

MÖGLICHKEITEN UND AUSWIRKUNGEN VON NETZGEKOPPELTEN DEZENTRALEN ERZEUGUNGSEINHEITEN AUF DIE VERTEILNETZE

Maria AIGNER, Ernst SCHMAUTZER, Thomas WIELAND^(*), Lothar FICKERT

Institut für Elektrische Anlagen / TU Graz, Inffeldgasse 18/I, 8010 Graz,
Tel.: +43 (0)316 873 7567, Fax: +43 (0)316 873 7553, maria.aigner@tugraz.at,
www.ifea.tugraz.at

Kurzfassung:

Durch die Vorgabe „20-20-20 bis 2020“ durch das Klima- und Energiepaket der Europäischen Union ist u.a. eine Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien auf 20 % erforderlich und damit eine Umstrukturierung der Energieversorgung, weg von einer zentralen hin zu einer dezentralen Versorgungsstruktur erkennbar.

Die damit einhergehende sich wandelnde Erzeugungs- und Verbrauchsstruktur beim Kunden sowie die Möglichkeiten und Auswirkungen von netzgekoppelten dezentralen Erzeugungsanlagen auf die Verteilnetzebene müssen zukünftig in der Netzplanung besser berücksichtigt werden.

Durch eine Umstrukturierung der Energieversorgung in der Niederspannung von einer zentralen Erzeugung in Richtung Dezentralität ergeben sich neue Fragestellungen z.B. hinsichtlich der Leitungsdimensionierung, Spannungs- und Frequenzregelung, Speicherung, Spannungsqualität, Versorgungssicherheit, Netz- und Personenschutz im Inselnetz-, im Netzparallelbetrieb sowie für den Netzwiederaufbau.

Die Bereitstellung der fehlenden Regel- und Kurzschlussleistung sowie eines Fehlerstrom tragfähigen Nullsystems zur Aufrechterhalten des Personen- und Sachgüterschutzes nimmt bei steigender Erzeugung aus dezentralen Energieerzeugungsanlagen sowohl im Netzparallel- als auch im Inselnetzbetrieb eine wichtige Rolle ein. Der vorliegende Beitrag behandelt die Stellung bestehender Netzsysteme (TN-C-S, TT etc.) bei der Integration von dezentralen Erzeugungsanlagen und soll eventuell notwendige Erweiterungen bzw. Adaptierungsmaßnahmen für den sicheren und zuverlässigen Betrieb aufzeigen.

Keywords: Dezentrale Erzeugung, Verteilnetzstruktur, Netzparallel- bzw. Inselnetzbetrieb, Niederspannungsnetzsysteme

1 Einleitung

Durch die steigende Anzahl netzgekoppelter dezentraler Erzeugungsanlagen z.B. Photovoltaik-Anlagen und dem daraus resultierenden Zuwachs an installierter Leistung aus stark-fluktuierenden Energiequellen ergeben sich neue Aufgaben und Möglichkeiten für Verteilnetze. Energieversorgungsnetze bewegen sich von einer überwiegend zentralen hin zu einer dezentralen Struktur und bewirken somit auch eine sich ändernde Erzeugungs- und Verbrauchsstruktur beim Endkunden.

Die bestehenden Leitungen, Transformatoren sowie die eingesetzten Schutzkonzepte wurden in den bestehenden Verteilnetzen in den vergangenen Jahren auf einen gerichteten Energie- bzw. Lastfluss von höheren auf niedrigere Netzebenen ausgelegt und müssen nun an die sich ändernde Erzeugungsstruktur und der Möglichkeit des Inselnetzbetriebs angepasst werden. Dabei stellt sich hinsichtlich des Anlagen- und Netzschutzes die Frage nach der Ausgestaltung der jeweiligen Nullsysteme im Fall eines Erd- oder Körperschlusses.

Im Folgenden werden Einflussparameter auf bestehende Niederspannungsnetz-Infrastrukturen durch dezentrale Erzeugungsanlagen (leistungsschwach, wechselrichterbetrieben) dargestellt und versucht die neuen Anforderungen an derzeit übliche Schutzkonzepte bei Versorgung mittels dezentraler Erzeugungsanlagen zu thematisieren.

1.1 Energie- und ressourcenoptimierte Erzeugungs-, Umwandlungs- und Verbrauchsprozesse

Smarte Technologien als Überbegriff für Smart Grids, Smart Buildings, Smart Metering, Last- und Speichermanagementsysteme können bei einem optimierten Einsatz zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Reduktion von Treibhausgasen beitragen. Durch Lastanpassung (Lastausgleich, Spitzenlastmanagement) können regenerative, fluktuierende Erzeugungsanlagen besser d.h. ressourcenschonender eingesetzt sowie die erforderliche Speicherkapazität (durch Einsatz eines Speichermanagements) minimiert und damit die auftretenden Verluste und Kosten reduziert werden.

