

FNN-Hinweis



Regelbarer Ortsnetztransformator (rONT) - Einsatz in Netzplanung und Netzbetrieb

Juli 2016

FNN

VDE

Impressum

© Forum Netztechnik / Netzbetrieb im VDE (FNN)

Bismarckstraße 33, 10625 Berlin

Telefon: + 49 (0) 30 3838687 0

Fax: + 49 (0) 30 3838687 7

E-Mail: fnn@vde.com

Internet: <http://www.vde.com/fnn>

Juli 2016

Regelbarer Ortsnetztransformator (rONT) - Einsatz in Netzplanung und Netzbetrieb

Juli 2016

Inhalt

Vorwort	9
Einleitung	10
1 Anwendungsbereich	11
2 Normative Verweisungen	12
3 Begriffe und Abkürzungen	13
3.1 Begriffe	13
3.1.1 Bemessungs-Betriebsspannung [IEV 442-01-07]	13
3.1.2 Bemessungsleistung [IEV 421-04-04]	13
3.1.3 Bemessungsspannungsbereich [IEV 151-16-49]	13
3.1.4 Bemessungsstromstärke (einer Wicklung eines Transformators oder einer Kompensations-Drosselspule) [IEV 421-04-05]	13
3.1.5 Bemessungsstromstärke (für Installationsmaterial) [IEV 442-01-02]	13
3.1.6 Bemessungsübersetzung (eines Transformators) [IEV 421-04-02]	13
3.1.7 Betriebsspannung [IEV 601-01-22]	13
3.1.8 höchste Betriebsspannung eines Netzes [IEV 601-01-23]	13
3.1.9 Leistungsteil	14
3.1.10 Nennspannung eines Netzes [IEV 601-01-21]	14
3.1.11 niedrigste Betriebsspannung eines Netzes [IEV 601-01-24]	14
3.1.12 regelbarer Ortsnetztransformator (rONT)	14
3.1.13 Regelbereich	14
3.1.14 Regelverluste	14
3.1.15 Spannungsebene [IEV 601-01-25]	14
3.1.16 Stufenschalter (OLTC)	14
3.1.17 Stufenspannung	14
3.1.18 Umsteller (DETC)	15
3.1.19 Verzögerungszeit [IEV 521-05-21]	15
3.1.20 vorgesehener Betriebsstrom (eines Stromkreises) [IEV 826-11-10]	15
3.2 Abkürzungen	15
4 Technologie und Funktionsweise des rONT	16
4.1 Allgemeines	16
4.2 Aufbau des rONT	16
4.3 Technische Realisierung des Stellglieds und der Steuereinheit	17
4.4 Übersicht über am Markt verfügbare Stellglieder und Steuereinheiten	18
5 Hinweise zur Planung	23
5.1 Wirkungsweise des rONT	23
5.2 Anwendungsfälle	25
5.2.1 Behebung von Spannungsbandproblemen	25
5.2.2 Optimierung der Netztopologie	28
5.2.3 Unterstützung beim Blindleistungsmanagement in MS-/NS-Netzen	29
5.3 Grenzen und Sonderfälle des rONT-Einsatzes	30
5.3.1 rONT-Einsatz bei sehr langen Netzausläufern	30

5.3.2	rONT-Einsatz bei inhomogenen Strängen.....	30
5.3.3	rONT-Einsatz im Parallelbetrieb	30
5.4	Regelverfahren	30
5.4.1	Regelung auf einen festen Spannungswert	30
5.4.2	Regelung auf einen lastflussabhängigen Spannungswert	31
5.4.3	Spannungsregelung unter Einbezug einer abgesetzten Mess-Sensorik	32
5.5	Regelparameter.....	32
5.5.1	Auslegungsparameter.....	32
5.5.2	Einstellparameter	33
5.6	Flicker	36
5.7	Regelung im Verbund mit anderen Reglern	36
5.7.1	Wechselwirkung rONT – HS/MS-Transformator	36
5.7.2	Wechselwirkungen rONT und Erzeugungsanlage	36
5.7.3	Parallelbetrieb von regelbaren Ortsnetztransformatoren	36
5.8	Aspekte der Aufwand/Nutzen-Analyse	37
5.8.1	Aufwände	37
5.8.2	Nutzen.....	38
5.8.3	Regulatorische Aspekte.....	38
5.9	rONT als Standardbetriebsmittel	39
5.9.1	Vermeidung von NS-Netzausbau	39
5.9.2	Vermeidung von Mittelspannungsnetzausbau.....	41
6	Hinweise zum Betrieb	43
6.1	Erstinbetriebnahme	43
6.2	Fehlerbehebung.....	44
6.3	Einsatz einer Netzersatzanlage.....	44
6.4	Zusammenschaltung von Niederspannungsnetzen	44
6.5	Wartung	44
6.6	Optionale IKT-Anbindung	44
7	Zusammenfassung.....	45
	Literaturverzeichnis	46
	Anhang A: Einbaubeispiele	47
	Anhang B: Anwendungsbeispiele	53
B1	NS-getriebener rONT-Einsatz	53
B1.1	Motivation für das Projekt	53
B1.2	Netzausschnitt	53
B1.3	Variantenvergleich	54
B1.4	Ausgewählte Lösung	55
B1.5	Planungs- und Betriebserfahrungen.....	56
B2	MS-getriebener rONT-Einsatz.....	56
B2.1	Motivation für das Projekt	56
B2.2	Netzausschnitt	57
B2.3	Variantenvergleich	58
B2.4	Ausgewählte Lösung	58
B2.5	Planungs- und Betriebserfahrungen.....	59

B3	Punktuelle rONT-Einsatz.....	59
B3.1	Motivation für das Projekt.....	59
B3.2	Netzausschnitt.....	59
B3.3	Variantenvergleich.....	60
B3.4	Ausgewählte Lösung.....	62
B4	Punktuelle rONT-Einsatz.....	63
B4.1	Motivation für das Projekt.....	63
B4.2	Netzausschnitt.....	63
B4.3	Variantenvergleich.....	63
B4.4	Ausgewählte Lösung.....	65
B5	Regelung auf einen lastflussabhängigen Spannungswert.....	67
B5.1	Motivation für das Projekt.....	67
B5.2	Netzausschnitt.....	67
B5.3	Variantenvergleich.....	68
B5.4	Ausgewählte Lösung.....	68
B5.5	Planungs- und Betriebserfahrungen.....	68

Bildverzeichnis

Bild 1:	Schematische Darstellung der Komponenten eines rONT	16
Bild 2:	Aufteilung der Spannungsbänder	24
Bild 3:	Punktueiler Einsatz des rONT in einem MS-Netz	25
Bild 4:	Strangweiser Einsatz von rONT in einem MS-Netz	26
Bild 5:	Flächendeckender Einsatz des rONT in einem MS-Netz.....	28
Bild 6:	Exemplarische Darstellung der Vergrößerung des Versorgungsradius durch rONT ..	29
Bild 7:	Darstellung einer typischen Regelbandbreite bei Regelung auf festen Spannungssollwert	31
Bild 8:	Darstellung der Regelbandbreite bei Regelung auf einen lastflussabhängigen Spannungssollwert	32
Bild 9:	Verschiedene Auslegungen der Regelbandbreite bei 2,5-%-Spannungsstufe	34
Bild 10:	Nutzung von Schnellschaltsschwellen	35
Bild 11:	Nutzung einer verkürzten Verzögerungszeit T_2	35
Bild 12:	Zu berücksichtigenden Aspekte bei dem Einsatz eines rONT als Standardbetriebsmittel.....	39
Bild 13:	Beispielhafte Spannungsbandaufteilung mit rONT bei einem Spannungssollwert von 98 % U_n (Erläuterungen zur Verzögerungszeit T_1 s. Abschnitt 5.5.2).....	40
Bild 14:	Beispielhafte Spannungsbandaufteilung bei mittelspannungsorientiertem rONT- Einsatz	41
Bild 15:	Abgriff der Spannungsversorgung für die Steuereinheit	43
Bild 16:	Netzausschnitt und Beschreibung eines Niederspannungsnetzes gemäß Beispiel in B1	54
Bild 17:	Spannungsbandaufteilung mit rONT bei einem Spannungssollwert von 100 % · U_n ..	55
Bild 18:	Netzausschnitt und Beschreibung eines aufgesetzten Mittelspannungsringes gemäß Beispiel in B2.....	57
Bild 19:	Spannungsbandaufteilung für das Beispiel eines mittelspannungsgetriebenen rONT- Einsatz.....	58
Bild 20:	Netzausschnitt gemäß Beispiel B3.....	59
Bild 21:	Beispielhafte Spannungsbandaufteilung mit rONT bei einem Spannungssollwert von 98 % U_n	62
Bild 22:	Netzausschnitt gemäß Beispiel B4 -Maststation und die zwei betrachteten Stationsnetze	63
Bild 23:	Beispielhafte Spannungsbandaufteilung mit rONT bei einem Spannungssollwert von 98 % U_n	66
Bild 24:	Knotenspannungen im Sommer und im Winter vor Einsatz eines rONT gemäß Beispiel in B5.....	67
Bild 25:	Eingestellte Kennlinie am rONT gemäß Beispiel in B5	68
Bild 26:	Knotenspannungen im Sommer und im Winter bei Einsatz eines rONT gemäß Beispiel in B5.....	69

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über am Markt verfügbare Stellglieder und Steuereinheiten 19

Vorwort

Die zunehmende Einspeisung elektrischer Energie aus dezentralen Erzeugungsanlagen schafft neue Herausforderungen für die Betreiber von öffentlichen elektrischen Energieversorgungssystemen. Die von zusätzlicher Einspeisung hervorgerufenen erhöhten Leistungsflüsse führen insbesondere in ländlichen Verteilnetzen zu einem erheblichen Ausbaubedarf der Netze. Notwendig wird dieser häufig aus Gründen der Spannungshaltung.

Eine mögliche Alternative zum häufig kostenintensiven konventionellen Netzausbau bietet der regelbare Ortsnetztransformator (rONT). Durch ihn werden die Spannungsniveaus von Nieder- und Mittelspannungsnetz entkoppelt, wodurch eine verbesserte Ausnutzung des Spannungsbandes möglich ist.

Im Rahmen dieses FNN-Hinweises werden die technische Wirkungsweise des rONT vorgestellt sowie mögliche Anwendungsfälle und Praxisbeispiele aufgezeigt. Hierdurch soll den Verteilnetzbetreibern eine Hilfestellung für Netzplanung und Netzbetrieb bei Einsatz des rONT gegeben werden.

Der FNN-Hinweis wurde von der Projektgruppe „Regelbarer Ortsnetztransformator“ des Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE (FNN) erarbeitet.

Einleitung

Motivation

Die stark volatile Einspeisung elektrischer Energie aus dezentralen Erzeugungsanlagen führt besonders in den Mittel- und Niederspannungsnetzen zu deutlich erhöhten Spannungsschwankungen. Hierdurch wird die Einhaltung der für den sicheren und zuverlässigen Netzbetrieb definierten Grenzwerte zunehmend schwieriger, insbesondere der Vorgaben an die Spannungshaltung aus der DIN EN 50160. Es entsteht vielfach Netzausbaubedarf in diesen Netzebenen, der oftmals kostenintensiv und zeitaufwändig ist.

In den letzten Jahren wurden jedoch zahlreiche alternative technische Lösungen entwickelt und auch deren Kombination im Netzbetrieb erprobt. Eine wirksame Lösung zur Beherrschung von Spannungsschwankungen im Niederspannungsnetz stellt der regelbare Ortsnetztransformator (rONT) dar. In vielen Fällen ist der rONT eine wirtschaftliche Alternative zum konventionellen Netzausbau. Bei einigen Netzbetreibern ist der rONT inzwischen als Standardbetriebsmittel eine wichtige Komponente zur Weiterentwicklung der Netze zu „smart grids“.

Dieser FNN-Hinweis fokussiert auf den Einsatz des rONT. Andere technische Lösungsmöglichkeiten zur Spannungshaltung werden nicht betrachtet, hierzu sei insbesondere auf die FNN-Studie zur statischen Spannungshaltung [1] sowie den FNN-Hinweis zum Blindleistungsmanagement [2] verwiesen.

Ziel des FNN-Hinweises

Ziel dieses FNN-Hinweises ist es, den rONT in seiner Grundfunktionalität zu beschreiben und Anwendungsfälle in Netzplanung und Netzbetrieb aufzuzeigen. In diesem Hinweis werden Erfahrungen mit der Technologie, die in einer Vielzahl von Projekten gesammelt wurden, zusammengeführt. Zielgruppe dieses Hinweises sind Netzplaner und Projektierer, z. B. bei Energieversorgungsunternehmen oder Dienstleistern, um ihnen eine Hilfestellung zu geben, ob und in welcher Ausprägung/Form ein rONT-Einsatz sinnvoll ist.

Folgende Fragen werden in diesem Hinweis beantwortet:

- Was sind die relevanten Normen und Fachbegriffe im Zusammenhang mit dem rONT? (siehe Kapitel 2 und 3)
- Wie ist ein rONT im Vergleich zu einem konventionellen Transformator aufgebaut? (siehe Kapitel 4)
- Welche Anwendungsfälle existieren, in denen der rONT sowohl eine technische als auch eine wirtschaftliche Lösung darstellt? Wie können diese Anwendungsfälle identifiziert werden? (siehe Kapitel 5 und den Anhang)
- Welche Aspekte müssen bei der Planung eines rONT beachtet werden? (siehe Kapitel 5)
- Welche Aspekte sind bei dem Betrieb eines rONT zu berücksichtigen? (siehe Kapitel 6)

1 Anwendungsbereich

Dieser FNN-Hinweis ist für NS- und MS-Verteilnetze bis $U_m = 36$ kV und nur für auf Transformatoren basierende Spannungsregelungen (keine Umrichtertechnik).

Es werden Empfehlungen und Hinweise zu den technischen, betrieblichen und planerischen Einsatzmöglichkeiten eines rONT im Verteilnetz gegeben.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente berühren die Thematik dieses FNN-Hinweises. Da auf sie zudem innerhalb des Dokumentes referenziert wird, sind sie gegebenenfalls für die Anwendung des Hinweises hinzuzuziehen.

Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

VDE-AR-N 4105 Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz – Technische Mindestanforderungen für Anschluss und Parallelbetrieb von Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz

DIN EN 50160 Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen

DIN EN 50588-1 Mittelleistungstransformatoren 50 Hz, mit einer höchsten Spannung für Betriebsmittel nicht über 36 kV

DIN EN 60076 Leistungstransformatoren

DIN EN 60214 Laststufenschalter

DIN EN 60870-5 Fernwirkleinrichtungen und -systeme (Teile 101 – 104)

DIN EN 61000-3-11 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) Teil 3-11: Grenzwerte - Begrenzung von Spannungsänderungen, Spannungsschwankungen und Flicker in öffentlichen Niederspannungs-Versorgungsnetzen – Geräte und Einrichtungen mit einem Bemessungsstrom ≤ 75 A, die einer Sonderanschlussbedingung unterliegen

DIN EN 61850 Kommunikationsnetze und -systeme für die Automatisierung in der elektrischen Energieversorgung

3 Begriffe und Abkürzungen

3.1 Begriffe

3.1.1 Bemessungs-Betriebsspannung [IEV 442-01-07]

Nennspannung des Elektrizitätsversorgungsnetzes, bei der die Verwendung des Installationsmaterials vorgesehen ist.

3.1.2 Bemessungsleistung [IEV 421-04-04]

nach Übereinkunft Wert der Scheinleistung, der die Grundlage für die Auslegung, die Herstellergarantien und -prüfungen eines Transformators, einer Kompensations-Drosselspule oder einer Erdschlusslöschspule darstellt, und der die Stromstärke des Bemessungsstrom festlegt, der bei anliegender Bemessungsspannung unter vorgegebenen Bedingungen fließen kann.

ANMERKUNG: Beide Wicklungen eines Transformators mit zwei Wicklungen haben die gleiche Bemessungsleistung, die definitionsgemäß die Bemessungsleistung des Transformators ist. Bei Transformatoren mit mehreren Wicklungen kann die Bemessungsleistung für jede Wicklung anders sein.

3.1.3 Bemessungsspannungsbereich [IEV 151-16-49]

vom Hersteller angegebener Bereich der Versorgungsspannung, ausgedrückt durch seine untere und obere Bemessungsspannung QUELLE: IEC 62368-1:2010, 3.3.10.5

3.1.4 Bemessungsstromstärke (einer Wicklung eines Transformators oder einer Kompensations-Drosselspule) IEV 421-04-05]

Stromstärke des durch einen Außenleiter-Anschlusspunkt einer Wicklung fließenden Stroms, der durch Division der Bemessungsleistung einer Wicklung durch die Bemessungsspannung der Wicklung und einen entsprechenden Phasenfaktor ermittelt werden kann.

3.1.5 Bemessungsstromstärke (für Installationsmaterial) IEV 442-01-02]

elektrische Stromstärke, die vom Hersteller für eine festgelegte Betriebsbedingung eines Installationsmaterials zugeordnet wird.

3.1.6 Bemessungsübersetzung (eines Transformators) [IEV 421-04-02]

Verhältnis der Bemessungsspannung einer Wicklung zur Bemessungsspannung einer anderen Wicklung mit einer niedrigeren oder gleichen Bemessungsspannung.

3.1.7 Betriebsspannung [IEV 601-01-22]

Spannungswert bei Normalbetrieb zu einem bestimmten Zeitpunkt an einer bestimmten Stelle des Netzes. ANMERKUNG: Hierbei kann es sich um einen erwarteten, geschätzten oder gemessenen Wert handeln.

3.1.8 höchste Betriebsspannung eines Netzes [IEV 601-01-23]

größter Wert der Betriebsspannung, der zu einer beliebigen Zeit an einem beliebigen Punkt des Netzes bei Normalbetrieb auftritt. ANMERKUNG: Diese Werte tragen weder transienten

Veränderungen, beispielsweise hervorgerufen durch Schaltvorgänge im Netz, noch zeitweisen zufälligen Spannungsschwankungen Rechnung.

3.1.9 Leistungsteil

Die Komponenten, die analog zum Aktivteil unabhängig vom Installationsort die Betriebsspannung und den Betriebsstrom des Transformators führen bzw. ausgesetzt sind.

3.1.10 Nennspannung eines Netzes [IEV 601-01-21]

geeigneter, gerundeter Spannungswert zur Bezeichnung oder Identifizierung eines Netzes.

