

### Webbasierte Netzzustandsdiagnose

# Automatisierte Analyse und Bewertung von Ladevorgängen

Durch die zunehmende Verbreitung von Ladeinfrastruktur müssen Verteilnetzbetreiber den Zustand ihrer Netze zunehmend kontinuierlich berechnen und bewerten. Nur so lassen sich Betriebsmittelüberlastungen vermeiden. Die Autoren stellen dafür eine webbasierte Netzzustandsdiagnose vor. Das System berechnet mit Lastprofilen sowie mit geplanten und ereignisorientierten Ladevorgängen einen Netzfahrplan auf der Basis von 15-Minuten-Intervallen.

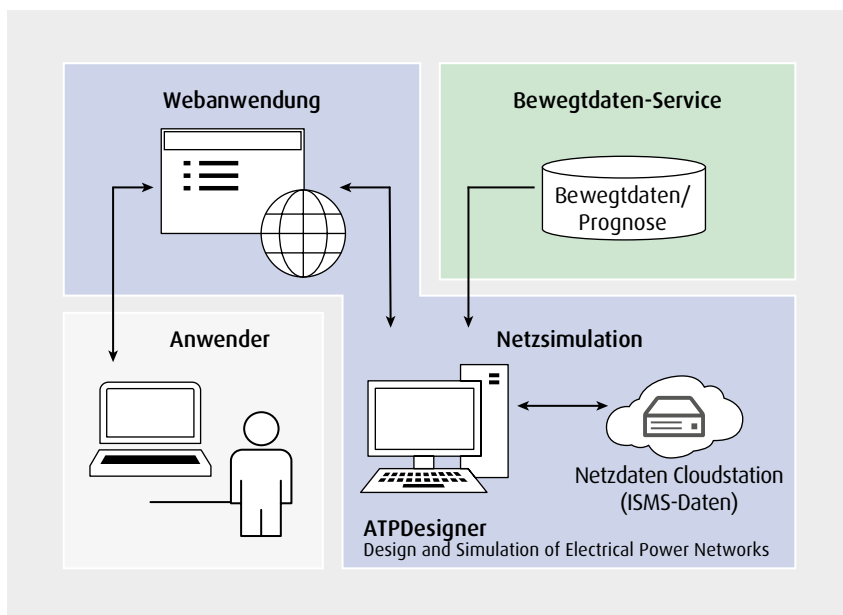


Bild 1. Konzept der webbasierten Netzzustandsdiagnose

Das Voranschreiten der Energiewende stellt die Netzbetreiber von Stromverteilnetzen aufgrund der volatilen Stromerzeugung durch dezentrale Erzeugungsanlagen vor große Herausforderungen. Künftig werden mit der Elektrifizierung des Mobilitätssektors weitere Herausforderungen in Nieder- und Mittelspannungsnetzen hinzukommen. Um einen Ausbau der Stromverteilnetze zu vermeiden, müssen den Netzbetreibern Softwaretools zu Verfügung stehen, mit denen durch Ladevorgänge verursachte, unzulässige Betriebszustände erkannt werden. Diese Betriebszustände können dann durch geeignete Maßnahmen vermieden und die Netzkapazität optimal genutzt werden.

Das Konzept der webbasierten Netzzustandsdiagnose kombiniert webbasierte Kommunikation und Lastfluss-

