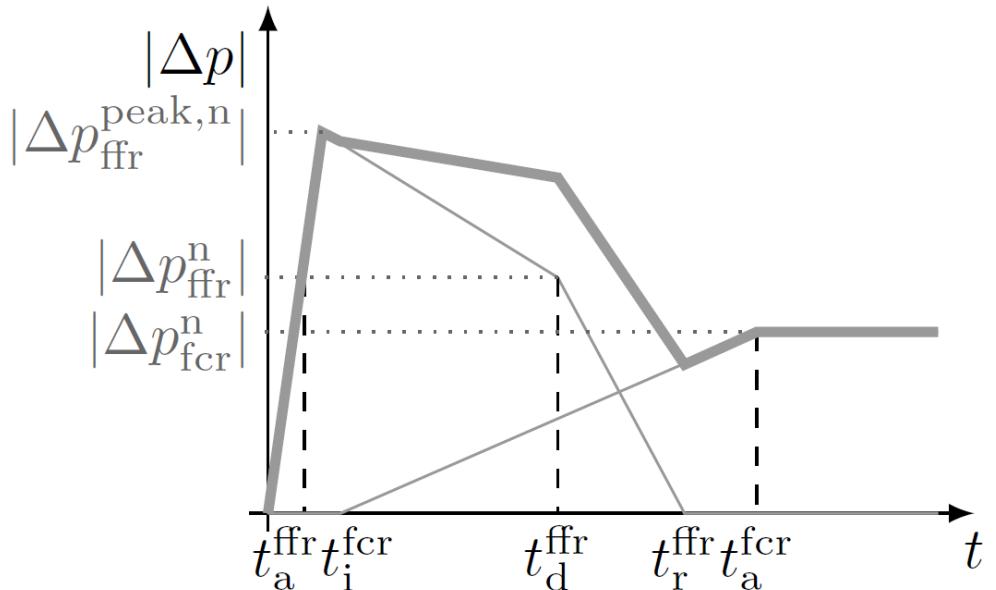
„F8. Zusätzliche oder weiterentwickelte Systemdienstleistungen wie beispielsweise eine schnelle(re) Frequenzhaltungsreserve“

In Abhängigkeit der zukünftigen Entwicklung des Stromnetzes können sich zusätzliche Bedarfe für Systemdienstleistungen oder deren Weiterentwicklung, wie z.B. zur Beherrschung zukünftiger betrieblicher Leistungsgradienten, ergeben. Es sollte daher ein Prozess für die Definition der technischen Anforderungen sowie die Beschaffung dieser zusätzlichen oder weiterentwickelten Systemdienstleistungen etabliert werden. [...]“

[1]



- Teilanlagen eines gemeinsam gesteuerten VPP laufen an einem/mehreren rechnerischen Netzpunkten (Point of Common Coupling POCC) zusammen
- Ab POCC verhält sich das DVPP gem. Netzbetr.-Vorgabe
- Einzelne Aufgaben/Beiträge durch innere Steuerung



- Netzbetreibervorgabe zu Gradienten bei Systemdienstleistung **Frequenzhaltung**
- In DE: spezifiziert z.B. in TARs
- Linkes Trapez: Dynamische FH
- Rechtes Trapez: einsetzende Primärregelung
- Gesamt: Gewünschtes Frequenzverhalten T_{des}



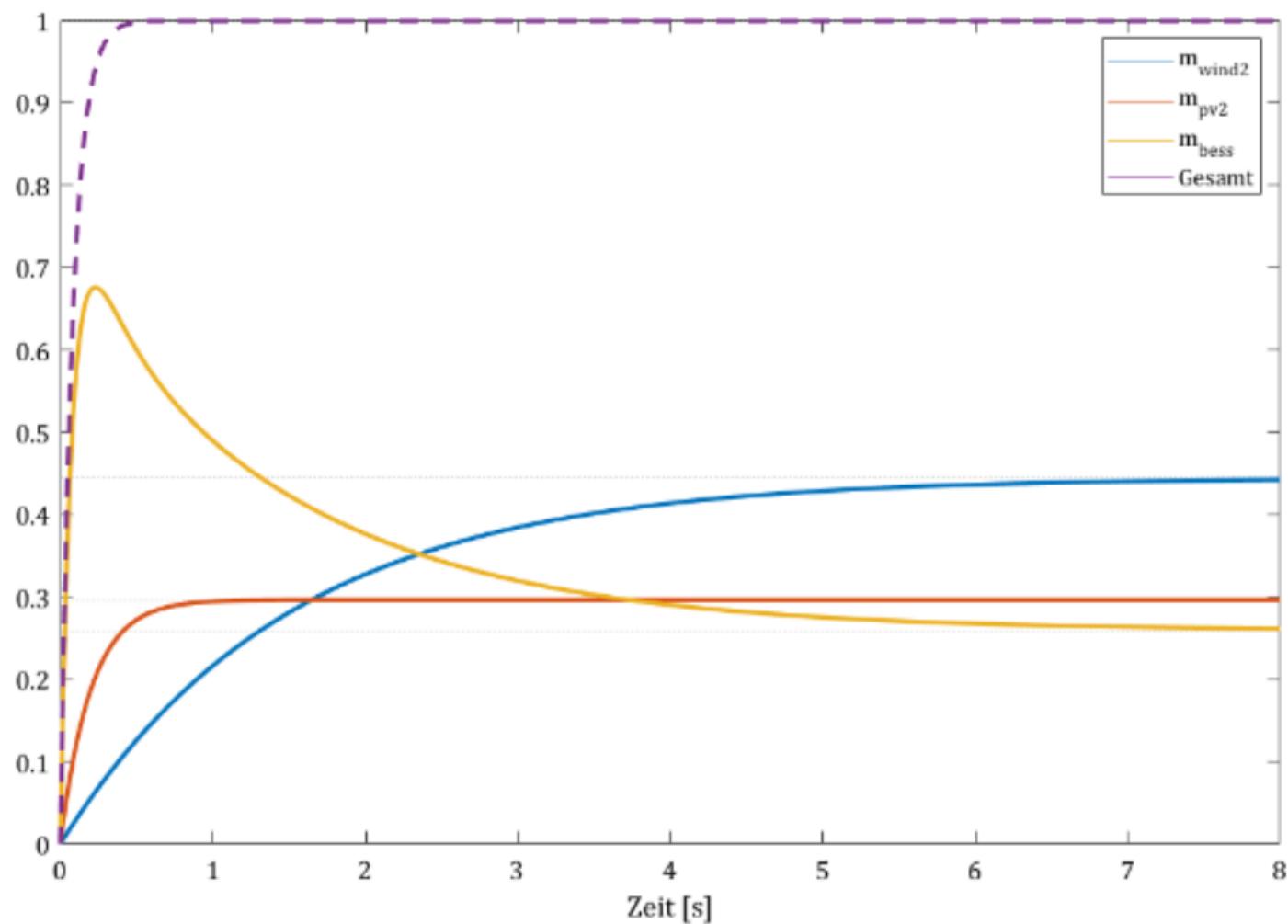
- Beteiligungs faktoren (Dynamic Participation Factors DPF):

$$\sum_{i \in DER} T_i(s) =! \sum_{i \in DER} m_i(s) \cdot T_{des}(s) = T_{des}(s)$$

