

# Integrierter Framework für die Planung zukünftiger Elektrischer Energiesysteme

Dr.-Ing. Frey Florez

Transnet BW GmbH, Pariser Platz Osloer Straße 15-17, 70173 Stuttgart,

Tel: +49 71121858-3439, f.florez@transnetbw.de, <https://www.transnetbw.de>

**Kurzfassung:** Die deutschen Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) sind seit dem Beginn der Integration von erneuerbaren Energien in das bestehende Energieversorgungssystem mit mehreren Herausforderungen konfrontiert. Dazu gehört neben schwierigen politischen Entscheidungen auch die Anpassung und Veränderung des Energiemarktes, technische Sachzwänge und die soziale Akzeptanz. Trotz dieser Hindernisse wuchs die Integration der erneuerbaren Energien in ihrer Entwicklung stetig.

Die Energiewende in Deutschland hat die Mittelfristplanung (t+5, t+4, t+3, t+2) und Netzbetriebsplanung (t+1, ..., Day-ahead, Real-time und Ex-Post) erreicht, was neue Komplexitäten mit sich bringt. Beispielsweise die erste Phase des Kohleausstiegs, die Durchführung der Netzausbauprojekte, stetig steigende Anzahl an betrieblichen Gegenmaßnahmen, wie Redispatch und Spannungsabweichungen. Diese Komplexität stellt die Übertragungsnetzbetreiber nicht nur auf der Prozessebene vor neue Herausforderungen, sondern auch bei der Entwicklung von Technologieplattformen, die die zukünftige Netzplanung und den Betrieb des Stromnetzes gewährleisten.

Dieser Artikel beschreibt ein Framework (**Uplan**Framework)<sup>1</sup> für die integrierte Stromnetzplanung. Bei der Konzeption und Umsetzung des Frameworks wurden nicht nur die Anforderungen an die Energiewende im Netzplanungsprozess berücksichtigt, sondern auch die Herausforderungen und Chancen, die die digitale Transformation für die ÜNB darstellt. Die Konzeption und Entwicklung des Frameworks basiert auf zwei grundlegenden Konzepten, nämlich Granularität und Verteilung. Diese zwei Begriffe sind der Motor beider technologischen Transformationen (Energiewende und Digitalisierung) und das konzeptuelle Zentrum des vorgeschlagenen Frameworks.

**Keywords:** Netzplanung, Prozessautomatisation, Energiewende, Digitalisierung, Software Engineering, On-Premises, Hybrid-Cloud, Cloud-Native, Module, Microservices

## 1 Einleitung

Derzeit erleben die Übertragungsnetzbetreiber durch den Klimawandel, die Migration zu neuen erneuerbaren Energiequellen und der digitalen Transformation einen beschleunigten Wandlungsprozess. Im besonderen Fall Deutschlands führen zusätzliche Faktoren wie die kontinuierliche Abschaltung von Synchrongeneratoren, die Durchführung von

---

<sup>1</sup> **Uplan**Framework<sup>®</sup>. Unified Framework for Grid Planning and Operation. Dr. Frey Florez

Netzausbauprojekten und eine zunehmende Zahl von Redispatch-Maßnahmen zu mehr Unsicherheit bei der Planung und dem Betrieb des Stromsystems.

Dieser beschleunigte Wandel betrifft nicht nur die spezifischen Prozesse im Zusammenhang mit der Netzplanung, sondern auch die infrastrukturellen Prozesse, die diese unterstützen. All diese Veränderungen spiegeln sich in den Prozessen der IT-Infrastrukturverwaltung wider und werden ihrerseits durch die Herausforderungen der digitalen Transformation noch vergrößert.

Aber diese Szenarien des Wandels und der Transformation bringen auch neue Möglichkeiten der Modernisierung und Anpassung mit sich. In diesem sehr wertenden Themenfeld ist es auch möglich, Referenzmuster zu extrahieren, die häufig vorkommen wie zum Beispiel Verteilung und Granularität. Erneuerbare Energiequellen werden immer stärker verteilt, Planungsszenarien werden immer sukzessiver durchgeführt, Softwareanwendungen sind zunehmend modular und verteilt.

Dieser Artikel beschreibt ein Framework für eine integrierte Netzplanung, die auf diesen beiden Eigenschaften basiert: Granularität und Verteilung. Diese beiden Konzepte werden nach und nach ausgearbeitet, bis das Mindestmaß an Microservices und ein Höchstmaß an Verteilung und Vernetzung im Cloud-Computing erreicht ist.

## 2 Integrierte Netzplanung und Informationsfluss

Die Planung des Stromnetzes wurde traditionell in drei Zeithorizonten durchgeführt: lang-, mittel- und kurzfristig. Derzeit ist eine dynamischere Ausführung erforderlich, einschließlich kürzerer Planungsintervalle, aber einer größeren Anzahl von Szenarien. [Abbildung 1](#) zeigt eine größere Granularität in den Planungshorizonten, die zur Erfüllung der aktuellen Netzplanungsanforderungen erforderlich sind.

### 2.1 Prozessmodellierung-Strategie: "Staffellauf Methode"

Die Modellierungsstrategie, die in diesem Forschungsprojekt verwendet wurde, folgt dem natürlichen Weg des Informationsflusses in der ÜNB-Netzplanung während der Ausführung aller Aktivitäten, die zur Gewährleistung eines sicheren Betriebs erforderlich sind. [Abbildung 1](#) zeigt die verschiedenen Zeitpunkte, zu denen die Sicherheit des Stromnetzes überprüft wird.