Energieoptimierte Erzeugungs-, Umwandlungs- und Verbrauchsprozesse und die Integration optimierter Einzelkomponenten in das Gesamtsystem weisen dann einen nachhaltigen Einfluss auf das bestehende Verteilnetz auf. Durch den aktiven Netzbetrieb mit dezentralen Erzeugungsanlagen und Speichern kann der Netzausbau in der Verteilnetzebene - unter bestimmten Voraussetzungen - auf einen früheren oder späteren Zeitpunkt verschoben werden, d.h. die aus erneuerbaren Quellen stammende elektrische Energie steht dann zur Verfügung, wenn sie benötigt wird. Mit Hilfe von Steuerungen, die auf der Analyse von Energie- bzw. Lastgangsanalysen basieren sowie durch den Einsatz eines Speichermanagementsystems können Erzeugung und Verbrauch bestmöglich aufeinander abgestimmt werden. Die optimale Nutzung des dezentralen Erzeugungspotentials erfordert neben der zusätzlichen Einbindung von Energiespeichern (Stromspeichern) – zur Koordination von Angebot und Bedarf - auch die Berücksichtigung von realen Lastgängen bei den Kunden [2].

1.2 Anforderungen an die Verteilnetzstruktur

Das gegenwärtige elektrische Energiesystem ist - aufgrund der historisch gewachsenen Netzstrukturen in Österreich - für leistungsstarke hydraulische und thermische Erzeugungsanlagen mit vertikaler Versorgung der Kunden optimiert, nicht aber für die Integration einer Vielzahl von kleinen, leistungsschwachen dezentralen Erzeugungsanlagen in das NS-Verteilnetz. Der durch die dezentralen Erzeugungsanlagen gegebenenfalls auftretende bidirektionale Lastfluss erfordert eine Umstrukturierung bzw. eine Neudefinierung der Verteilnetzebene, insbesondere dann, wenn gleichzeitig eine Inselnetzbildung und die ressourcenschonende und dabei die erneuerbaren Energieträger bevorzugende Einbindung dezentraler Stromerzeuger möglich sein soll [1]. Abbildung 1 zeigt die Umstrukturierung eines klassischen Verteilnetzes in ein smartes Verteilnetz. Durch die Schaffung örtlich begrenzter und dezentral versorgter Netzteile (Micro Grids), welche im Normalbetrieb mit dem Niederspannungsverteilstromnetz verbunden sind (Schalter „S“ geschlossen), ergibt sich die Möglichkeit, durch dezentrale Erzeugungsanlagen (PV, Wind, Stirling, Wärme etc.) inklusive zentraler und dezentraler Regelung die Versorgung im Bedarfsfall, d.h. im Fehlerfall des vorgelagerten Verteil- bzw. des Versorgungsnetzes aufrechtzuerhalten. Durch die Integration und Weiterentwicklung von bestehenden Technologien (z.B. dezentrale Erzeugungsanlagen, Transformatoren, Speicher, Lastmanagement) kann zusätzlich das vorhandene Potential besser ausgeschöpft und bei koordiniertem Einsatz ein Leitungsausbau optimiert bzw. eine Netzrestrukturierung vermieden werden.

Bei einer vorhersehbaren wachsenden Durchdringung existierender Erzeugungsstrukturen mit dezentralen Erzeugungsanlagen, allen voran Photovoltaik-Anlagen, kann der Fall auftreten, dass in Zukunft die Einspeisung aus fluktuierenden Energieerzeugungsanlagen aufgrund der hohen Gleichzeitigkeit die vorherrschende Netzlast die Netzkapazität übersteigt. Daher sind zusätzlich in ausgewählten abgeschlossenen Netzbereichen (Micro Grids) - siehe Abbildung 1 - Maßnahmen zu treffen, um die aus regenerativen, Energiequellen erzeugte stark fluktuierende Energie zwischen zu speichern und diese im Bedarfsfall aufzunehmen bzw. wieder bereitzustellen. Zusätzlich müssen geeignete Laststeuerungsschaltungen vorhanden sein, um die fluktuierende Stromerzeugung bestmöglich zu nutzen. Speichersysteme werden zukünftig für die Optimierung des Energieversorgungssystems eine tragende Rolle einnehmen. In diesem Kontext ist noch zu erwähnen, dass ohne eine geeignete Weiterentwicklung von Speichertechnologien das Potential der erneuerbaren Energieträger nicht zu 100 % ausgenutzt werden kann, da die bestehenden Akkumulatoren für einen ausgedehnten Einsatz aus ökonomischen und technischen Gründen derzeit als nicht geeignet erscheinen.

