



**Innovative Lösungen
und Betriebsmittel
für das Verteilnetz
der Zukunft**

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

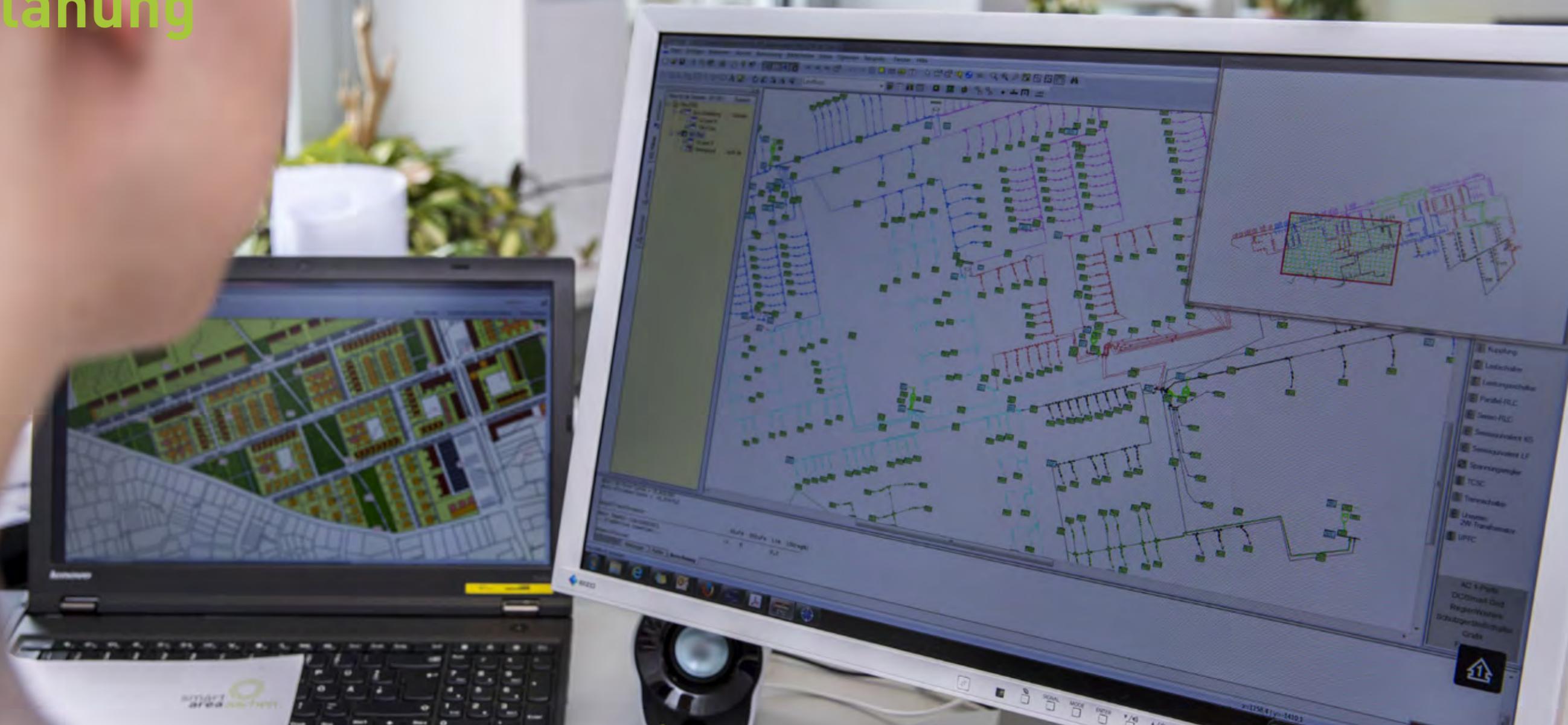


Abbildung 58: Netzberechnung

Bei der Planung von Mittel- und Niederspannungsnetzen (MS-/NS-Netzen) hat es sich bewährt, mit sogenannten Netzplanungsgrundsätzen (NEPLAG) zu arbeiten. NEPLAG sind verallgemeinerte Handlungsregeln, die den Aufwand in umfangreichen Einzelfallbetrachtungen der Netzplanung reduzieren und es gleichzeitig erlauben sollen, Netze innerhalb einer vordefinierten angestrebten Netzstruktur zu gestalten.

Bisher wurde bei der Formulierung der NEPLAG in MS- und NS-Ebene allein die Wirkung der Last in den Vordergrund gestellt. Heutige und zukünftige Verteilnetze stehen jedoch vor neuen Herausforderungen, da mehr und mehr erneuerbare Energien (Photovoltaik, Wind) eingespeist werden. Das bedeutet, Niederspannungskunden sind nicht mehr ausschließlich Verbraucher, sondern auch Erzeuger. Zudem ändert sich das Lastverhalten durch neuartige Verbrauchsgeräte (etwa Wärmepumpen, Elektromobilität). Diese versorgungsaufgabenbezogenen Veränderungen

führen zu neuartigen Last- und Erzeugungsprofilen und zu einer höheren Netzbelastung. Diese kann sich in Spannungsbandverletzungen oder Grenzstromüberschreitungen widerspiegeln und motiviert Netzausbaumaßnahmen. Für die Ermittlung der entsprechenden NEPLAG sind diese neuen Profile zu berücksichtigen. Für den Netzausbau steht neben konventionellen Betriebsmitteln (Verstärkung des Ortsnetztransformators [ONT]) oder dem Leitungsausbau zunehmend auch eine Vielzahl neuer Alternativen zur Verfügung, die im Folgenden als innovative Betriebs-

mittel (BM) bezeichnet werden. Hier sind z. B. zu nennen: der regelbare Ortsnetztransformator (rONT), andere spannungsregelnde Komponenten oder die netzorientierte Beeinflussung des Kundenverhaltens. Welche davon bei der Behebung des Netzausbaubedarfs zusätzlich verwendet werden können, ist zu erörtern.

Ziele

Insgesamt wird die Aufgabe der Netzplanung komplexer. Hier setzt das Verbundprojekt „Netzplanung“ an. Sein Ziel ist, die bisherigen NEPLAG auf die neuartige Versorgungsaufgabe hin zu überarbeiten bzw. zu erweitern und dabei innovative Betriebsmittel zu erproben. Dabei ist die Beantwortung der Frage, ob angesichts der vielen Freiheitsgrade und Einflussfaktoren eine Formulierung von NEPLAG überhaupt noch gelingen kann, ein wesentliches Ziel. Dazu ging man nach der in Abbildung 59 dargestellten dreistufigen Gesamtmethodik vor.