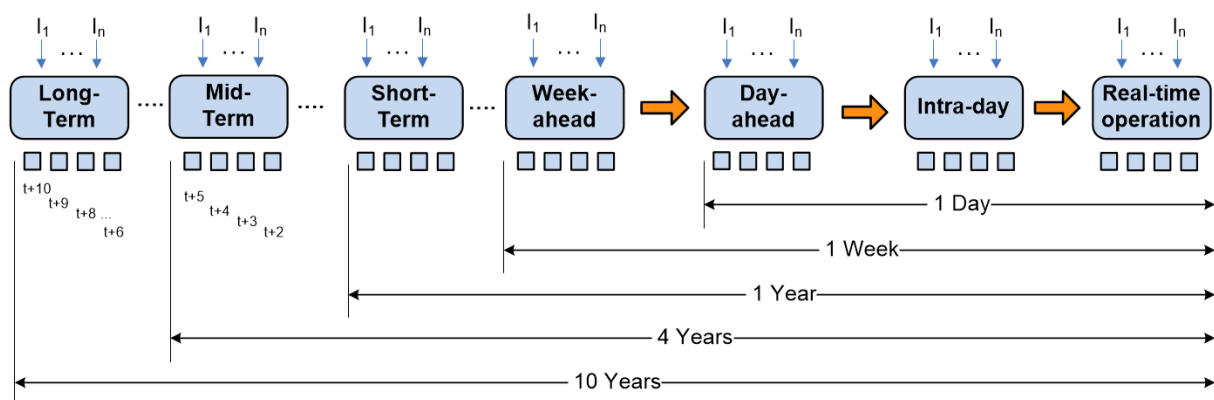
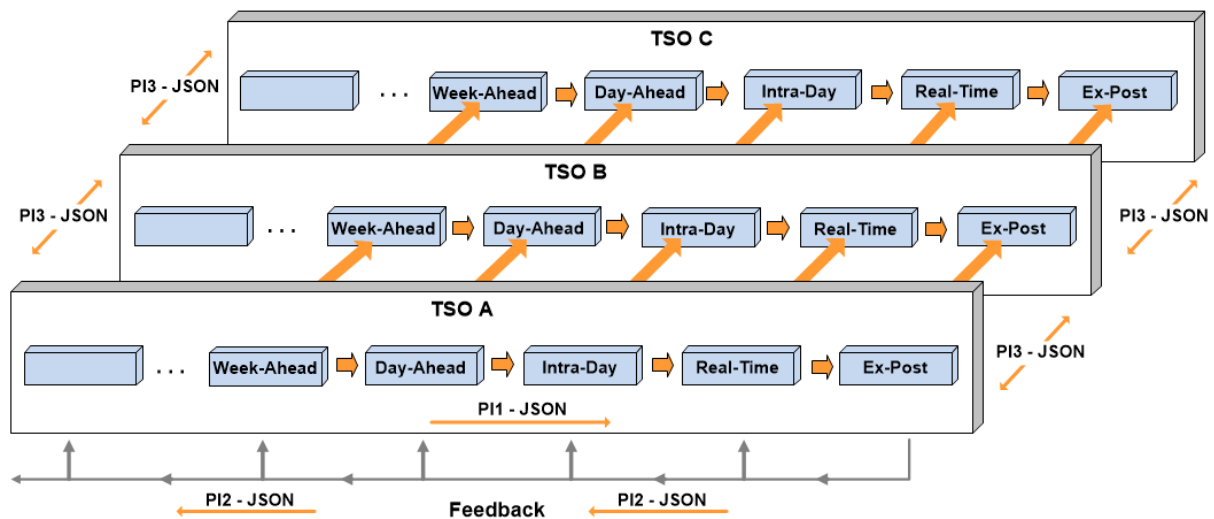


Abbildung 1: Prozessablauf in der Netzplanung. Planungshorizonte und Planungsinstanzen

In diesem Prozessablauf ist zu erkennen, dass jede Planungsinstanz die verfügbaren Eingabeinformationen verarbeitet und den Ablauf an die nächste Phase weiterleitet.

## 2.2 Netzsicherheitskomponente

Die Netzsicherheitskomponente ist eine abstrakte Einheit, die eingeführt wurde, um die Netzsicherheit in jeder Planungsphase zu charakterisieren [1]. Zum einen wird der innere Bestandteil der Komponente während der gesamten Netzplanungsprozesskette des ÜNB als invariant betrachtet. Zum anderen sind die Eingangsvariablen und der Informationsfluss zu den nächsten Planungsstufen variabel. Eine integrierte Netzplanung erfordert eine Ex-Post-Analyse und ein Feedback der Netzbetriebsplanung. Das Konzept "Close-Loop-Network-Planning" wird in diesem Artikel eingeführt, um dieses Feedback zu beschreiben. [Abbildung 2](#) zeigt ein Beispiel für die verschiedenen Instanzen der Netzsicherheitskomponente mit besonderem Fokus auf der Netzbetriebsplanung und für einen Zeithorizont von einer Woche.



**Abbildung 2: Instanzen und Interaktion der Netzsicherheitskomponente bei der Netzbetriebsplanung**

Für die Prozesskommunikation verwendet **Uplan** Framework ein proprietäres Datenübertragungsformat oder das Standard-JSON-Format mit drei verschiedenen Ebenen der Prozessintegration (PI). **PI1**: Prozessablaufintegration auf ÜNB-Ebene, **PI2**: Prozessablaufintegration auf ÜNB-Ebene inkl. Ex-Post Netzbetrieb-Feedback und **PI3**: alle Merkmale von PI2 inkl. Inter-ÜNBs- Prozessablaufintegration.

## 3 Möglichkeiten skalierbare Anwendungen in modernen, dynamischen IT-Umgebungen zu implementieren und zu betreiben

[Tabelle 1](#) zeigt verschiedene Möglichkeiten skalierbare Anwendungen in modernen, dynamischen IT-Umgebungen zu implementieren und zu betreiben. On-Premises, zum Beispiel, wird häufig dort eingesetzt, wo die Datenverwaltungsrichtlinien keine Public Cloud-Speicherung zulassen. Im spezifischen Fall eines Übertragungsnetzbetreibers, wo es verbreitet verwendet wird, besteht der Hauptnachteil dieses lokalen IT-Betriebsmodells darin, die angemessene Dimensionierung der Infrastruktur festzulegen, um seine regulatorischen und kommerziellen Bedürfnisse zu erfüllen. In Forschungsumgebungen ist On-Premises

auch ein verbreitetes Schema, da die Größe der IT-Infrastruktur konstant bleibt oder nur schrittweise skaliert wird.

