

Bewertung der Netzverstärkungsmaßnahmen zur Senkung der Nichtverfügbarkeit von Niederspannungsnetzen

Lan LIU¹, Reday SAHEBJAN¹, Gerd BALZER¹, Alois KESSLER²,

¹TU Darmstadt, FG Elektrische Energieversorgung,

Landgraf-Georg-Str. 4, 64283 Darmstadt, Tel.: +49 (0) 6151 16 3252,

²Forschung und Innovation EnBW Energie Baden-Württemberg AG, 76180 Karlsruhe

E-Mail: lliu@eev.tu-darmstadt.de

Kurzfassung:

In dieser Arbeit wird zuerst der aktuelle Zustand der betrachteten Niederspannungsnetze ermittelt. Zuvor muss die Anzahl der Haushalte pro Netzanschluss über Google Earth abgeschätzt und bei der weiteren Analyse mit berücksichtigt werden. Im zweiten Schritt wird die Zuverlässigkeit der Niederspannungsnetze überprüft, wenn die aktuelle Spitzenscheinleistung des Transformators auf Netzanschlüssen ungleichmäßig verteilt ist. Danach werden die Netzverstärkungsmaßnahmen (NV-Maßnahmen) untersucht. Der Fokus liegt dabei auf die Verbesserung der Netzzuverlässigkeit durch notwendige Netzverstärkungsmaßnahmen, wenn sich die Zuverlässigkeit bei Erhöhung der Spitzenscheinleistung durch Elektrofahrzeuge verschlechtert, wichtig ist hier die Nichtverfügbarkeit. Dabei wird anhand zwei Szenarien die Belastung im Netz durch Elektrofahrzeuge gesteigert. Steigt die Nichtverfügbarkeit in einer der Niederspannungsnetze, wird dann die optimale Maßnahme auf Schwachstellen untersucht.

Keywords: Elektrofahrzeug, Nichtverfügbarkeit, Niederspannungsnetz, Netzverstärkung

1 Einleitung

Durch die Emissionen von Verbrennungsfahrzeugen scheint ein dramatischer Klimawandel bevorzustehen. Einen wahrscheinlichen Temperaturanstieg weltweit in diesem Jahrhundert von 2,4°C bis 6,4°C, halten Klimawissenschaftler für möglich [1]. Eine mögliche Lösung zur Einsparungen von CO₂-Ausstoß, der im direkten Zusammenhang mit dem Klimawandel steht, bieten Elektrofahrzeuge [2].

Steigt die Nutzung von Elektrofahrzeugen durch die Bevölkerung an, könnte zukünftig die Versorgungszuverlässigkeit der Niederspannungsnetze darunter leiden, da sie immer mehr belastet und ggf. überlastet werden. Es muss daher detailliert untersucht werden, ob z.B. Netzüberlastungen (Belastbarkeit der Betriebsmittel, z.B. Transformator, Kabel etc.) bzw. Probleme bei der Einhaltung von Spannungsgrenzen (Norm DIN EN 50160) in realen Niederspannungsnetzen durch die zusätzliche Belastung durch Elektrofahrzeuge auftreten können, wodurch sich die Notwendigkeit für entsprechende Netzverstärkungsmaßnahmen ergeben würde.

Seit der Liberalisierung des Energiemarktes im Jahr 1998 und vor allem seit der Einführung der Anreizregulierung im Jahr 2009 sind die Netzbetreiber einem erhöhten Kostendruck ausgesetzt. Sie sind somit gezwungen auch im Bereich Netzverstärkung Kosten zu senken. Um übertriebenen Einsparungen in diesem Bereich entgegenzuwirken, werden seitens des Gesetzgebers, seit dem Jahr 2012 in Deutschland, Kundenausfälle sanktioniert [3]. Das Ziel eines Asset-Managers ist daher, eine kostenoptimale Maßnahme zu finden, mit der die Zuverlässigkeit des Netzes maximiert werden kann.

Für die Hoch- und Mittelspannungsnetze wurden vielfach Untersuchungen zu Kostensenkungsmöglichkeiten durchgeführt. Da der Anteil der Niederspannungsnetze an den gesamten Netzkosten etwa 50 % beträgt, ist es auch hier wichtig, deren Einsparpotentiale aufzudecken [4]. Es stellt sich somit die Frage, in welchem Maße und durch welche Netzverstärkungsmaßnahmen in Niederspannungsnetzen Effizienzsteigerung im Spannungsfeld von Kosten und Qualität realisiert werden können.