3.1.11 niedrigste Betriebsspannung eines Netzes [IEV 601-01-24]

kleinster Wert der Betriebsspannung, der zu einer beliebigen Zeit an einem beliebigen Punkt des Netzes bei Normalbetrieb auftritt. ANMERKUNG: Diese Werte tragen weder transienten Veränderungen, beispielsweise hervorgerufen durch Schaltvorgänge im Netz, noch zeitweisen zufälligen Spannungsschwankungen Rechnung.

3.1.12 regelbarer Ortsnetztransformator (rONT)

Ein Leistungstransformator bis $U_m = 36$ kV mit einer automatisierten Umschalteneinrichtung, die eine Spannungsregelung unter Last gewährleistet.

3.1.13 Regelbereich

Der Regelbereich definiert den Stellbereich der Transformatorspannung unter Last und wird normalerweise in Form der Grundposition (Nennübersetzung) des Transformators und der Anzahl der Stufen in Richtung höherer und niedrigerer Spannung angegeben, z. B. 20,0/0,4 kV $\pm 4 \times 2,5$ %.

3.1.14 Regelverluste

Verlustleistung, die in Abhängigkeit von der Primärtechnik und dem Betriebszustand durch zusätzliche Komponenten im Leistungsteil auftreten. Die Bewertung der Regelverluste ist zwischen Hersteller und Anwender zu vereinbaren. Verlustleistung für Komponenten der Meß- und Regelungstechnik sind davon ausgenommen.

3.1.15 Spannungsebene [IEV 601-01-25]

eine der in einem Elektrizitätsversorgungssystem angewendeten Nennspannungen

3.1.16 Stufenschalter (OLTC)

Einrichtung zum Wechseln der Anzapfungsanschlüsse einer Wicklung, die betrieben werden kann, während der Transformator an Spannung liegt oder unter Last steht. (Auszug DIN EN 60076-1 (VDE 0532-76-1):2012-03)

3.1.17 Stufenspannung

Bei Transformatoren, die in diskreten Stufen ihr Übersetzungsverhältnis ändern, beschreibt die Stufenspannung den mit einer Umschaltung verbundenen quasistationären Spannungssprung. Diese wird meist bezogen auf die Nennspannung angegeben und legt zusammen mit der Anzahl der Stufen den Regelbereich fest.

3.1.18 Umsteller (DETC)

Einrichtung zum Wechseln der Anzapfungsanschlüsse einer Wicklung, die nur betrieben werden kann, während der Transformator spannungsfrei ist (vom Netz getrennt). (Auszug DIN EN 60076-1 (VDE 0532-76-1):2012-03)

3.1.19 Verzögerungszeit [IEV 521-05-21]

Dauer des Zeitintervalls zwischen einer sprunghaften Änderung des Eingangssignalpegels und dem Zeitpunkt, zu dem der Betrag des Ausgangssignals einen festgelegten Wert durchläuft, der nahe bei seinem Ausgangswert liegt.

3.1.20 vorgesehener Betriebsstrom (eines Stromkreises) [IEV 826-11-10]

Strom, den ein Stromkreis im ungestörten Betrieb führen soll.

3.2 Abkürzungen

BNetzA	Bundesnetzagentur
DETC	De-Energized Tap-Changer (lastfreier Umsteller)
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
EZA	Erzeugungsanlage
EZE	Erzeugungseinheit
FNN	Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE
HöS	Höchstspannung
HS	Hochspannung
IEV	Internationales Elektrotechnisches Vokabular
IKT	Informations- und Kommunikationstechnik
MS	Mittelspannung
NS	Niederspannung
OLTC	On-Load Tap-Changer (Laststufenschalter; unter Last umschaltbares Stellglied)
ONS	Ortsnetzstation
ONT	Ortsnetztransformator
PV	Photovoltaik
Q	BlindleistungrONT regelbarer Ortsnetztransformator
SPS	speicherprogrammierbare Steuerung
TAB	Technische Anschlussbedingungen
UW	Umspannwerk
VNB	Verteilnetzbetreiber
WEA	Windenergieanlage

4 Technologie und Funktionsweise des rONT

4.1 Allgemeines

Bei konventionellen Ortsnetzverteiltransformatoren erfolgt die Einstellung eines für den jeweiligen Aufstellungsort optimalen Übersetzungsverhältnisses mit einem sog. Umsteller (Oberspannungsumsteller). Durch die Auswahl eines geeigneten Übersetzungsverhältnisses kann die Spannung im gesamten angeschlossenen NS-Netz innerhalb der zulässigen Spannungsgrenzen gehalten werden.

Die Einstellung des Umstellers erfolgt am Aufstellungsort und muss in der Regel nur selten, z. B. infolge veränderter Netzzustände, angepasst werden. Deshalb werden für konventionelle Ortsnetzverteiltransformatoren Umsteller verwendet, die ausschließlich im spannungslosen Zustand (DETC) betätigt werden dürfen.

Durch die zunehmenden Veränderungen in der Erzeugungs- und Laststruktur ist aus Gründen der Spannungshaltung mitunter eine kundennahe Spannungsregelung sinnvoll, die u. a. zur Entwicklung des regelbaren Ortsnetztransformators (rONT) geführt hat, der auch unter Last und Spannung automatisch oder manuell betätigt werden kann.

Ein rONT besteht unabhängig von der gewählten technischen Umsetzung und dessen Funktionsprinzip generell aus den Komponenten Transformatoraktivteil, Stellglied und Steuereinheit mit Regelung (Bild 1).

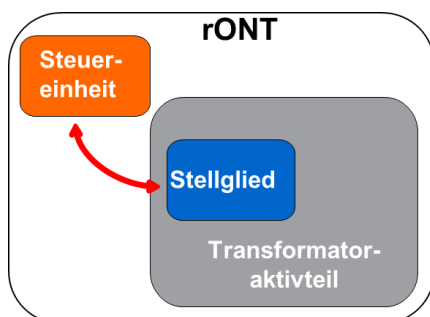


Bild 1: Schematische Darstellung der Komponenten eines rONT

Im Folgenden finden sich allgemeingültige Aussagen zu den rONT-Komponenten sowie eine kurze Beschreibung der derzeit am Markt verfügbaren Lösungen.

4.2 Aufbau des rONT

Je nach Funktionsprinzip des rONT wird der Umsteller (DETC) durch ein unter Last umschaltbares Stellglied (OLTC) ersetzt oder ergänzt, wodurch das Transformatoraktivteil entsprechend ausgeprägt sein muss. Diese Ausprägungen umfassen in der Regel Anzahl und Positionierung der Wicklungsanzapfungen oder ggf. auch ergänzende Bauteile, wie z. B. Begrenzungs- und Kommutierungsrosseln, zusätzliche Wicklungen etc.

Transformator und Stellglied bilden eine funktionale Einheit, wobei in der Regel das Stellglied im oder am Transformatorkegel verbaut wird. Dies führt dazu, dass sich auch Kesselgeometrie, Ölvolumen, Ausprägung der Kühlrippen etc. im Vergleich zu einem konventionellen Ortsnetzverteiltransformator ändern. Von daher kann ein konventioneller Ortsnetzverteiltransformator nicht mit vertretbarem Aufwand entsprechend umgerüstet werden.

In den meisten Fällen können die Abmessungen (Grundfläche, Höhe) des rONT so gewählt werden, dass ein Einsatz in bestehenden Ortsnetzstationen möglich ist.

Je nach technischer Umsetzung und dessen Funktionsprinzip können beim Betrieb von einem rONT sog. Zusatzverluste durch das Stellglied bzw. durch Zusatzbauteile, -wicklungen etc. auftreten. Diese finden generell bei der Auslegung der Funktionseinheit Transformatoraktivteil und Stellglied ihre Berücksichtigung, so dass für die nachfolgend aufgeführten Varianten der am Markt verfügbaren Stellglieder die Einhaltung der Vorgaben aus der EU-Verordnung [3] gegeben ist.

Die geltenden Normen wie. z. B. für Leistungstransformatoren und branchenüblichen Standards (z. B. Stationsabmessungen, Lebensdauer) werden vom rONT ebenfalls eingehalten.

4.3 Technische Realisierung des Stellglieds und der Steuereinheit

An Stellgliedern wurden auf Seiten der Hersteller in den letzten Jahren verschiedene technologische Konzepte zur Umschaltung von Anzapfungen im Verteilungstransformator unter Last erprobt. Von den serienreif verfügbaren Stellgliedern sind drei technologische Realisierungen zur Umschaltung von Transformatorwicklungen zu unterscheiden:

- Oberspannungsseitige Umschaltung mit Laststufenschalter,
- Unterspannungsseitige Umschaltung mit Schützen,
- Unterspannungsseitige Umschaltung mit Schützen in Verbindung mit einem Boostertransformator.

Zusätzlich zum Stellglied wird eine Steuereinheit benötigt, mit der Spannungsregelungsalgorithmen verarbeitet werden. Grundsätzlich übernimmt die Steuereinheit folgende grundlegende Funktionen:

- Spannungsmessung und Auswertung,
- Signalkonvertierung und Auslösung von Schalthandlungen über die Algorithmik,
- Bedienteil zur Inbetriebnahme und manuelle Steuerung des Stellgliedes,
- Optische Anzeigeelemente zur Schaltstufe und Status der Steuereinheit,
- Schalter zur Umschaltung zwischen verschiedenen Regelungsmodi (z. B. Manuell, Auto und Remote).

Zusätzlich bieten einige Hersteller optional noch folgende Funktionen der Steuereinheit an:

- Messung elektrischer oder analog/digitaler Signale vom Transformator bzw. aus der Ortsnetzstation (z. B. Temperatur etc.),
- Anbindung abgesetzter Sensoren für die Spannungssollwertvorgabe,
- Kommunikation zur Netzleitstelle.

In seiner Basisfunktion ermöglicht die Steuereinheit eine autarke Spannungsregelung auf einen festen Spannungssollwert der NS-Sammelschiene. Optional sind auch eine Regelung auf einen lastflussabhängigen Sollwert (Strom/Leistung) oder auch Regelungskonzepte unter Einbezug einer abgesetzten Messwertsensorik möglich.

Am Markt verfügbare Steuereinheiten haben heute Abmaße in verschiedenen Geometrien (z. B. in der Größenordnung BxHxT 40x40x20 cm oder 20x80x15 cm), für die ein lokaler Einbau in oder an der Ortsnetzstation vorzusehen ist. Dies ist in der Regel auch in Kompaktstationen möglich. Desweiteren ist ein Einsatz bei Maststationen möglich, hierbei sind aber u. a. statische Randbedingungen zu beachten.

4.4 Übersicht über am Markt verfügbare Stellglieder und Steuereinheiten

Im Rahmen dieses Technischen Hinweises werden serienreif verfügbare Stellglieder und rONT-Realisierungen vorgestellt, für welche Typprüfungen nach DIN EN 60076 existieren und die kurzfristig am Markt verfügbar sind. Deren technische Kenndaten sind nachfolgender Tabelle zu entnehmen.

Tabelle 1: Übersicht über am Markt verfügbare Stellglieder und Steuereinheiten

Typ des Stellglieds	Oberspannungsseitige Umschaltung mit Laststufenschalter (Beispiel GRIDCON® iTAP®)	Unterspannungsseitige Umschaltung mit Leistungsschützen (Beispiel FITformer® REG)	Unterspannungsseitige Umschaltung mit Schützen in Verbindung mit einem Boostertransformator (Beispiel Minera SGrid)
Funktionsweise	<p>Durch einen motorisch angetriebenen, am Deckel angebrachten und in den Kessel im Transformatorenöl installierten Laststufenschalter lassen sich die Regelwicklungen von Verteilungstransformatoren unter Last dynamisch zu bzw. wegschalten und damit das Übersetzungsverhältnis des Verteilungstransformators wie bei Leistungstransformatoren verändern. Zusätzlich zum Laststufenschalter wird eine Steuereinheit benötigt, mit dem eine autarke Spannungsregelung auf einen festen Spannungswert von der NS-Sammelschiene möglich ist.</p>	<p>Die Schaltung besteht im Wesentlichen aus Vakuum-, Luftschützen, Widerständen sowie einer Steuerung. Das Regelungsprinzip basiert darauf, dass zunächst durch das Schließen eines Schützes ein Bypass aktiviert wird. Der Strom fließt über den Bypass, sodass die mechanischen Schütze ohne unerwünschte Spannungsspitzen oder -einbrüche auch unter Nennlast umschalten können. Erst nach Erreichen der Zielstellung wird der Bypass geöffnet und somit deaktiviert. Die Regeleinheit ist in einem separaten Bereich direkt am Trafokessel angebracht. Darüberhinaus kann zusätzlich ein Stufenschalter für lastfreies Schalten genutzt werden.</p>	<p>Zur Regelung der Schaltstufen des Stellglieds nutzt dieser rONT einen Satz von Leistungsschützen, um die Wicklungen des Boosters dazu zu schalten und die Ausgangsspannung in einem festgelegten Bereich zu halten. Die Schütze sind außerhalb des Kessels in einem abnehmbaren Steuerschrank eingebaut. Während der Umschaltung der Leistungsschütze wird ein Bypass aktiviert, um ein fehlerfreies Umschalten sicherzustellen und unerwünschte Spannungsspitzen zu verhindern. Nach dem Umschalten wird der Bypass durch seine Verschaltung automatisch abgeschaltet. Durch die Verschaltung wird auch sichergestellt, dass es zu keinen internen Schaltfehlern der im Einsatz befindlichen Schütze kommen kann.</p>

Typ des Stellglieds	Oberspannungsseitige Umschaltung mit Laststufenschalter (Beispiel GRIDCON® iTAP®)	Unterspannungsseitige Umschaltung mit Leistungsschützen (Beispiel FITformer® REG)	Unterspannungsseitige Umschaltung mit Schützen in Verbindung mit einem Boostertransformator (Beispiel Minera SGrid)
Bemessungsgrößen	<ul style="list-style-type: none"> • 160 kVA bis 2.250 kVA (10 kV mit oberspannungsseitiger Dreieckschaltung) • 160 kVA bis 4.500 kVA (20 kV mit oberspannungsseitiger Dreieckschaltung) 	250 kVA bis 630kVA (bis zu 36kV)	<ul style="list-style-type: none"> • 160 kVA bis 1000 kVA (für 7,2 kV bis 36 kV mit oberspannungsseitiger Dreiecksschaltung) • Höhere Leistungswerte als Sonderlösungen auf Anfrage
Kurzschluss-spannung	4 %, 6 % oder gemäß Kundenanforderung	4 %, 6 % oder gemäß Kundenanforderung	4 %, 6 % oder gemäß Kundenanforderung
Schalt-einrichtung	Umschaltung erfolgt in Vakuumzellen auf der Oberspannungsseite (Laststufenschalter ausgelegt für bis zu 700.000 Schaltungen)	Umschaltung erfolgt durch eine Vakuum-, Luftschutz, Widerstandskombination auf der Unterspannungsseite (die eingesetzten Vakuumschütze haben je nach Baugröße eine Lebensdauer von bis zu 5 bzw. 10 Millionen mechanischen Schaltspielen bei Bemessungs-Betriebsstrom)	Umschaltung erfolgt durch Leistungsschütze, um die Wicklungen des Boosters dazu zu schalten (Laststufenschalter wartungsfrei über die Lebensdauer des Transformators mit einer elektrischen Schaltfestigkeit von 1.45 Millionen Zyklen)
Regelbereich – unter Last	<ul style="list-style-type: none"> • Stufenschaltung unter Last (on-load): 5, 7 oder 9 Stufen mit bis zu 3 % (frei wählbar) • Stufenspannung: 600V/Stufe 	Lastregelbereich in 3 Stufen Minimale Stufung von 250 kVA \pm 2,5% 400 kVA \pm 3,3% 630 kVA \pm 4,0%	<ul style="list-style-type: none"> • Stufenschaltung unter Last (on-load): 5 oder 9 Stufen (von 1 bis zu 2,5 % pro Stufe) • Standardmäßig ist der lastfreie Umsteller (DETC) mit 5 Stufen ausgelegt.

Typ des Stellglieds	Oberspannungsseitige Umschaltung mit Laststufenschalter (Beispiel GRIDCON® iTAP®)	Unterspannungsseitige Umschaltung mit Leistungsschützen (Beispiel FITformer® REG)	Unterspannungsseitige Umschaltung mit Schützen in Verbindung mit einem Boostertransformator (Beispiel Minera SGrid)
Steuereinheit	<p>Plug & Play-Steuerschrank kann frei in der Transformatorstation platziert werden mit den Funktionen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Regelung auf einen festen Sollwert • Regelung auf lastflussabhängig-en Sollwert (Strom/Leistung) • Regelung unter Einbezug einer abgesetzten Messwertsensorik • Integrierbar in übergreifende Regelkonzepte • Optionale Speicherung von Power-Quality-Messdaten auf einer SD-Karte (U, I, P, Q, S, cosphi, Status und Stufenstellung) • Automatik-, Remote- und Handbetrieb • Höher- / Tieferbedienung 	<p>Steuerschrank kann frei in der Transformatorstation platziert werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Automatik-, Remote- und Handbetrieb • Standard: Zweistufige Spannungsregelung an der Sammelschiene (Parameter für langsames u. schnelles Umschalten, Verzögerungszeiten) • Remote: Spannungsregelung und –monitoring über serielle oder TCP/IP basierte Kommunikation • Manual: manuelle Spannungsregelung über Steuerungsknöpfe an der Steuereinheit • Optional: zusätzliche Strommessung • Optional: Regelung auf Basis dezentraler Messungen im Unterspannungsnetz (SICAM-Produktportfolio mit übergeordneter Regeleinheit) • Alternativ: externes Signal • Alle eingestellten Parameter sind auf einer Micro-Memory-Card (MMC) gespeichert 	<p>Plug & Play-Steuerschrank kann frei in der Transformatorstation platziert werden mit den Funktionen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Regelung auf einen festen Sollwert • Regelung auf lastflussabhängigen Sollwert (Strom/Leistung) • Regelung unter Einbezug einer abgesetzten Messwertsensorik • Integrierbar in übergreifende Regelkonzepte und Stationsautomatisierung • Optionale Speicherung von Messdaten auf SD-Karte, über Zugriff mit Laptop oder mit 3G online Zugriff auf HTML webpage • Automatik-, Remote- und Handbetrieb • Parallelbetrieb mehrerer rONT als Master/Slave

Typ des Stellglieds	Oberspannungsseitige Umschaltung mit Laststufenschalter (Beispiel GRIDCON® iTAP®)	Unterspannungsseitige Umschaltung mit Leistungsschützen (Beispiel FITformer® REG)	Unterspannungsseitige Umschaltung mit Schützen in Verbindung mit einem Boostertransformator (Beispiel Minera SGrid)
Kommunikations-einrichtung und Protokolle	<ul style="list-style-type: none"> • Feldbusklemmen SPS • Ethernet-Schnittstelle • Kommunikationsprotokolle IEC 60870-5-104 und MODBUS TCP 	<ul style="list-style-type: none"> • Hardware-Schnittstellen: 2x RJ45/Ethernet 1x RS 485 • Protokolle: IEC 60870-5-104 (Standard) • Optional: IEC 60870-5-101 (balanced / unbalanced / dialup) IEC 60870-5-103 IEC 61850 ABB RP570/1 Siemens Sinaut-ST1 L&G Telegyr 800 MPT-S DNP3.0 Modbus RTU 	<ul style="list-style-type: none"> • Ethernet Schnittstelle • Kommunikationsprotokolle Modbus, IEC60870-5 (101 – 104) und Profibus • Anbindung externer Messwertensoren über 3G, LAN, Funk oder Power Line
Typprüfungen	<ul style="list-style-type: none"> • Typgeprüfter Transformator nach IEC 60076 • Typgeprüfter Laststufenschalter nach IEC 60214 	<ul style="list-style-type: none"> • Typ- und Routinegeprüfter Transformator nach IEC 60076 	<ul style="list-style-type: none"> • Nachweis über Routine-, Typ- und Sonderprüfungen nach IEC 60076 • Nachweis 26. BImSchV über elektromagnetische Felder

Neben den aufgeführten Stellgliedern sind verschiedene neue Konzepte auf Basis unterschiedlicher technologischer Ansätze in der Entwicklung bzw. im Prototypenstatus.