	On Premises (do it yourself)	Infrastructure (IaaS)	Platform (PaaS)	Backend (BaaS)	Software (SaaS)	
You manage	Application	Application	Application	Application	Application	Other manage
	Data	Data	Data	Data	Data	
	Business Services	Business Services	Business Services	Business Services	Business Services	
	Technical Services	Technical Services	Technical Services	Technical Services	Technical Services	
	Runtime	Runtime	Runtime	Runtime	Runtime	
	OS	OS	OS	OS	OS	
	Virtualization	Virtualization	Virtualization	Virtualization	Virtualization	
	Server	Server	Server	Server	Server	
	Storage	Storage	Storage	Storage	Storage	
	Networking	Networking	Networking	Networking	Networking	
Option 1 On Premises		Option 2 Hybrid-Cloud			Option 3 Cloud-Native und Microservices	

**Tabelle 1: Möglichkeiten skalierbare Anwendungen in modernen, dynamischen Umgebungen zu implementieren und zu betreiben, von selbst gehosteten Lösungen bis Software as a Service**

Cloud native Technologien ermöglichen es Unternehmen, skalierbare Anwendungen in modernen, dynamischen Umgebungen zu implementieren und zu betreiben. Dies können öffentliche, private und Hybrid-Clouds sein. Best-Practises, wie Container, Service-Meshes, Microservices, immutable Infrastruktur und deklarative APIs unterstützen diesen Ansatz [2].

Die zugrundeliegenden Techniken ermöglichen die Umsetzung von entkoppelten Systemen, die belastbar, handhabbar und beobachtbar sind. Kombiniert mit einer robusten Automatisierung können Softwareentwickler mit geringem Aufwand flexibel und schnell auf Änderungen reagieren.

In [Abschnitt 5](#) und [6](#) werden zwei Cloud-Konzepte (Option 2 und 3 in [Tabelle 1](#)) und die Automatisierungsmöglichkeiten, die es für eine integrierte Netzplanung bietet im Detail durchleuchtet.

## 4 On-Premises basierte Netzplanung

Die Entwicklung und der Betrieb des Frameworks erfolgt unter dem Konzept: On-Premises oder "do it yourself". Dies bedeutet, dass alle Komponenten des **Uplan**Frameworks<sup>®</sup> autonom entwickelt und betrieben sind. Die verteilte Architektur des Frameworks wurde konzipiert, damit mehrere Nutzer (Forscher oder Netzplaner) in mehreren Forschungsprojekten oder Netzplanungsstudien eingesetzt werden können. Durch die Verwendung dieser Konfiguration verfügen die Benutzer über einen flexiblen Mechanismus, um mehrere Simulationsfälle in verschiedenen Planungshorizonten zu generieren und untersuchen.

Die Modellierung des Informationsflusses von der langfristigen Netzplanung über die mittelfristige bis zur kurzfristigen Planung, die in [Abschnitt 2](#) beschrieben wurde, ist ein grundlegender Bestandteil der Implementierung des Frameworks. Ebenso ermöglicht das Framework die Verifizierung neuer Algorithmen, Prototypen oder kompletter

Softwarelösungen in einer agilen und sicheren Weise, bevor sie in Produktion genommen werden. Diese Flexibilität unterstützt die ÜNBs bei der sicheren Anpassung an die rapiden und kontinuierlichen Prozessänderungen, die sich aus der Umwandlung des Energiesystems und der digitalen Transformation ergeben.

#### 4.1 Framework-Komponenten

Die internen Komponenten der integrierten Planungsplattform sind in [Abbildung 3](#) dargestellt. Das zentrale Element des Frameworks ist die Kommunikationsinfrastruktur. Gekennzeichnet mit (1), ist es eine Abstraktion eines physischen Netzwerks, auch virtuelles Netzwerk oder Overlay-Netzwerk genannt. Einige Beispiele für virtuelle Netzwerke sind: Cloud-Provider-Netze, P2P (Peer-to-Peer), VPN (Virtual Private Network), CDN (Content Delivery Netzwerk) und experimentelle Netzwerke [4]. Das Kontroll-Panel (2) ist für die Überwachung des gesamten Frameworks zuständig. Die Parameter des Basisnetzes und zukünftiger Projekte sind in (3) gespeichert. Markt- und ökonomische Dispatch-Szenarien werden in (4) importiert oder generiert. Das Ist-Netz ([Abbildung 4](#)) bzw. Netzmodell (5) ist einzigartig und die Grundlage für alle Planungshorizonte. Es wird auch von allen Anwendungen und Nutzer verwendet, die mit dem Framework verbunden sind.