Bevor ein Niederspannungsnetz bei Steigerung der Scheinleistung auf Zuverlässigkeit untersucht wird und daraus eventuell notwendige Netzverstärkungsmaßnahmen (NV-Maßnahmen) resultieren, sollte vorher auf die Möglichkeiten von Netzverstärkungsmaßnahmen in Niederspannungsnetze eingegangen werden. Unterschieden werden dabei z.B. zwischen den Netzverstärkungsmaßnahmen [5]:

- Erhöhung von Trafoleistung
- Zubau von Ortsnetzstationen
- Erhöhung des Querschnitts von Kabeln
- Bau von Parallelsystemen
- Einsatz von Kabelverteilerschränken.

Bei der Maßnahme „Erhöhung von Trafoleistung“ bleibt die Anzahl der Ortsnetzstationen konstant, d.h. die Transformatoren in den Ortsnetzstationen werden durch leistungsstärkere ersetzt. Aufgrund des Platzmangels kommt diese Maßnahme meistens in dicht besiedelten Regionen zur Anwendung.

Bei den Netzverstärkungsmaßnahmen „Zubau von Ortsnetzstationen“ werden zusätzliche Ortsnetzstationen zwischen den bereits bestehenden zugebaut, damit die vorhandenen entlastet werden. Diese Maßnahme wird dort eingesetzt, wo genügend Platz zur Verfügung steht, z.B. in Gebieten am Stadtrand oder in Streusiedlungen. Diese Maßnahme wird bei den meisten Netzbetreibern als letzte Lösung betrachtet, da sie sehr kostenintensiv ist.

Unter der Netzverstärkungsmaßnahme "Erhöhung des Querschnitts von Kabeln" versteht man vor allem den Austausch einer bestehenden Leitung durch eine Leitung mit einem höheren Querschnitt. Diese Maßnahme kann angewendet werden, wenn in Netzen ein Kabel überlastet (Überschreitung des zulässigen Bemessungsstroms) ist und die Versorgung der Anschlusskunden durch das Kabel nicht mehr gegeben ist. Durch die Anwendung dieser Maßnahme kann die Nichtverfügbarkeit im Netz verringert werden.

Wird in einem Niederspannungsnetz ein Kabel überlastet und/oder werden die Spannungsgrenzen nicht eingehalten, so wird die betreffende Kabeltrasse durch ein Parallelkabel desselben Querschnitts, von der Netzstation ausgehend verstärkt [6]. Da ein System alleine in der Lage ist, den Gesamtstrom zu übertragen, kann die Anlage auch bei

Ausfall eines Systems ohne Überlastung voll weiterbetrieben werden. Dadurch verringert sich das Ausfallsrisiko [7].

Die Kabelverteilerschränke (KVS) dienen dazu, Schaltstellen in einem Niederspannungsnetz einzubauen. Im Fehlerfall trennen sie unterschiedlichen Netzstrecken von einander ab um den Fehlerort freizuschalten und einzugrenzen. Damit wird erreicht dass ein Teil der Kunden schneller wieder versorgt wird. Außerdem wird durch den Einsatz von Kabelverteilerschränken die Zahl der zu trennenden Anschlüsse eingegrenzt und man spart dadurch Zeit. Somit ist der Kabelverteilerschrank ein wesentliches Element zur Beeinflussung der Zuverlässigkeit und des durch Störungen verursachten Betriebsaufwandes [4].

2 Netzverstärkungsmaßnahmen in Niederspannungsnetzen bei Steigerung der Spitzenscheinleistung

2.1 Grundannahmen

Die fünf zu untersuchenden Niederspannungsnetze im ländlichen Gebiet haben insgesamt 271 Netzanschlüsse. Es wurden insgesamt für die fünf Netze 582 Haushalte identifiziert. Dabei sind an etwa 52% der Netzanschlüsse jeweils ein HH und an etwa 30% der Netzanschlüsse jeweils zwei Haushalte angeschlossen. Außerdem wurden 4 Mehrgeschosswohnungen identifiziert und deren HH über Google Earth abgeschätzt (1X16HH und 3X20HH). Der Anteil der Netzanschlüsse an denen über 9 Haushalte angeschlossen sind liegt bei etwa 3%. Es ergibt sich dann insgesamt für die 5 zur Untersuchung stehenden Netzregionen, folgender Kurvenverlauf der Haushalte/Netzanschluss:

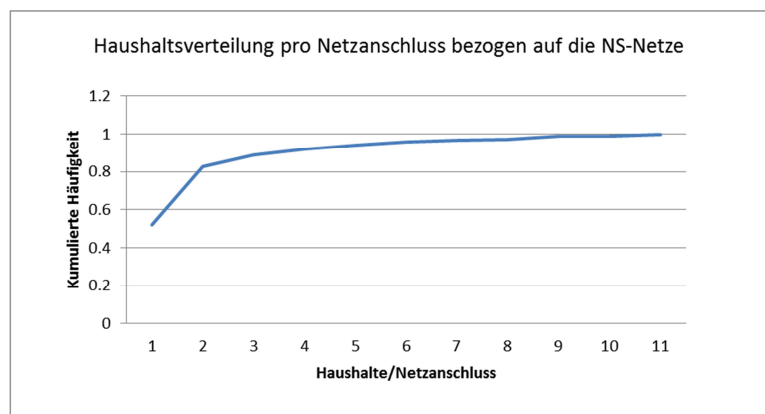


Abbildung 1: Kumulierte Häufigkeitsverteilung

Die Niederspannungsnetze werden anhand zweier Szenarien untersucht (Tabelle 1). Bei den Szenarien wird davon ausgegangen, dass die Last in der Zukunft allein durch Elektrofahrzeuge steigt. Die Batterie der E-Fahrzeuge wird mit 3,7 kW aufgeladen. Es wird von einem E-Fahrzeug pro Haushalt ausgegangen. Entweder 10 % oder 20 % der E-Fahrzeuge werden gleichzeitig aufgeladen. Ausgangspunkt ist die aktuelle Spitzenscheinleistung.

Die Szenarien wurden mit folgenden Daten betrachtet:

	BW	RH	BH	GT	HF
Haushalte	134	153	151	48	116
Szenario 10 % (E-Fahrzeuge)	≈14	15	15	5	≈12
Szenario 20 % (E-Fahrzeuge)	28	30	30	10	24

Tabelle 1: Verteilung der E-Fahrzeuge auf die NS-Netze bei den betrachteten Szenarien

2.2 Zuverlässigkeitsberechnung der NS-Netze mit 10 % und 20 %-Szenario

Die Elektrofahrzeuge werden in diesen Szenarien im Netz zufällig auf Haushalte verteilt und alle Leitungsabgänge des Transformators belastet. Dabei kann pro Netzanschluss mehr als ein Elektrofahrzeug aufgeladen werden, wenn mehr als ein HH an einem Netzanschluss angeschlossen ist. Hier gilt die Annahme, dass in den jeweiligen Szenarien alle Fahrzeuge gleichzeitig aufgeladen.

Untersucht wurden bei beiden Szenarien Insgesamt fünf Niederspannungsnetze auf Zuverlässigkeit. Bei der Simulation der Zuverlässigkeitsberechnung in beiden Szenarien wurde in drei Netzen (BW, RH, GT) keine Veränderung der Nichtverfügbarkeit festgestellt. Auch im HF-Netz ändert sich nicht die mittlere Nichtverfügbarkeit bei 10%-Szenario.

Die Nichtverfügbarkeit ändert sich beim 10%-Szenario im Netz BH Dabei steigt hier bei Erhöhung der Spitzenlast um etwa 44 % die mittlere Nichtverfügbarkeit für das Niederspannungsnetz um 0,657 min/a von 1,475 auf 2,132 min/a (Tabelle 2).

Netz - BH.	Aktuell	10 % Szenario	20 % Szenario
Mittlere Nichtverfügbarkeit (aus MS+NS-Netz) in [min/a]	5,82	6,477	8,257
Mittlere Nichtverfügbarkeit aus MS-Netz in [min/a]	4,345	4,345	4,345
Mittlere Nichtverfügbarkeit aus NS-Netz in [min/a]	1,475	2,132	3,912

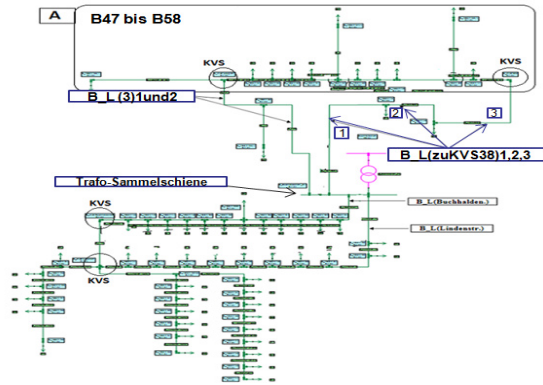
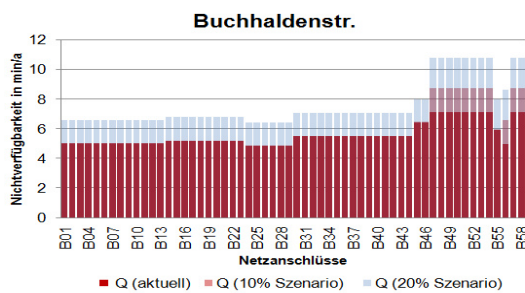
Tabelle 2: Erhöhung der mittleren Nichtverfügbarkeit im NS-Netz **BH** bei Integration der EFZs.