Mit den erstellten neuen Last- und Erzeugungsprofilen können die zukünftigen Versorgungsaufgaben realer Ausschnitte des INFRAWEST-Netzes sowie synthetischer Testnetze verschiedener Gebietsmerkmale für verschiedene Szenarien modelliert werden. Ein neu entwickeltes Planungstool optimiert die Auswahl der Betriebsmittel, die zur Einhaltung der technischen Randbedingungen notwendig sind. Nach einer anschließenden Analyse der verschiedenen Planungsergebnisse werden die NEPLAG abgeleitet.

Bei der Planung von Mittel- und Niederspannungsnetzen (MS-/NS-Netzen) hat es sich bewährt, mit sogenannten Netzplanungsgrundsätzen (NEPLAG) zu arbeiten.

Arbeiten

Definition und Auswahl der Netze

Die Definition und Auswahl repräsentativer Netze und Versorgungsaufgaben ist der erste Schritt der Gesamtmethodik. Für die Versorgungsaufgabe müssen Annahmen hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung der Last und Einspeisung getroffen werden. Dazu wurden Modelle für eine Versorgungsaufgabe im Jahr 2030 (unterschieden nach einem durch die Einwohnerdichte bestimmten Gebietsmerkmal) erarbeitet. Um die Bandbreite an repräsentativen Netzen abzubilden, sind verschiedene Netztypen, auch anhand des Gebietsmerkmals unterschieden, berücksichtigt (Abbildung 60).

Die Kennzahl „Einwohner pro Fläche“ klassifiziert, ob es sich um ein ländliches, dörfliches oder städtisches Netz handelt. Mischformen gibt es ebenfalls und werden berücksichtigt. Ausgehend von einer deutschlandweiten, postleitzahlscharf aufgelösten Datengrundlage über Fläche, Einwohnerzahl, Wind- und PV-Einspeisung [1] wurden



Abbildung 59: Gesamtmethodik FGH

zu jedem in obiger Abbildung dargestellten Gebietstyp ein oder mehrere Verteilnetztypen definiert. Eine Möglichkeit, ein repräsentatives PLZ-Gebiet des jeweiligen Gebietstyps aufzufinden, ist das sogenannte Clustering [2].

Für die konventionelle Netzplanung wurden bei der INFRAWEST anhand der Gebietsmerkmale verschiedene reale Netzgebiete mit unterschiedlichen Netztypen identifiziert und für die Planung mit der FGH ausgetauscht. Diese realen Netzgebiete spiegeln ein städtisches, ein vorstädtisches und ein gewerbliches Versorgungsgebiet wieder. Mit einem hohen Detaillierungsgrad (vom Mittelspannungsnetz bis zum Hausanschlusskasten) sind die jeweiligen Verteilnetze von INFRAWEST mit dem Netzberechnungsprogramm NEPLAN nachgebildet worden. Die angeschlossenen Verbraucher und Erzeuger wurden dabei analysiert, anhand der erarbeiteten Netzmodelle auf die Versorgungsaufgabe 2030 angepasst und jeweils einzelnen Hausanschlussknoten zugeordnet. Das umfangreiche

Netzberechnungsmodell ist die Grundlage für die Planung der realen Netze.

Repräsentative synthetische Netze wurden auf Basis der jeweiligen postleitzahlbezogenen Wind-/Photovoltaikeinspeisung sowie der Bevölkerungsdichte in den Strukturen der jeweiligen Gebietstypen mit den existierenden Einspeisungen und Verbrauchern aufgebaut. Die Entwicklung der zukünftigen Versorgungsaufgabe bis 2030 wurde in diesen synthetischen Netzen für die Lastprofile ebenfalls entsprechend berücksichtigt. Nachdem die Netzstruktur aufgebaut und der Verbrauch platziert worden ist, wird ein iterativer Zubau von Erzeugungsanlagen simuliert. Hierzu werden auf Basis von Verteilungsfunktionen die Technologie sowie die Anschlussspannungsebene (MS, NS) beschrieben, diese Parameter werden probabilistisch bestimmt. Anschließend wird aus einer weiteren, von diesen Parametern abhängigen Verteilungsfunktion die Anlagengröße gezogen. Nach jeder platzierten Erzeugungsanlage wird über eine komplexe Lastflussberech-

nung ermittelt, ob Spannungsbandverletzungen oder Grenzstromüberschreitungen auftreten. Tritt die erste Grenzwertverletzung auf, ist die Netzanschlusskapazität ermittelt, die das Netz ohne Netzausbaumaßnahmen aufnehmen kann. Ausgehend von diesem Fall werden anschließend zwei Ausbauvarianten erzeugt, die 50 % bzw. 100 % mehr EE-Leistung enthalten als die Netzvariante ohne zusätzliche EE-Leistung. Dieses von der FGH entwickelte Vorgehen soll die große Bandbreite an möglichen zukünftigen Versorgungsaufgaben abbilden.

Optimierungsproblem „Netzplanung“

Das Ziel der Netzplanung ist es, für ein zukünftiges Netz die Netzausbaumaßnahmen abzuleiten, die zur Einhaltung der technischen Randbedingungen notwendig und zugleich am wirtschaftlichsten sind. Alle für den Netzplanungsprozess relevanten Aspekte veranschaulicht Abbildung 61.

Durch den Zuwachs von Last oder Erzeugung können sich im zukünftigen Netz Strom- und Spannungsgrenzwertverletzungen einstellen. Eine maßgebende Anforderung an die Netzplanung ist die Einhaltung der technischen Randbedingungen.

Analyse der technischen Randbedingungen

Die technischen Randbedingungen in Verteilnetzen umfassen Grenzwerte für Strom und Spannung. Diese stellen die Nebenbedingungen für das Optimierungsproblem dar und werden im Folgenden genauer beschrieben.