5 Hinweise zur Planung

5.1 Wirkungsweise des rONT

Die Wirkung eines rONT besteht im Wesentlichen in der Entkopplung der Nieder- von der Mittelspannung. Daraus resultiert der eigentliche Nutzen des Einsatzes eines rONT, nämlich die Möglichkeit einer neuen Aufteilung des zur Verfügung stehenden Spannungsbandes gemäß der DIN EN 50160.

Generell erfolgt die Spannungsbandaufteilung ausgehend vom geregelten HS/MS-Transformator über die Leitungsstrukturen der Mittelspannung, über den konventionellen ONT, über die Leitungsstrukturen in der NS bis hin zum Hausanschluss. Jenes ist in Bild 2 (Fall A) dargestellt.

Durch den punktuellen Einsatz eines rONT besteht aufgrund der Entkopplung der NS von der MS die Möglichkeit, das dem rONT nachgelagerte Spannungsband innerhalb der Vorgaben neu aufzuteilen. Jenes ist in Bild 2 (Fall B) dargestellt.

Durch den strangweisen Einsatz von rONT besteht aufgrund der Entkopplung der Spannung des MS-Stranges von den Spannungen der NS-Netzen in diesem Strang die Möglichkeit, das Spannungsband in dem betreffenden MS-Strang bis zur oberen und unteren Spannungsbandgrenze auszunutzen. Der Sollwert am HS/MS-Transformator kann hierdurch allerdings nicht frei gewählt werden, sondern wird weiterhin durch die Spannungsbandaufteilung in den anderen MS-Strängen bestimmt. Jenes ist in Bild 2 (Fall C) dargestellt.

Durch einen flächendeckenden Einsatz von rONT besteht aufgrund der gesamtheitlichen Entkopplung der NS von der MS die Möglichkeit, neben dem nachgelagertem Spannungsband der NS auch das vorgelagerte Spannungsband der MS innerhalb der Vorgaben neu aufzuteilen. Jenes ist in Bild 2 (Fall D) dargestellt.

Die Frage, ob es bei drohendem Spannungskollaps einen negativen Einfluss auf die Netzstabilität geben würde, wenn sehr viele bzw. fast alle MS-Netze flächendeckend mit rONT ausgestattet wären, ist bislang nicht abschließend wissenschaftlich untersucht. Ergebnisse von laufenden Studien hierzu werden voraussichtlich Anfang 2017 vorliegen. Dann wird es eine entsprechende Ergänzung zu dem FNN-Hinweis geben.

Beispielhafte Aufteilungen der Spannungsbänder unter Berücksichtigung der notwendigen Einflussgrößen sind im Anhang B2 zu finden.

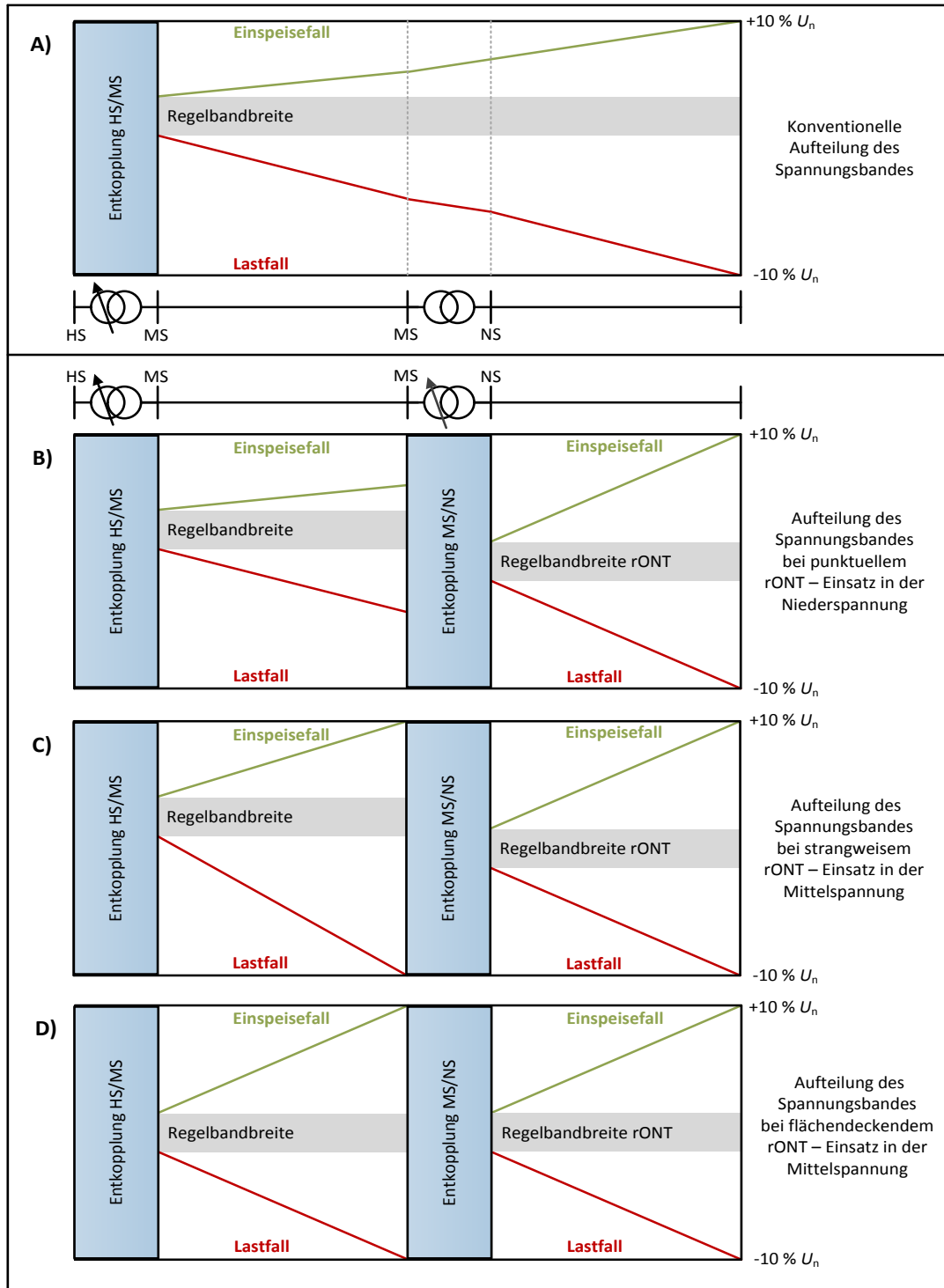


Bild 2: Aufteilung der Spannungsbänder

- A) Bei konventionellem ONT
- B) Bei punktuelltem rONT-Einsatz
- C) Bei strangweisen rONT-Einsatz
- D) Bei flächendeckendem rONT-Einsatz

5.2 Anwendungsfälle

Mit einem rONT kann durch die Spannungsentkopplung am MS/NS-Verknüpfungspunkt das verfügbare Spannungsband besser ausgenutzt werden. Heute wird dies in erster Linie für den Anschluss von zusätzlichen EZA genutzt. Natürlich können damit auch zusätzliche Lasten mit dem bestehenden Netz bedient werden. Darüber hinaus richten sich schon die ersten Blicke auf mögliche Optimierungen der Netztopologie selbst, z. B. in Form einer Zusammenlegung von zwei Ortsnetzen zur Einsparung einer ONS sowie auf Optimierungen im Bereich des Blindleistungsmanagements. Im Folgenden werden diese Anwendungsfälle kurz erläutert.

5.2.1 Behebung von Spannungsbandproblemen

Spannungsgrenzwertverletzungen lassen sich in einfacher Form durch rONTs vermeiden. Dabei können diese nicht nur in NS-Netzen behoben werden, sondern bei großflächigem bzw. geschicktem Einsatz auch im MS-Netz. Im Folgenden werden mehrere Einsatzfälle von rONTs vorgestellt.

5.2.1.1 Punktueller Einsatz mit Fokus auf das Niederspannungsnetz

Der punktuelle Einsatz eines rONT ist dann sinnvoll, wenn im NS-Netz die in den eigenen Planungsgrundsätzen festgelegten Spannungsgrenzwerte verletzt werden. Durch die Entkopplung der MS- von der NS-Ebene steht dem Planer ein breiteres Spannungsband zur Verfügung. In Bild 3 sind beispielhaft vereinzelte Stationen mit einem rONT zu sehen.

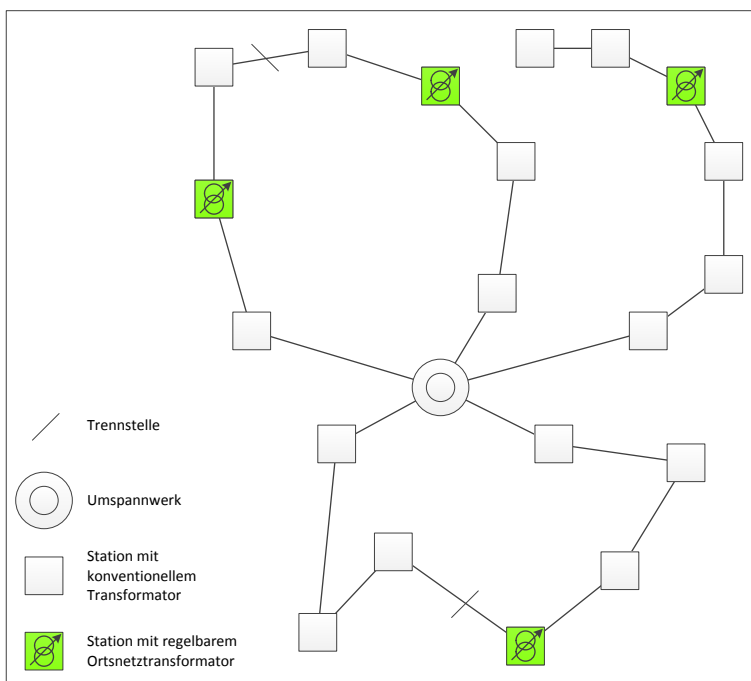


Bild 3: Punktueller Einsatz des rONT in einem MS-Netz

Anwendungsbeispiele können sein:

- punktuelle Spannungsbandverletzungen in der NS-Ebene durch Einspeiser bzw. Verbraucher (z. B. Wärmepumpen oder Elektromobilität).
- punktuelle Spannungsbandverletzungen in der MS-Ebene durch große fluktuierende Einspeiser (z. B. Windenergieanlage) bzw. Verbraucher (z. B. Industriebetrieb) in der Nähe der betrachteten Station.

Vorteile:

- Netzverstärkungsmaßnahmen im NS-Netz können vermieden, minimiert oder hinausgezögert werden, um diese zu einem späteren Zeitpunkt optimiert ausführen zu können.
- Der rONT bietet eine höhere Planungssicherheit als z.B. der konventionelle Netzausbau, da das Integrationspotenzial für Einspeiser und Lasten im gesamten Ortsnetz erhöht wird.

5.2.1.2 Strangweiser Einsatz mit Fokus auf das Mittelspannungsnetz

Der strangweise Einsatz eines rONT ist dann sinnvoll, wenn im MS-Netz ab einer gewissen Entfernung vom Umspannwerk die durch die eigenen Planungsgrundsätze festgelegten Spannungsgrenzwerte verletzt werden. Hier sorgt die Entkopplung des entsprechenden MS-Stranges von den ihm unterlagerten NS-Netzen dafür, dass die Spannung auf der NS-Ebene durch den rONT trotz zu hoher bzw. niedriger Spannung auf der MS-Ebene konstant gehalten wird. Bild 4 zeigt ein MS-Netz, in dem alle ONS, die einen bestimmten Grenzwert für die Spannungsänderung überschreiten, mit einem rONT ausgestattet werden. So können deutlich höhere Spannungsänderungen als üblich im MS-Netz zugelassen werden, ohne Netzausbau durchführen zu müssen.

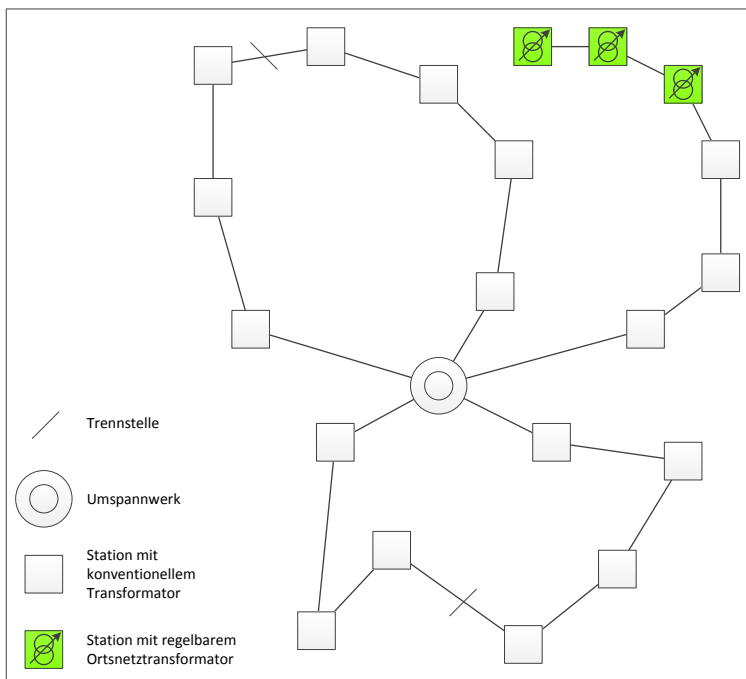


Bild 4: Strangweiser Einsatz von rONT in einem MS-Netz

Anwendungsbeispiele können sein:

- Spannungsbandverletzungen in einem größeren zusammenhängenden Bereich in der MS-Ebene (z. B. am Ende von Stichen oder offen betriebenen Ringstrukturen) durch große fluktuierende oder konstante Einspeiser bzw. Verbraucher in der Nähe der betrachteten Station

Vorteile:

- Für die einzelnen NS-Netze gelten alle Vorteile aus Kapitel 5.2.1.1
- Netzverstärkungsmaßnahmen im MS-Netz können vermieden, minimiert oder hinausgezögert werden, um diese zu einem späteren Zeitpunkt optimiert ausführen zu können.

Hinweise:

- Da die Vorgaben der DIN EN 50160 weiterhin an jedem MS-Netzanschluss eingehalten werden, können Kundenstationen im Strang mit konventionellen ONT weiter betrieben werden.
- Bei NS-Netzen mit sehr geringen oder keinen Spannungsanhebungen kann ggf. auf einen rONT-Einsatz verzichtet werden.

5.2.1.3 Flächendeckender Einsatz mit Fokus auf das Mittelspannungsnetz

Der flächendeckende Einsatz von rONT ist dann sinnvoll, wenn im gesamten MS-Netz die Gefahr von Spannungsbandverletzungen besteht. Hierbei ist zu beachten, dass bei Stationen in der Nähe des Umspannwerkes aus Sicht der MS keine Notwendigkeit für einen rONT-Einsatz besteht. Ein sinnvoller Weg zu diesem Szenario wäre ein sukzessives Ausstatten aller von Spannungsbandverletzungen betroffenen Stationen beginnend bei den am weitesten vom Umspannwerk entfernten (Bild 5). Im Gegensatz zum rONT-Einsatz in einzelnen Strängen kann hier z. B. der Spannungswert am HS/MS-Transformator abgesenkt werden und so im MS-Netz ein noch höherer Spannungshub zugelassen werden. Dies ist im Bild 2 (Fall C) dargestellt.