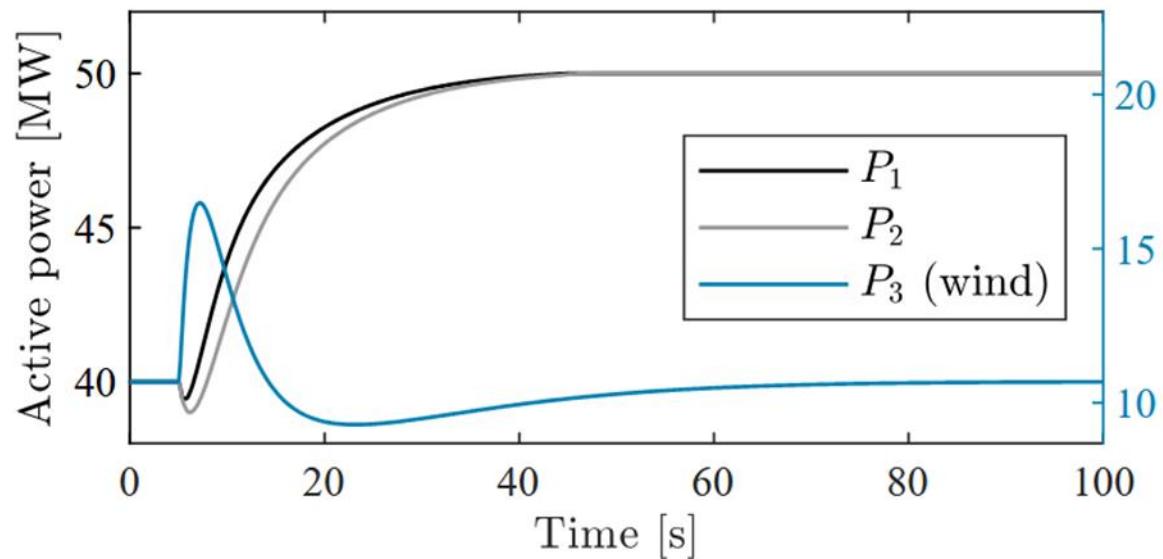
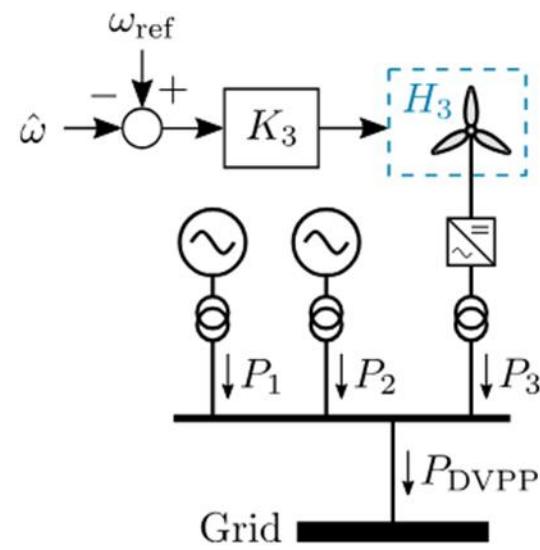
- Mit der „Participation Condition“:

$$\sum_{i \in DER} m_i(s) = 1$$

Beteiligungsfaktoren



Beispiel: Prinzip

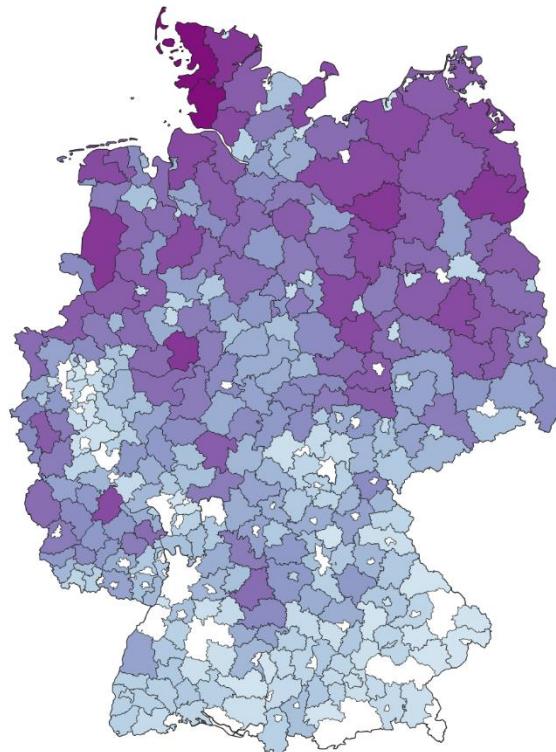


[3]