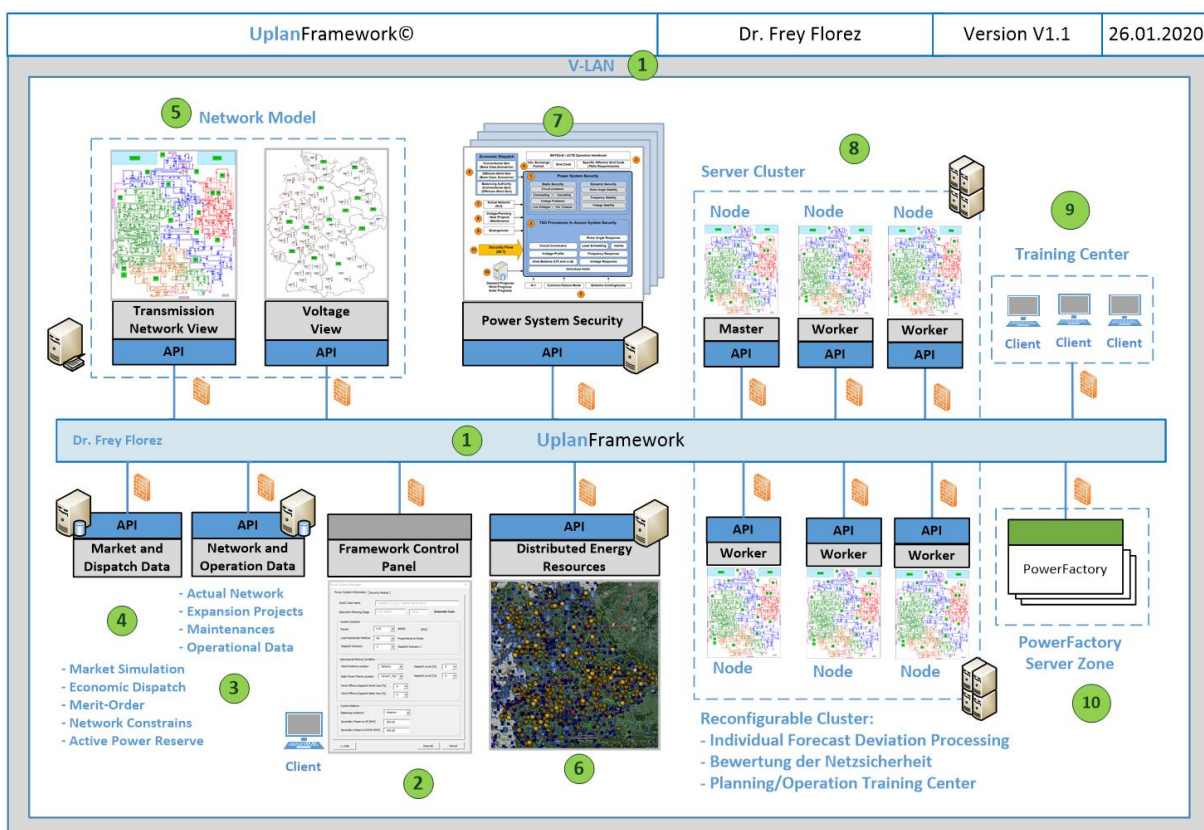


Abbildung 3: On-Premises verteilte Systemarchitektur und Framework-Komponenten

Netzvariationen (Deltanetze) aufgrund von Ausbauprojekten, Instandhaltung, Abschaltplanung und Nichtverfügbarkeit der Erzeugung werden dem spezifischen Planungshorizont der Analyse zugerechnet. Die erneuerbaren Energiequellen, überlagert mit dem 380/220/110-kV-Netz, sind in (6) dargestellt. Die verschiedenen Anwendungen und



Konfigurationen, die durch das Framework miteinander verbunden sind, werden in (7), (8) und (9) dargestellt.

In diesem Framework sind verschiedene Ebenen der Modularität oder Granularität zu beobachten. Jede der angeschlossenen Komponenten besteht aus Modulen. Beispielhaft sind die internen Module der Netzsicherheitskomponente, die in (7) dargestellt werden. Diese Art der Konfiguration bietet eine große Flexibilität bei der Wartung und Erweiterung des Frameworks.

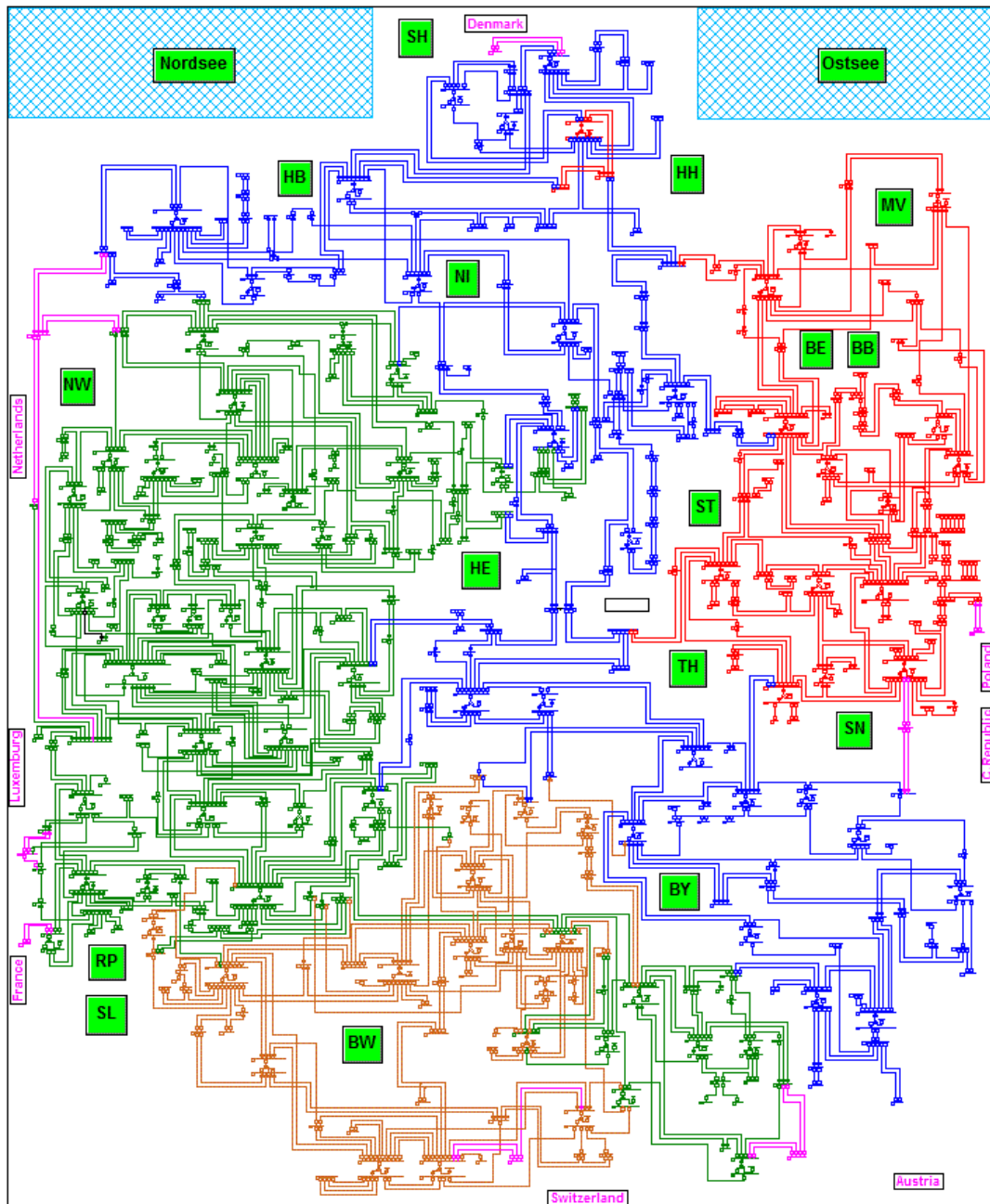


Abbildung 4: Benchmark-Netzmodell (Ist-Netz) inklusive vier ÜNBs Regelzonen

## 4.2 Kategorien von Simulationsstudien

Genauso wichtig wie das konzeptionelle Design des Frameworks sind die verschiedenen Studien, die mit ihm durchgeführt werden können. Die Studienfälle und damit auch die

durchgeführten Simulationen wurden inkrementell konzipiert und durchgeführt, um den Anforderungen einer integrierten Netzplanung gerecht werden zu können. Die Validierung der vorgeschlagenen Architekturen für die Simulationsumgebung, die kritischen Bedingungen der Netzplanung und Netzbetriebsplanung sowie die Untersuchung der Auswirkungen von Prognoseunsicherheiten in dem Netzbetrieb sind ebenfalls Teil der Simulationszwecke.