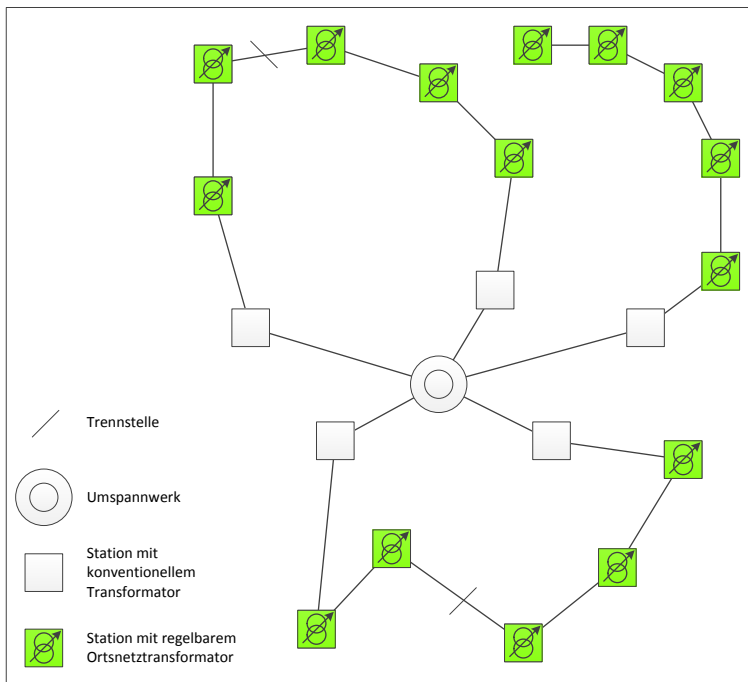


Bild 5: Flächendeckender Einsatz des rONT in einem MS-Netz

Anwendungsbeispiele können sein:

- Spannungsbandverletzungen in einem größeren zusammenhängenden Bereich in der MS-Ebene durch zu hohe Spannungen aus der HS-Ebene, die nicht durch den Stufenschalter am HS/MS-Transformator ausgeglichen werden können.
- Spannungsbandverletzungen in einem größeren zusammenhängenden Bereich in der MS-Ebene durch große fluktuierende oder konstante Einspeiser mit Direktanschluss am Umspannwerk, die nicht durch den Stufenschalter am HS/MS-Transformator ausgeglichen werden können
- Anschluss von mehr Erzeugungsleistung in einem durch Einspeiser geprägten Netz durch Absenkung des Spannungssollwertes am Stufenschalter des HS/MS-Transformators.

Vorteile:

- Für die einzelnen NS-Netze gelten alle Vorteile aus Kapitel 5.2.1.1
- Netzverstärkungsmaßnahmen im MS-Netz können großflächig vermieden, minimiert oder hinausgezögert werden, um diese zu einem späteren Zeitpunkt optimiert ausführen zu können.
- Der Austausch eines HS/MS-Transformators gegen einen mit anderem Übersetzungsverhältnis bzw. Stufenschalter kann vermieden bzw. hinausgezögert werden.

5.2.2 Optimierung der Netztopologie

Eine weitere Zielsetzung, die mit dem rONT-Einsatz verfolgt werden kann, besteht darin, diese Technologie in der Zielnetzplanung zu berücksichtigen und bestehende Netztopologien zu optimieren. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund einer sich verändernden Netzaufgabe aus Einspeise- und Lastsicht interessant. Beispielsweise können zwei oder mehrere NS-Netze zu

einem größeren Netzgebiet zusammengefasst werden, um eine oder mehrere Netzstationen einzusparen. Der rONT kompensiert dann die damit verbundenen größeren Spannungsschwankungen. Die Versorgungsradien von ONS mit rONT können gemäß der beispielhaften Darstellung in Bild 6 vergrößert werden.

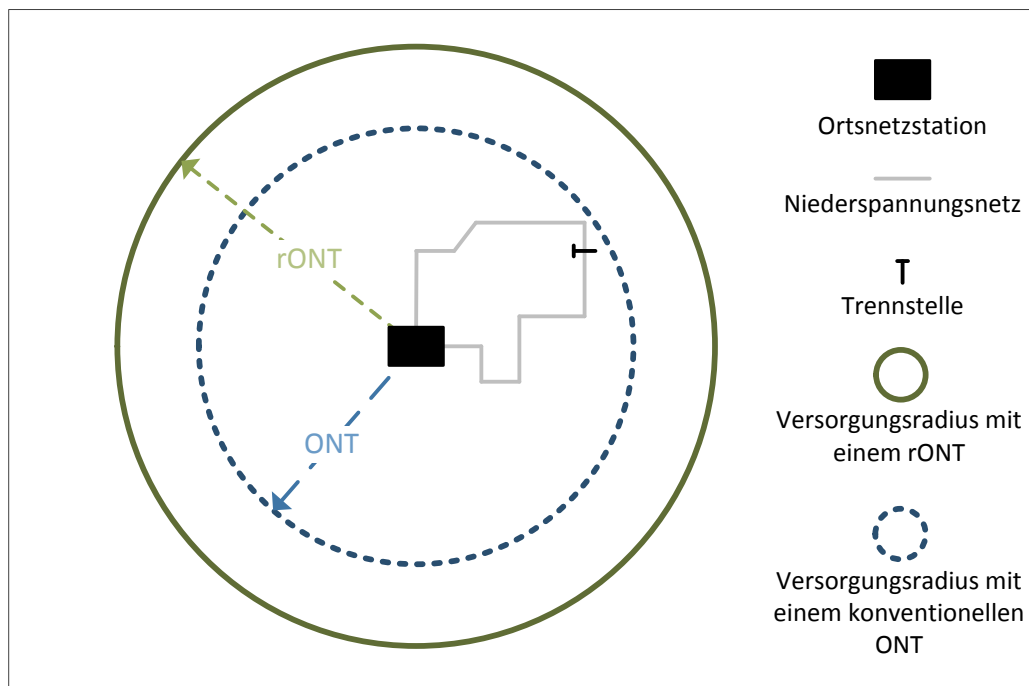


Bild 6: Exemplarische Darstellung der Vergrößerung des Versorgungsradius durch rONT

Darüber hinaus kann mit Blick auf den Inspektionsaufwand, eine Automatisierung und Überwachung der ONS und eine Einbindung von Anlagen am NS-Netz oder Smart Metern über die Ortsnetzstation technisch und wirtschaftlich interessant sein. Hierzu gibt es bereits erste Realisierungen [4].

5.2.3 Unterstützung beim Blindleistungsmanagement in MS-/NS-Netzen

Darüber hinaus kann bei einem rONT Einsatz ein zusätzlicher Gestaltungsspielraum beim Blindleistungsmanagement in den unteren Netzebenen genutzt werden. So könnte mit der durch rONTs geschaffenen besseren Ausnutzung des verfügbaren Spannungsbands ein verändertes Blindleistungsverhalten von EZA vorgegeben werden. Dies kann vorteilhaft sein

- mit Blick auf die Belastungen der Netzbetriebsmittel (Scheinströme),
- den Ausgleich des eigenen Blindleistungshaushalts (am Netzverknüpfungspunkt zum vorgelagerten Netz) und
- das Schaltvermögen bzw. die Löschbedingungen der Leistungsschalter (Blindströme).

Für weitere Informationen sei auf die Unterlagen [1,2] verwiesen.

5.3 Grenzen und Sonderfälle des rONT-Einsatzes

Auch wenn es durch den Einsatz eines rONT in einer Vielzahl der Netze möglich ist, die Netzanschlusskapazität stark zu erhöhen, müssen in wenigen Sonderfällen Einschränkungen beachtet werden. Eine Steigerung der angeschlossenen Erzeugungsleistung über thermische Grenzen der Betriebsmittel (Leitungen, Transformator) hinaus ist auch mit einem rONT grundsätzlich nicht möglich; in einem solchen Fall muss konventioneller Netzausbau oder der Austausch eines Transformators erfolgen.

5.3.1 rONT-Einsatz bei sehr langen Netzausläufern

In Netzausläufern mit großer Leitungslänge und mit hoher angeschlossener Erzeugungsleistung ist der rONT-Einsatz im Einzelfall zu untersuchen. Der rONT-Einsatz bietet in jedem Fall eine Erweiterung des Spannungsbandes von beispielsweise 3 % auf 8 % (s. Abschnitt 5.9, Bild 14). Ggf. kann der rONT mit anderen technischen Konzeptionen, wie z. B. punktueller Netzausbau, gesonderte Blindleistungsbereitstellung durch EZA oder Strangregler, ergänzt werden.

5.3.2 rONT-Einsatz bei inhomogenen Strängen

Wenn in einem NS-Netz stark inhomogen belastete Stränge auftreten, in einem Abgang also vorwiegend EZA, in einem anderen Abgang vorwiegend Verbraucher installiert sind, dann laufen die Spannungsprofile dieser Abgänge auseinander. Elektrisch ist dieser Fall vergleichbar mit dem Fall bei langen Netzausläufern, daher gelten die gleichen Aussagen wie unter 5.3.1.

5.3.3 rONT-Einsatz im Parallelbetrieb

Hierzu sind die Hinweise in Abschnitt 5.7.3 zu beachten.

5.4 Regelverfahren

Für die Spannungsregelung des rONT an der NS-Sammelschiene ergeben sich grundsätzlich folgende Varianten, die in aufsteigender Komplexität dargestellt sind:

- Regelung auf einen festen Spannungssollwert (s. 5.4.1),
- Regelung auf einen lastflussabhängigen Spannungssollwert (s. 5.4.2),
- Regelung unter Einbezug einer abgesetzten Mess-Sensorik (s. 5.4.3).

Für die allermeisten Anwendungsfälle ist bereits das erste Verfahren ausreichend. Grundsätzlich muss der Mehraufwand für komplexere Verfahren durch einen signifikanten netzplanerischen Vorteil gewährleistet sein. In vielen Fällen ist die vollständige Ausnutzung der theoretisch vorhandenen Spannungsbandreserven nicht realisierbar, da auch die maximale Strombelastbarkeit der Leitungen im NS-Netz berücksichtigt werden muss. Je nach gewähltem Verfahren ist unterschiedlich viel Mess- und teilweise auch Kommunikationstechnik notwendig. Die Varianten werden im Folgenden näher beschrieben.

5.4.1 Regelung auf einen festen Spannungssollwert

Bei diesem Verfahren ist der Sollwert der Spannung an der Unterspannungsseite des rONT unabhängig vom aktuellen Lastfluss durch einen festen Wert (z. B. 400 V) vorgegeben. Wenn der gemessene Wert länger als eine einstellbare Verzögerungszeit außerhalb der einstellbaren Regelbandbreite um diesen Sollwert liegt, wird ein Stufungsvorgang des Reglers ausgelöst. In Bild 7 ist der mögliche Bereich der Ausgangsspannung des MS/NS-Transformators bei Regelung

auf einen festen Spannungswert dargestellt. Demnach ist dieser wie der Sollwert unabhängig von der Höhe und Richtung des Stromes über den Transformator.

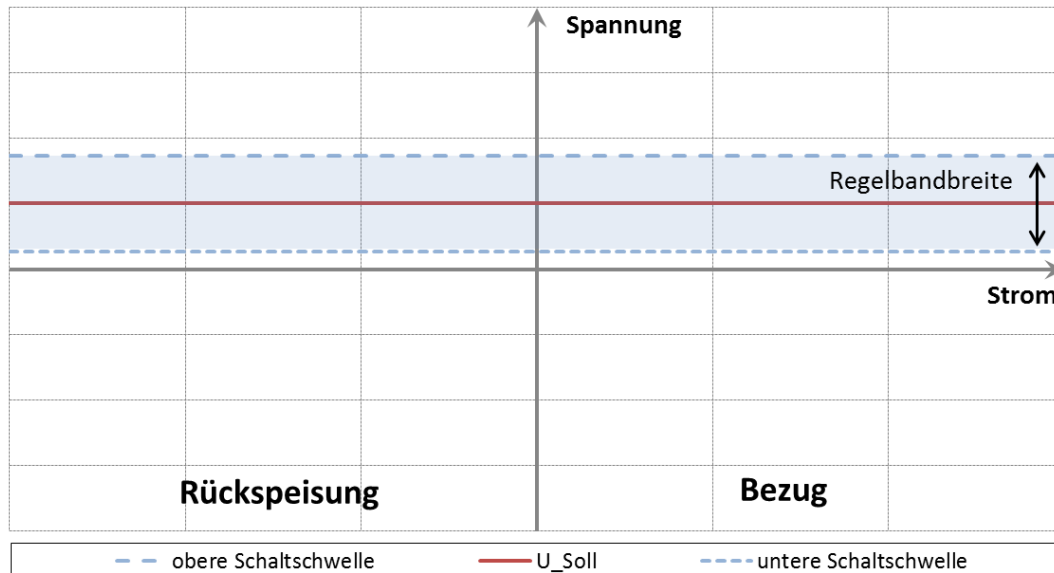


Bild 7: Darstellung einer typischen Regelbandbreite bei Regelung auf festem Spannungswert

Für die Regelbandbreite ist ein Mindestwert nötig, weil bei gestuften Reglern sonst bei einem Überschreiten der Schaltschwellen die Sammelschienenspannung nach einem Stufungsvorgang nicht innerhalb der Regelbandbreite gebracht werden kann und damit weitere Rückschaltvorgänge angeregt werden würden. Zur Wahl der diversen Regelparameter sei auf Abschnitt 5.5 verwiesen.

5.4.2 Regelung auf einen lastflussabhängigen Spannungswert

Dieses auch als Stromkompoundierung bezeichnete Verfahren benötigt neben der Messung der NS-Sammelschienenspannung eine Erfassung des richtungsabhängigen Lastflusses über dem ONT. Mit dieser Zusatzinformation wird der Sollwert der Spannung der aktuellen Lastflusssituation angepasst. Es handelt sich hierbei um eine in höheren Spannungsebenen bereits bewährte Technologie.

Bei ausreichend homogen belasteten NS-Netzen wird bei Bezug im NS-Netz die Spannung im NS-Netz bis zu den Verbrauchern abfallen und kann folglich am rONT höher eingestellt werden. Bei Rückspeisung aus dem NS-Netz kann am rONT eine niedrigere Spannung gewählt werden, da diese im NS-Netz aufgrund der Einspeisung noch ansteigen wird. Somit kann das laut Norm zulässige Spannungsband im NS-Netz besser ausgenutzt werden. Bild 8 zeigt beispielhaft einen Verlauf des Sollwertes und die sich um diesen anordnende Regelbandbreite für eine Stromkompoundierung.

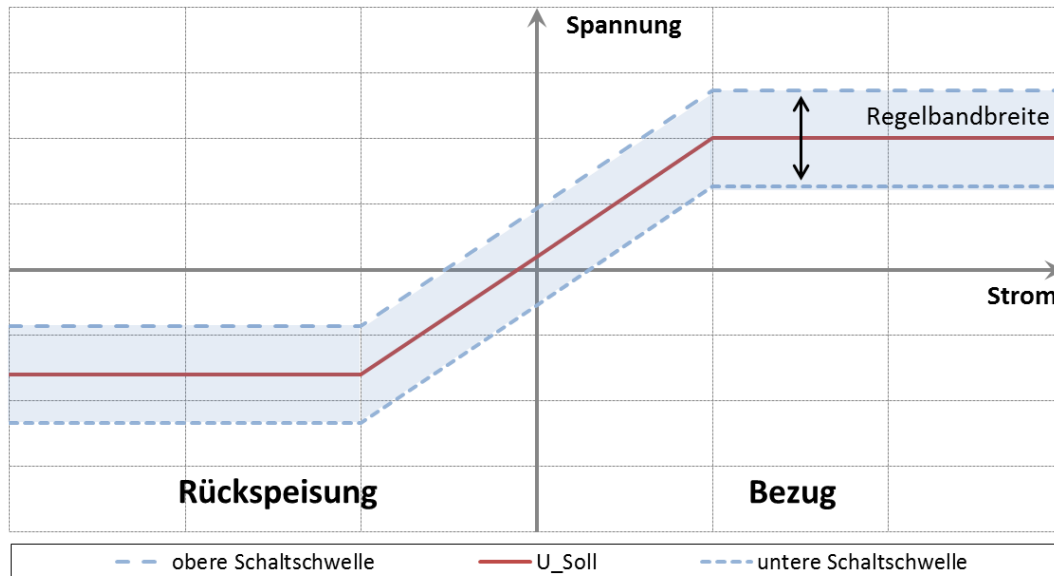


Bild 8: Darstellung der Regelbandbreite bei Regelung auf einen lastflussabhängigen Spannungssollwert

Anstelle des Stromes kann auch der Leistungswert zur Ermittlung des Spannungssollwerts herangezogen werden.

Die $U_{\text{soll}}/I_{\text{Last}}$ -Kennlinie wird meist analytisch ermittelt und oft für alle bzw. eine bestimmte Kategorie an Netzen vorgegeben. Alternativ können Netzberechnungen zu Hilfe gezogen werden, mit denen sich genauere und das Spannungsband noch besser ausschöpfende, aber dann nicht mehr allgemein verwendbare Kennlinien ableiten lassen. Eine Methode, die zwischen diesen beiden Extrema einzuordnen ist, ist in [5] beschrieben.

Wie bei Regelung auf festen Sollwert sind auch hier für gestufte Regler die Einstellung einer Mindest-Regelbandbreite und die Hinweise in Abschnitt 5.5.2 zu beachten.

5.4.3 Spannungsregelung unter Einbezug einer abgesetzten Mess-Sensorik

Durch die messtechnische Erfassung mindestens eines Punktes im NS-Netz kann eine Sollwertregelung am rONT auf diesen Punkt eingestellt werden. Diese Art der Regelung kann zusätzliches Integrationspotenzial bieten. Voraussetzung dafür ist es, zuvor durch Netzberechnung zu ermitteln, an welchen Stellen im Netz die Spannung am höchsten und am niedrigsten wird. An mindestens einer dieser Stellen muss dann Messtechnik eingebaut und kommunikativ an die Steuereinheit angebunden sowie das alternative Regelkonzept bei Kommunikationsausfall eingestellt werden.

5.5 Regelparameter

Das Regelverhalten des rONT wird durch verschiedene Auslegungs- und Einstellparameter festgelegt, die im Folgenden näher erläutert werden.

5.5.1 Auslegungsparameter

Neben den klassischen Auslegungsgrößen, wie z. B. die Bemessungsspannung oder -leistung, müssen beim rONT weitere Kenngrößen bei der Bestellung vorgegeben werden. Diese sind im Wesentlichen der Regelbereich, die Grundposition und die Stufenspannung.

Bei gestuften Transformatoren, die also in diskreten Stufen ihr Übersetzungsverhältnis ändern, beschreibt die Stufenspannung den mit einer Umschaltung verbundenen quasistationären Spannungssprung. Diese wird meist bezogen auf die Bemessungsspannung angegeben und legt zusammen mit der Anzahl der Stufen den Regelbereich fest. Der Regelbereich definiert den Stellbereich der Transformatorspannung und wird normalerweise in Form der Grundposition (Nennübersetzung) des Transformators und der Anzahl der Stufen in Richtung höherer und niedrigerer Spannung angegeben, z. B. 20,0 kV/0,4 kV $\pm 4 \times 2,5 \%$. Hierin bedeuten 20,0 kV/0,4 kV die Nennübersetzung bzw. Übersetzung in Grundposition mit jeweils vier Schaltpositionen in Richtung höherer und niedrigerer Spannung, wobei die Stufenspannung 2,5 % beträgt. Der Regelbereich kann aber grundsätzlich auch unsymmetrisch um die Grundposition angeordnet werden, z. B. 20,0 kV/0,4 kV $+2 \times 2,5 \%$ $-6 \times 2,5 \%$.