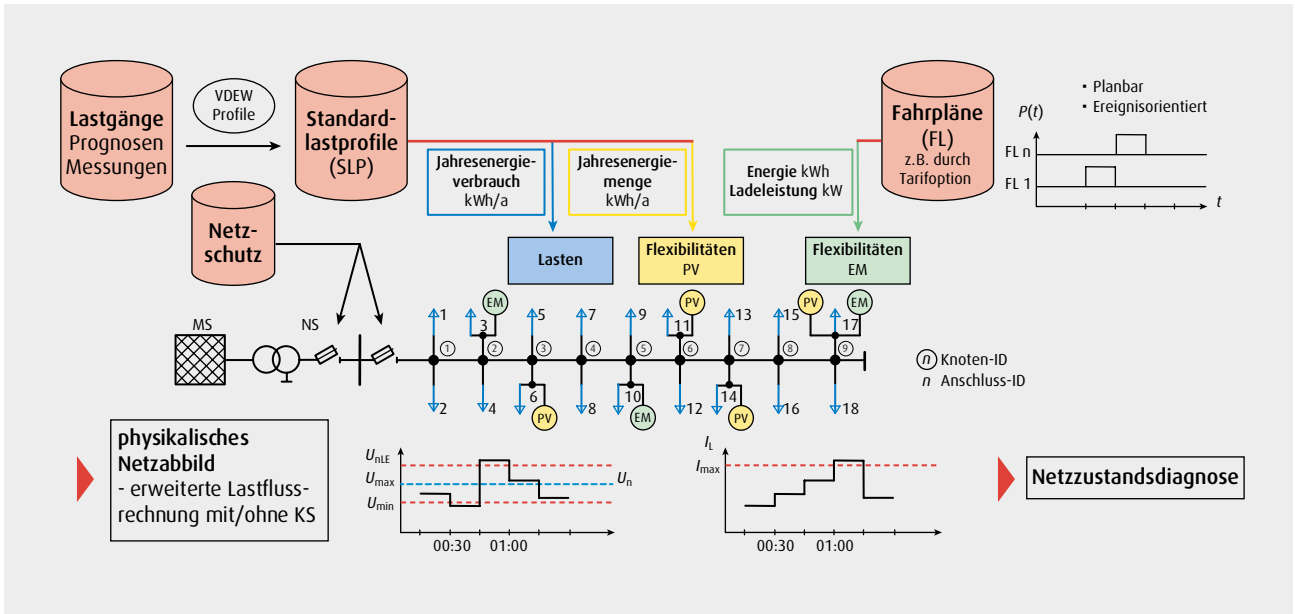


Bild 2. Webbasierte Netzstatusdiagnose im Netzberechnungssystem ATPDesigner

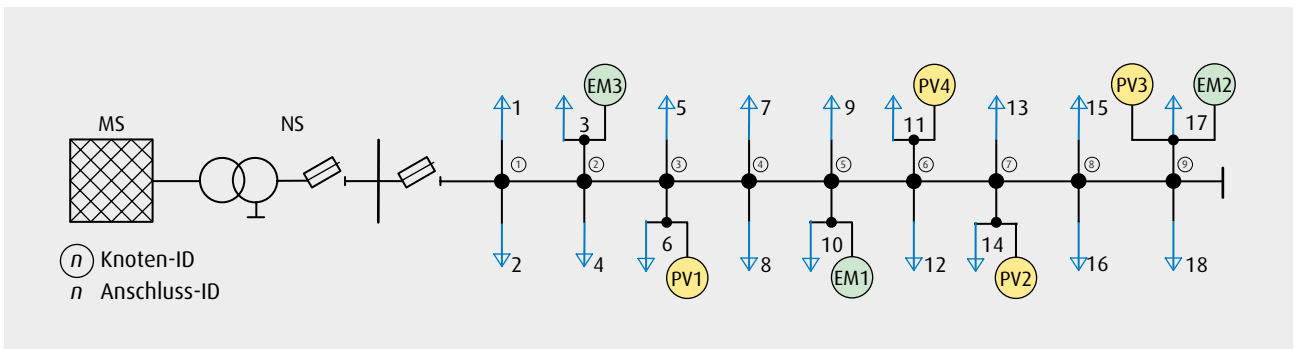


Bild 3. 0,4-kV-Referenznetz mit Solarstromanlagen und Ladestationen

berechnungsmethoden, um Auswirkungen von Ladevorgängen auf die Stromverteilnetze durch eine Netzstatusdiagnose zu erkennen. Die webbasierte Netzstatusdiagnose berücksichtigt in Analyse und Bewertung auch das Netzschutzkonzept. Das Konzept wurde in ein Netzberechnungssystem [1] implementiert und im Labor erfolgreich getestet. Feldtests sind derzeit in Vorbereitung.