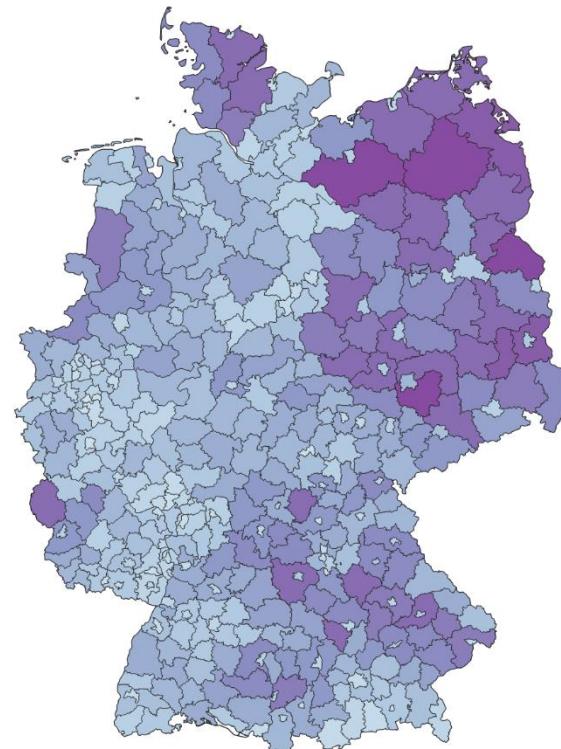
Verteilung der Kraftwerkskapazitäten



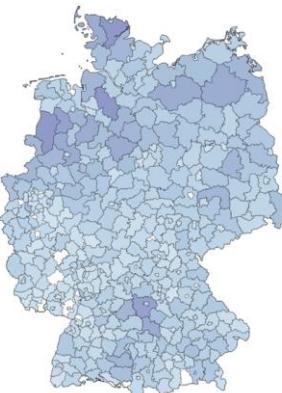
Wind



Solar



Biogas

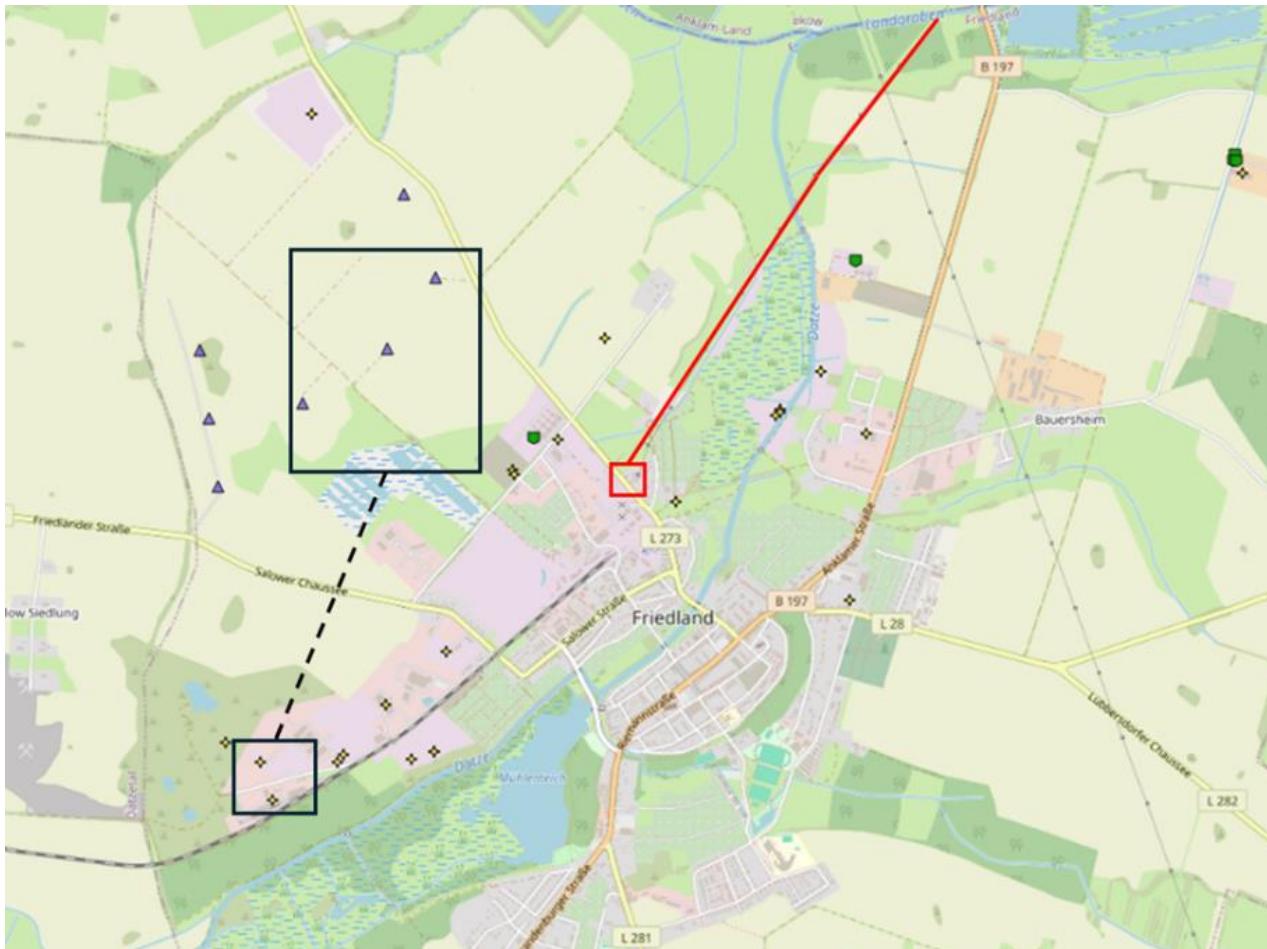


[2]



- Auswahl eines Szenarios nach verschiedenen Gesichtspunkten
 - Zusammensetzung Kraftwerkskapazitäten im regionalen VN
 - Räumliche Ausdehnung
 - Anbindung ÜN
 - „störende“ Anlagen/Kraftwerke in direkter Nähe
- Wahl Norddeutschland „Friedland“
 - Verfügbarkeit Wind und Solar
 - Ergänzt um imaginären BES

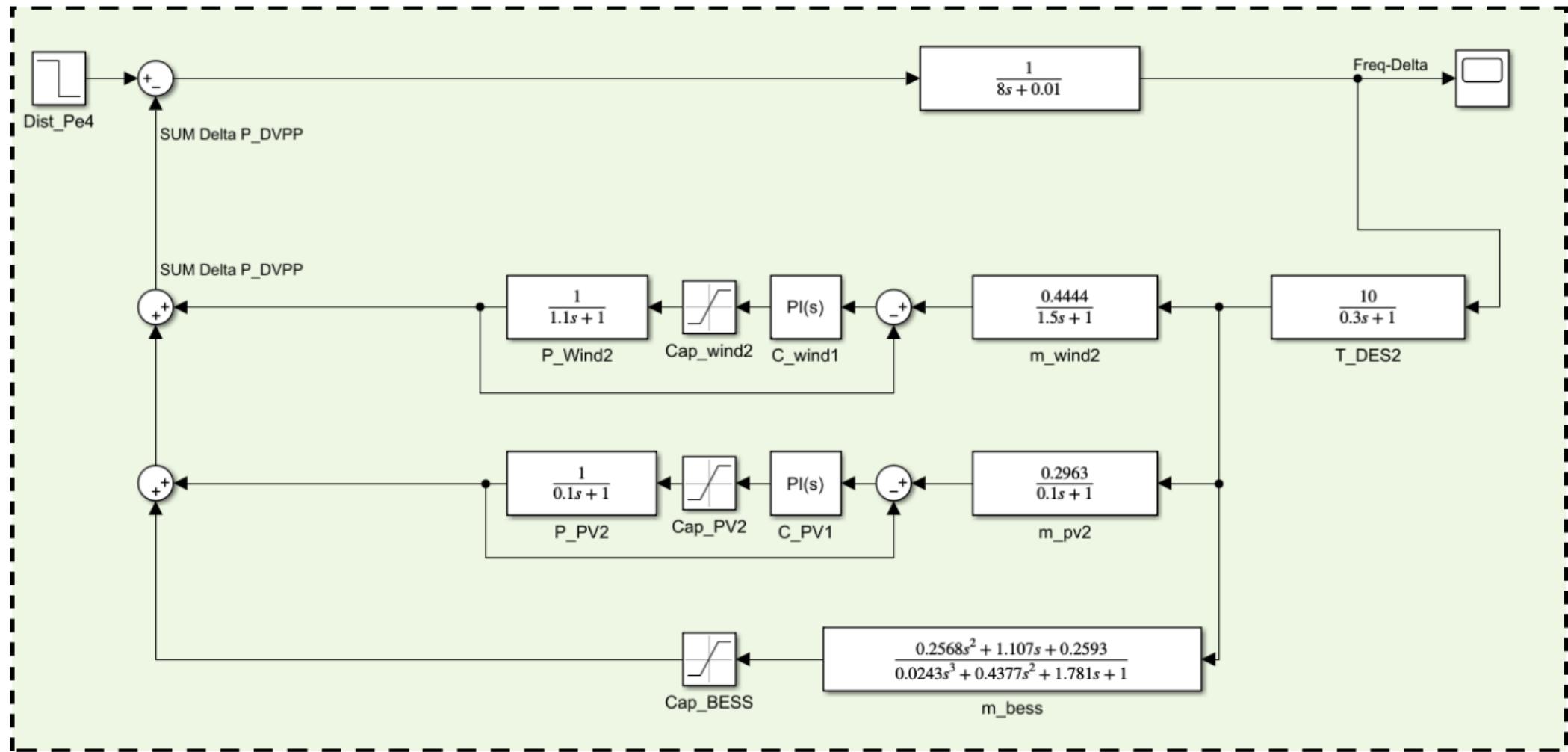
Energie-erzeuger	Leistung		Park-Name	Netz-anchluss
PV	3970	kW	Friedland Pleetzer Weg	Verteilnetz (20 kV)
Wind	3 x 2.000	kW	WP Friedland Stadt	Verteilnetz (20 KV)