Bei der Wahl der Stufenspannung ist zu beachten, dass diese auch den Flickerwert im Netz beeinflusst (s. Abschnitt 5.6). Die Wahl des Regelbereichs bestimmt das zusätzlich nutzbare Spannungsband, die integrierbare Erzeuger- und Verbraucherleistung sowie den erreichbaren Versorgungsradius einer ONS.

5.5.2 Einstellparameter

Mit Einstellparametern sind hier die Regelkenngößen gemeint, welche auch nach Anschaffung eines rONTs jederzeit geändert werden können. Zu den wichtigsten zählen:

- Spannungssollwert U_{Soll} in V:

Sollwert für das einzustellende Spannungsniveau. Der Wert für U_{Soll} kann fest vorgegeben oder in Abhängigkeit von weiteren Einflussfaktoren variabel angepasst werden (siehe Abschnitt 5.4). Da bei gestuften Transformatoren der Spannungssollwert nicht exakt eingehalten werden kann und eine Umschaltung zu einem Spannungssprung entsprechend der Stufenspannung führt, muss eine Abweichung vom Spannungssollwert zugelassen werden.

- Obere und untere Schaltschwelle in % bezogen auf Nennspannung:

Diese beiden Werte geben an, wie stark der gemessene Spannungswert exklusive Messfehler nach oben und unten von dem Sollwert abweichen darf, bevor eine Stufung durch den Regler erfolgt. Es ist in der Regel zweckmäßig, die obere und untere Schaltschwelle symmetrisch um den Sollwert einzustellen. Letztlich relevant ist jedoch der Bereich zwischen der oberen und unteren Schaltschwelle, welche auch als Regelbandbreite oder Regelhysterese bezeichnet wird. Je geringer die Regelbandbreite desto größer ist das zusätzlich nutzbare Spannungsband (s. Bild 2).

Die Regelbandbreite sollte aber stets größer als die Stufenspannung sein, praktisch bewährt hat sich als Wert die 1,6-fache Stufenspannung (s. Bild 9).

Durch eine höhere Regelbandbreite kann die Anzahl der Schaltspiele reduziert werden.

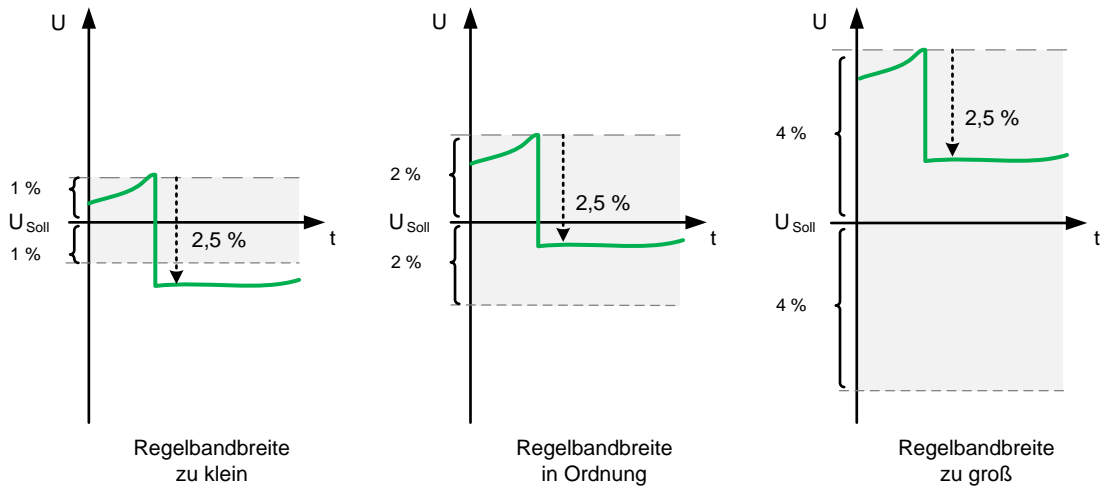


Bild 9: Verschiedene Auslegungen der Regelbandbreite bei 2,5%-Spannungsstufe

Die folgenden Einstellparameter sind bei einigen rONT-Typen zusätzlich definierbar und ermöglichen eine Optimierung des Regelverhaltens:

■ Verzögerungszeit T_1 [s]

Dieser Parameter legt die Zeit fest, mit der die Umschaltung nach Über- bzw. Unterschreiten der oberen bzw. unteren Schaltschwelle verzögert wird. Nur wenn die Spannung nach der Verzögerungszeit immer noch außerhalb der Regelbandbreite liegt, wird eine Stufung ausgelöst. Damit werden unnötige Reaktionen auf kurzfristige Spannungsspitzen oder -einbrüche vermieden, z. B. durch einen Wolkenzug. Als minimaler Wert werden daher 10 Sekunden empfohlen. Im Zusammenspiel mit einer Q(U)-Regelung im NS-Netz können sich höhere Werte als 10 Sekunden als sinnvoll erweisen.

■ Schnellschaltung

Um bei größeren Abweichungen vom Spannungswert (z. B. bei Wiederinbetriebnahme des Reglers soll der Regler schnell wieder in den erlaubten Bereich zurückschalten) schneller reagieren zu können, besteht die Möglichkeit eine Schnellschaltung durchzuführen.

Diese wird z. B. über die folgenden Optionen realisiert:

- Schnellschaltsschwellen in % bezogen auf Nennspannung:

Diese Parameter liegen außerhalb der Regelbandbreite und sorgen dafür, dass bei Über- oder Unterschreiten der definierten Schnellschaltsschwellen sofort ohne Beachtung der Verzögerungszeit T_1 , eine Stufung ausgelöst wird (Bild 10).

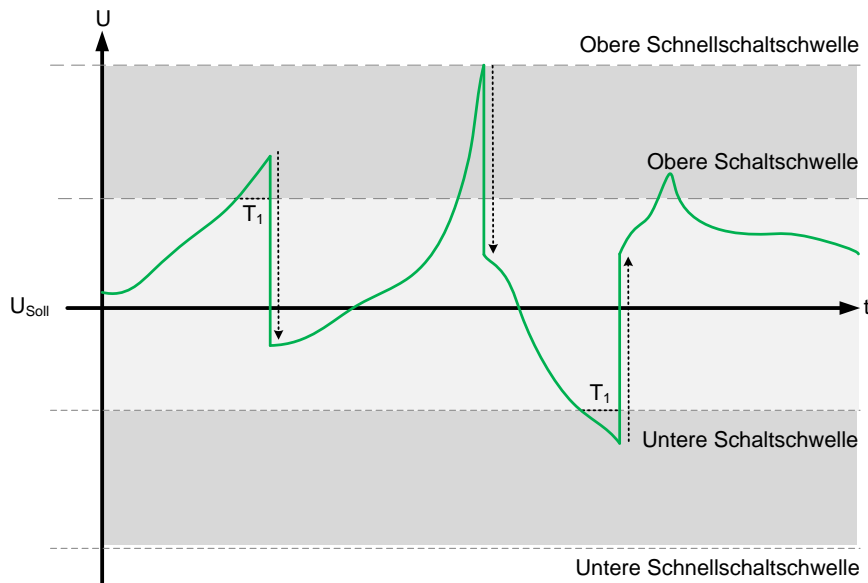


Bild 10: Nutzung von Schnellschaltsschwellen

- Verkürzte Verzögerungszeit T_2 in s:

Wenn nach erfolgter Stufung die gemessene Spannung weiterhin außerhalb der Regelbandbreite liegt, wird nach einer verkürzten Verzögerungszeit T_2 ($T_2 < T_1$) eine weitere Stufung ausgelöst (Bild 11).

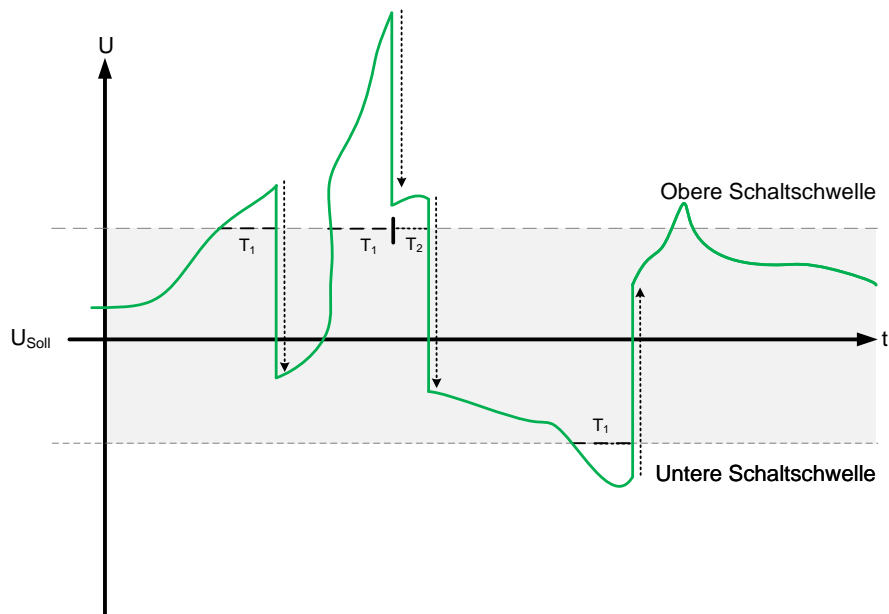


Bild 11: Nutzung einer verkürzten Verzögerungszeit T_2

5.6 Flicker

Die Schaltvorgänge am rONT stellen schnelle Spannungsänderungen dar und beeinflussen den Flickerwert im Versorgungsnetz. Der Flickerbeitrag durch den rONT hängt wesentlich von der Stufenspannung und der Schalthäufigkeit ab. Letztere wird durch die Regelbandbreite und die eingestellten Verzögerungszeiten beeinflusst. Durch geeignete Auswahl dieser Parameter kann die IEC 61000-3-11 eingehalten werden (s. Abschnitt 5.5).

5.7 Regelung im Verbund mit anderen Reglern

5.7.1 Wechselwirkung rONT – HS/MS-Transformator

Eine Stufung eines HS/MS-Transformators beeinflusst alle unterlagerten Knotenspannungen. Bei einem rONT kann eine Reaktion auf diese Spannungsänderung ebenfalls eine Stufung sein.

Dabei ist jedoch zu beachten, dass nicht jede Stufenschaltung des HS/MS-Transformators auch eine Stufenschaltung des rONT zur Folge hat. Dies ist stark davon abhängig, welchen Wert die Spannung unmittelbar vor dem Zeitpunkt der Stufenschaltung aufweist sowie von der Stufenspannung des HS/MS-Transformators. Praktische Erfahrungen und eine theoretische Untersuchung [5] haben gezeigt, dass sich die angeregten Stufungen beim rONT durch die Stufungen eines HS/MS-Transformators in Grenzen halten und somit die Lebensdauer des rONT nicht beeinflussen.

Selbst bei einem großflächigen Einsatz von rONT ist die Beeinflussung der Strom- und Blindleistungsflüsse im MS-Netz sehr gering. Eine Beeinflussung des HS/MS-Transformators durch den Einsatz von rONT tritt somit nicht auf.

5.7.2 Wechselwirkungen rONT und Erzeugungsanlage

Bei einer richtigen Parametrierung des rONT hat dieser keinen wesentlichen Einfluss auf die Wirkleistungseinspeisung der EZA. Die durch einen rONT hervorgerufenen Spannungsanpassungen bewirken lediglich geringe Veränderungen der Stromflüsse, auf die er aber aufgrund seiner Regelhysterese nicht reagiert. Insofern können Wechselwirkungen hinsichtlich der Wirkleistung vernachlässigt werden.

Bei einer Blindleistungsbereitstellung über ein fixes $\cos(\phi)$ - oder ein $\cos(\phi)(P)$ -Konzept (s. VDE-AR-N 4105 bzw. [6]) ist diese ausschließlich von der eingespeisten Wirkleistung abhängig, somit treten keine Wechselwirkungen zwischen rONT und EZA auf.

Bei Einsatz der Q(U)-Regelung in EZA in der NS sind mögliche Wechselwirkungen mit dem rONT zu beachten. So kann bspw. durch die Stufung eines rONT und der damit einhergehenden Änderung der Spannung die Blindleistungsbereitstellung der EZA, die ein Q(U)-Konzept nutzen, beeinflusst werden. Bei geeigneter Parametrierung können beide Verfahren nebeneinander eingesetzt werden [1]. Eine weitergehende Optimierung der Parametrierung wird in weiteren Projekten untersucht [7].

5.7.3 Parallelbetrieb von regelbaren Ortsnetztransformatoren

Beim Parallelbetrieb von Transformatoren lässt sich aus örtlicher Sicht zwischen dem Netz-Parallelbetrieb und dem Sammelschienen-Parallelbetrieb und aus zeitlicher Sicht zwischen einem Dauer-Parallelbetrieb und einer kurzzeitigen Parallelschaltung unterscheiden.

Ein dauerhafter Netz-Parallelbetrieb von rONT ist grundsätzlich möglich. Aufgrund der möglichen zusätzlichen Belastung durch entstehende Kreisblindströme und des höheren

Planungsaufwandes ist dies aber nicht zu empfehlen bzw. es wird auf die Hinweise in Abschnitt 6.4 verwiesen.

Sollte aus betrieblichen Gründen eine kurzzeitige Netz-Parallelschaltung von rONT-rONT erforderlich sein, so sind die Hinweise im Kapitel 6 zu beachten.

Für einen auch nur kurzfristigen Sammelschienen-Parallelbetrieb ist zwingend ein Gleichlauf der Transformatoren notwendig. Hierfür werden verschiedene Verfahren / Lösungen von den Herstellern angeboten, z. B. Master-Follower (Master-Slave-Verfahren) oder die Kreisblindstromminimierung.

5.8 Aspekte der Aufwand/Nutzen-Analyse

5.8.1 Aufwände

Für den Einsatz eines rONT muss der Netzbetreiber Investitionen und Betriebskosten berücksichtigen. Weiterhin fallen Initialkosten, z. B. für die Erstellung einer Dokumentation, Schulung des Betriebspersonals, etc. an.

Die Investitionen eines rONT können sich aus den folgenden Faktoren zusammensetzen:

■ Beschaffung

Die Beschaffungskosten sind abhängig von der gewählten technischen Lösung und deren Parametern. Hierbei ist zu beachten, dass während der Lebensdauer des rONT die Steuereinheit ggf. auszutauschen ist.

■ Montage

Bei der Montage des rONT sind neben den Kosten für die Installation des Leistungstransformators selbst auch die Kosten für die Montage der Sensorik (z. B. Stromwandler) und der Steuerelektronik zu berücksichtigen.

■ Kommunikationsanbindung

Die Kosten für den Aufbau einer optionalen Datenübertragung an die Leitstelle sind von der Art der Kommunikationsstrecke und dem zu übertragenden Datenvolumen abhängig. Für den Betrieb eines rONT mit festem oder lastflussabhängigem Sollwert ist grundsätzlich keine Kommunikationsanbindung erforderlich. Wird abgesetzte Messsensorik verwendet, so sind hierfür zusätzliche Kosten für die Implementierung der erforderlichen Kommunikationsanbindung zu berücksichtigen.

■ Dokumentation

Der rONT ist in der Dokumentation der Sachdaten- und GIS-Systeme des Netzbetreibers zu berücksichtigen.

Bei den Betriebskosten ergeben sich gegenüber einem ONT nur geringe Unterschiede, sofern keine Kommunikationsanbindung realisiert wird. Die Kosten für Wartung und Instandhaltung einer Station mit rONT erhöhen sich nicht signifikant. Im Vergleich zu einem ONT ist nicht mit einer signifikanten Erhöhung der elektrischen Verluste zu rechnen. Heute am Markt verfügbare rONT-Lösungen, die in diesem Hinweis aufgeführt sind, erfüllen weiterhin die gültigen Ecodesign Richtlinien 2015 [3].

5.8.2 Nutzen

Der Nutzen des rONT ergibt sich im Wesentlichen hinsichtlich der nachfolgend kurz erläuterten Aspekte:

- Substitution von konventionellem Netzausbau,
- Gewinn von höherer Flexibilität und Erhöhung der Netzkapazität,
- Komplexitätsreduktion,
- Einsparung von ONS.

Der wesentliche Nutzen des rONT besteht in der **Substitution von konventionellem Netzausbau** im MS- und NS-Netz (weiterer Nutzen s. Anwendungsfälle im Abschnitt 5.2). Dieser Netzausbau ist in erster Linie durch die Spannungshaltung getrieben, wobei die Kosten für die Leitungsverlegung hierbei, aufgrund hoher Tiefbaukosten, die wesentliche Komponente der Gesamtkosten darstellen. Durch Einsatz eines rONT kann dieser oftmals kostenintensive Netzausbau zeitlich verschoben oder vermieden werden [1,5,8].

Ob ein rONT eine **wirtschaftliche Alternative zum konventionellen Netzausbau** darstellt, ist abhängig davon, wie viel Netzausbau substituiert werden kann. Die Kosten für Netzausbau sind im Wesentlichen von Einflussfaktoren wie Bodenbeschaffenheit und Oberfläche abhängig (Netzausbaukosten in städtischen Gebieten sind höher als in ländlichen Gebieten). Ein rONT kann – abhängig von den genannten Faktoren – eine günstigere Alternative zum konventionellen Netzausbau sein.

Ein weiterer Vorteil des rONT ergibt sich aus dem **Gewinn von höherer Flexibilität** bei der Umsetzung und der Robustheit seines Einsatzes gegenüber zukünftigen Unsicherheiten. Während bei Leitungsausbau langwierige Planungs- und Genehmigungsverfahren erforderlich sein können, besteht mit dem rONT aufgrund kurzer Realisationszeiten (Planung, Beschaffung, Umsetzung) die Möglichkeit, zeitnah auf den Zubau von Erzeugungsleistung zu reagieren. Auch kann das Risiko sogenannter stranded investments – Kosten für Netzerweiterungen, die sich aufgrund Nicht-Realisierung von Projekten als nicht notwendig heraus gestellt haben – vermieden werden, da ein rONT problemlos wieder durch einen normalen ONT ersetzt und an anderer Stelle genutzt werden kann.