Üblicherweise werden die in Abbildung 1 dargestellten NS-Netzgebiete aus Kostengründen und aus Gründen des einfachen und dabei sicheren Netzbetriebs nicht vermascht sondern als offene Ringnetze betrieben, d.h. nur im Fehlerfall werden durch Durchschalten die nicht vom Fehler betroffenen Anlagen wieder versorgt. Der Schutz funktioniert Top-Down und basiert auf der großen zur Verfügung stehenden Kurzschlussleistung der Generatoren in den übergeordneten Netzen und den bewusst niederimpedant ausgeführten Nullstromkreisen im Niederspannungsnetz. Im städtischen Versorgungsgebieten mit großen Leiterquerschnitten und vorwiegend Kabeln zur Stromversorgung sind keine Probleme hinsichtlich des sicheren und zuverlässigen Netzbetriebs bei zentraler, dezentraler oder gemischter Einspeisung zu

erwarten. Hingegen ergeben sich in ländlichen Netzen, die mit Freileitungen geringen Querschnitts versorgt werden, aufgrund der großen Leitungsimpedanzen häufig Spannungsprobleme bei Starklast und bei maximaler dezentraler Einspeisung. Die aufgrund der Vorimpedanzen kleinen Kurzschlussleistungen führen zusätzlich zu Problemen hinsichtlich des Personenschutzes und der Anlagensicherheit. In der Abbildung 1 ist die klassische Struktur eines Niederspannungsnetzes mit zusätzlichen Inselnetz-fähigen Anlagen und Netzteilen mit dezentralen Erzeugern (rechts im Bild) dargestellt. Die Schalter S1 und S2 stellen den versorgerseitigen Abgangsschutz dar, S3...S8 zeigen die Schalter zur Durchschaltung und Wiederversorgung nicht fehlerbehafteter Netzteile und stellen gleichzeitig Schalter dar, mit welchen verschiedene NS-Netzteile zu (nicht) Inselnetz-fähigen Netzteilen zusammengeschaltet werden können.

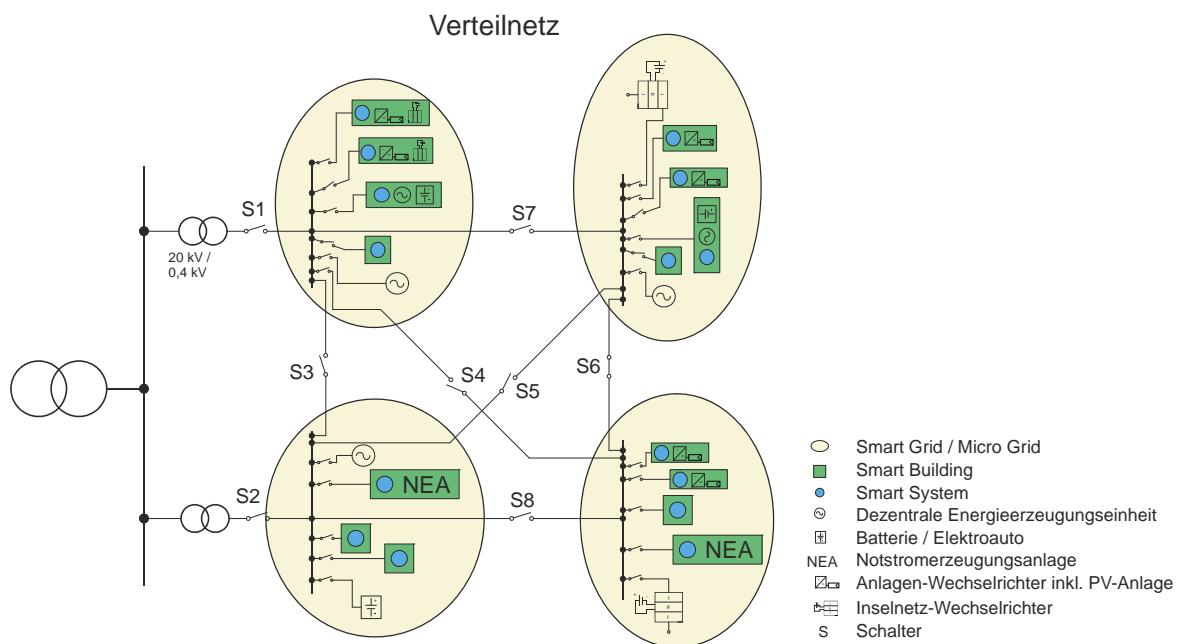


Abbildung 1: Klassische Netzstruktur mit Inselnetz-fähigen Anlagen und Netzteilen mit dezentralen Erzeugern