Beim 20%-Szenario ändert sich die mittlere Nichtverfügbarkeit im Netz BH und HF. In der BH steigt der Niederspannungsanteil der mittleren Nichtverfügbarkeit von aktuell auf 20 % - Szenario um 165 % und für die HF beträgt die Steigung 64 %.

2.3 Gründe für die Nichtverfügbarkeitserhöhung im Niederspannungsnetz BH beim 20%-Szenario

Um herauszufinden, wodurch die zusätzliche Nichtverfügbarkeit beim 20%-Szenario im BH-Netz zustande kommt, werden bei der Lastflussberechnung Betriebsmittelausfälle (einfache Ausfälle, hauptsächlich Kabel und Freileitung) simuliert. Ein Betriebsmittel kann ausfallen, wenn es sich im Fehlerbereich befindet und dieser Fehlerbereich durch Sicherungen freigeschaltet werden muss.

20 %-Szenario



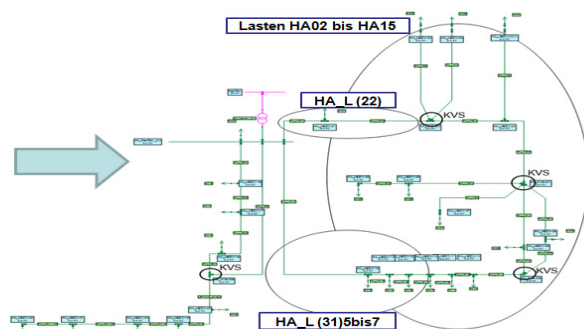
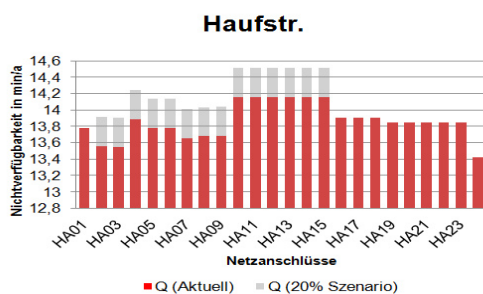
1. Ausfall der Leitung B_L(3)1 und 2 im Fehlerfall
2. Überlastung der Leitungen B_L(zuKVS38)1 und 3 und des Transformators, Verletzung der Spannungsgrenzen an den Knoten B47 bis B58
3. Steigung der Nichtverfügbarkeit an allen Netzknoten

Abbildung 2: Ursachen der Q-Erhöhung im Netz BH

Fällt im Netz BH bei dem 10%-Szenario die Leitung B_L(3) aufgrund eines Fehlers aus, dann kommt es zu einer Überlastung der Leitung B_L(zuKVS38)_3 und zur Überschreitung der Spannungsgrenzen an den Knoten B47 bis B58 (**Abbildung 2**), wodurch diese Knoten unversorgt bleiben. Daher erhöht sich die Nichtverfügbarkeit an diesen Netzanschlüssen, da sie bis zur Fehlerbehebung für eine bestimmte Zeit nicht mehr versorgt werden können.

Dabei konnte bei dem 20%-Szenario festgestellt werden, dass beim Ausfall der Leitung B_L(3)1 und 2 (Länge: 0,176 km) in der **Abbildung 2**, wieder die Leitungen B_L(zuKVS38)1 und 3 und außerdem der Transformator über 100 % belastet werden und das Spannungsband an den Knoten B47 bis B58 nicht mehr eingehalten wird. Die zusätzliche Steigung der Nichtverfügbarkeit an den Anschlüssen B01 bis B44 wird überwiegend durch die Überlastung des Transformators verursacht. Die Erhöhung der Nichtverfügbarkeit an den Netzanschlüssen B45 bis B58 wurde, wenn B_L(3) ausfällt unter anderem durch Überlastung der Leitung B_L(zuKVS38) 1 und 3 verursacht.

20 %-Szenario



1. Ausfall der Leitung HA_L(22) im Fehlerfall
2. Belastung an der Trafo-Sammelschiene naheliegende Kabelabschnitt HA_L(31)5bis7 über 100%
3. Steigung der Nichtverfügbarkeit an den Netzanschlüssen HA02 bis HA15

Abbildung 3: Ursachen der Q-Erhöhung im Netz HF

Die Nichtverfügbarkeit in der HF ändert sich an den Netzanschlüssen HA02 bis HA15. Dabei wird wieder die gleiche Methode angewendet wie oben um herauszufinden, warum die Nichtverfügbarkeit ansteigt. Bei der Lastflusssimulation wurde festgestellt, dass dieser Anstieg durch Ausfall des Kabels HA_L(22) zwischen der Sammelschiene und dem Kabelverteilerschrank verursacht wird.