Durch Verwendung eines rONT kann die Vermaschung von Netzen aufgehoben werden, wenn dies zuvor aus Spannungshaltungsgründen nicht möglich war. Diese **Komplexitätsreduktion** vereinfacht die Netzbetriebsführung.

Zum Thema Einsparung von ONS sei auf Abschnitt 5.2.2 verwiesen.

5.8.3 Regulatorische Aspekte

Aus regulatorischer Sicht stellt der Einsatz von rONT eine Investition ins Netz dar (CAPEX), die das – ebenso wie konventioneller Netzausbau – das Anlagevermögen erhöht und entsprechend Anreizregulierungsverordnung (AregV) verzinst wird.

Aufgrund der „Technologieneutralität“ der Anreizregulierung wird der Einsatz eines rONT weder behindert noch speziell gefördert. Daher ist der rONT immer dann sinnvoll, wenn er in einem konkreten Fall technisch-wirtschaftlich die beste Alternative darstellt.

5.9 rONT als Standardbetriebsmittel

In Bild 12 sind die zu berücksichtigenden Aspekte bei dem Einsatz eines rONT als Standardbetriebsmittel aufgeführt.

Bei spannungsbedingtem NS-Netzausbau und/oder leistungsbedingten Stationszubau bzw. Transformatortausch ist der rONT als eine mögliche Option hinsichtlich Wirtschaftlichkeit, technischer Eignung, Nachhaltigkeit (insbesondere Erzeugungs-/Lastprognose, Zubaupotential und Restlebensdauer) gegenüber den konventionellen Netzverstärkungsmaßnahmen zu prüfen.



Bild 12: Zu berücksichtigenden Aspekte bei dem Einsatz eines rONT als Standardbetriebsmittel

5.9.1 Vermeidung von NS-Netzausbau

Bei den nachfolgenden Netzplanungskriterien wird von einer vollständigen Entkopplung vom Spannungsband des MS-Netzes ausgegangen und ein rONT mit einem Regelbereich von $\pm 10\%$, 9 Stufen und einer Stufenspannung von 2,5 % betrachtet. Darüber hinaus wird von einer Regelung auf einen festen Spannungssollwert ausgegangen. Im Folgenden wird beispielhaft ein Sollwert von 98 % der Nennspannung zugrundegelegt. Wenn der Einsatz von rONT lastgetrieben erfolgt, kann der in Bild 13 gewählte Spannungssollwert nach oben angepasst werden.

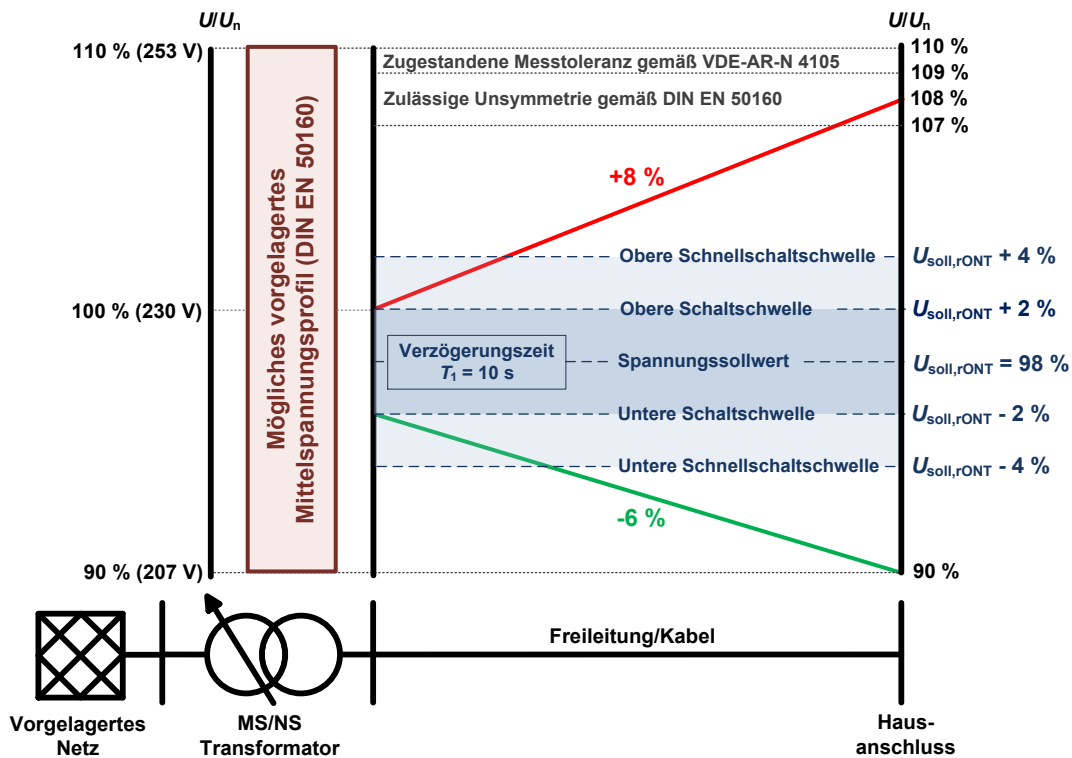


Bild 13: Beispielhafte Spannungsbandaufteilung mit rONT bei einem Spannungswert von 98 % U_n (Erläuterungen zur Verzögerungszeit T_1 s. Abschnitt 5.5.2)

Als Regelbandbreite (Bereich zwischen oberer und unterer Schaltschwelle) sind hier 4 % gewählt, d. h. das 1,6-fache der Stufenspannung (s. Abschnitt 5.5.2). Grundsätzlich stehen dem Netzbetreiber laut DIN EN 50160 $\pm 10\%$ der Nennspannung zur Verfügung. In Anbetracht der in VDE-AR-N 4105 zugestandenen zulässigen Toleranz zwischen Einstellwert und Auslösewert des Spannungssteigerungsschutzes von $\pm 1\%$ wird in Bild 13 ein entsprechender Bereich von 1 % im Spannungsband reserviert. Darüber hinaus sind gemäß DIN EN 50160 Spannungsunsymmetrien (Gegensystem/Mitsystem) bis zu 2 % zulässig. Im vorliegenden Beispiel wird diese einerseits für den Einspeisefall berücksichtigt und mit 1 % des Spannungsbandes angenommen. Andererseits ist sie hier im Lastfall (in den beispielhaften 6 %) berücksichtigt, wie dies bisher schon Stand der Netzplanungspraxis ist.

Dementsprechend ergibt sich die maximal zulässige langsame Spannungsänderung in der NS gemäß Bild 13 von 8 % für EZA sowie der maximale Spannungsfall für den Lastfall von 6 %.

Wenn davon auszugehen ist, dass die zulässigen Unsymmetrien gemäß der DIN EN 50160 ausgeschöpft werden, so ist die zulässige langsame Spannungsänderung um dieses Prozent zu reduzieren.

Bei der Netzberechnung mit rONT ist verstärkt auf die Betriebsmittelauslastung zu achten. Dies betrifft insbesondere die Auslastung der ONS und der vorhandenen Kabel sowie Freileitungen.

5.9.1.1 Zulässige langsame Spannungsänderungen

Im ungestörten Betrieb des Netzes gemäß Bild 13 darf der Betrag, der von allen EZA mit Netzanschlusspunkt in einem NS-Netz verursachten Spannungsänderungen an keinem

Verknüpfungspunkt in diesem Netz einen Wert von 8 % gegenüber der Spannung ohne EZA überschreiten:

$$\Delta u_a \leq 8 \%$$

Laut VDE-AR-N 4105 kann nach Maßgabe des Netzbetreibers im begründeten Einzelfall von dem Wert von $\Delta u_a \leq 3 \%$ abgewichen werden. Ein solcher Fall ist hier durch den rONT-Einsatz gegeben.

5.9.1.2 Zulässige schnelle Spannungsänderungen

Die durch die gleichzeitige Zu- oder Abschaltung von EZE bedingten Spannungsänderungen an einem Verknüpfungspunkt führen nicht zu unzulässigen NetZRückwirkungen, wenn die maximale Spannungsänderung den Wert von 3 % (bezogen auf U_n) am Verknüpfungspunkt nicht überschreitet:

$$\Delta u_{\max} \leq 3 \% \text{ (gemäß VDE-AR-N 4105, Abschnitt 5.4.2).}$$

5.9.2 Vermeidung von Mittelspannungsnetzausbau

Bei den nachfolgenden Netzplanungskriterien wird von einer vollständigen Entkopplung der Spannungsbänder ausgegangen und rONTs mit einem Regelbereich von $\pm 10 \%$, 9 Stufen und einer Stufenspannung von 2,5 % betrachtet. Grundsätzlich stehen dem Netzbetreiber laut DIN EN 50160 $\pm 10 \%$ der Nennspannung zur Verfügung. In Anbetracht der in VDE-AR-N 4105 zugestandenen zulässigen Toleranz zwischen Einstellwert und Auslösewert des Spannungssteigerungsschutzes von $\pm 1 \%$ ist in Bild 14 ein entsprechender Bereich von 1 % im Spannungsband analog für die MS vorzusehen. Darüber hinaus sind gemäß DIN EN 50160 Spannungsunsymmetrien bis zu 2 % zulässig. Im vorliegenden Beispiel sind diese 2 % bereits implizit berücksichtigt.

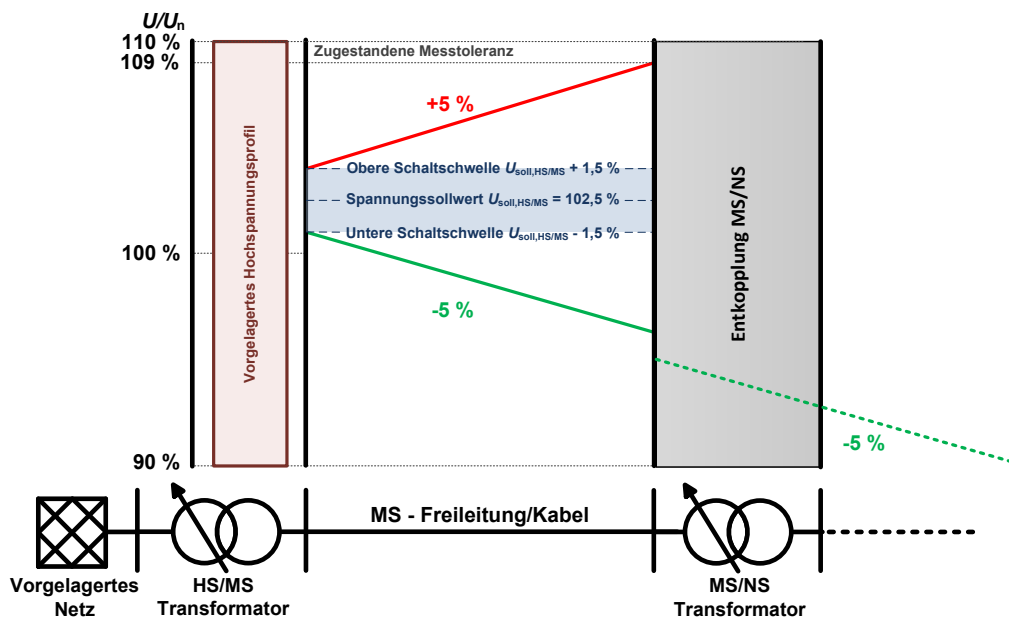


Bild 14: Beispielhafte Spannungsbandaufteilung bei mittelspannungsorientiertem rONT-Einsatz

Bei der Aufteilung des Spannungsbandes sind neben den Vorgaben nach DIN EN 50160 eine effiziente Versorgung und die Betriebsmittelbelastbarkeit zu berücksichtigen. Für eine

Spannungsbandauslegung mit überwiegendem Anteil von EZA im MS-Netz sind für eine flächendeckende Beurteilung alle Ortsnetzstationen im versorgten Gebiet eines Umspannwerks zu bewerten und Stationen mit erhöhten Spannungswerten mit einem rONT auszustatten (d.h. flächendeckend prüfen und bedarfsorientiert einsetzen). Wird für die verbleibenden Stationen ein zulässiger Spannungsfall in der NS von 5 %, sowie 1 % am MS/NS-Transformator und in der Mittelspannung ein zulässiger Spannungsfall von 5 % berücksichtigt ergibt sich bei einer Regelbandbreite von 3 % des HS/MS-Transformators der Spannungssollwert von 102,5 %. Im Bild 14 ergibt sich daraus die maximal zulässige langsame Spannungsänderung in der MS von 5 % für EZA sowie der maximale Spannungsfall für den Lastfall von 5 %.

Bei einem vollständig flächendeckenden rONT-Einsatz stehen das gesamte Spannungsband gemäß EN 50160 unabhängig voneinander sowohl in der MS als auch in der NS zur Verfügung. Damit besteht ggf. die Möglichkeit, den Spannungssollwert am HS/MS-Transformator weiter zu reduzieren, um den Wert für die Spannungsanhebung weiter zu steigern.

Die quasistationäre Lastflussberechnung erfolgt gemäß [6]. Eine dynamische Nachbildung des rONT ist nicht erforderlich. Bei der Netzberechnung mit rONT ist verstärkt auf die Betriebsmittelauslastung zu achten. Dies betrifft insbesondere die Auslastung der vorhandenen Kabel sowie Freileitungen.

5.9.2.1 Zulässige langsame Spannungsänderungen

Im ungestörten Betrieb des Netzes gemäß Bild 14 darf der Betrag der von allen EZA mit Anschlusspunkt im MS-Netz verursachten Spannungsänderungen an keinem Verknüpfungspunkt in diesem Netz einen Wert von 5 % gegenüber der Spannung ohne EZA überschreiten:

$$\Delta u_a \leq 5 \%.$$

Laut [6] kann nach Maßgabe des Netzbetreibers im begründeten Einzelfall von dem Wert von $\Delta u_a \leq 2 \%$ abgewichen werden. Ein solcher Fall ist hier durch einen flächendeckenden rONT-Einsatz und einem gleichzeitig geringen Anteil der Spannungsanhebung im Mittelspannungsnetz durch NS-Einspeiseleistung gegeben.

5.9.2.2 Zulässige schnelle Spannungsänderungen

Die durch die gleichzeitige Zu- oder Abschaltung von EZE bedingten Spannungsänderungen an einem Verknüpfungspunkt führen nicht zu unzulässigen Netzurückwirkungen, wenn die maximale Spannungsänderung den Wert von 2 % (bezogen auf U_n) am Verknüpfungspunkt nicht überschreitet:

$$\Delta u_{\max} \leq 2 \% \text{ (gemäß [6])}.$$

6 Hinweise zum Betrieb

Die Betriebszustände wie fehlerloser Betrieb bzw. Störung eines rONT müssen an der Steuereinheit ersichtlich sein. Darüber hinaus muss die aktuelle Stufenposition angezeigt werden und eine manuelle Bedienbarkeit vor Ort gewährleistet sein. Zu der manuellen Bedienbarkeit gehört unter anderem die Umschaltung zwischen manuellem und Automatik-Betrieb sowie die Möglichkeit zur manuellen Stufung im Betrieb.

6.1 Erstinbetriebnahme

Die Erstinbetriebnahme/Erstinstallation des rONT erfolgt unter Berücksichtigung der Herstellervorgaben und orientiert sich an dem nachfolgend beschriebenen Vorgehen. Die vorgegebenen Regelungsparameter sollten voreingestellt sein, um eine Inbetriebnahme ohne eine aufwändige Vor-Ort-Parametrierung zu ermöglichen. Die Spannungsversorgung der Steuereinheit ist so abzugreifen, dass eine Versorgung auch bei spannungsfreier NS-Verteilung gewährleistet ist (s. Bild 15).

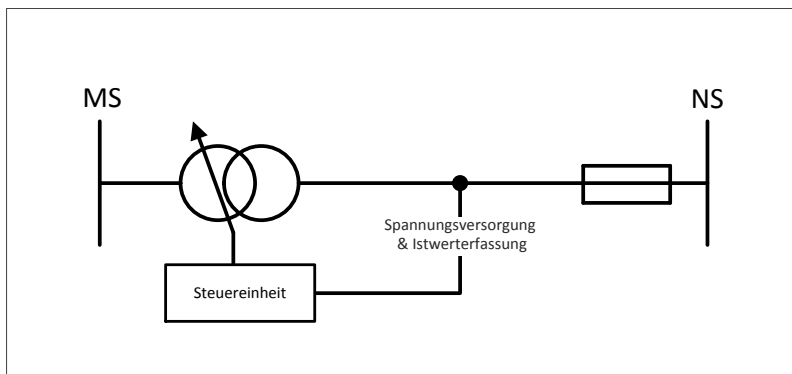


Bild 15: Abgriff der Spannungsversorgung für die Steuereinheit

Bei der Erstinbetriebnahme eines rONT wird dieser nach üblichen Inbetriebnahmekriterien eines ONT in Augenschein genommen. Die zusätzlichen Komponenten wie Steuereinheit sind hinsichtlich Versorgungsspannung und Verdrahtung zu prüfen. Der rONT ist anschließend vorerst nur leerlaufend mittelspannungsseitig zuzuschalten. Die Versorgung der Steuereinheit ist damit ebenfalls gegeben. Der Spannungsregler ist auf „Manuell“ zu stellen. Mit Hilfe einer aussagekräftigen Spannungsmessung z. B. Multimeter, ist die Ausgangsspannung des rONT in allen Positionen zu kontrollieren. Im Nachgang gilt es, die automatische Spannungsregelung zu testen. Dabei ist per Hand in Endstellung zu stufen. Sofern jenes erfolgt ist, ist der Spannungsregler auf „Auto“ zu stellen. Durch den internen Algorithmus sollte der rONT automatisch seinen Arbeitsbereich nach Vorgabe der eingestellten Parameter anfahren. Dieses ist erneut mit Hilfe eines Multimeters zu kontrollieren. Die Spannung muss dabei innerhalb der Regelbandbreite liegen.

Sofern alles ordnungsgemäß funktioniert, ist der rONT auf „Manuell“ zu stellen und dem nachgelagerten NS-Netz anzupassen. Daraufhin kann eine Zuschaltung erfolgen. Wenn der Normalschaltzustand eingerichtet ist, muss der Spannungsregler wieder auf „Auto“ gestellt werden. Die Spannung ist erneut zu kontrollieren.