- Szenario-DVPP
- 110kV-Leitung
- Störelemente
- Netzanschluss-punkte Übertragungs-netz

[2], eigene Darstellung
(QGIS, OpenStreetMap)

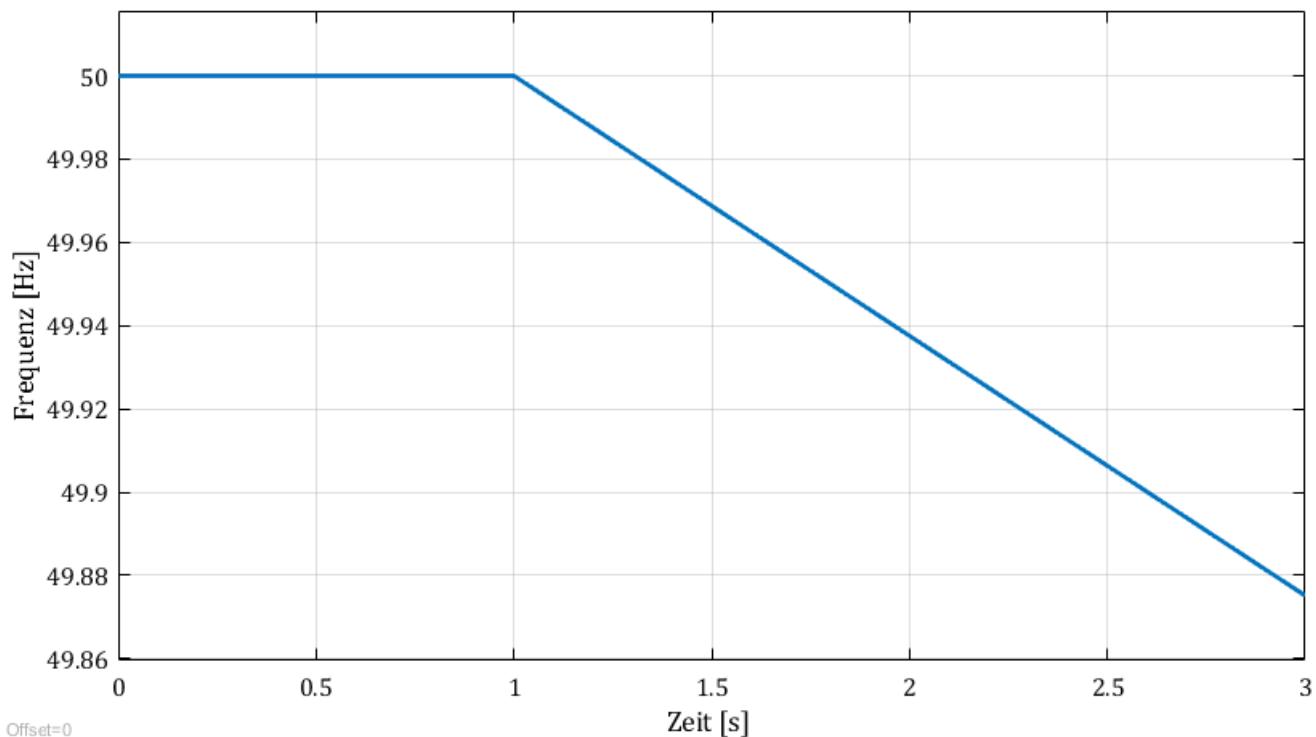
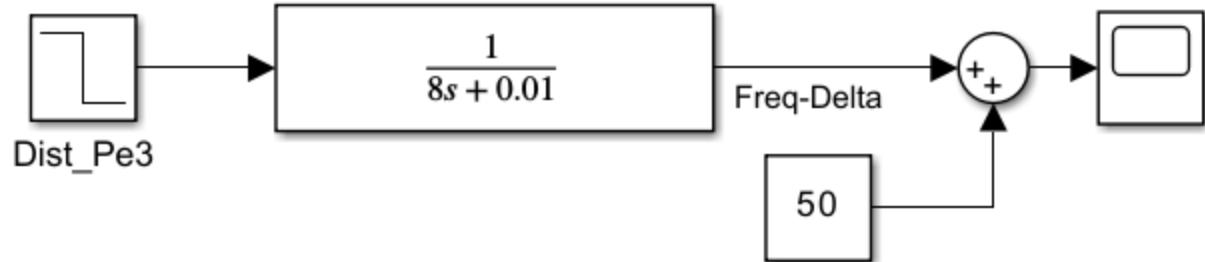
- Active Power Balance Model von ENTSO-E
- Untersuchung Frequenz-Delta
- Systemantwort, Frequenzverlauf:
 - Nur Reservehaltung der Einzelkraftwerke, ohne gem. Regelung
 - DVPP-Regelung
- Teilbeiträge zur Frequenzantwort
- Verschattung der PV-Module bei laufender Regelung