Die Nichtverfügbarkeit in der HF ändert sich an den Netzanschlüssen HA02 bis HA15 (**Abbildung 3**). Bei Ausfall HA_L(22) im Fehlerfall, ist die Versorgung der Lasten HA02 bis HA15 durch das Kabel HA_L(31) nicht mehr gegeben, da der Kabelabschnitt HA_L(31) 5 bis 7 überbelastet ist und sich dadurch die Nichtverfügbarkeit an diesen Netzanschlüssen erhöht.

2.4 Wichtige NV-Maßnahmen bei dem 20%-Szenario zur Verbesserung der Zuverlässigkeit und dessen Investitionsausgaben

Kostenberechnung der Maßnahmen

Die Annuität ist die von Zinssatz und Laufzeit abhängige jährliche Zahlungsgröße, durch die ein anfänglicher Kreditbetrag während der Darlehenslaufzeit einschließlich Zinsen getilgt wird [8]. Sie wird wie folgt berechnet:

$$A = K_0 \cdot \frac{q^n (q-1)}{q^n - 1} \quad (2.1)$$

K_0 – Anfangsinvestition

n – Anzahl der Perioden des gesamten Betrachtungszeitraumes

q – Aufzinsungsfaktor

i – Zinssatz

Die Kabelkosten (inklusive Material, Montage, Dokumentation, Schaltmaßnahmen und Kabelprüfung) betragen im Durchschnitt hier 22 €/m, dazu kommen noch die Kabelgrabenkosten 35 €/m [9]. Die gesamte Kabelkosten betragen hier 57 €/m. Der Kostenfaktor zwischen der Freileitung und der Kabel im Niederspannungsnetz beträgt im Durchschnitt etwa 1:1,25 [10]. Hier liegen die Gesamtkosten für die Freileitung bei fast 71 €/m.

Freileitung und Kabel haben im Niederspannungsnetz eine Lebensdauer von über 40 Jahren [11][12]. Ein KVS kostet im Durchschnitt 2400 € und hat eine Lebensdauer von ca. 40 Jahren [9]. Für die Berechnungen der Kosten wird ein Zinssatz von 4 % angenommen.

Der Bonus berechnet sich wie folgt [13]:

$$\text{Bonus / Malus} = \Delta Q \cdot \text{Anzahl der Letztverbraucher} \cdot 0,18 \text{ € / Kunde / a} \quad (2.2)$$

Das Niederspannungsnetz BH

Nachdem die Hauptgründe der Nichtverfügbarkeitserhöhung bekannt sind, kann im nächsten Schritt die möglichen NV-Maßnahmen angewendet werden. Dabei wurden bei dem 20%-Szenario im BH-Netz zwei Netzverstärkungsmaßnahmen in Betracht gezogen, um die oben

genannten Schwachstellen im Netz zu beheben und damit die Nichtverfügbarkeit zu senken. Entweder der Austausch der überlasteten Leitungsabschnitte durch dickere Kabel (Erhöhung des Querschnitts von Kabeln) vorzunehmen oder die Verstärkungsmaßnahme C, die Verlegung einer Parallelleitung von der Trafo-Sammelschiene zum Punkt A (Bau von Parallelsystemen) (Abbildung 4).