- Thermischer Grenzstrom

Der thermische Grenzstrom ist der maximale Strom, der durch das Betriebsmittel fließen kann, ohne dass dieses aufgrund von Überhitzungen beschädigt wird. [3]

- Spannungsband

In der MS- und NS-Ebene gilt die Norm DIN EN 50160. Diese gibt vor, dass die 10-Minuten-Mittelwerte der Spannung bei Endkunden um maximal $\pm 10\%$ von der Nennspannung U_{nenn} (bzw. der vereinbarten Versorgungsspannung) der jeweiligen Spannungsebene abweichen darf. Im Rahmen des konventionellen Planungsprozesses (reale Netze der INFRAWEST) sind außerdem die BDEW-Mittelspannungsrichtlinie, die eine maximale Spannungsänderung durch Erzeugungsanlagen von 2 % vorgibt, sowie die VDE-Anwendungsregel AR-N-4105, die eine maximale Spannungsänderung durch Erzeugungsanlagen in einem NS-Netz von 3 % als zulässig definiert, zu berücksichtigen.

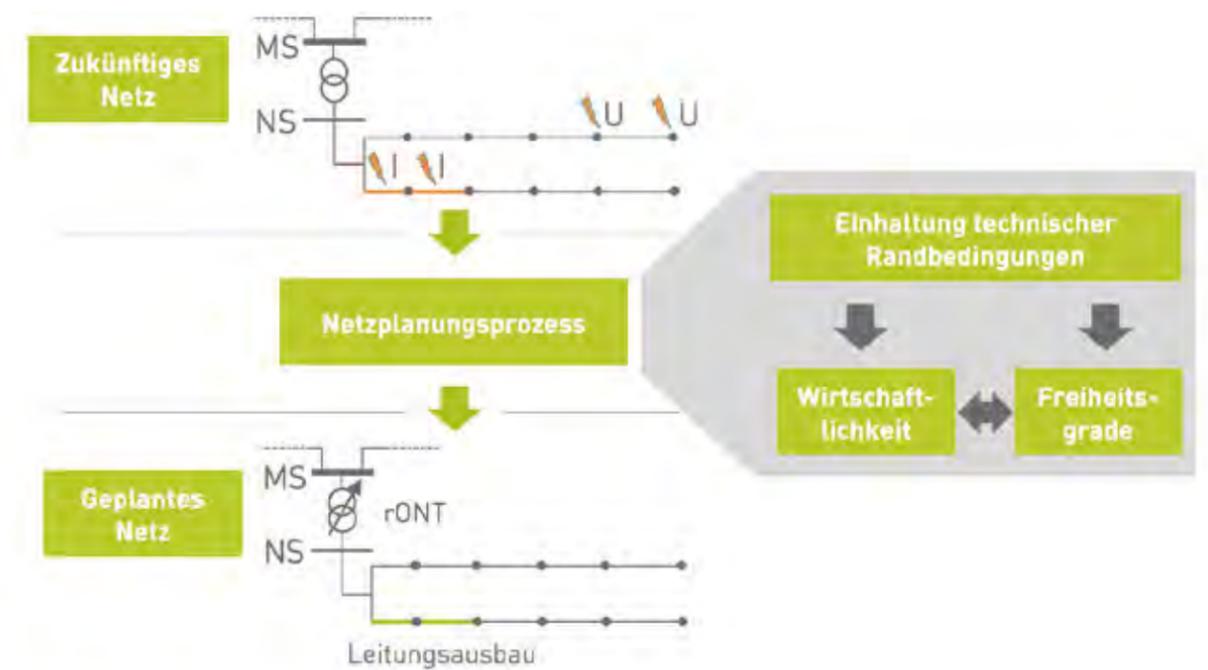


Abbildung 61: Netzplanungsprozess; FGH



Abbildung 60: Gebietsmerkmale verschiedener Netztypen; FGH

Analyse der planerischen Freiheitsgrade

Zur Einhaltung der technischen Randbedingungen stehen dem Netzplaner verschiedene Freiheitsgrade zur Verfügung. Die technologische Entwicklung hat eine Vielzahl konventioneller und innovativer Handlungsoptionen zur Netzoptimierung in allen Spannungsebenen hervorgebracht. Die im Rahmen des Projekts als relevant identifizierten Handlungsoptionen sind in Abbildung 62 dargestellt.

Neben konventionellen und innovativen Primärbetriebsmitteln, wie z. B. Leitungen, rONTs oder Speichern, können auch betriebliche Maßnahmen getroffen werden, wie z. B. die Fahrweise einzelner Erzeuger (Einspeisemanagement [ESM]) oder Lasten (Demand-Side-Management [DSM]). Die in Abbildung 62 gezeigte Tabelle stellt dar, inwiefern die Maßnahmen einen Beitrag zur Einhaltung der technischen Randbedingungen leisten.

Wirtschaftlichkeit

Die Nutzung dieser Freiheitsgrade ist für den Netzbetreiber mit unterschiedlichen Investitionen und operativen Kosten verbunden. Ziel der Netzplanung ist es, aus dem Kreis der technisch gültigen Netze das kostengünstigste zu identifizieren, um eine hohe Effizienz zu erreichen. Die Zielfunktion des vorliegenden Optimierungsproblems ist es, die Summe aus Investitionen und operativen Kosten möglichst gering zu halten. Hierbei wird eine technisch-wirtschaftliche Optimierung durchgeführt, was bedeutet, dass regulatorische Aspekte vernachlässigt und die kostentechnisch günstigste Netzkonfiguration ermittelt wird. Die Kosten für einzelne Freiheitsgrade werden in umfangreichen Analysen, Recherchen und im Austausch zwischen den Projektpartnern abgestimmt.