#### **4.2.1 Kategorie I: Framework Infrastruktur Validation und Plausibilitätscheck**

Der Zweck dieser Validierung besteht darin, das korrekte Funktionieren des Kommunikationskanals und des Protokolls, die Übertragung von Daten und die Bewertung des Basisfall-Dispatch-Szenarios zu überprüfen. Der erste Schritt besteht darin, die Zuverlässigkeit der Simulationsumgebung beim Datenaustausch zwischen ihren Komponenten und die Genauigkeit des Framework Control Panels bei der Bereitstellung von Informationen für das Benchmark-Netzmodell zu überprüfen.

In ähnlicher Weise werden die durch die Anwendung des (N-0) Kriteriums erhaltenen Simulationsergebnisse verwendet, um Anpassungen im Netzmodelle vorzunehmen, wie z.B. die Wirkleistungsbilanzierung, die Bestimmung der initialen Netzkomponentenüberlastung und der Systemverluste.

#### **4.2.2 Kategorie II: Zeitbereichssimulationen für die Stabilitätsanalyse<sup>2</sup> (N-1)**

Diese Kategorie wird verwendet, um das dynamische Verhalten des Benchmark-Netzmodells zu bewerten. Simulationen im Zeitbereich werden durchgeführt, um die Rotorwinkelstabilität zu verifizieren. Das Verhalten des Systems wird während einer dreiphasigen Kurzschlussimulation untersucht. Die Winkelabweichungen der Generatoren während des Fehlers sind bei dieser Analyse von zentralem Interesse. Um einen realistischeren Fall anzuschauen, wird auch das Verhalten der Systemschutzmechanismen in Betracht gezogen.

#### **4.2.3 Kategorie III: Kritische Sicherheitsbedingungen (N-k)**

In dieser Kategorie werden kritische Sicherheitsbedingungen auf der Grundlage realer Störungen im deutschen Stromnetz 380/220/110 kV reproduziert. In diesem Fall wird beispielsweise der Stromausfall von 2006, der von Deutschland ausging und in ganz Europa eskalierte, als N-k-Referenzfall betrachtet.

Das dynamische Verhalten des Systems wurde von Wide Area Measurement Systems (WAMS) gemessen und registriert. In [3] sind die gemessenen Frequenzcharakteristiken der einzelnen Zonen dargestellt. Die Messungen wurden am 4. November 2006 von 22:09:30 bis 22:20:00 Uhr durchgeführt.

Dieses Frequenzereignis wurde mit dem in [1] vorgeschlagenen Benchmark-Netzmodell in das Framework reproduziert. Während dieser Simulation wird das Verhalten der Frequenz nach der Trennung zwischen Area 1 und 2 im Detail untersucht, wobei berücksichtigt wird, dass dies in der Mitte des deutschen Stromnetzes geschah, wie in [Abbildung 5](#) und [Abbildung 6](#) dargestellt.

---

<sup>2</sup> Das integrierte Netzplanungs-Framework verwendet Root-Mean Square (RMS) für Simulationen im Zeitbereich. Electromagnetic Transient (EMT) Simulationen liegen außerhalb des Rahmens dieses Projects ([Uplan](#)Framework 1.1)

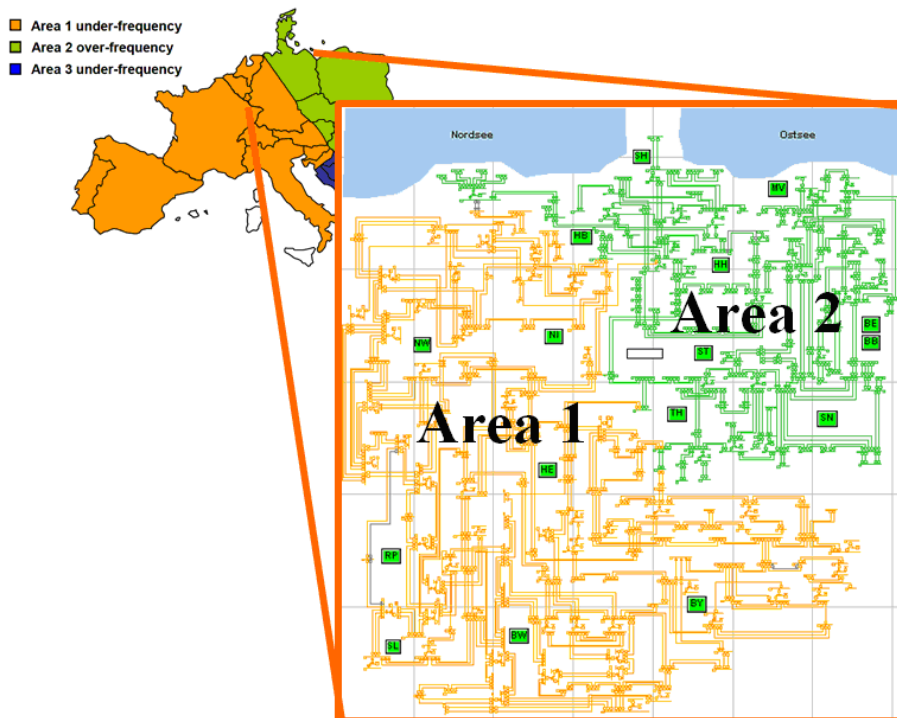


Abbildung 5: Deutsches Stromversorgungssystem nach der Teilung: Verwendung des vorgeschlagenen Frameworks und des Benchmark-Netzmodells