2 Anforderungen an Niederspannungssysteme

Um die notwendigen Maßnahmen bei der Integration dezentraler Erzeugungsanlagen in die heute bestehenden Niederspannungssysteme darzustellen, werden im Folgenden ausgewählte Fragestellungen hinsichtlich der Auswirkungen netzgekoppelter dezentraler Anlagen auf die Verteilnetze dargestellt [1]:

- Wie wirken sich eine Trennung vom NS-Netz und die dadurch verringerte Kurzschlussleistung der verbleibenden, an der Versorgung beteiligten dezentralen Erzeugungsanlagen auf die angewendete Schutzmaßnahme aus?
- Besteht die Möglichkeit, dass das in einer Hausinstallation (Hausanlage) angewandte Netzsystem (z.B. Nullung in Österreich, gemäß [4]) durch die Integration dezentraler

Erzeugungsanlagen unbeabsichtigt in ein anderes Netzsystem (z.B. TT oder IT) übergeführt werden kann?

- Sind für den sicheren und zuverlässigen Betrieb dezentraler Erzeugungsanlagen zusätzliche Schutzelemente bzw. Adaptierungsmaßnahmen bestehender Schutzelemente erforderlich?
- Funktionieren die Schutzmaßnahmen bei Auftritt eines Außenleiter (L)-Erde-Fehlers an unterschiedlichen Stellen im Inselnetzbetrieb?
- Wie beeinflussen die Erdungs- und Potentialausgleichsverhältnisse dezentraler Energieerzeugungsanlagen und Verbraucheranlagen die Fehlerklärung im Inselnetzbetrieb?

3 Bedingungen für den sicheren Betrieb von Inselnetzen

3.1 Allgemeines

Kurzschlussleistung im Verbundnetz (Netzparallelbetrieb)

Bei netzgekoppelten Anlagen wird im Sinne von IEC 60364 [11] davon ausgegangen, dass ausreichend Kurzschlussleistung zur Fehlerklärung und Abschaltung vom Netz geliefert werden kann und nur die Leiterquerschnitte, Leiterlängen und die Schutzorgane koordiniert und dimensioniert werden müssen. Dies kann in der Regel in Niederspannungsinstallationen aufgrund der großen Leistungen, die große Synchrongeneratoren mit ihrer Schwungmasse im Hochspannungsnetz bereitstellen können und über die Transformatoren und der Bewirtschaftung der netzseitigen Nullimpedanzen durch die Stromversorgungsunternehmen leicht bewerkstelligt werden und ist Stand der Technik.

Kurzschlussleistung im Inselnetzbetrieb (Micro Grids, Smart Grids)

Im Falle einer Inselnetzbildung (Micro Grid) ist die Kurzschlussleistung des vorgelagerten Netzes bzw. der Transformatoren für die Funktion der Schutzelemente der Hausanlagen nicht mehr verfügbar. Daher müssen entweder andere Methoden zur Sicherstellung des Personen- und Anlagenschutzes angewendet werden oder die Anlage an die geringen Kurzschlussleistungen z.B. durch geeignete Wechselrichter und zusätzliche Energiespeicher angepasst werden oder durch quellenseitige Maßnahmen unzulässige Fehlerspannungen vermieden und ein geeigneter Kurzschlussschutz bereitgestellt werden.

Exemplarisch wird in der Abbildung 2 eine mögliche Anordnung dezentraler Erzeugungsanlagen (Inselnetz- sowie Anlagenwechselrichter) im Niederspannungsverteilstromnetz dargestellt um die oben angeführten Problematiken, welche in Österreich aufgrund gesetzlicher Vorgaben [4] besonders relevant sind, zu veranschaulichen.

3.2 Netzsysteme

TN-C-S-System

Abbildung 2 zeigt das Prinzipschaltbild einer exemplarischen Hausinstallation im TN-C-S-System inklusive der Fehlerstrom-(Erdschlussstrom)-Verläufe bei Auftritt eines Außenleiter (L1) - Erde - Fehlers durch Versorgung der Verbraucheranlage über einen Inselnetz-fähigen sowie über einen nicht Inselnetz-fähigen-(Anlagen) Wechselrichter (WR) (grün Inselnetz-fähiger-WR, rot nicht Inselnetz-fähiger Anlagen-WR).