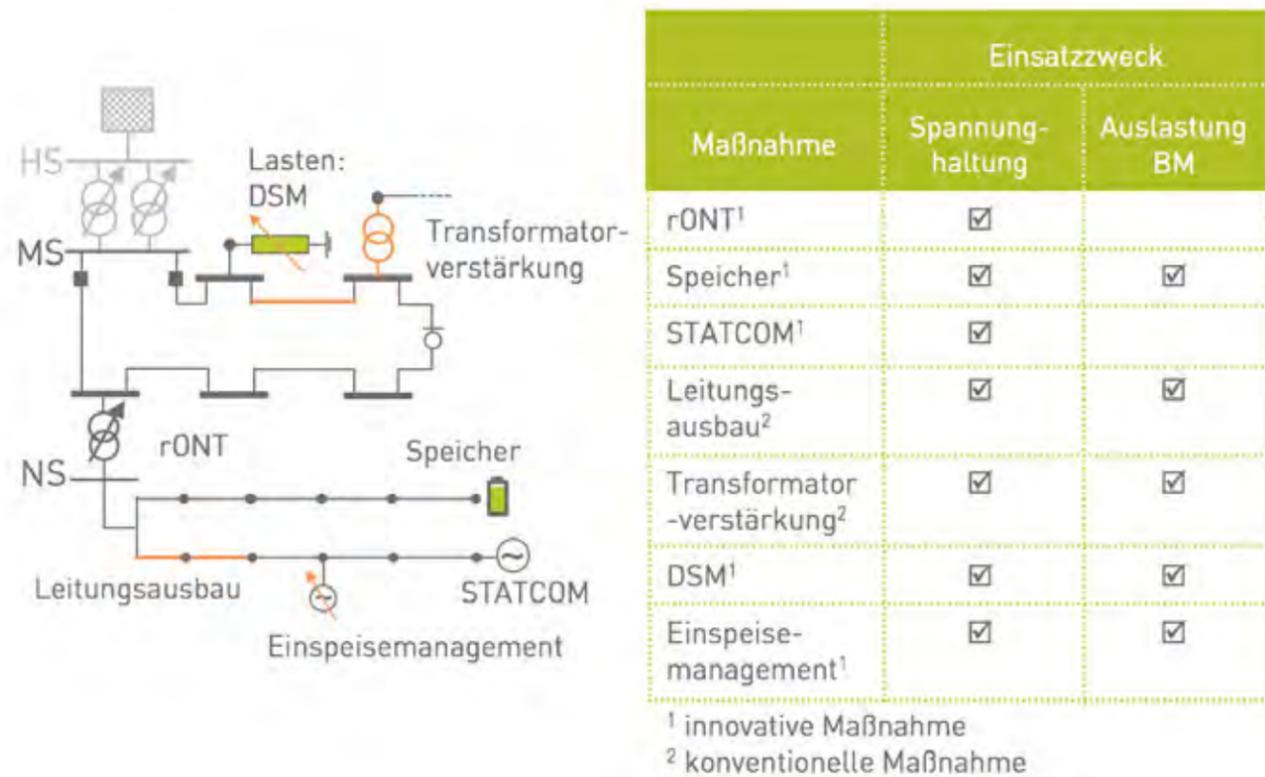


Abbildung 62: Projektrelevante Betriebsmittel und betriebliche Maßnahmen; FGH

Auswahl des Optimierungsverfahrens

Die technischen Randbedingungen durch Ausnutzen der planerischen Freiheitsgrade einzuhalten und gleichzeitig die Kosten zu minimieren stellt ein Optimierungsproblem dar. Die in diesem Forschungsprojekt identifizierte hohe Anzahl an Freiheitsgraden durch die dargestellten innovativen Betriebsmittel und -konzepte erhöht die Komplexität des benötigten Optimierungsverfahrens. Daher hat die FGH im Rahmen des Projektes ein Optimierungsverfahren auf Basis eines genetischen Algorithmus zur Netzplanung entwickelt [4].

Die hohe Anzahl von Freiheitsgraden ergibt eine große Menge von Lösungen verschiedener Kosten-Betriebsmittel-Kombinationen. Jede Kombination stellt eine Menge an ganzzahligen Entscheidungen dar, etwa die, ob eine Leitung ausgebaut wird oder nicht. Neben der hohen Anzahl von Freiheitsgraden und der daraus resultierenden Menge

von möglichen Lösungen gibt es auch Wechselwirkungen zwischen den Wirkungsweisen der Betriebsmittel. Wie in Abbildung 63 exemplarisch gezeigt, kann es günstiger sein, statt Leitungsausbau einen rONT einzusetzen. Weiterhin existieren Wechselwirkungen zwischen dem Einsatz von Betriebsmitteln in der MS- und NS-Ebene. Diese Menge an möglichen Lösungen und besonders der Einfluss der Wechselwirkungen zwischen den Entscheidungen führen zu Anpassungen des Grundprinzips des genetischen Algorithmus, welche die Anforderungen des Optimierungsproblems berücksichtigen. Wie in Abbildung 63 gezeigt, findet der genetische Algorithmus eine günstigere Lösung als die Ausgangslösung, indem er eine ganzzahlige Entscheidung zufällig ändert. Die erwähnten Anpassungen steuern den Zufallsprozess, um die Lösungsfindung zu beschleunigen, dürfen aber gleichzeitig keine Lösung vordefinieren.

Diese Lösung wird im Anschluss als neue Ausgangslösung der nächsten Iteration des Optimierungsprozesses übergeben. Dieses Vorgehen wird so lange iterativ wiederholt, bis die günstigste Lösung gefunden ist. Das gesamte innovative Optimierungsverfahren konnte mit der konventionellen Netzplanung der INFRAWEST für die Versorgungsaufgabe 2030 anhand von zwei realen Netzen verglichen werden. Über die Planung der realen Netzgebiete konnte das innovative Planungsverfahren an die realen Bedingungen angepasst und verfeinert werden. Gleichzeitig verifiziert der Vergleich das Optimierungsverfahren.

Analyse der Planungsergebnisse und Ableitung der NEPLAG

Im letzten Schritt der in Abbildung 59 gezeigten Gesamtmethodik werden die Planungsergebnisse analysiert, um NEPLAG abzuleiten. Über Einzelbetrachtungen konkreter Netzplanungsergebnisse wird der Betriebsmitteleinsatz ingenieurstechnisch analysiert, um daraus Schlussfolgerungen über die

Verwendungsmöglichkeiten innovativer Betriebsmittel zu ziehen und Erkenntnisse für die Formulierung der NEPLAG zu generieren. Um die hohe Anzahl an Netzplanungsergebnissen gleichzeitig untersuchen zu können, wird eine statistische Datenanalyse herangezogen, die sogenannte Diskriminanzanalyse [5]. Dabei werden Wirkungszusammenhänge zwischen netzbezogenen Parametern (etwa der Länge der Abgänge oder der angeschlossenen Anlagenleistung eines NS-Netzes) und den eingesetzten Betriebsmitteln ermittelt. Beispiel für einen NEPLAG wäre die Aussage, ab welcher Kombination aus Anschlussleistung und Länge der Abgänge ein rONT im NS-Netz eingesetzt werden kann.