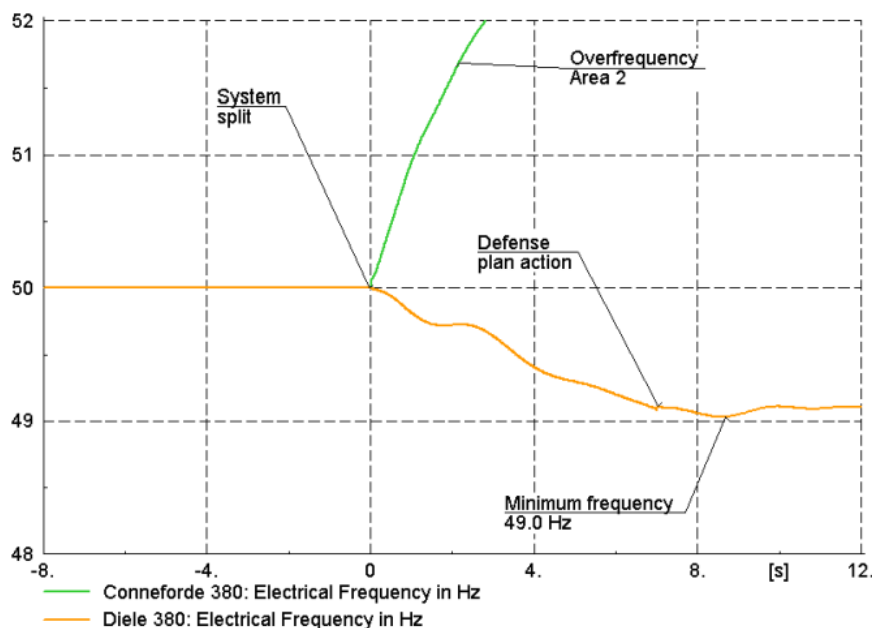


Abbildung 6: Frequenzen nach der Teilung: stammen aus dem vorgeschlagenen Frameworks und des Benchmark-Netzmodells

#### 4.2.4 Kategorie IV: Integrierte Netzsicherheitssimulationen (N-1)

In diesem speziellen Fall wird das **Uplan**Framework<sup>®</sup> verwendet, um verschiedene Stunden im Planungshorizont Day-Ahead zu simulieren.

In dieser Kategorie wird die Netzsicherheitskomponente für verschiedene Lastbedingungen benutzt, die den Perioden (P01, P02, P03, ... , P24) eines Wochentages entsprechen. Mit Hilfe des Framework-Control-Panels ist es möglich verschiedene erneuerbare



Energieerzeugungsszenarien und den entsprechenden Ersatz der konventionellen Erzeugung zu generieren.

Für die Abweichungen der Lastprognose wird die Normalverteilung verwendet. [Abbildung 7](#) zeigt die Wirkleistungsabweichungen für jedes der Szenarien, einschließlich des Basisszenarios.

```

=====
DEVIATION SCENARIOS [MW]
-----
Deviation Based on: Load Fluctuations
Base Dispatch Deviation      : 0 [MW]
DeltaP1 = 0
DeltaP2 = 803
DeltaP3 = -797
DeltaP4 = 1611
DeltaP5 = -1588
-----
Execution Time      : 309 Seconds
=====
    
```

Abbildung 7: Abweichungen der Lastprognose. Die Normalverteilung wird verwendet

#### 4.2.5 Kategorie V: Analyse der Prognoseunsicherheit in der operativen Planung (N-1)

Die letzte Kategorie verwendet quasistationäre Simulationen, um die Auswirkungen von Prognoseunsicherheiten im Sicherheitsbewertungsprozess des ÜNB zu untersuchen. Es wurden etwa 200 Dispatch-Szenarien für den Planungshorizont Day-Ahead erstellt, die verschiedene Variablen, wie die zunehmende Windeinspeisung (Offshore und Onshore), den Ersatz konventioneller Erzeugung, die Anforderungen des Bilanzierungsmarktes, unterschiedliche Lastbedingungen, Spannungskompensation, Spannungspilotknoten und Re-Dispatch berücksichtigen. [Abbildung 8](#) zeigt ein Beispiel für das Reserveabweichungsrisiko (Automatic Generation Control **AGC**) für die Periode P19 (18-19 Uhr) unter Berücksichtigung von Schwankungen sowohl im Regelbereich ( $\pm 200$  und  $\pm 350$  MW) als auch in den Regelzonen, die den deutschen ÜNBs entsprechen.