Nach Trennung vom öffentlichen Niederspannungsverteilstromnetz und Umschaltung auf Inselnetzbetrieb (U1) muss für die Funktion der eingesetzten Schutzelemente die Nullungsbedingung sichergestellt werden, die Verbindung zwischen PE- und N-Leiter am Insel-WR, $V_{PE,N}$ muss somit realisiert werden. Bei einem Fehler zwischen Außenleiter (L1) und Erde muss die Kurzschlussleistung der eingesetzten Wechselrichter ausreichend hoch und gleichzeitig die Schleifenimpedanz der Fehlerstromschleife niedrig genug sein, damit es zu einer Auslösung der vorgelagerten Schutzelemente des Inselnetz-fähigen sowie des nicht Inselnetz-fähigen Anlagenwechselrichters kommt.

Unter der Annahme, dass sich die Fehlerströme an der Fehlerstelle (F) gleichmäßig aufteilen, kommt es zur Auslösung des Fehlerstromschalters FI-1 und der Inselnetz-fähige Wechselrichter trennt sich von der Hausanlage. Wird, wie in den Nullungsbedingungen gefordert, die Bedingung einer niederohmigen Fehlerstromschleife eingehalten, kommt es zusätzlich zur Auslösung des Leitungsschutzschalters LS-1.

Der (inselnetzgeführte) und nicht Inselnetz-fähige Anlagen-Wechselrichter trennt sich aufgrund der fehlenden Vorgabe der Inselnetzspannung des Inselnetzwechselrichters durch die ENS (Einrichtung zur Netzüberwachung mit zugeordneten Schaltorganen) ebenfalls vom Netz und der Hausanlage.

Somit wird im Falle eines Erdschlusses das Netzsystem beibehalten und der sichere Betrieb eines Inselnetzes im TN-C-System ist gewährleistet.

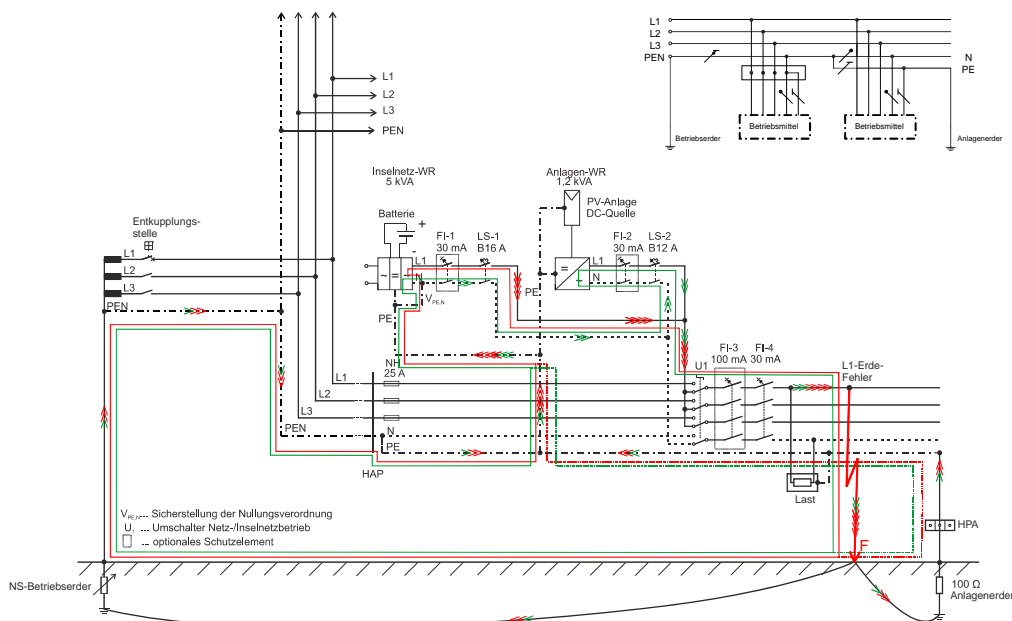


Abbildung 2: TN-C-S-System – Prinzipschaltbild einer Hausinstallation bei Versorgung über Wechselrichter im Inselnetzbetrieb

3.3 TT-System

Abbildung 3 zeigt ein TT-System mit einer Verbraucheranlage in der ein Erdschluss auftritt.