### Netztechnische Auswirkungen der Ladeeinrichtungen

Nach dem Energiewirtschaftsgesetz müssen Stromnetze unter Berücksichtigung der allgemein anerkannten Regeln der Technik betrieben werden. Im Rahmen dessen sind unter anderem Betriebsmittelüberlastungen zu vermeiden und die Netzspannung im zu-

lässigen Spannungsband zu halten. Ein Freiheitsgrad, den die VDE-Anwendungsrichtlinien aufzeigen, ist die Blindstromeinspeisung durch Ladeeinrichtungen. Der Wirkstrombezug senkt die Netzspannung an den Ladeeinrichtungen ab. Durch Blindstromeinspeisung kann die Spannungsabsenkung verringert und damit eine höhere Ladeleistung bereitgestellt werden.

### Webbasierte Netzstatusdiagnose

Aus diesen Anforderungen ergeben sich Bedingungen für ein netzdienliches Lademanagement:

- Betriebsmittelüberlastungen und unzulässige Netzspannungen vermeiden
- Blindstromeinspeisung der Ladeeinrichtungen zur Spannungshaltung einsetzen

- Netzkapazitäten zur Ladung von E-Mobilen optimal nutzen
- die Selektivität des Netzschutzkonzepts sicherstellen.

Durch die Vielzahl von Ladeeinrichtungen und Ladevorgängen wird es erforderlich sein, den Netzstatus von Stromnetzen unter Berücksichtigung volatiler dezentraler Einspeisungen und Ladevorgängen kontinuierlich zu berechnen und zu bewerten.

Wie in **Bild 1** dargestellt, wird ein administrierbarer Webserver verwendet, der den Zugriff auf kritische Infrastrukturdaten verhindert. Planungsdaten zu Ladevorgängen können durch externe Stellen webbasiert über sichere Datenverbindungen übertragen und eine Netzstatusdiagnose ausgeführt werden. Das Netzberechnungssystem