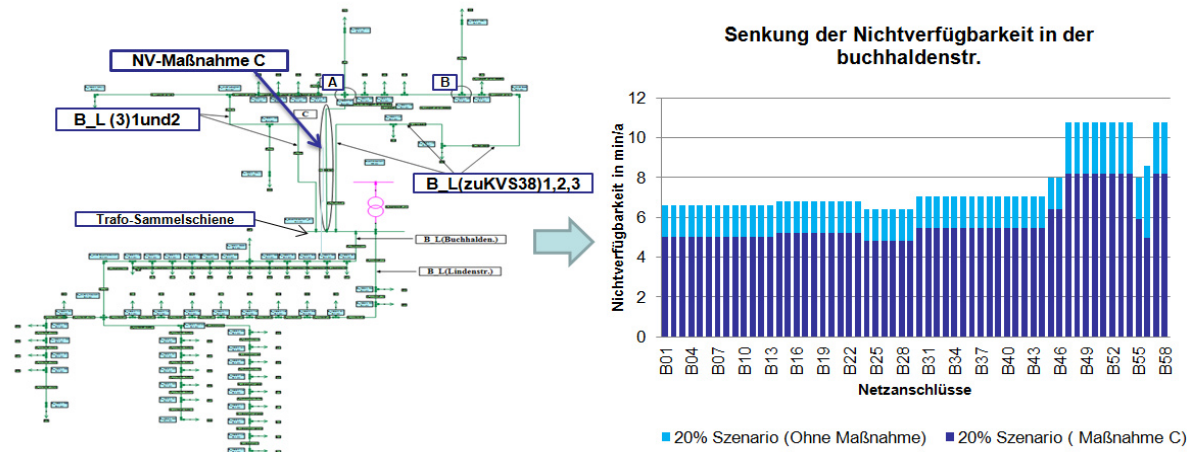


Abbildung 4: Senkung von Q durch NV-Maßnahme C im Netz BH bei dem 20%-Szenario

Die optimale Lösung für das Netz ist die NV-Maßnahme C. Bei der Anwendung dieser Maßnahme kommt es nicht mehr zur Überlastung vom Transformator und den Leitungen im Netz, und die Spannungsgrenzen werden an allen Netzknoten eingehalten, wodurch die Nichtverfügbarkeit an allen Netzanschlüssen gesenkt werden kann (Abbildung 4, rechts).



Abbildung 5: Genaue Darstellung der NV-Maßnahme C im Niederspannungsnetz BH

Die Parallelleitung C sollte insgesamt etwa 217 m lang sein und muss aus zwei Leitungsabschnitten (Kabel und Freileitung) bestehen.

Der zweite Leitungsabschnitt sollte aus Freileitung bestehen, weil hier die Möglichkeit einer direkten Verlegung vom Kabel zum Punkt A nicht besteht, da der Kabel ansonsten durch private Häuser verlegt werden muss. Will man trotzdem den zweiten Abschnitt als Kabel nehmen, müsste man zum Punkt A einen Umweg nehmen wodurch sich die Länge des Kabels und somit auch die Kosten fast verdoppeln würden (Abbildung 5).

Möchte man die Umschaltmöglichkeit in diesem Netz noch weiter erhöhen und damit die Nichtverfügbarkeit noch mehr senken, dann wäre es möglich zusätzlich zu der Maßnahme C im Punkt A (Maßnahme A) und/oder B (Maßnahme B) weitere KVS einzubauen.

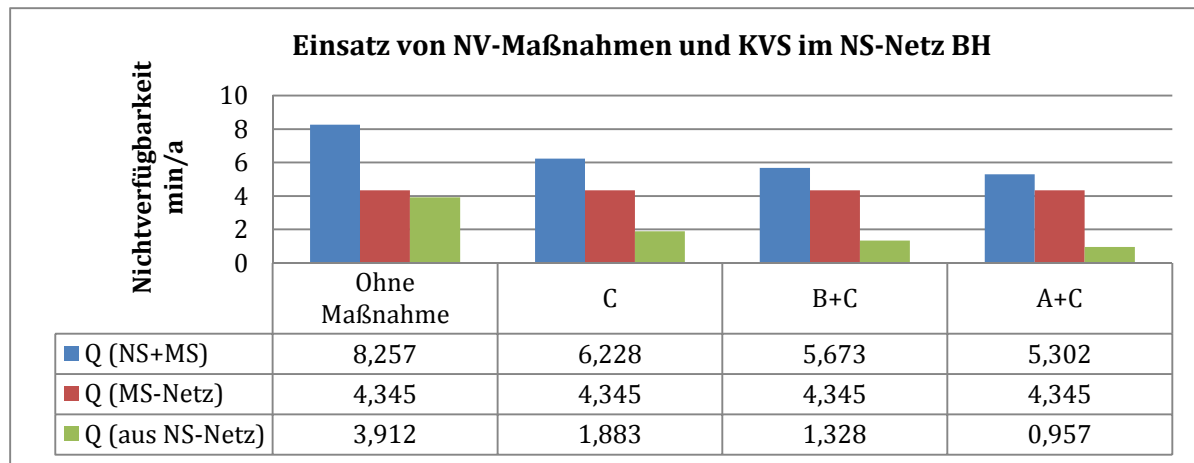


Abbildung 6: Änderung der mittleren Nichtverfügbarkeit beim Einsatz von Umbaumaßnahmen im NS-Netz BH. bei dem 20 %-Szenario

Optimal wäre es zusätzlich zu der NV-Maßnahme C im Punkt A einen KVS einzubauen, da mit dieser Maßnahme die Nichtverfügbarkeit noch mehr gesenkt werden kann als mit der Maßnahme B.

Die gesamten Anfangsinvestitionsausgaben der Netzverstärkungsmaßnahme C betragen 13.629 €. Wenn die Lebensdauer der Leitung mit 40 Jahren angenommen wird, dann liegt hier die Annuität der Maßnahme C bei etwa 689 € pro Jahr (Tabelle 3).