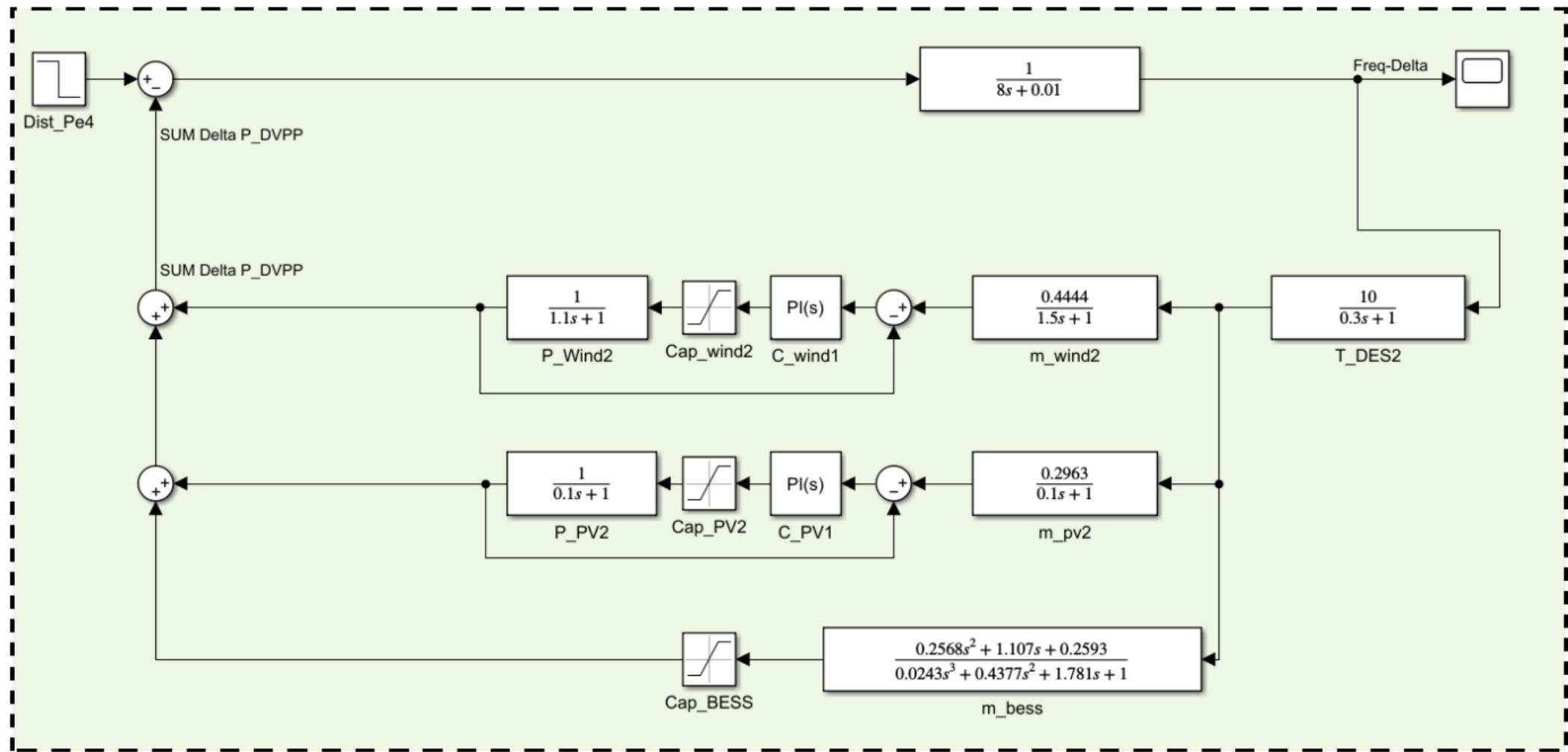


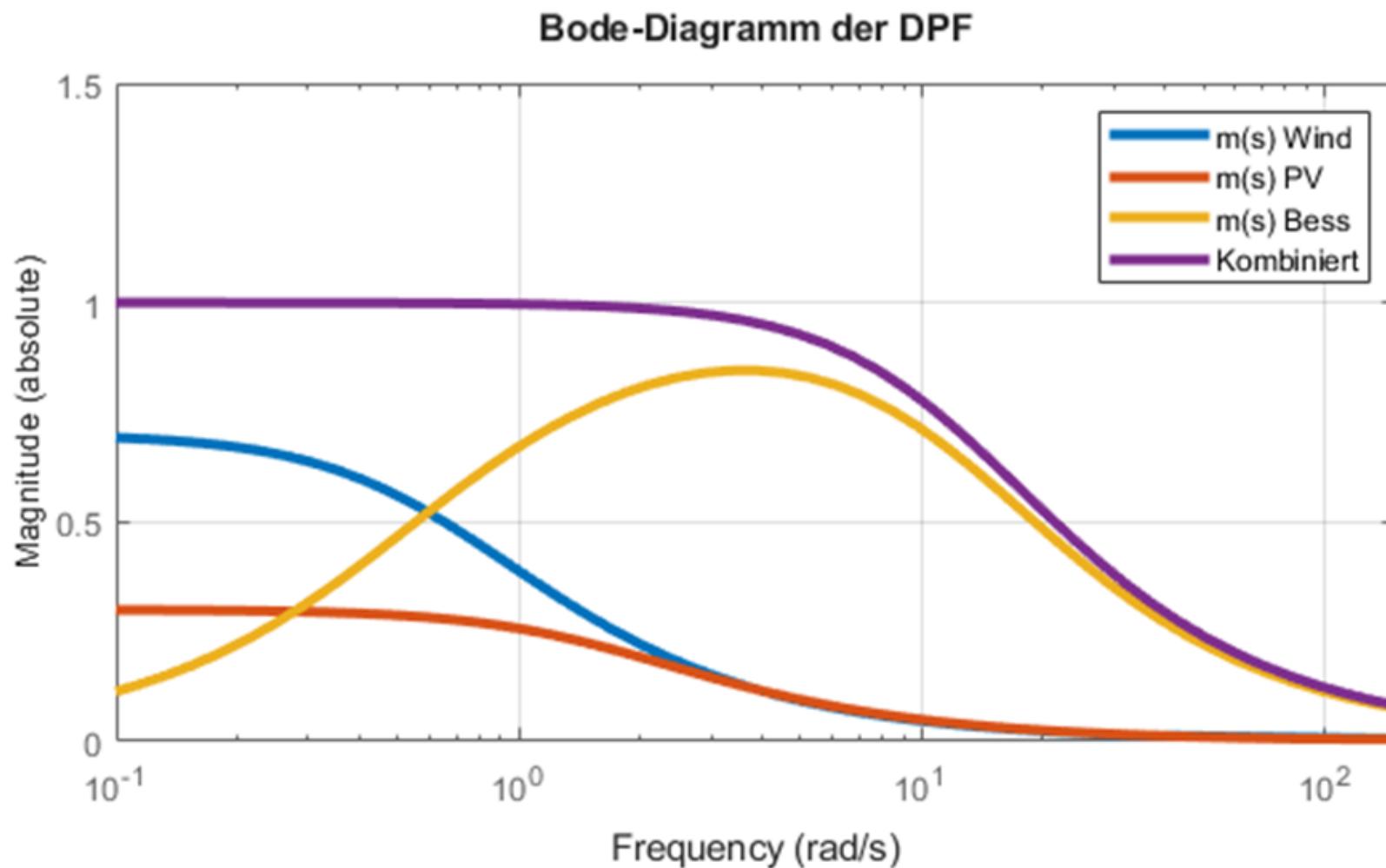


- Blöcke beinhalten PT-1 Glieder (Filterelemente), die ihre technischen Parameter berücksichtigen
- $\frac{\mu_i}{\tau_i \cdot s + 1}$ für Tiefpass- bzw. $\frac{s + \mu_i}{\tau_i \cdot s + 1}$ für Hochpasselemente
- μ_i beinhaltet die Reserveleistungskapazität
- τ_i beschreibt wie schnell ein Teilkraftwerk in Aktion treten kann
- WEA -> hohe Mu und Tau; übernimmt daher als Tiefpassfilter die späteren Bereiche
- Solar und -> schneller, aber auch Tiefpassfilter,
- BESS übernimmt als extrem schnelles Element, die ersten ms -> Hochpassfilter