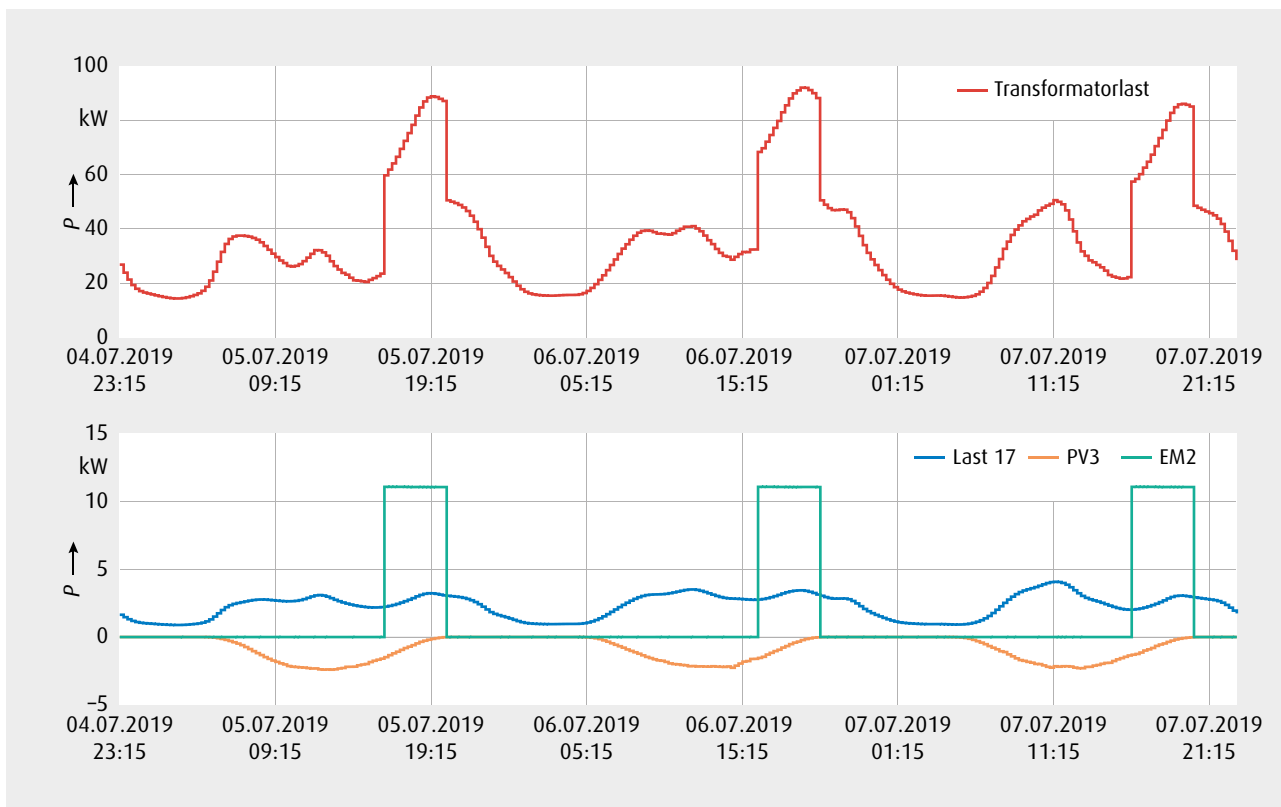


Bild 4. Netzfahrpläne im 0,4-kV-Referenznetz

ATPDesigner wird in einer gesicherten IT-Infrastruktur betrieben. Dadurch können Randbedingungen wie ISMS-Vorgaben eingehalten werden.

Im Folgenden wird das Konzept der webbasierten Netzzustandsdiagnose sowie die Umsetzung in einem Netzberechnungssystem vorgestellt. Mithilfe webbasierter IKT-Systeme kann ein hoher Automatisierungs- und Autarkiegrad erreicht werden.

### Webbasierte Netzzustandsdiagnose im Netzberechnungssystem ATPDesigner

**Bild 2** zeigt die Umsetzung des Konzepts im Netzberechnungssystem ATPDesigner. Basierend auf einem netzphysikalischen Modell des Stromnetzes werden Netzschutzsysteme, Einspeise- und Bezugsanlagen sowie Ladeeinrichtungen für E-Mobile mit generischen Modellen nachgebildet. Das Netzberechnungssystem berechnet mit Lastprofilen sowie mit geplanten und ereignisorientierten Ladevorgängen einen Netzfahrplan als Folge von 15-Minuten-Intervallen [2].

Für jedes 15-Minuten-Intervall wird eine Netzzustandsdiagnose durchgeführt: Berechnet und bewertet werden

für jedes Betriebsmittel die Auslastung und für jeden Netzknoten die Netzspannung. Netzschutzsysteme wie NH-Sicherungen, aber auch Überstromschutz, Distanzschutz und Differenzialschutz werden in der Netzzustandsdiagnose berücksichtigt. So können Anregungen und Auslösungen der Netzschutzsysteme für jedes 15-Minuten-Intervall erkannt und bewertet werden.

Netzzustandsanalyse und -diagnose werden automatisch gestartet. Nachdem neue Daten zum Beispiel eines geplanten Ladevorgangs in einem vom Netzberechnungssystem überwachten, projektspezifischen Verzeichnis gespeichert wurden, werden für den entsprechenden Zeitbereich eine Netzzustandsanalyse und -diagnose ausgeführt. Eine Bedienhandlung des Anwenders ist nicht erforderlich.

**Bild 3** zeigt das verwendete 0,4-kV-Referenznetz, in dem Solarstromanlagen (PV) und Ladestationen für E-Mobile (EM) vorhanden sind [3].