Tritt ein Fehler in der netzgekoppelten Anlage auf, kann sich der Fehlerstromkreis schließen, der FI-Schutzschalter kann den Fehler erkennen und schaltet ab.

Tritt hingegen ein Fehler in einer nicht mehr netzgekoppelten Anlage auf (Inselnetzbetrieb), ist der sichere Betrieb im TT-System nicht mehr gewährleistet, da es durch die Umschalt-einrichtung (U1) und der damit verbundenen 4-poligen Trennung der Hausanlage vom öffentlichen Netz keinen geschlossenen Fehlerstromkreis mehr gibt, in Abbildung 3 ist die „offene“ Fehlerstromschleife dargestellt.

Als mögliche Abhilfemaßnahmen können Schutzmaßnahmen im IT-System mit Isolationsüberwachung oder eine geeignete Erdung der dezentralen Erzeugungsanlagen angewendet werden, siehe ÖVE/ÖNORM E 8001-4-56 [10].

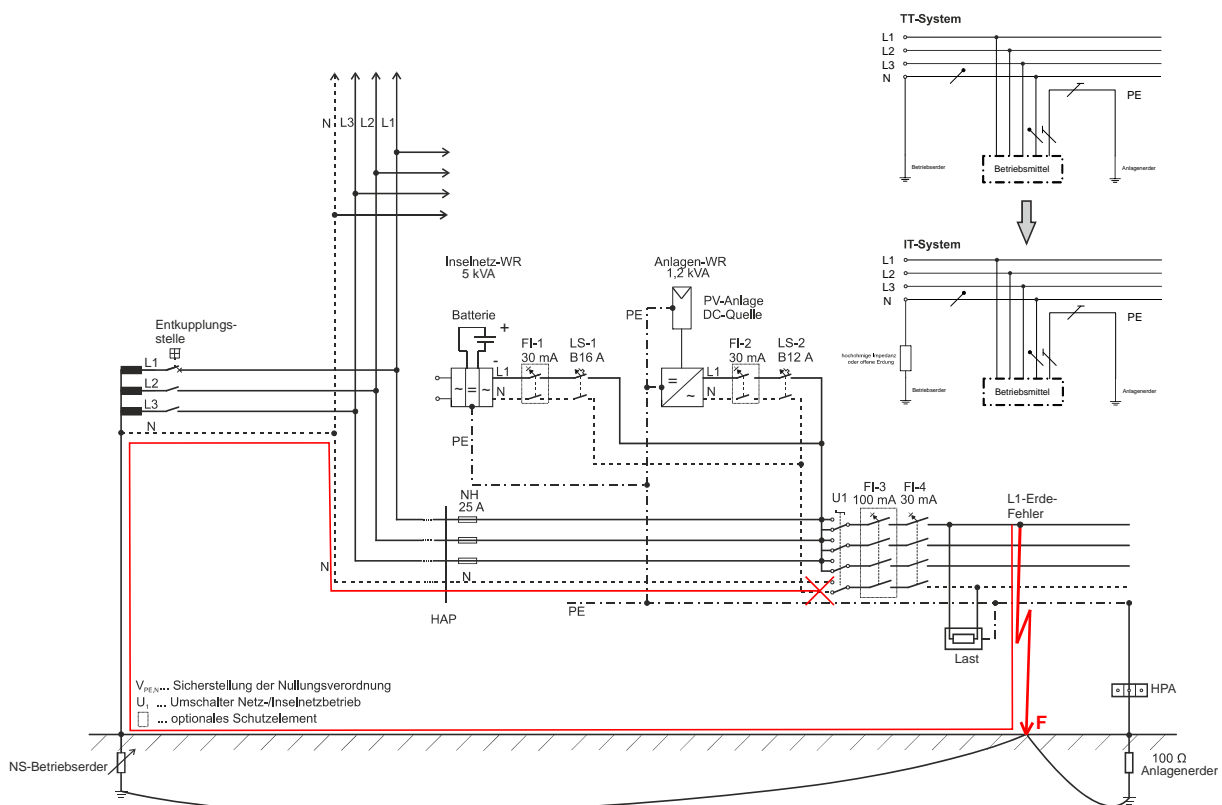


Abbildung 3: TT-System – Prinzipschaltbild einer Hausinstallation bei Versorgung über Wechselrichter im Inselnetzbetrieb, ohne Erdung der dezentralen Erzeugungsanlage (WR)

Abbildung 4 zeigt die Kurzschlussströme der beiden Wechselrichter (grün: WR im Inselnetzbetrieb, rot: nicht inselnetzfähiger Anlagen-WR) bei geeignetem zusätzlich vorhandenem Erder an der dezentralen Erzeugungsanlage (WR).