6.2 Fehlerbehebung

Bei der Fehlerbehebung sind die Herstellervorgaben zu beachten. Grundsätzlich sollte zuerst ein Neustart/Reset der Steuereinheit durchgeführt werden. Besteht der Fehler danach weiterhin, sind weitergehende Maßnahmen nach Abschnitt 6.1 zu ergreifen, um die Fehlerquelle zu identifizieren. Darüber hinaus können herstellerspezifische Möglichkeiten zur Fehlerdiagnose genutzt werden (z. B. Diagnoseschnittstelle, Fehleranzeige, Softwarediagnose,...). Die Fehlerbehebung kann durch den Austausch modularer Komponenten vor Ort unterstützt werden.

6.3 Einsatz einer Netzersatzanlage

Bei Einsatz einer Netzersatzanlage kann grundsätzlich der rONT im Automatikbetrieb verbleiben. Alternativ, kann durch Deaktivieren der Regelautomatik erreicht werden, dass sich der rONT wie ein ONT verhält. Hierzu ist vor dem Zuschalten der Netzersatzanlage der rONT auf „Manuell“ zu stellen. Sobald die Netzersatzanlage die Last übernommen hat, kann der rONT freigeschaltet werden. Beim Wiedereinschalten ist der rONT zuerst mittelspannungsseitig einzuschalten. Die Sekundärspannung ist vor dem niederspannungsseitigem Zuschalten über die „Höher-“ bzw. „Tiefer-“ Taster der Netzspannung anzugleichen. Die Netzersatzanlage ist vom Netz zu trennen. Die Regeleinrichtung ist nach der Herstellung des Normalschaltzustandes wieder auf „Auto“ zu stellen.

In der Praxis sind beide Vorgehensweisen gebräuchlich.

6.4 Zusammenschaltung von Niederspannungsnetzen

Beim Zusammenschalten von NS-Netzen sind die Phasenlage und die Spannungsdifferenz zu prüfen. Sollte die Phasenlage unterschiedlich sein, muss die Phasengleichheit hergestellt werden. Bei zu großer Spannungsdifferenz kann der rONT durch das Stellen auf „Manuell“ und durch nachfolgende manuelle Stufungen über die „Höher-“ bzw. „Tiefer-“ Taster gestuft werden, so dass die Spannungsdifferenz verringert bzw. das Übersetzungsverhältnis angeglichen wird und ein Zusammenschalten möglich ist. Bei Rückkehr in den Normalschaltzustand ist die Steuereinheit wieder auf „Auto“ zu stellen.

6.5 Wartung

Der rONT bedingt keinen zusätzlichen Wartungsaufwand im Vergleich zu einem ONT.

Im Zuge einer Stationswartung wird empfohlen, den rONT zu begutachten und analog der Erstinbetriebnahme zu verfahren. Zusätzlich kann eine Aufnahme herstellerspezifischer Zustands- bzw. Statuswerte erwogen werden (z. B. Stufungsanzahl, Betriebsdauer,...).

6.6 Optionale IKT-Anbindung

Die Vorteile des rONT bestehen bereits durch eine autarke Regelung. Eine fernwirktechnische Anbindung an die Netzleitstelle zur Rückmeldung von Mess- und Zustandsdaten ist daher nicht erforderlich.

Die am Markt verfügbaren rONT-Systeme bieten jedoch auch optional die Möglichkeit einer IKT-Anbindung und können bei Bedarf in übergeordnete Regelkonzepte eingebunden werden. Die Ausgestaltung der IKT-Anbindung ist von einem einfachen Störmeldekontakt bis hin zur Einbindung in eine Regel- und Messinfrastruktur sowie die Anbindung in die Netzleitwarte über gängige Protokolle in der Energieversorgung möglich.

7 Zusammenfassung

Die wesentlichen Aussagen des vorliegenden FNN-Hinweises lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Ein rONT ist ein ONT mit zusätzlichem Stellglied und Steuereinheit. Die wesentliche Eigenschaft des rONT ist die Möglichkeit zur Änderung der Spannungsverhältnisse unter Last.
- Ein rONT ist ein serienreifes Produkt, was in bestehende ONS (inkl. Kompaktstationen) integriert werden kann.
- Der rONT ist ein einfach einsetzbares Betriebsmittel und bietet gegenüber einem ONT viele Vorteile und kann u. a. zur
 - Behebung von Spannungsbandproblemen (in NS- sowie MS-Netzen),
 - Optimierung der Netztopologie sowie
 - Optimierung des Blindleistungsmanagementsangewendet werden. (Überlast-Probleme kann der rONT nicht lösen).
- In Netzen mit sehr langen Netzausläufern und/oder inhomogenen Strängen sind Einzelfall-Betrachtungen zur Überprüfung einer sinnvollen Anwendung erforderlich.
- Bereits das einfachste Regelverfahren „Spannung auf festen Sollwert“ ist für die meisten Anwendungsfälle ausreichend.
- Auf eine IKT-Anbindung kann in der Regel verzichtet werden.
- Bei einer geeigneten Parametrierung bestehen keine negativen Wechselwirkungen mit anderen spannungsregelnden Betriebsmitteln.
- Der rONT ist somit eine weitere Komponente für die Netzplanung, welche technisch einfach zu beherrschen ist und oft eine günstigere Alternative zum konventionellen Netzausbau darstellt.

Literaturverzeichnis

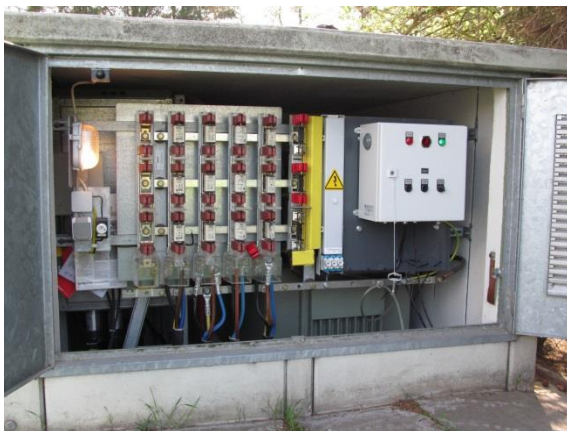
- [1] FNN Studie „Statische Spannungshaltung“, November 2015
- [2] FNN Blindleistungsmanagement in Verteilungsnetzen, November 2014
- [3] EU VERORDNUNG (EU) Nr. 548/2014 (ECO-DESIGN-DIRECTIVE)
- [4] Ew spezial III -2015
- [5] rONT-Kompendium <http://rONT.info>
- [6] BDEW Technische Richtlinie – Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz
Richtlinie für Anschluss und Parallelbetrieb von Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz, Ausgabe Juni 2008 (samt Ergänzungen)
- [7] BMWi Projekt 03ET7518D
U-Control - Technische Wirksamkeit, Robustheit und Wirtschaftlich-keit neuer Verfahren zur Sicherung der statischen Spannungshaltung in Verteilnetzen mit starker dezentraler Einspeisung
- [8] IAEW, E-Bridge, OFFIS „Moderne Verteilernetze für Deutschland“, Studie für das BMWi, 2014

Anhang A: Einbaubeispiele

Beim rONT-Steuerschrankeinbau ist Folgendes zu beachten :

Die Bedienelemente müssten sich vor der Barriere befinden. Sofern der Steuerschrank des rONT so montiert wird, dass bei dessen Bedienung eine unzulässige Annäherung an die Trafoanschlüsse nicht ausgeschlossen werden kann, sind diese berührungssicher auszuführen. Eine Barriere ist somit nicht mehr erforderlich und eine Bedienung möglich.

Kompaktstationen







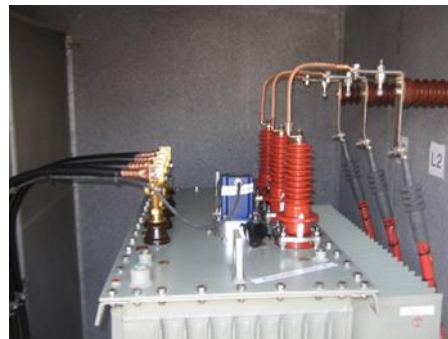
Steuerschrank im separaten IKT-Bereich
der links abgebildeten Kompaktstation



Bei der hier gezeigten Einbauart
sind die Trafo-Anschlüsse
berührungssicher ausgeführt.



Begehbare Stationen



Anschluss der Mittelspannung erfolgt mittels Steckadapter

Turmstationen



Steuerschrank an der rechten Innenwand der links abgebildeten Turmstation
(Steuerkabel im Kabelkeller verlegt)

Steuerschranke



Bei der hier gezeigten Einbauart sind die Trafo-Anschlüsse berührungssicher ausgeführt.



Anhang B: Anwendungsbeispiele

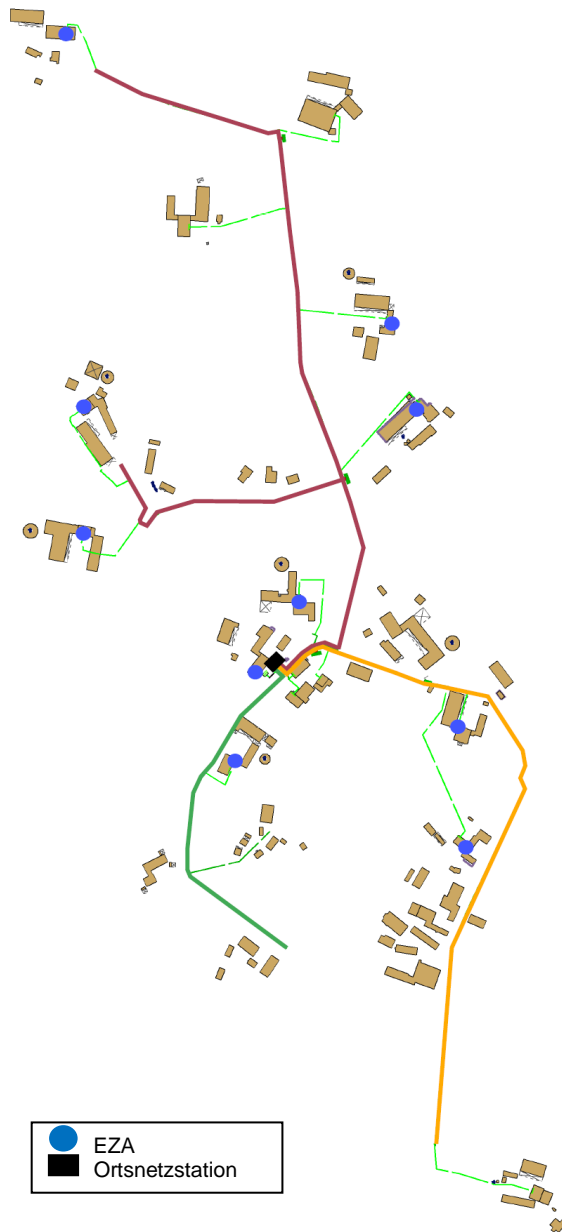
B1 NS-getriebener rONT-Einsatz

B1.1 Motivation für das Projekt

Der punktuelle Einsatz des rONT erfolgte durch den Zubau von dezentralen EZA und der daraus resultierenden Verletzung des $\Delta u \leq 3\%$ Kriteriums der VDE AR-N 4105.

B1.2 Netzausschnitt

Bei dem dargestellten Netz handelt es sich um ein sehr ländliches Niederspannungsnetz. Die Bebauung ist im Wesentlichen durch landwirtschaftliche Höfe und Einfamilienhäuser geprägt. Der Zubau von Photovoltaikanlagen erfolgte sukzessive in geringen Zeitintervallen. Durch die freien vorhandenen Dachflächen existiert noch weiteres Zubau Potential.



Steckbrief – Niederspannungsnetz

Netzausdehnung Nord – Süd

ca. 1250 m

Netzausdehnung Ost – West

ca. 600 m

Summe Erzeugungsleistung

230 kWp (1 x >30 kW; 11 x < 30 kW)

Summe Last

175 kW

Summe Leitungslänge

4300 m

Verkabelungsgrad

100 %

Stationsgebäude

bestehende Kompaktstation aus 2006

Konventioneller Transformator alt

20/0,4 kV – 250 kVA – Umsteller Stufe 2

Regelbarer Transformator neu

20/0,4 kV – 400 kVA – ± 4 Stufen á 2,5 %

Netzform

Versorgung über die drei farblich markierten Hauptleitungen als Stiche

Bild 16: Netzausschnitt und Beschreibung eines Niederspannungsnetzes gemäß Beispiel in B1

B1.3 Variantenvergleich

Die finale Lösung ergibt sich aus einem Variantenvergleich von verschiedenen Netzverstärkungs-/ausbaumaßnahmen. Dabei werden bei der Avacon AG auch zur Verfügung stehende Dachflächenpotentiale für einen weiteren Zubau berücksichtigt.

- Variante 1: Konventionelle Netzverstärkung
 - Querschnittserhöhung auf 240 mm² in den betroffenen Stichen
 - Transformatorwechsel auf 400 kVA innerhalb der bestehenden Kompaktstation

- Variante 2: Einsatz eines rONT
 - Transformatorwechsel auf einen 400-kVA-rONT innerhalb der bestehenden Kompaktstation. Der Spannungsregler kann ebenfalls innerhalb der Kompaktstation installiert werden.
- Variante 3: Einsatz von Niederspannungslängsreglern
 - Wurde nicht geprüft, da in mehreren Stichen eine Verletzung des 3-%-Kriteriums festgestellt wurde

B1.4 Ausgewählte Lösung

Variante 2 wurde gewählt. Es erfolgte der Austausch des vorhandenen konventionellen 250-kVA-ONT gegen einen 400-kVA-rONT. Die Installation des rONT erfolgt in dem bestehenden Kompaktbaukörper ohne besondere Anpassungen. Die Variante 2 spart nahezu 28 % der Kosten eines konventionellen Netzausbaus (Variante 1) ein. Merkmale dieser Lösung sind:

- Oberspannungsseitige Umschaltung mit Laststufenschalter
- ± 4 Stufen á 2,5 %
- Regelung auf einen festen Spannungswert
- Keine IKT-Anbindung
- Installation des Spannungsreglers innerhalb der vorhandenen Kompaktstation neben der Niederspannungsverteilung
- Spannungsbandaufteilung und eingestellte Parameter sind Bild 17 zu entnehmen.

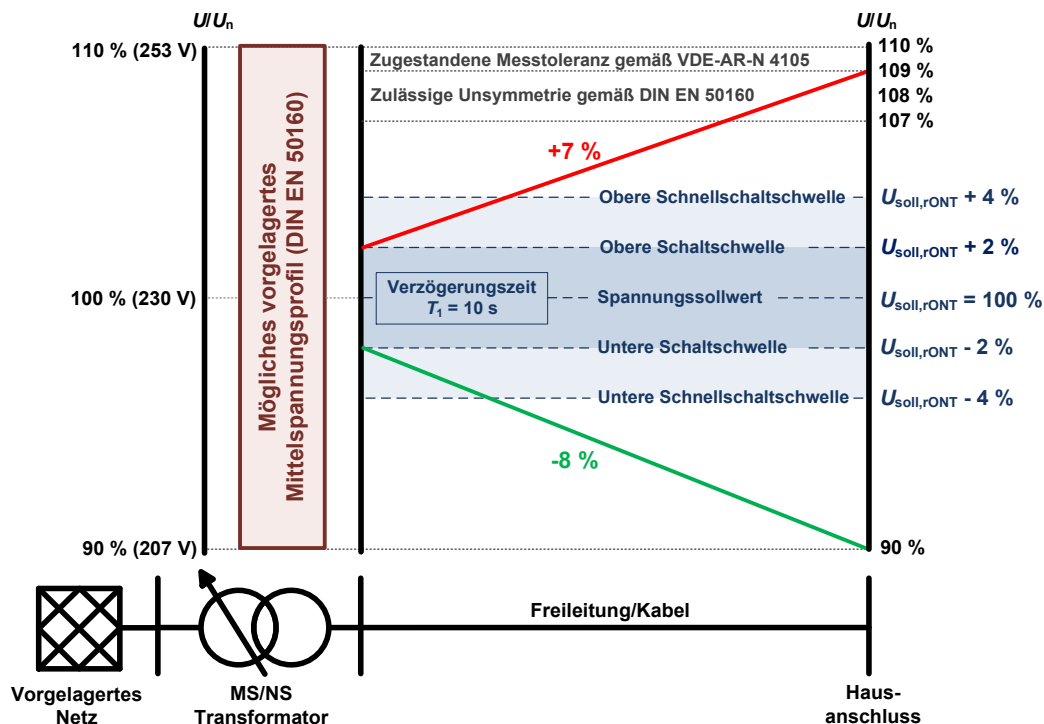


Bild 17: Spannungsbandaufteilung mit rONT bei einem Spannungswert von $100\% \cdot U_n$

B1.5 Planungs- und Betriebserfahrungen

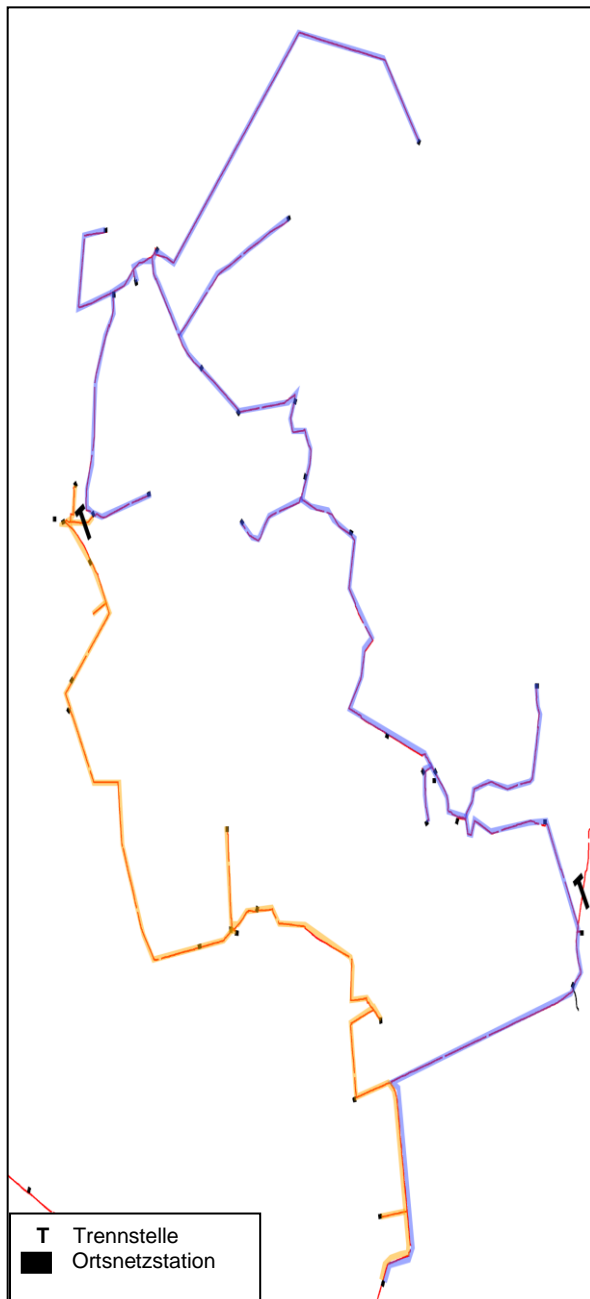
- Spannungsmessungen zeigen eine deutliche Verringerung der Spreizung des Spannungsbandes
- Durchschnittliche Schaltungen pro Tag: 5

B2 MS-getriebener rONT-Einsatz

B2.1 Motivation für das Projekt

Die Umsetzung des Projektes erfolgte aus Gründen der Spannungshaltung. Der HS/MS-Transformator im Umspannwerk wird bereits mit dem niedrigsten aus Versorgungssicht möglichen Spannungssollwert betrieben. Die Auslastung der vorhandenen Betriebsmittel befindet sich noch deutlich vor den Grenzwerten, so dass eine spannungsregelnde Maßnahme überhaupt erst möglich ist.