Die gesamten Investitionsausgaben der Maßnahmen A+C (Anwendung von NV-Maßnahme C und Einbau von KVS in der Abzweigstelle A) betragen 16.029 €. Die Annuität für die Maßnahme A+C beträgt etwa 810 € pro Jahr.

Bei der Anzahl der Letztverbraucher handelt sich hierbei um Haushalte aus der Tabelle 1. Dabei ist ΔQ die erreichte Senkung von mittlere Nichtverfügbarkeit bei Anwendung von Netzverstärkungsmaßnahmen.

Bei Anwendung dieser Maßnahmen sinkt die mittlere Nichtverfügbarkeit um etwa 3 min/a (75,5 %), von 3,912 auf 0,957 min/a. Der Bonus für die Senkung der mittlere Nichtverfügbarkeit um 2,955 min/a beträgt 80,317 €.

Maßnahmen	C	B+C	A+C
Anfangsinvestition in [€]	13629	16029	16029
Annuität (A) in [€]	689	810	810
Bonus (B) in [€]	55,148	70,233	80,317
A-B in [€]	633,852	739,767	729,683
ΔQ in [min/a]	2,029	2,584	2,955
(A-B)/ ΔQ in [€/min/a]	312,386	286,288	246,932

Tabelle 3: Vergleich der Maßnahmenkosten und mittlere Nichtverfügbarkeitsabnahme im Netz BH

Das Niederspannungsnetz HF

Auch in diesem Netz wurde bei dem 20%-Szenario zwei Netzverstärkungsmaßnahmen in Betracht gezogen um die Nichtverfügbarkeit wieder zu senken. Entweder der Austausch der Kabelabschnitte HA_L(31) 5 bis 7 (Länge: 128 m) durch dickere Kabel oder die

Verstärkungsmaßnahme A (Abbildung 7, Abbildung 8), Verlegung eines Kabels (Länge = 80 m) von der Trafo-Sammelschiene zur Abzweigstelle B. Durch die Anwendung der NV-Maßnahme A kann genau an den Netzanschlüssen HA02 bis HA15 die Nichtverfügbarkeit gesenkt werden.