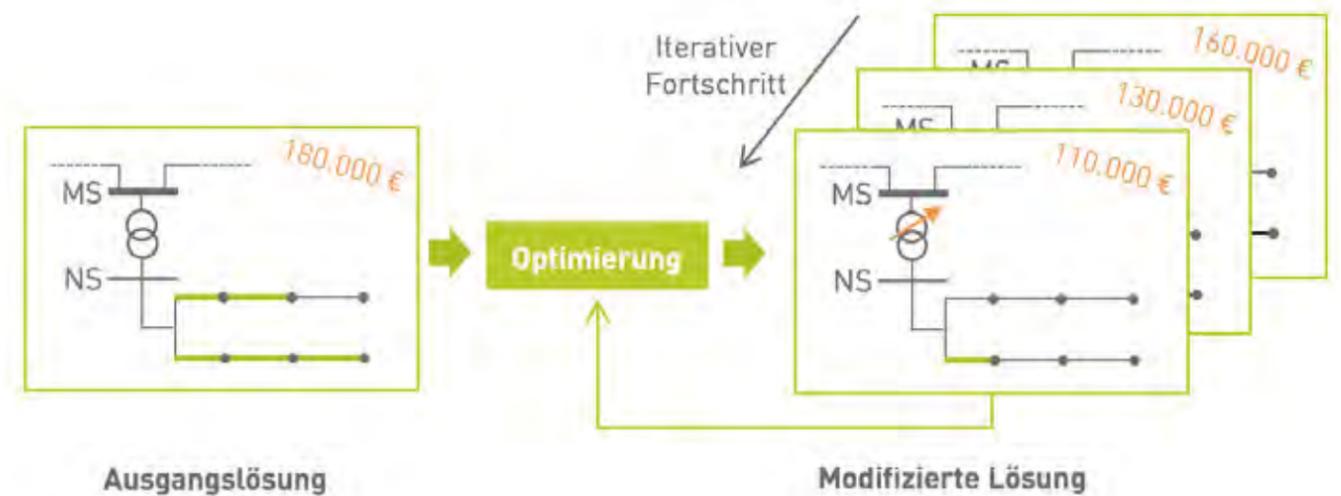


Abbildung 63: Schematischer Ablauf des Optimierungsverfahrens; FGH

Ergebnisse

Wie bereits in der Ziele aufgeführt, werden die NEPLAG über die detaillierte Analyse der Netzplanungsergebnisse abgeleitet. In Abbildung 64 ist dazu das Untersuchungsprogramm veranschaulicht. Im ersten Schritt der Untersuchungen werden die Planungsergebnisse des konventionellen Planungsprozesses der INFRAWEST GmbH mit denen des innovativen Planungstools (FGH) verglichen. Diesen Untersuchungen liegen die realen Versorgungsaufgaben aus dem Netzgebiet der INFRAWEST zugrunde.

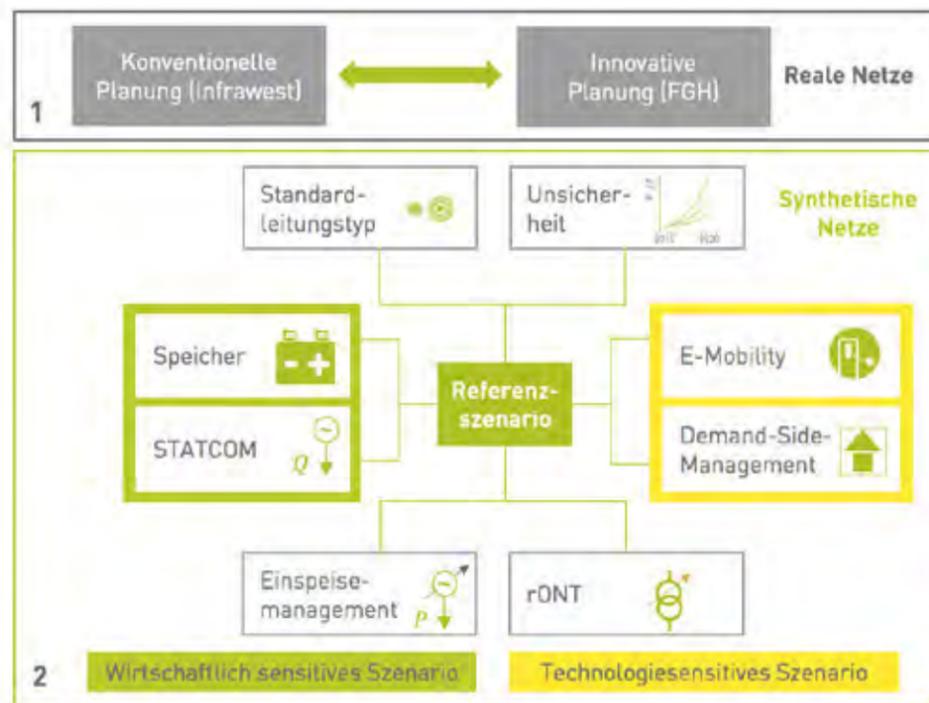


Abbildung 64: Untersuchungsprogramm; FGH

Reale Netze

Das angestrebte Teilziel, konventionelle und innovative Planungsergebnisse der realen Netzausschnitte miteinander zu vergleichen, hat bereits in der Entwicklungsphase des Optimierungsprogramms zu einem engen Abstimmungsprozess zwischen der optimierenden Methodik und dem realen Netzplanungsprozess geführt. Der zum

Beispiel für den realen Netzplanungsprozess bedeutende Teilprozess, in dem simuliert wird, dass ein ONT ausfällt und anschließend das unterlagerte NS-Netz durch die benachbarten NS-Netze wiederversorgt wird, wurde in vereinfachter Form in die Modellierung des Optimierungsprozesses des entwickelten Verfahrens aufgenommen. Sowohl der konventionelle als auch der innovative Planungsprozess

haben ergeben, dass der Netzausbaubedarf des innerstädtischen Bestandsnetzes und auch des vorstädtischen Neubaugebiets wirtschaftlich mit konventionellen Betriebsmitteln behoben werden kann. Beide Planungsarten bringen einen ähnlichen Betriebsmittelaufwand hervor, der sich nur durch den leicht abgeänderten Ansatz der Ausfallsimulation begründen lässt. Folglich lässt sich auf Basis der Auswertung und des Vergleiches der Planungsergebnisse der realen Netzausschnitte folgender NEPLAG formulieren:

IN STÄDTISCHEN VERTEILNETZEN IST DER STANDARDISIERTE EINSATZ INNOVATIVER BETRIEBSMITTEL ZU HEUTIGEN KOSTEN KEINE WIRTSCHAFTLICHE OPTION.