In **Bild 4** ist exemplarisch ein von der webbasierten Netzzustandsdiagnose berechneter Netzfahrplan bezogen auf die Unterspannungsseite des Transformators dargestellt. Das Diagramm gibt den zeitlichen Verlauf der Wirkleistungen für jedes 15-Minuten-Intervall für

die PV-Anlage PV3, das E-Mobil EM2 und die Last 17 wieder.

### Bewertungskonzept für Netzzustand und Netzschutz

Die Bewertung des Netzzustands erfolgt in Anlehnung an das BDEW-Ampelkonzept für jedes 15-Minuten-Intervall der Netzfahrpläne [4 – 6]. Das Bewertungskonzept wurde ausgehend vom BDEW-Ampelkonzept um das Anrege- und Auslöseverhalten der Netzschutzsysteme erweitert. Die Analyseergebnisse werden für jedes Betriebsmittel und für jedes Netzschutzsystem einzeln bewertet und angezeigt. Die Bewertungskriterien können durch den Anwender festgelegt werden. Somit lassen sich Betriebsmittelauslastungen, aber auch minimale und maximale Knotenspannungen und das Anrege- und Auslöseverhalten der Netzschutzsysteme je 15-Minuten-Intervall einzeln und für den gesamten Netzfahrplan summarisch den Ampelphasen grün, gelb und rot zuordnen.

### Hoher Automatisierungs- und Autarkiegrad der webbasierten Netzzustandsdiagnose

Da aufgrund der zu erwartenden großen Zahl planbarer und ereignisorientierter Ladevorgänge für E-Mobile eine entspre-

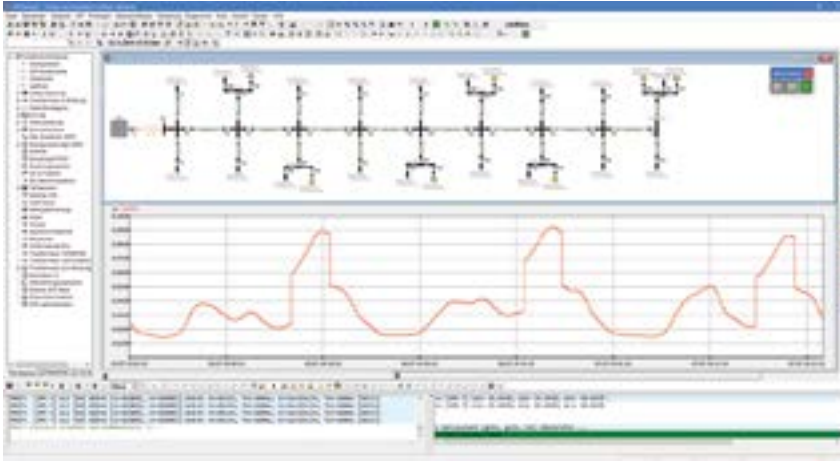


Bild 5. Ergebnisse des erweiterten Ampelkonzeptes im Netzberechnungssystem ATPDesigner

chend große Zahl an Netzzustandsanalysen und -diagnosen durchzuführen sind, ist ein hoher Autarkie- und Automatisierungsgrad erforderlich. Die webbasierte Netzzustandsdiagnose sieht daher vor, jeder Phase des erweiterten Ampelkonzeptes parametrierbare E-Mail-Benachrichtigungen zuzuweisen, die ereignisorientiert versendet werden. So erhält der Anwender zeitnah mit Ampelphase grün die Information, dass die Ladevorgänge bei Einhaltung eines sicheren Netzbetriebs möglich sind. Bei Ampelphase gelb oder rot ist der sichere Netzzustand gefährdet oder der Ladevorgang nicht zulässig.