Tritt ein Fehler in der netzgekoppelten Anlage auf, kann sich der Fehlerstromkreis schließen, der FI-Schutzschalter kann den Fehler erkennen und schaltet ab. Aufgrund der fehlenden Vorgabe der Inselnetzspannung des Inselnetzwechselrichters trennt sich der

(inselnetzgeführte) Anlagen-Wechselrichter durch die ENS (Einrichtung zur Netzüberwachung mit zugeordneten Schaltorganen) ebenfalls von der Hausanlage. Das bestehende TT-Netzsystem wird beibehalten und der sichere Betrieb eines Inselnetzes ist gewährleistet.

Tritt nun ein Fehler in einer nicht mehr netzgekoppelten Anlage auf (Inselnetzbetrieb) ist der sichere Betrieb im TT-System gewährleistet, da sich die Fehlerstromschleife schließen kann, es kommt zur Auslösung des Fehlerstromschutzschalters und der Inselnetzwechselrichter sowie der (inselnetzgeführte) Anlagen-Wechselrichter trennen sich von der Hausanlage.

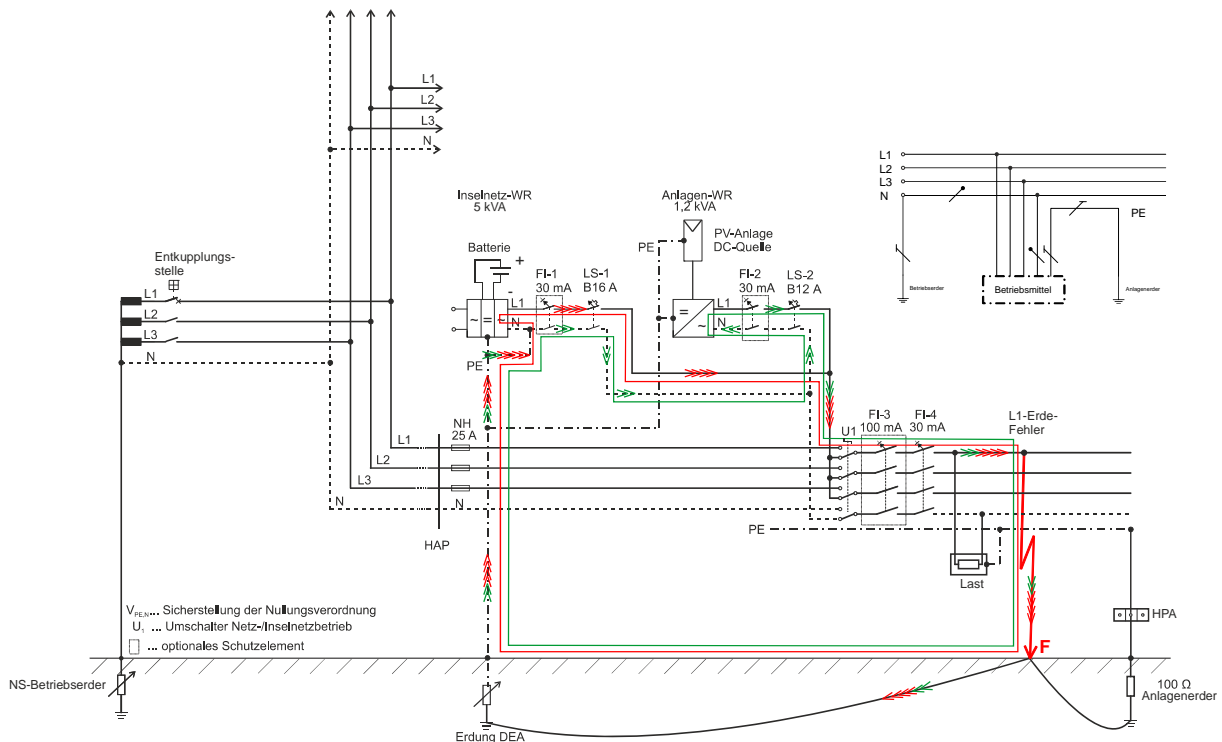


Abbildung 4: TT-System – Prinzipschaltbild einer Hausinstallation bei Versorgung über Wechselrichter im Inselnetzbetrieb; Erdung der dezentralen Erzeugungsanlage (WR)

4 Zusammenfassung und Ausblick

Energieoptimierte Erzeugungs-, Umwandlungs- und Verbrauchsprozesse und die Integration optimierter Einzelkomponenten in das Gesamtsystem üben einen nachhaltigen Einfluss auf das bestehende und zukünftig erforderliche Verteilnetz aus.