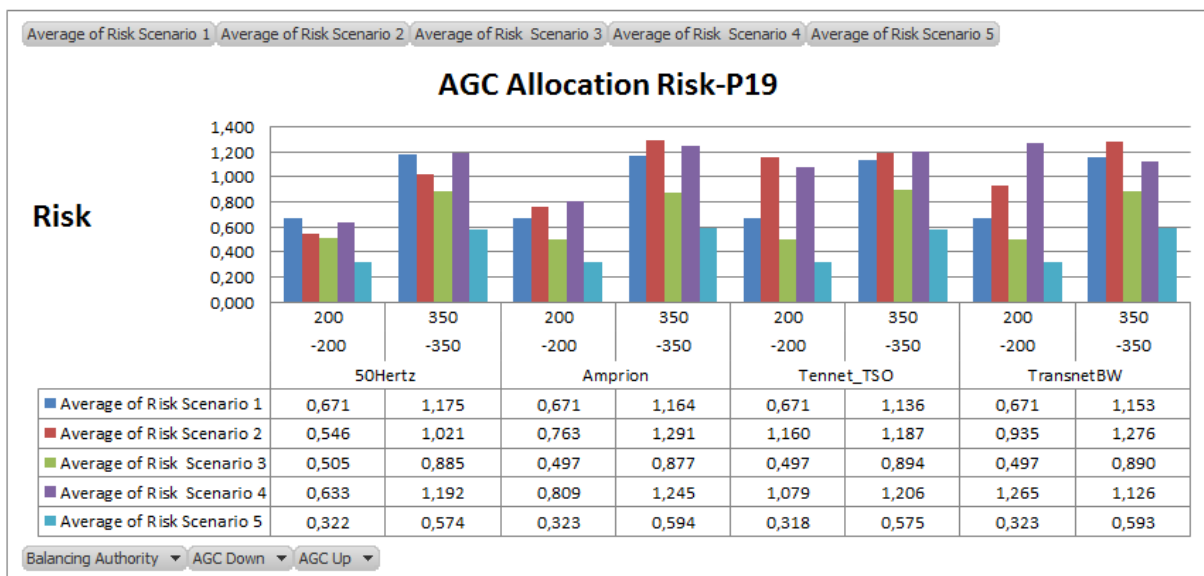


Abbildung 8: AGC-Reserveabweichungsrisiko in verschiedenen Regelzonen

## 5 Hybrid-Cloud basierte Netzplanung

Das grundlegende Ziel eines Frameworks für die integrierte Netzplanung auf der Basis des Cloud-Konzepts ist es flexibler und schneller auf Veränderungen in der Umgebung zu reagieren. Diese Hybridkonfiguration eignet sich gut für die Bedürfnisse eines ÜNB, der Daten lokal halten möchte oder muss und eine Cloud für eine höhere Granularität auf der Ebene der Microservices nutzen möchte. Außerdem ermöglicht dies die Verwendung von Hochleistungsservern, die einige virtuelle Dienstleistungsanbieter nicht bereitstellen können. Darüber hinaus verlangen einige Third-Party-Softwareanbieter, wie DigSILENT-PowerFactory, dass die Lizenz auf einem physischen Server aktiviert wird.

Das im vorherigen [Abschnitt 4](#) dargestellte Framework, [Abbildung 3](#), kann auch in einer Hybridkonfiguration verwendet werden. Außerdem können Komponenten, Module oder Microservices in Verbindung mit einem Überwachungsmechanismus oder Service-Mesh verwendet werden, wie [Abbildung 9](#) zeigt.

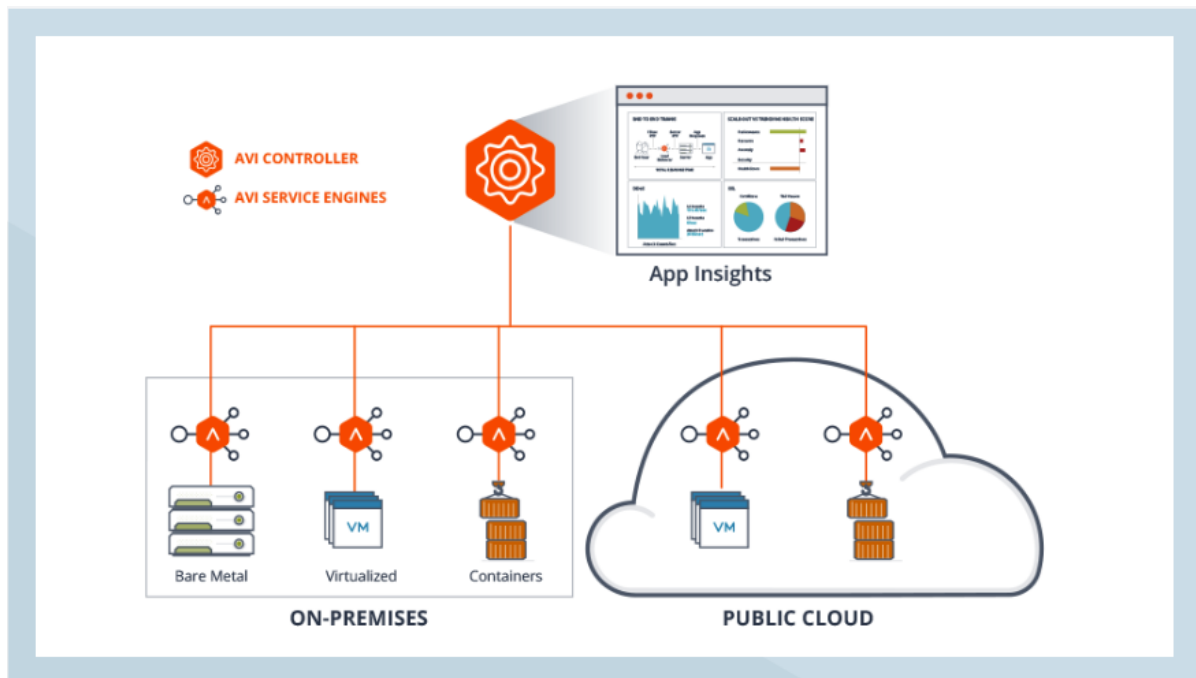


Abbildung 9: Hybrid-Cloud basierte Netzplanung Framework, exemplarisch dargestellt [5]

## 6 Cloud-Native basierte Netzplanung

In dieser Art von Konfiguration werden alle in dem integrierten Framework beschriebenen internen Module der Komponenten als Microservices betrachtet. Wie in [Abbildung 10](#) zu sehen ist, bestehen die Barrieren der Framework-Komponenten nicht mehr und es gibt nur noch einen globalen Raum, der von allen Benutzern oder Netzplanern gemeinsam genutzt wird. Im Gegensatz zu den beiden zuvor beschriebenen Architekturen **müssen** in dieser Konfiguration die Microservices zusammen mit einem Überwachungsmechanismus oder einem Service-Mesh verwendet werden.