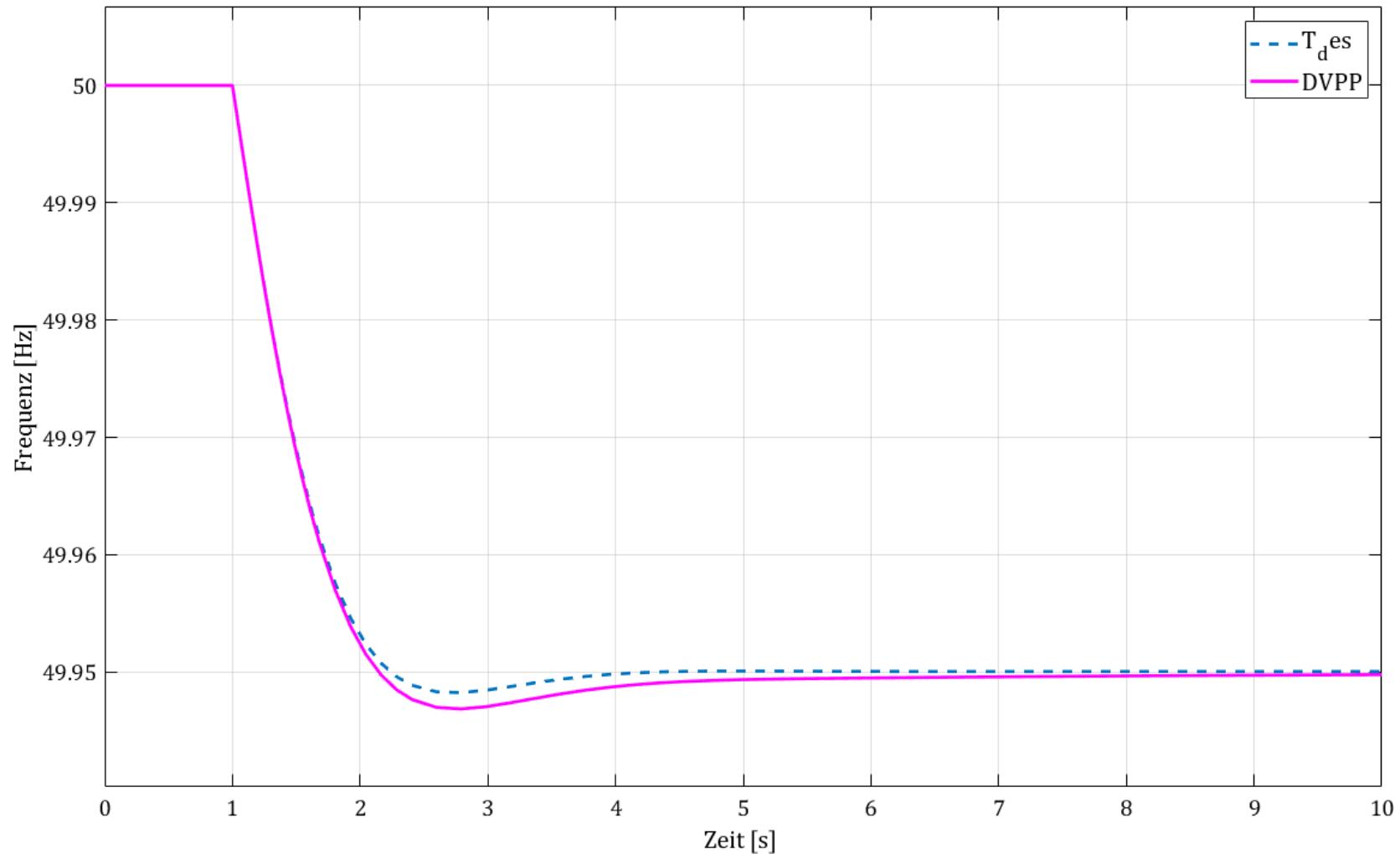
Unbeantwortete Störung

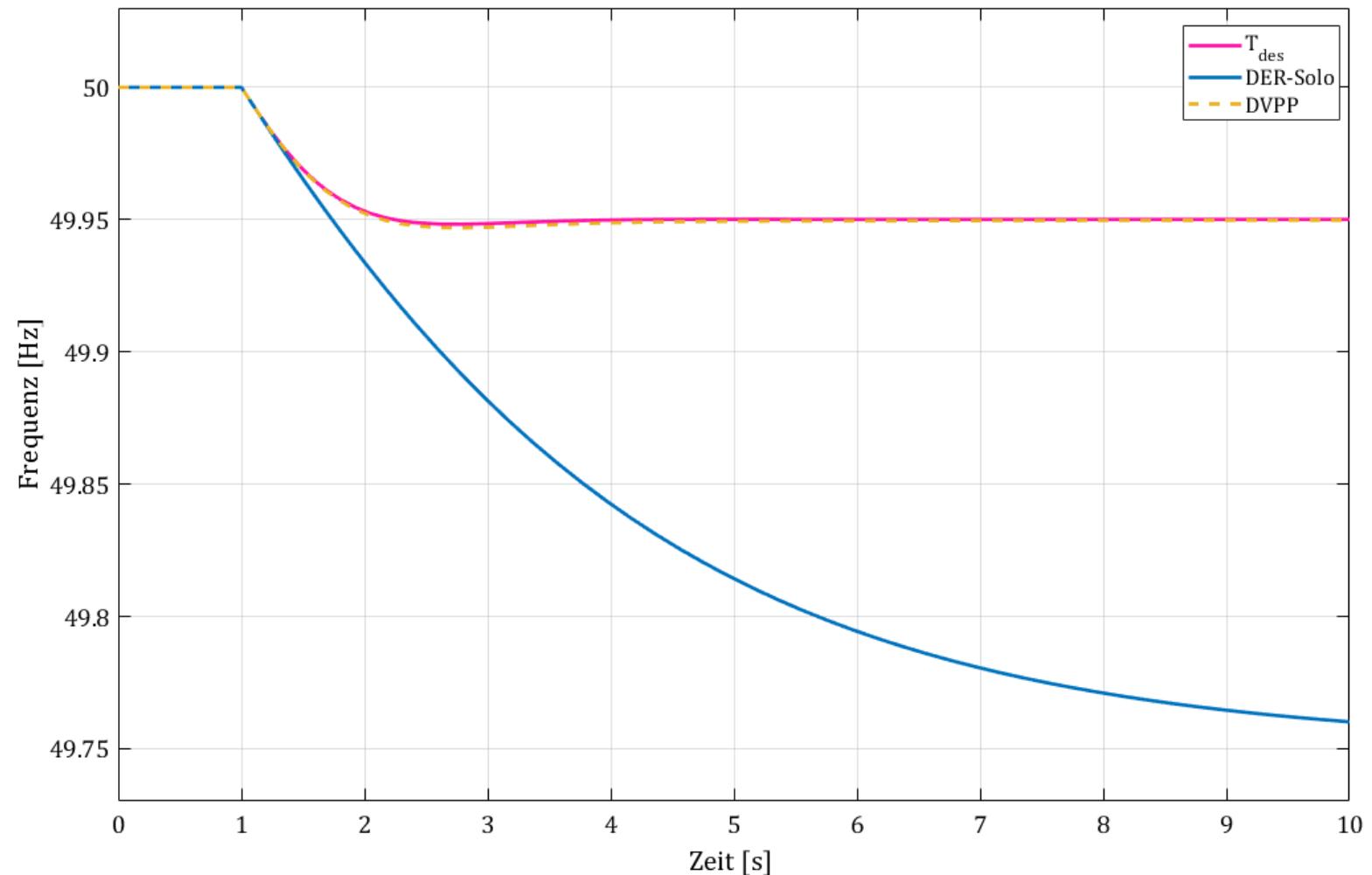


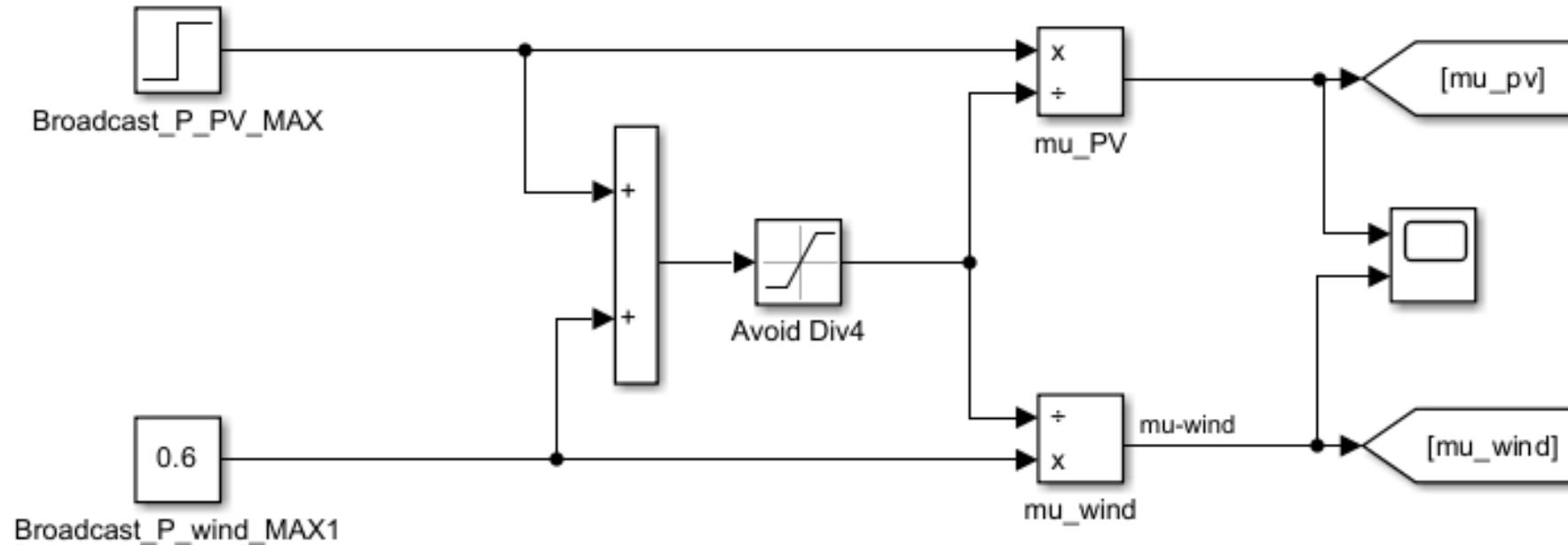




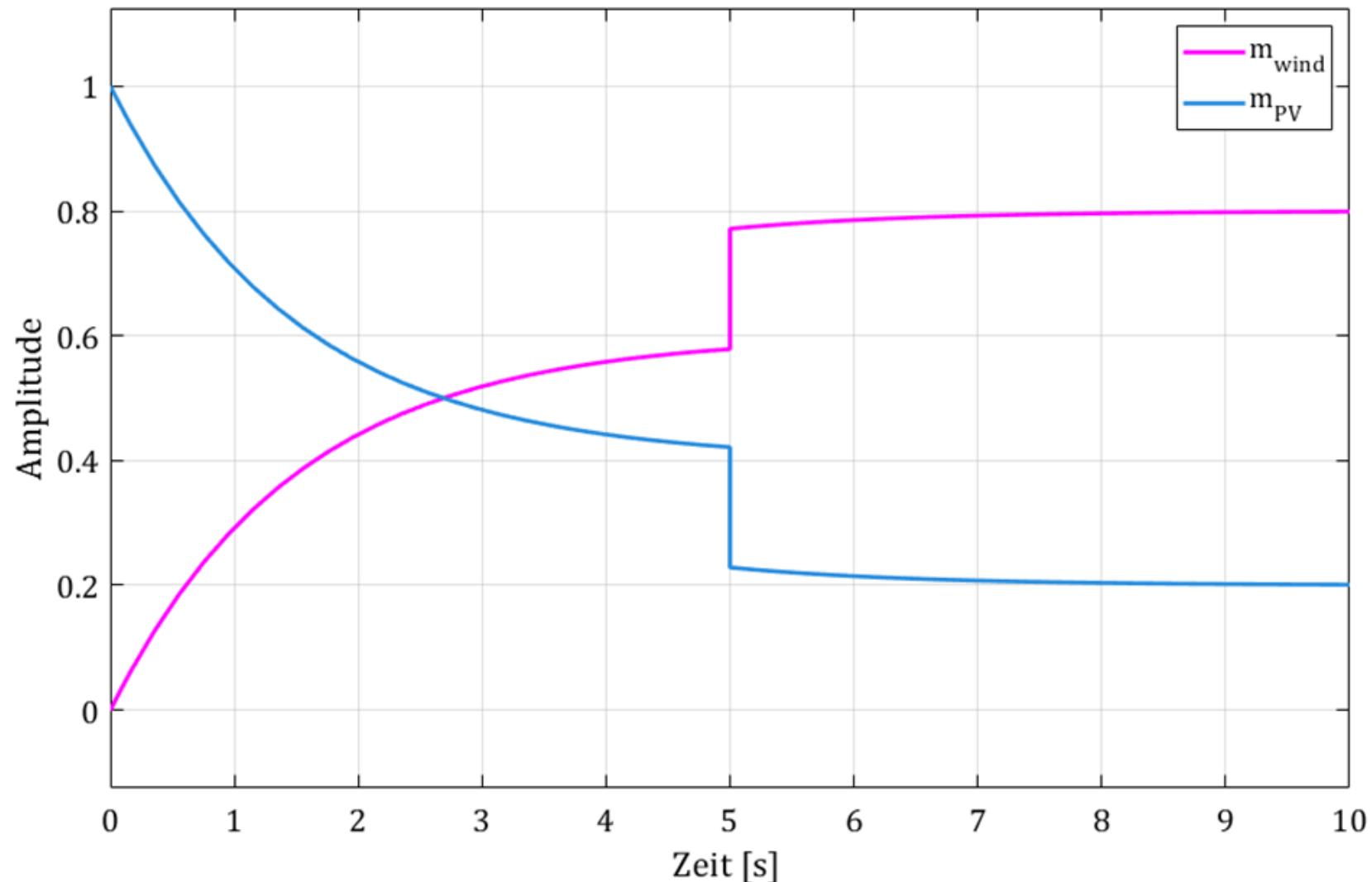
Ergebnis: Verhalten DVPP vs. T_des

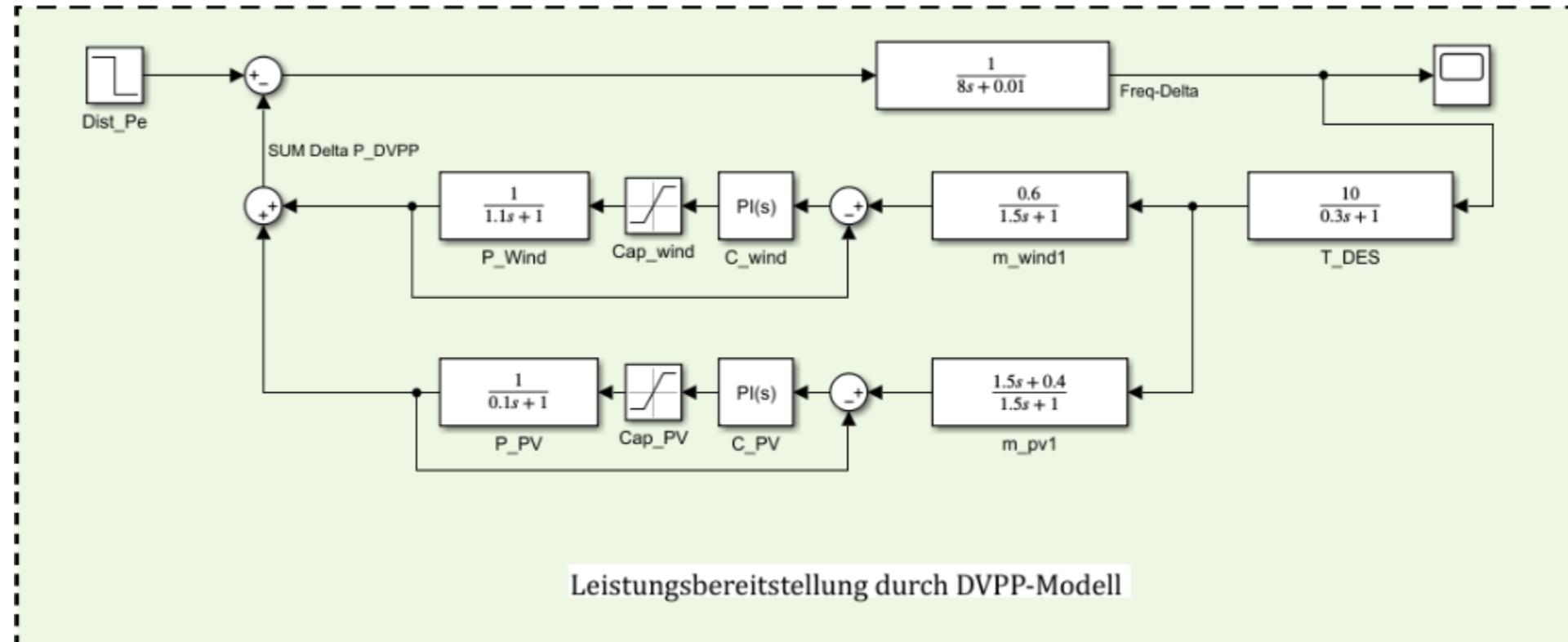


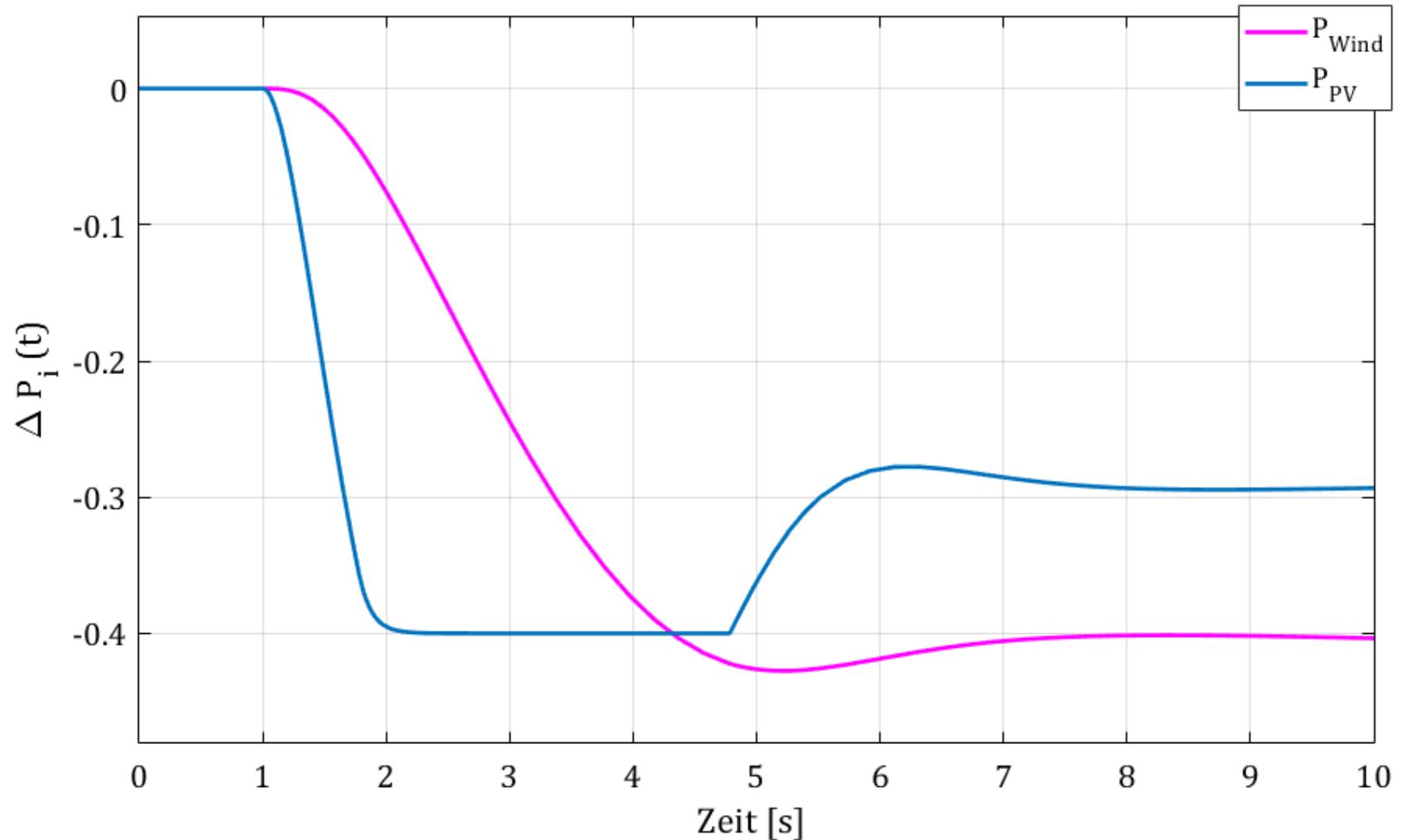
Ergebnis: Verhalten DVPP vs. T_{des} 



Verschattung bei aktiver Frequenzhaltung









- Höhere Aussagekraft erweitern des Modells zu einem Netzmodell mit:
 - Leitungsimpedanzen
 - Latenzen bei der Kommunikation
 - Dynamische Erzeugungssituationen (wechselhafter Wind, wolkiger Himmel etc.)
 - Zusammenspiel in einer netznahen Simulation sprengte meinen Rahmen (und CPU)



Vielen Dank für Ihr Interesse!

**FGW e.V. - Fördergesellschaft Windenergie
und andere Dezentrale Energien**

Oranienburger Straße 45
10117 Berlin

Fon: +49 30 3010 1505 – 0

E-Mail: info@wind-fgw.de
Internet: www.wind-fgw.de





- (1) Bundesministerium Wirtschaft und Klimaschutz „Roadmap Systemstabilität“, 2023
- (2) Bundesnetzagentur, „Marktstammdatenregister,“ [Online]:
<https://www.marktstammdatenregister.de>. [Zugriff am 16 April 2025]
- (3) J. Bjork, K. H. Johansson und F. Dorfler, „Dynamic Virtual Power Plant Design for Fast Frequency Reserves: Coordinating Hydro and Wind,“ IEEE, 2021