Im Rahmen der Entwicklung der zukünftigen Versorgungsaufgabe der realen Netzbereiche und auch der synthetischen Netze wurde der steigende Anteil an Elektromobilität berücksichtigt. Um den durch Elektromobilität entstandenen Netzausbaubedarf zu decken, werden sowohl in den realen Netzen als auch in den synthetischen Netzen keine innovativen Betriebsmittel verwendet. Ursächlich dafür ist der Aspekt, dass zusätzliche Last durch Ladesäulen überwiegend Grenzstromüberschreitungen (vor allem von Transformatoren, aber auch von Kabeln) verursacht. Folglich lässt sich ein weiterer NEPLAG formulieren:

DA ELEKTROMOBILITÄT HAUPTSÄCHLICH GRENZSTROMÜBERSCHREITUNGEN VERURSACHT, IST KONVENTIONELLER NETZAUSBAU IN DIESEM FALL DIE WIRTSCHAFTLICHSTE HANDLUNGSOPTION.

Synthetische Netze

Der zweite Schritt des in Abbildung 64 dargestellten Untersuchungsprogramms ist die Analyse der durch die FGH erstellten synthetischen Verteilnetze. Die Fragen des Referenzszenarios sowie der sieben Sensitivitätsuntersuchungen sind folgende:

- Referenzszenario: Welche konventionellen und innovativen Betriebsmittel werden relevant?
- DSM und Elektromobilität: Stellt DSM ein Werkzeug für die Netzplanung dar? Müssen die NEPLAG im Kontext der Elektromobilität angepasst werden?
- Speicher und STATCOM: Bei welchen Kosten werden diese kostenintensiven Betriebsmitteln relevant und wo und in welchen Netztypen werden Speicher bzw. STATCOMs eingesetzt?
- Standardleitungstyp: Sind mehrere Standardleitungstypen sinnvoll?
- Unsicherheit: Welchen Einfluss hat Unsicherheit auf die Robustheit der Netzplanung?
- Einspeisemanagement: Stellt Einspeisemanagement als betriebliche Maßnahme eine Alternative zu den innovativen Primärbetriebsmitteln dar?
- rONT: Wann ist der Einsatz eines regelbaren einem konventionellem ONT in Kombination mit Netzausbau vorzuziehen?

Die aufgelisteten Untersuchungen wurden auf 14 synthetische Netze angewendet mit insgesamt 610 NS-Netzen, wobei durch Variation der untersuchungsspezifischen Eingangsdaten ca. 450 einzelne Szenarien berechnet wurden. Im Folgenden wird die Bewertung der Sensitivitäten der Netzplanungsergebnisse sowie die anschließende Ableitung der NEPLAG ausgeführt. Dazu werden zunächst der Netzausbaubedarf bzw. die Grenzwertverletzungen der synthetischen NS-Netze aller untersuchten Versorgungsaufgaben gemäß Abbildung 65 herangezogen.

Je städtischer ein NS-Netz ist, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass bei zukünftiger Versorgungsaufgabe der ONT überlastet ist. In städtischen Netzen werden in der Regel Transformatoren mit Nennleistungen von 630 kVA eingesetzt. Um das Auslastungsproblem zu lösen, muss hier ein weiterer oder ein größerer Transformator

eingesetzt werden. Ein rONT kann in diesem Fall nur eingesetzt werden, um eventuelle Spannungsgrenzwertverletzungen in diesen Netzen zu beheben, wenn Baugrößen oberhalb von 630 kVA vorhanden sind. Dieser Aspekt wird im Projekt aber nicht berücksichtigt.

In ländlichen Netzen hingegen ist durch hohe Abgangslängen die Spannungsbandverletzung an Knoten der NS-Ebene der wesentliche Treiber für den Netzausbau. In 6 % dieser Netze stellen innovative Betriebsmittel die wirtschaftlichste Lösung zur Behebung des Netzausbaubedarfs dar und werden vom Planungstool eingesetzt. Beispielhaft sind in Abbildung 66 das Mengengerüst und die Gesamtkosten eines synthetischen ländlichen Netzgebietes, geplant mit innovativen und konventionellen Betriebsmitteln, dargestellt.

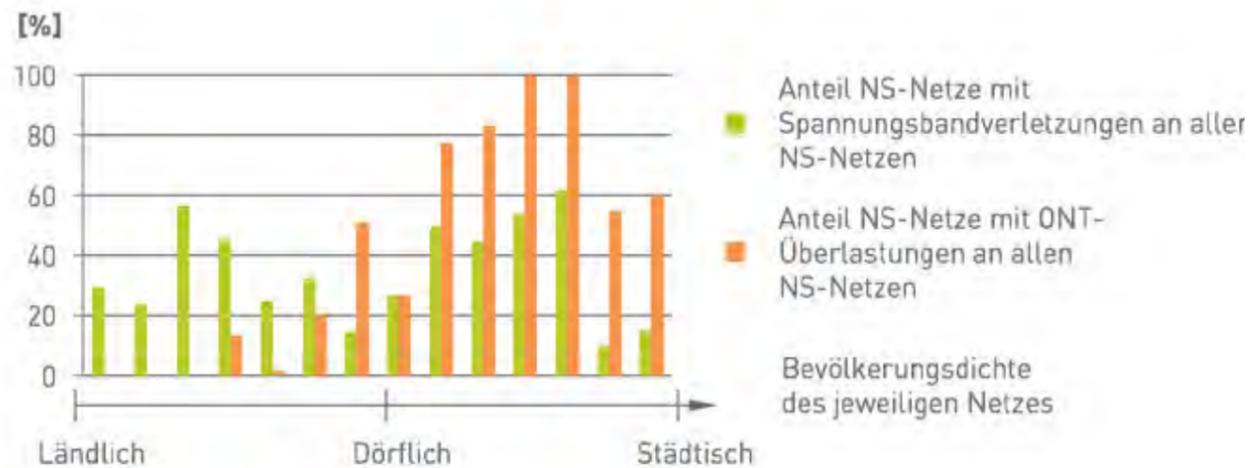


Abbildung 65: Grenzwertverletzungen der untersuchten Verteilnetze ohne Netzausbau; FGH

Der Vergleich der Planungsergebnisse zeigt, dass die hier eingesetzten rONTs den Leitungsausbau in der NS-Ebene deutlich reduzieren. Die annuitätischen Netzkosten des innovativen Planungsergebnisses dieser exemplarischen Versorgungsaufgabe und des Ausgangsnetzes sind etwa 14 % geringer als die Netzkosten des Planungsergebnisses mit konventionellen Betriebsmitteln (Abbildung 67).