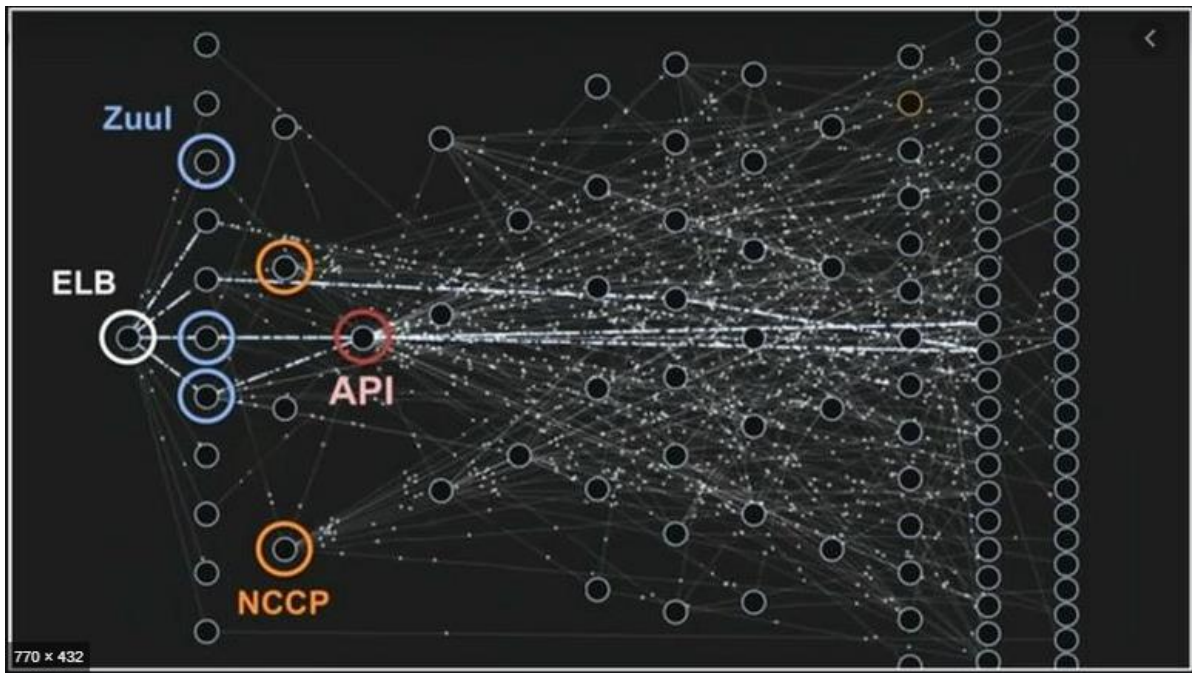


Abbildung 10: Cloud-Nativ und Microservices Netzplanung Framework, exemplarisch dargestellt [6]

Dieses Konzept ermöglicht eine schnelle [7] Reaktion auf die Veränderungen, unter denen die ÜNBs derzeit stehen. Die Herausforderung dieser Architektur besteht darin, jene grundlegenden Einheiten zu finden, die den Prozess der Planung und Betrieb des Energiesystems definieren. Das ist eine Aufgabe, die wesentlich [8] ist und daher Zeit und Fachwissen erfordert.

## 7 Zusammenfassung

In diesem Artikel wurde ein Framework für die integrierte Netzplanung vorgestellt. Das Design und die Implementierung des Frameworks wurden anhand von drei verschiedenen verteilten Architekturen dargestellt.

Die erste Option, On-Premises basierte Netzplanung, bietet eine grundlegende Granularitäts- und Verteilungsebene, die die Entwicklung und Wartung der mit dem Framework verbundenen Komponenten erleichtert.

Die zweite Option, Hybrid-Cloud basierte Netzplanung, ist in Situationen angebracht, in denen die Daten nicht in einer öffentlichen Cloud gespeichert werden sollen oder können, aber in denen es möglich ist, eine Cloud zu nutzen, um eine höhere Granularität auf der Ebene der Microservices zu erreichen.

Option drei, Cloud-Native basierte Netzplanung, bietet größere Flexibilität, da sie die Skalierung der Infrastruktur erleichtert und sich an die Wachstumsdynamik des Geschäftsmodells und die regulatorischen Anforderungen anpasst. Diese Option ist extrem granular und verteilt und erfordert den Einsatz fortschrittlicher Werkzeuge für die Überwachung von der Cloud-Microservices.

Die gemeinsame Nutzung der folgenden Disziplinen: Agilität, DevOps, Cloud-Native und Microservices sorgen für die höchstmögliche Geschwindigkeit in der Softwareentwicklung. In Unternehmen des Online-Handelssektors ist diese Kombination erfolgreich und unterstützt

die Schnelligkeit dieser Branche. Im Falle von ÜNBs und insbesondere bei den Netzplanungsprozessen sind andere Faktoren zu berücksichtigen, um eine hohe Geschwindigkeit der Softwareentwicklung zu erreichen. **Uplan**Framework bietet die folgenden Beschleunigungsfaktoren: ein einziges Netzmodell (Ist-Netz) für die gesamte Prozesskette, Netzvariationen konsistent mit den Planungshorizonten, ein Standardkommunikationsprotokoll, Prozessintegration inkl. Ex-Post Feedback, eine Inter-TSO-Prozessintegration für den Fall von vier ÜNBs und PowerFactory GUI oder Engine-Mode als Motor für statische und dynamische Analysen des Netzes.

Anschließend ist festzustellen, dass die Entwicklung und der Betrieb des vorgeschlagenen Integrierten Frameworks für die Planung zukünftiger Elektrischer Energiesysteme in einer öffentlichen, privaten oder hybriden Cloud implementiert werden kann. Die Auswahl einer Option hängt von Faktoren ab, wie der globalen Vision des Unternehmens, dem Reifegrad und der Erfahrung des DevOps-Teams, der Fähigkeit der IT-Abteilung zur Verwaltung der resultierenden Infrastruktur, dem Entwicklungsstand des Netzplanungsprozesses, und vor allem von der Bereitschaft zu Veränderung zur Bewältigung der Herausforderungen, die die Energiewende und die Digitalisierung mit sich bringen.

## 8 Literaturverzeichnis

- [1] Florez, Frey. Characterization, Modelling and Implementation of TSO Security Process and its Application in the Operational Planning of Sustainable Electric Power Systems. Kassel University Press, Kassel, Univ., Diss. 2017
- [2] CNCF Technical Oversight Committee (TOC), CNCF Cloud Native Definition v1.0, Approved by TOC: 2018-06-11, [Online]. Available: <https://github.com/cncf/toc>
- [3] ENTSOE, Final Report System Disturbance on 4 November 2006, [Online]. Available: <https://www.entsoe.eu/>
- [4] IT-Wissen.Info, Overlay-Network Definition, DATACOM Buchverlag GmbH © 2020, [Online]. Available: <https://www.itwissen.info/Overlay-Netz-overlay-network.html>
- [5] Multi-Cloud Application Services, [Online]. Available: <https://avinetworks.com/>
- [6] Mastering Chaos, A Netflix Guide to Microservices, [Online]. Available: <https://www.infoq.com/>
- [7] Prott Karl, Zusammenspiel von Agilität, DevOps, Microservices und Cloud, Maximale Agilität mit Softwareentwicklung 4.0, OBJEKTSpektrum, 01/2020.
- [8] Brooks, "No Silver Bullet, Essence and Accidents of Software Engineering," in IEEE Computer, vol. 20, no. 4, pp. 10-19, April 1987.