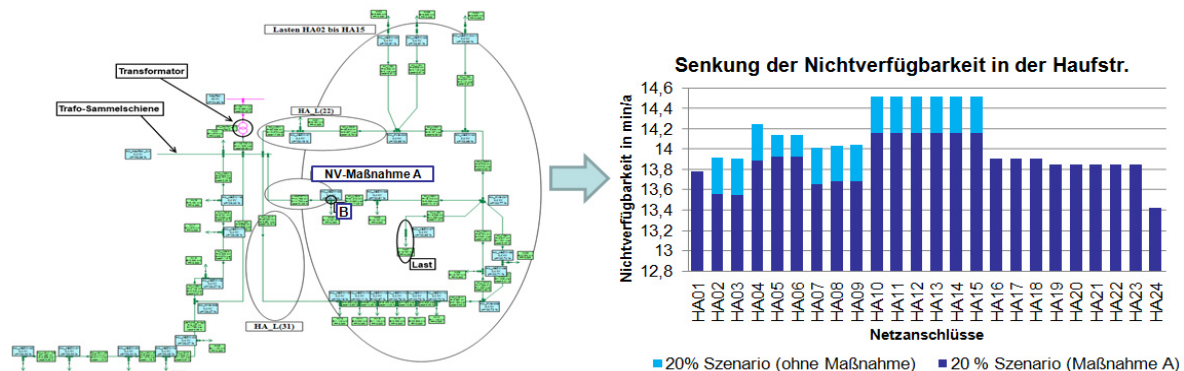


Abbildung 7: Senkung von Q durch NV-Maßnahme A im Netz HF bei dem 20%-Szenario

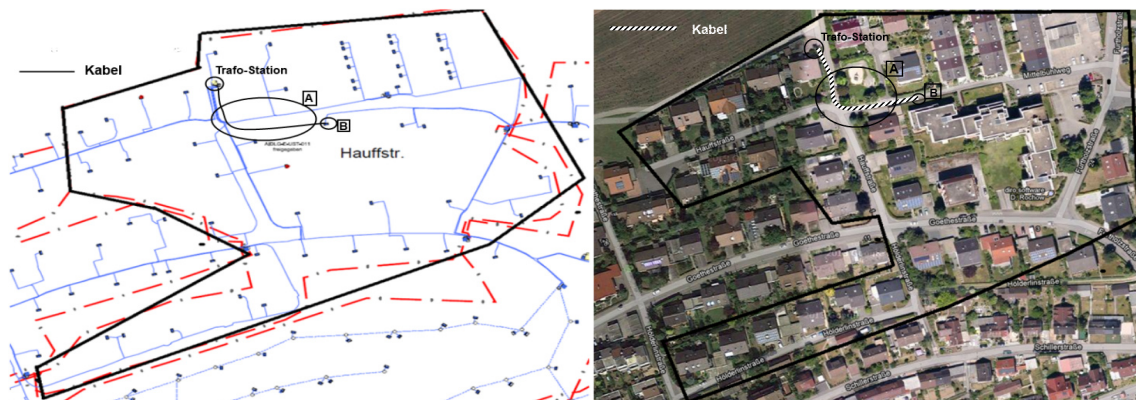


Abbildung 8: Genaue Darstellung der NV-Maßnahme C im Niederspannungsnetz HF

Dabei konnte bei beiden Maßnahmen die Nichtverfügbarkeit fast um den gleichen Betrag gesenkt werden.

Hierbei ist dann die bessere Alternative die NV-Maßnahme A, da die Kosten hier aufgrund der Länge des Kabels um etwa 60 % niedriger sind. Die gesamten Investitionsausgaben dieser Maßnahme betragen 4.560 €. Bei einem Zinssatz von 4 % und 40 Jahren Kabellebensdauer, beträgt die Annuität hier etwa 230 € pro Jahr.

3 Zusammenfassung

Als Fazit kann gesagt werden, dass in den Niederspannungsnetzen die richtigen bzw. notwendigen Netzverstärkungsmaßnahmen angewendet werden können, wenn genau bekannt ist, welche Gründe für die Verschlechterung der Zuverlässigkeit bei der Steigerung der Belastung durch Elektrofahrzeuge in der Zukunft vorliegen. Daher kann auch ein optimales Ergebnis in Bezug auf Kosten der Netzverstärkungsmaßnahmen erreicht werden.

Zusammenfassend lässt sich anschließend festhalten, dass die Niederspannungsnetze größtenteils für die ersten Jahre der Elektromobilität ausreichend bemessen sind. Probleme könnten allerdings entstehen, wenn die Berechnungen unter Spitzenlast durchgeführt werden bzw. wenn viele Elektroautos gleichzeitig zur Spitzenzeiten geladen werden.

4 Literatur

- [1] Max Planck Gesellschaft, <http://www.max-wissen.de/Tools/drucken/5584.html>, 2013. Abgerufen am 27. 08 2013
- [2] Bundesregierung, „Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung“, 2009. Abgerufen am 01/2013.
- [3] Bundesnetzagentur, http://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/Netzentgelte/Anreizregulierung/anreizregulierung-node.html, 2013. Abgerufen am 27.08.2013.
- [4] Feldmann, J., „Planungsgrundsätze für Niederspannungsnetze unter Berücksichtigung von Versorgungsqualität und Kosten.“, Dissertation, Univ. Aachen, 2010.
- [5] Bundesnetzagentur, http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/Publikationen/Berichte/2012/MonitoringBericht2012.pdf?__blob=publicationFile S.54, Monitoringbericht 2012. Bonn, Nordrhein-Westfale, 2013.
- [6] Martin Lödl, G. K., „Vergleich von Energiespeichern und Netzverstärkungsmaßnahmen in Niederspannungsverteilnetzen bei hoher dezentraler Einspeisung“, München, 2010.
- [7] Lothar Heinhold, R. S., „Kabel und Leitungen für Starkstrom. (P. K. KG, Hrsg.)“ Erlangen: Public MCD Verlag. S.418, 1999.
- [8] Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/annuitaet.html>, 2013. Abgerufen am 25.08.2013
- [9] Kerber, G., „Aufnahmefähigkeit von Niederspannungsverteilnetzen für die Einspeisung aus Photovoltaikkleinanlagen“, TU München, 2011.
- [10] Energie AG Oberösterreich Netz GmbH. <http://www.hochspannungsblog.at/W%C3%B6rterverzeichnis/niederspannung/>, 2013. Abgerufen am 23.08.2013
- [11] Bühler, J., Hallas, M., & Balzer, G., „Risikoorientierte Instandhaltungsoptimierung von Mittelspannungskabeln“, TU Darmstadt, 2012.
- [12] Oswald, P. D.-I., „Technische Fragen der Netzverstärkung“, Hannover, 2011.
- [13] Bundesnetzagentur., http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/Netzentgelte/Strom/Qualitaetselement/EckpunktspapierAusgestaltungQ-Element.pdf?__blob=publicationFile&v=1, 2010. Abgerufen am 25.08.2013.