Die eingesparten Kosten des Leitungsausbaus der MS-Ebene stellen dabei den größten Reduktionsfaktor dar. Eine Verwendung innovativer Betriebsmittel kann also eine wirtschaftlichere Lösung darstellen als eine rein auf konventionellen Betriebsmitteln basierte Planung. Als NEPLAG lässt sich daher ableiten:

IN LÄNDLICHEN VERTEILUNGSNETZEN IST DER EINSATZ VON INNOVATIVEN BETRIEBSMITTELN (INSBESONDERE VON rONT) ALS WIRTSCHAFTLICHE OPTION ZU PRÜFEN.

Planungsart	Eingesetzte Betriebsmittel						Kosten [€/a]
	rONT	STATCOM	Speicher	Ltg.-Ausbau MS [km]	Ltg.-Ausbau NS [km]	Verstärkter ONT	
innovativ	7	0	0	4.91	0.6	19	58117
konventionell	0	0	0	6.77	1.55	24	67257

Abbildung 66: Vergleich von Mengengerüst und Netzkosten von konventionellen und innovativen Betriebsmitteln; FGH

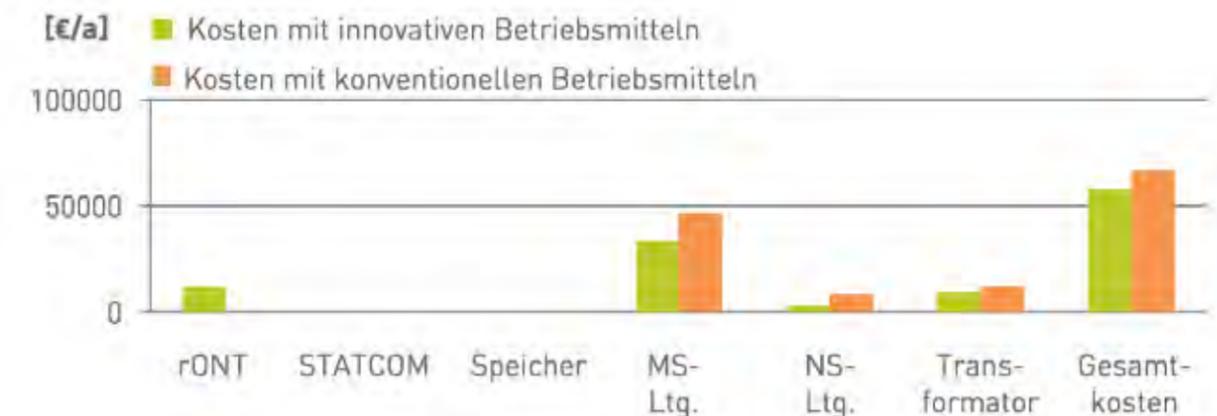


Abbildung 67: Betriebsmittelscharfer Kostenvergleich bei Einsatz von konventionellen oder innovativen Betriebsmitteln; FGH

Betrachtung der Unsicherheit im Zubau der EE-Anlagenleistung

Auch die Unsicherheit in der Entwicklung von Last und Einspeisung von Versorgungsaufgaben wird im Rahmen einer Sensitivitätsuntersuchung behandelt. Dazu werden jeweils die in Kapitel Arbeiten beschriebenen Ausbauvarianten der Versorgungsaufgaben im Rahmen des Planungsverfahrens herangezogen. In Abbildung 68 sind die Kosten der jeweiligen Ausbauvariante von zwei exemplarischen ländlichen Verteilernetztypen, geplant mit innovativen und konventionellen Betriebsmitteln, gegenübergestellt.

Bei beiden Versorgungsaufgaben ist zu erkennen, dass in der Ausbauvariante mit 50 % zusätzlicher EE-Leistung (bezogen auf das Ist-Netz) die Kosten der beiden Planungen nahezu identisch sind. Wird die 100-Prozent-Variante betrachtet, liegen die Kosten des innovativen Planungsergebnisses aber unter denen des mit konventionellen Betriebsmitteln erreichten Ergebnisses. Die Betrachtung der Unsicherheit über den Zubau der EE-Anlagenleistung zeigt, dass die Wahl der Betriebsmittel einen Einfluss auf die zukünftige Wirtschaftlichkeit hat. Bei hoher Unsicherheit über den Anlagenzubau ist das betroffene Verteilnetz frühzeitig zu analysieren und

die Planung durch mehrere Szenarien abzusichern. Dabei kann sich, wie in Abbildung 68 dargestellt, der kostensparende Effekt der innovativen Betriebsmittel in einzelnen Szenarien zeigen. Dies konnte in mehreren ländlichen Versorgungsaufgaben festgestellt werden.

Die im Rahmen der anderen Sensitivitätsuntersuchungen abgeleiteten NEPLAG sind in der folgenden Abbildung 69 dargestellt.

BEI HOHEN UNSICHERHEITEN HINSICHTLICH DES ZUKÜNFTIGEN ZUBAUS DER EE-ANLAGENLEISTUNG KÖNNEN INNOVATIVE BETRIEBSMITTEL EINE WIRTSCHAFTLICHE LÖSUNG SEIN.