Unter Berücksichtigung von bestehenden Netzsystemen und spezifischen Erzeugungs- und Verbrauchsstrukturen mit der Option der Inselnetzbildung ergeben sich neue Fragestellungen hinsichtlich der sicheren und zuverlässigen Funktionalität derzeit üblicherweise eingesetzter Schutzmaßnahmen.

Der Bereitstellung fehlender Kurzschlussleistung kommt in Zukunft eine wichtiger werdende Rolle zu, um die Schutzmaßnahmen nach dem Stand der Technik weiterhin anwenden zu können, wobei die benötigte Kurzschlussleistung z.B. durch Akkumulatoren inkl. Wechselrichter in Niederspannungs-Verteilnetzen mit einer erhöhten Anzahl an leistungsschwachen dezentralen Erzeugungsanlagen bereitgestellt werden kann. Kommt es

in Zukunft zu einem Mangel an Kurzschlussleistung im (Insel-)Netz, werden geeignete Maßnahmen zu treffen sein z.B. TT-Systeme mit Fehlerstromschutzschaltung, IT-Systeme mit Isolationsüberwachung; oder dezentrale Quellen müssen durch ihre Fehlerspannungs- und Fehlerstromcharakteristik die Personen- und Anlagenschutzziele gemäß ÖVE/ÖNORM E 8001-1 [6] bzw. IEC 60364 [10] einhalten. In diesen Fällen ist mit komplexeren Anlagen und einem hohen Ausbildungsaufwand auf Seiten der „gestandenen“ Elektroinstallateure zu rechnen.

Für die Beantwortung der im Beitrag angeführten Fragestellungen sind weiterführende Untersuchungen unter Berücksichtigung typischer Niederspannungs-Netzsysteme sowohl analytisch als auch in weiteren Laborversuchen und in der Praxis durchzuführen.

5 Literaturverzeichnis

Die nachstehend angeführten Quellen sind – sofern sie in der vorliegenden Arbeit nicht direkt referenziert sind – als weiterführende Literatur zu verstehen.

- [1] M. Aigner, E. Schmutzner: „Sicherheits- und schutzrelevante Aspekte im Parallel- bzw. Inselnetzbetrieb im Niederspannungsnetz“ in Elektrotechnik und Informationstechnik (E&I) Heft-Nr.: 10/2011 Jahrgang 128, Seite: 323-329, Springer-Verlag, 2011
- [2] T. Wieland, E. Schmutzner, M.Aigner, E. Friedl: „Konzepte zum Einsatz von Stromspeichern und Laststeuerungen zur Glättung fluktuierender erneuerbarer Energiequellen im Niederspannungsbereich“, 12. Symposium Energieinnovation, 15.-17.2.2012, Graz/Austria
- [3] E. Schmutzner, R. Woschitz: „Sicherheit und Schutzmaßnahmen“ Vorlesungsunterlagen zur gleichnamigen Vorlesung am Institut für Elektrische Anlagen der TU Graz, 2002
- [4] ETV 2002/A1 2006: Änderung der Elektrotechnikverordnung 2002
- [5] Nullungsverordnung: Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich, Teil II, www.ris.bka.gv.at, 1998
- [6] ÖVE/ÖNORM E 8001-1: Errichtung von elektrischen Anlagen mit Nennspannungen bis ~ 1000 V und – 1500 V, Teil 1: Begriffe und Schutz gegen elektrischen Schlag (Schutzmaßnahmen), Ausgabe: 2010-03-01
- [7] ÖVE EN 50160: Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen, Ausgabe: 2005-01-01

- [8] Gefördertes Projekt des Klima- und Energiefond (2008): „Personensicherheit als unabdingbare Voraussetzung für Smart Systems und verteilte Energiesysteme“, 1. Ausschreibung
- [9] Gefördertes Projekt des Klima- und Energiefond (2008): „Smart Grids und volkswirtschaftliche Effekte: Gesamtwirtschaftliche Bewertung von Smart-Grids-Lösungen, 4. Ausschreibung
- [10] ÖVE/ÖNORM E 8001-4-56: Errichtung von elektrischen Anlagen mit Nennspannungen bis AC 1000 V und DC 1500 V, Teil 4-56: Elektrische Anlagen in landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Betriebsstätten, Ausgabe: 2003-05-01
- [11] IEC 60364-1: Low-voltage electrical installations – Part 1: Fundamental principles, assessment of general characteristics, definitions, August 2009