### Erster Einsatz der webbasierten Netzzustandsdiagnose

Die webbasierte Netzzustandsdiagnose in dem Netzberechnungssystem ATPDesigner wurde zusammen mit dem Webserver im Intranet der htw saar erfolgreich getestet. Die E-Mail-Benachrichtigungen wurden im ersten Schritt durch den Webserver ausgeführt, Zugriffe von externen Stellen auf den Webserver wurden exemplarisch durch einen VPN-Zugriff nachgebildet. Das Verfahren wurde im Rahmen eines regionalen Energiekongresses im Oktober 2019 in Saarbrücken einem interessierten Fachpublikum vorgestellt. Im nächsten Schritt ist geplant, die E-Mail-Benachrichtigung in das Netzberechnungssystem zu implementieren.

### Zusammenfassung und Fazit

Mit dem Konzept der webbasierten Netzzustandsdiagnose ist es möglich, eine große Zahl an Netzzustandsanalysen und -diagnosen automatisiert

durchzuführen. Die Netzzustandsanalyse verwendet ein netzphysikalisches Modell des Stromnetzes mit generischen Modellen für Netzschutzsysteme, dezentrale Erzeugungsanlagen und Ladeeinrichtungen für E-Mobile. So lassen sich Lastflussberechnungen unter Berücksichtigung des Netzschutzkonzeptes durchführen und Netzfahrpläne in 15-Minuten-Intervallen berechnen. Die Netzzustandsdiagnose bewertet die Analyseergebnisse mit einem um den Netzschutz erweiterten Ampelkonzept. Aufgrund des hohen Autarkie- und Automatisierungsgrads ist es möglich, eine große Zahl an Netzzustandsanalysen und -diagnosen mit der Abbildung von Ladevorgängen für E-Mobile mit akzeptablem Aufwand durchzuführen und Anwender per E-Mail-Benachrichtigungen über die Ergebnisse zu informieren.

Diese Arbeit wurde vom Sinteg-Projekt Designnetz [7] unterstützt und vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) unter dem Förderkennzeichen 03SIN228 gefördert.

### Literatur

- [1] ATPDesigner: Design and Simulation of Electrical Power Networks. [www.powerengs.de](http://www.powerengs.de)
- [2] Bitterer, R.; Schieferdecker, B.: Repräsentative VDEW-Lastprofile. Cottbus, VDEW, 1999.
- [3] Wellßow, W.-H.; Weisenstein, M.; Rui, H.; Ma, H.; Benzarti, A.; Röhrenbeck, S.: Synthetische NS-Netzmodelle für wissenschaftliche Untersuchungen. Kaiserslautern, 2018.
- [4] Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (BDEW): Elektromobilität als Anwendungsfall des Ampelkonzeptes im Verteilnetz. Berlin, 2018.

- [5] Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (BDEW): Konkretisierung des Ampelkonzeptes im Verteilnetz. Berlin, 2017.
- [6] Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (BDEW): Smart Grids Ampelkonzept. Berlin, 2015.
- [7] Innogy SE: Die Ziele von Designnetz. <https://designnetz.de/Projekt.htm>

>> **Selina Gerard** M.Sc.,  
Institut für Elektrische Energiesysteme,  
Hochschule für Technik und Wirtschaft  
des Saarlandes, Saarbrücken

**Andreas Winter** M.Sc.,  
Institut für Elektrische Energiesysteme,  
Hochschule für Technik und Wirtschaft  
des Saarlandes, Saarbrücken

Prof. Dr.-Ing. **Michael Igel**,  
Institut für Elektrische Energiesysteme,  
Hochschule für Technik und Wirtschaft  
des Saarlandes, Saarbrücken

>> [selina.gerard@htwsaar.de](mailto:selina.gerard@htwsaar.de)  
[andreas.winter@htwsaar.de](mailto:andreas.winter@htwsaar.de)  
[michael.igel@htwsaar.de](mailto:michael.igel@htwsaar.de)

>> [www.atpdesigner.de](http://www.atpdesigner.de)  
[www.designnetz.de](http://www.designnetz.de)  
[www.htwsaar.de](http://www.htwsaar.de)  
[www.powerengs.de](http://www.powerengs.de)