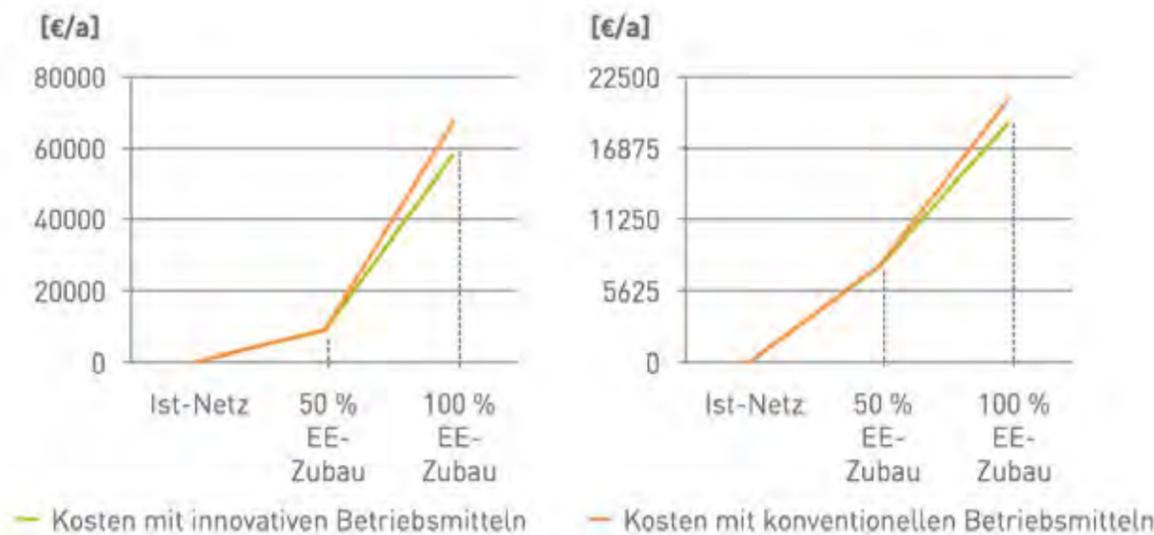


Abbildung 68: Netzkosten in verschiedenen Ausbaustufen ländlicher Versorgungsaufgaben; FGH

Untersuchungsart	Abgeleiteter NEPLAG
Standardleitungstyp	Die Auswahl von einem Standardleitungstypen ist sinnvoll
STATCOM	Bei aktueller Kostensituation ist der Einsatz von STATCOMs nicht wirtschaftlich
Speicher	Bei aktueller Kostensituation ist der Einsatz von Netzspeichern ohne zusätzliche Vermarktung nicht wirtschaftlich
DSM	In städtischen Netzen reduziert DSM bei flächendeckendem Einsatz den Netzausbau
Einspeisemanagement	Die Einführung von Einspeisemanagement reduziert Netzausbau
Referenzszenario	Bei jedem spannungsbedingten Netzausbau ist der Einsatz eines rONT zu prüfen
Referenzszenario	Der rONT kann auch MS-Netzausbau substituieren

Abbildung 69: Zusammenfassung weiterer abgeleiteter NEPLAG; FGH

Zusammenfassung

Aufgrund der hohen Anzahl innovativer Netzbetriebsmittel und -konzepte steigt auch die Anzahl der Freiheitsgrade in der Netzplanung stark an. Zudem müssen die Netze für eine neuartige Versorgungsaufgabe geplant werden. Dadurch ist der Prozess der Netzplanung deutlich komplexer geworden und wird zukünftig noch komplexer werden. Aus diesem Grund können die in der Netzplanung verwendeten klassischen Netzplanungsgrundsätze (NEPLAG), die den Netzplaner bei seinen Aufgaben unterstützen, in ihrer jetzigen Form nicht mehr verwendet werden, sondern müssen weiterentwickelt werden. Daher war es das Ziel dieses Projekts, NEPLAG zu erarbeiten, die innovative Betriebsmittel und -konzepte in der Netzplanung berücksichtigen.

Dafür wurden reale und synthetisch generierte Mittel- und Niederspannungsnetze unter Berücksichtigung der innovativen Netzbetriebsmittel und -konzepte geplant und die Planungsergebnisse einem mit konventionellen Betriebsmitteln geplanten Netzentwurf gegenübergestellt. Die Ergebnisse wurden durch ein neu entwickeltes rechnergestütztes kombinatorisches Optimierungsverfahren generiert und durch Netzentwürfe erfahrener Netzplaner ergänzt. Basierend auf diesen umfänglichen Netzplanungsergebnissen wurden die bestehenden NEPLAG überprüft, überarbeitet und erweitert. Die Ergebnisse geben Hinweise, wie zukünftig NEPLAG für Verteilnetze formuliert werden können.

Die Planungsergebnisse zeigen, dass innovative Betriebsmittel eine wirtschaftliche Option zu konventionellem Netzausbau darstellen. Vor allem in ländlichen Netzen können dadurch Kosten eingespart werden. In städtischen Netzen hingegen ist der konventionelle Netzausbau meistens die wirtschaftlichste Handlungsoption. Es konnte abgeleitet werden, dass einige der untersuchten Betriebsmittel erst bei deutlicher Kostenreduktion in der Netzplanung berücksichtigt werden sollten. Auf Basis der Planungsergebnisse wurden 10 NEPLAG für innovative Betriebsmittel und -konzepte formuliert.

Die Ergebnisse zeigen außerdem, dass NEPLAG aufgrund

der zukünftigen Vielzahl möglicher Handlungsoptionen in der Netzplanung nicht mehr als klare Wenn-dann-Regeln formuliert werden können. Die Wechselwirkungen zwischen konventionellen und innovativen Lösungen, die Unsicherheit der zukünftigen Entwicklung der Versorgungsaufgabe sowie die Vielzahl an weiteren Einflussfaktoren (etwa die historische Netzentwicklung) erhöhen die Komplexität in der Netzplanung so stark, dass zukünftig vermehrt Einzelfallprüfungen notwendig werden. Damit geben die NEPLAG zukünftig keine direkte Auswahl oder kein Vorgehen mehr vor, sondern formulieren vielmehr mögliche Handlungsoptionen und notwendige Prüfungen.

Damit geben die NEPLAG zukünftig keine direkte Auswahl oder kein Vorgehen mehr vor, sondern formulieren vielmehr mögliche Handlungsoptionen und notwendige Prüfungen.



Abbildung 70: Konzeption Neubaugebiet mit Wärmepumpen

Literaturverzeichnis

- [1] Anlagenregister nach § 6 EEG, www.bundesnetzagentur.de/anlagenregister
- [2] Hastie, Trevor; Tibshirani, Robert: "The Elements of Statistical Learning" (2nd ed.), 2009
- [3] Heuck, Dettmann Schulz: „Elektrische Energieversorgung“, 8. Auflage, Vieweg + Teubner Verlag, Hamburg, 2010
- [4] J. Ziegeldorf, S. Patzack, M. Hoven, H. Vennegeerts, A. Moser, R. Frings, 2015, „Innovative Plan-ning Tool for Deriving New Rules for Network Planning“, CIRED, 2015, Lyon
- [5] L. Fahrmeir, A. Hamerle, G.Tutz (Hrsg.), „Multivariate statistische Verfahren“, Berlin, New York, 1996