B2.2 Netzausschnitt



Steckbrief-aufgesetzter Mittelspannungsring

Netzausdehnung Nord – Süd

ca. 9,5 km

Netzausdehnung Ost – West

ca. 7 km

Summe Erzeugungsleistung

5,5 MW

Summe Last

1350 kW

Summe Leitungslänge MS

36 km

Verkabelungsgrad

87 %

Stationsgebäude

Überwiegend Kompaktstation, keine Mastansatztransformatoren

Konventionelle Transformatoren alt

160/250/400/630 kVA

9/16/5/2

Regelbare Transformatoren neu

160/250/400/630 kVA

0/14/14/4

Jeweils mit ± 4 Stufen á 2,5 %

Netzform

Offen gefahrener aufgesetzter Ring auf einer Schaltstation, welche ca. 7 km vom Umspannwerk entfernt ist

Bild 18: Netzausschnitt und Beschreibung eines aufgesetzten Mittelspannungsringes gemäß Beispiel in B2

B2.3 Variantenvergleich

Die finale Lösung ergibt sich aus einem Variantenvergleich von verschiedenen Netzverstärkungs-/ausbaumaßnahmen.

- Variante 1: Konventionelle Netzverstärkung
 - Ausgehend vom Umspannwerk eine Neuverlegung von Kabeln größeren Querschnitts (300 mm²) auf der bestehenden Trasse.
- Variante 2: Einsatz von rONT
 - Austausch von allen, sich in dem betreffenden Netzgebiet befindlichen, konventionellen ONT gegen rONT.
- Variante 3: Errichtung eines Stützpunktnetzes (800-mm²-Kabel mit einer Schwerpunktstation)
 - Neuverlegung eines 800-mm²-Kabels ausgehend vom benachbarten Umspannwerk bis hin zu einer neu zu errichtenden Schwerpunktstation und Einbindung der bestehenden Mittelspannungsnetzstruktur

B2.4 Ausgewählte Lösung

Die Wahl ist auf die Variante 2 gefallen. Die Installation der rONT erfolgt überwiegend in den bestehenden Kompaktbaukörper ohne besondere Anpassungen. Merkmale dieser Lösung sind:

- Oberspannungsseitige Umschaltung mit Laststufenschalter
- ±4 Stufen á 2,5 %
- Regelung auf einen festen Spannungssollwert
- Keine IKT-Anbindung

Spannungsbandaufteilung und eingestellte Parameter für die MS – Stränge mit rONT sind Bild 19 zu entnehmen.

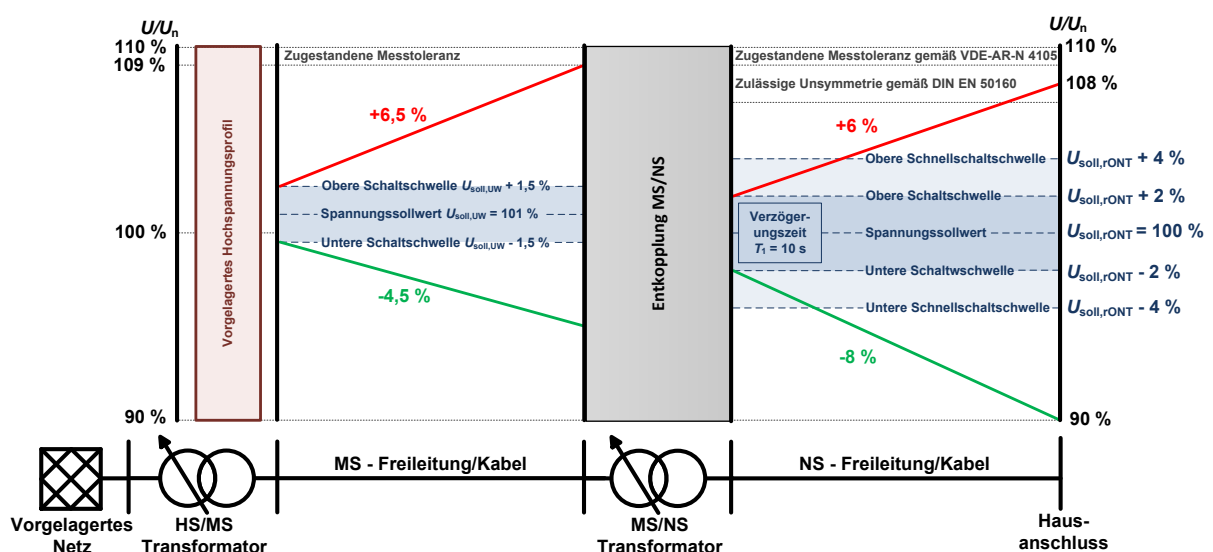


Bild 19: Spannungsbandaufteilung für das Beispiel eines mittelspannungsgetriebenen rONT-Einsatz

B2.5 Planungs- und Betriebserfahrungen

Eine flächige Entkopplung der Nieder- von der Mittelspannung konnte in diesem Projekt erstmals umgesetzt werden.

B3 Punktueller rONT-Einsatz

B3.1 Motivation für das Projekt

Der punktuelle Einsatz des regelbaren Ortsnetztransformators erfolgte aus Gründen der Spannungshaltung. Der Zubau von dezentralen Erzeugungsanlagen und die zeitweise auftretend hohen Bezugslasten führen zu sehr unterschiedlichen Anforderungen an die Netzauslegung insbesondere zur Gewährleistung des Spannungsbandes nach EN 50160.

B3.2 Netzausschnitt

Das betrachtete Stationsnetz weist sehr unterschiedliche Lastszenarien auf. Die installierte PV-Leistung von 560 kWp bildet mit gewöhnlich geringer Bezugsleistung ein ausgeprägtes Einspeiseszenario aus. Während der Hopfenernte tritt temporär ein ausgeprägtes Lastszenario mit nahezu 600 kW Bezugsleistung auf. Die Auslegung des Netzes ist sowohl für die auftretenden Spannungsüberhöhungen durch die Einspeisung aus EEG-Anlagen (Schwachlast), als auch für die auftretenden Spannungsabsenkungen bei großer Bezugslast und geringer EEG-Einspeisung (Starklast) vorzunehmen.

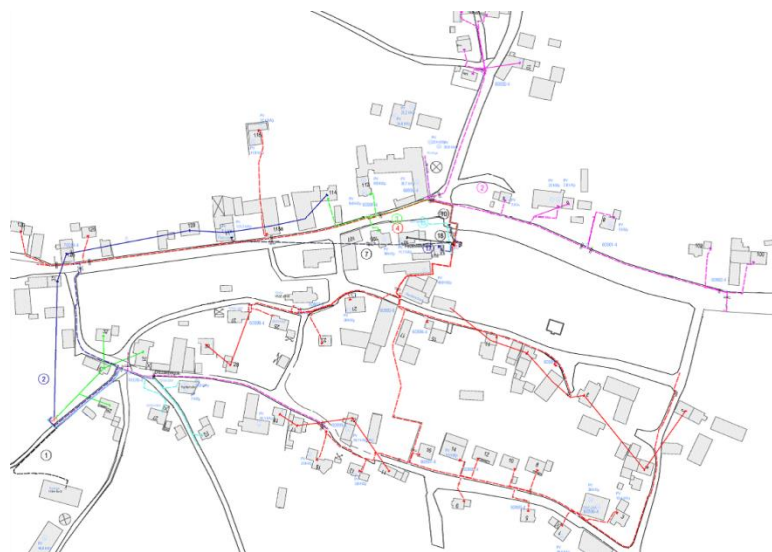


Bild 20: Netzausschnitt gemäß Beispiel B3

Beim betrachteten Ortsnetz gemäß Bild 20 handelt es sich um dorflich geprägtes Niederspannungsnetz mit hoher Einspeiseleistung und gewöhnlich geringer Bezugslast. Es besteht sowohl aus Freileitung- als auch Kabelstrecken, umfasst eine NS-Leitungslänge von ca. 4,3 km und versorgt ca. 60 Hausanschlüsse, die maximale Abgangslänge beträgt ca. 550 m. Die hohe Einspeisung im Niederspannungsnetz führt zu einem erhöhten Spannungsanstieg in mehreren Stromkreisen.

B3.3 Variantenvergleich

Die finale Lösung ergibt sich aus einem Variantenvergleich von verschiedenen Netzverstärkungs-/ausbaumaßnahmen.

- Variante 1: Konventionelle Netzverstärkung
 - Aufteilung des belasteten Stationsbereiches durch die Errichtung einer neuen Ortsnetzstation mit MS- und NS-seitiger Anbindung mittels Kabel

- Variante 2: Einsatz eines rONT
 - Ersatz des vorhandenen konventionellen durch einen geregelten ONT in der bestehenden Station

Wirtschaftliche Bewertung der beiden Varianten:

Variante 1: Beispielhafte Kalkulation Stationsneubau

20-kV-Kabel

25 m	Mittelwertige Oberfläche
60 m	3 Kabel NA2XS(FL)2Y 1x150 (inkl. Muffen und Endverschlüsse)
1 St.	20-kV-Kabelanbindung an Station

Neubau (ohne Dienstbarkeit)

1 St	Typ 2817 (Kompaktstation)
1 St	Elektr. Grundausstattung
1 St	SF6-Schaltanlage (3feldrig (2 Kabel / 1 Trafo)
1 St	Trafo aufstellen + Kabelbrücke mit Stecker (3 x 8 m)
1 St	Sammelschienensystem 1000 A für 9 Lastschaltleisten
9 St	Lastschaltleisten

Ortsnetztrafo (ohne Aufstellen)

1 St	ONT 630 kVA
------	-------------

0,4-kV-Kabel

125 m	Mittelwertige Oberfläche
140 m	Kabel NAY2Y 4x150 (Kabellieferung und Verlegung inkl. Muffen)

Instandhaltung

2 St	Instandhaltungsaufwand für die gesamte Nutzungsdauer einer Trafostation
------	---

Variante 2: Beispielhafte Kalkulation Nachrüstung rONT

Neubau (ohne Dienstbarkeit)

1 St	Transformatortausch
------	---------------------

Ortsnetztrafo (ohne Aufstellen)

1 St	rONT 630 kVA
------	--------------

1 St	Rückbau ONT 630 kVA (Abzug)
------	-----------------------------

Instandhaltung

1 St	Instandhaltungsaufwand für die gesamte Nutzungsdauer einer Trafostation
------	---

1 St	Sekundärtechnischer Erneuerungsaufwand für die gesamte Nutzungsdauer einer Trafostation
------	---

Zur Behebung der Spannungsproblematik im gezeigten Ortsnetz stellt der Einsatz des rONT gegenüber der Errichtung einer neuen Ortsnetzstation und den benötigten Verkabelungsaufwand zu deren Einbindung in das bestehende MS- und NS-Netz mit dem Kostenverhältnis von ca. 1:4 die wirtschaftlichere Maßnahme dar.

B3.4 Ausgewählte Lösung

Der rONT ermöglicht die Einhaltung der Spannungsbänder im Einspeise- und Bezugsfall. Die Umbaumaßnahme ist kurzfristig umsetzbar und beschränkt sich durch die Nachrüstbarkeit des rONTs in die bestehende Station auf den Transformatorwechsel. Die rONT-Kenngrößen für diese Lösung sind:

- Nennleistung 630 kVA
- Übersetzung 21/0,42 kV
- Oberspannungsseitige Umschaltung mit Laststufenschalter
- 9-stufig mit $-3/+5$ Stufen á 2,5 %
- Autarke lokale Regelung auf einen festen Spannungssollwert von 98 % bezogen auf U_n an der NS-Sammelschiene
- Regelbandbreite 4 % (± 2 %) bezogen auf U_n

Die Spannungsbandaufteilung mit rONT ist Bild 21 zu entnehmen.

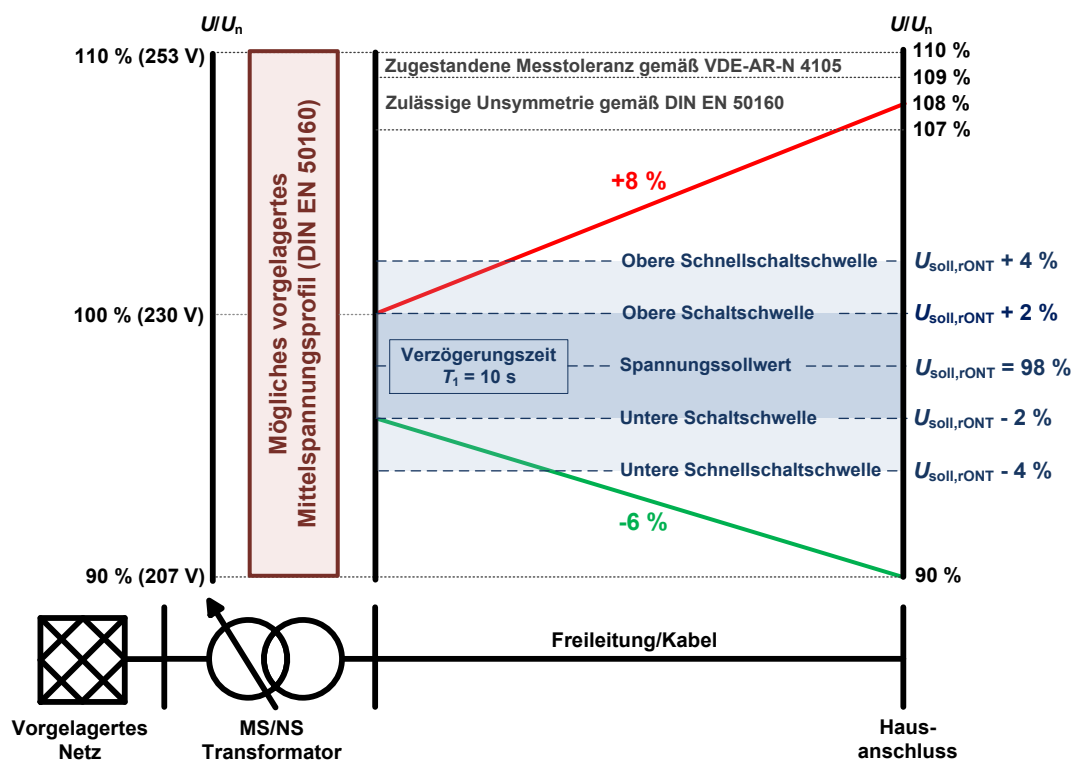


Bild 21: Beispielhafte Spannungsbandaufteilung mit rONT bei einem Spannungssollwert von 98 % U_n

B4 Punktueller rONT-Einsatz

B4.1 Motivation für das Projekt

Der punktuelle Einsatz des rONT erfolgte aus Gründen der Spannungshaltung. Der Zubau von dezentralen Erzeugungsanlagen und die zeitweise auftretend hohen Bezugslasten führen zu sehr unterschiedlichen Anforderungen an die Netzauslegung, u. a. zur Gewährleistung des Spannungsbandes nach EN 50160. Aufgrund der Spannungsregelfähigkeit des rONT ergeben sich Freiheitsgrade in der Netzauslegung beispielsweise hinsichtlich der Abgangslänge und den versorgten Stationsgebieten. Unter Berücksichtigung des rONT kann mitunter eine Neuaufteilung der Stationsgebiete möglich sein und die Gesamtzahl der Stationen verringert werden.

B4.2 Netzausschnitt

Das betrachtete Ortsnetz ist dörflich geprägt und umfasst fünf ONS mit ca. 250 Hausanschlüssen, sowie eine Photovoltaik-Gesamteinspeiseleistung von ca. 1,5 MWp. Bei einer dieser ONS handelt es sich um eine Maststation, deren Erneuerung notwendig ist. Die Station versorgt, wie der angrenzende Stationsbereich, ca. 30 Hausanschlüsse und nimmt eine Einspeiseleistung von rund 140 kWp auf (angrenzender Stationsbereich: ca. 440 kWp).



Bild 22: Netzausschnitt gemäß Beispiel B4 - Maststation und die zwei betrachteten Stationsnetze

B4.3 Variantenvergleich

Die finale Lösung ergibt sich aus einem Variantenvergleich von verschiedenen Netzverstärkungs-/ausbaumaßnahmen.

- Variante 1: Konventionelle Netzverstärkung
 - Erneuerung der Maststation durch Ersatz mittels Kompaktstation.
 - Aufteilung des belasteten Stationsbereiches durch die Errichtung einer neuen ONS mit MS- und NS-seitiger Anbindung mittels Kabe.l
- Variante 2: Einsatz eines rONT
 - Neuaufteilung der Stationsbereiche bei Ersatz des vorhandenen konventionellen durch einen geregelten ONT in der benachbarten Station und Anpassung der niederspannungsmäßigen Anbindung.

Technische Bewertung:

Durch die bereits hohe Durchdringung mit EZA ist das verbleibende Zubaupotential in den betrachteten Stationsbereichen als gering einzuschätzen. Bei einer Zusammenlegung der beiden Stationsbereiche steigt die Summeneinspeiseleistung auf rund 575 kWp, die Anzahl der versorgten Hausanschlüssen summiert sich zu 60 und die max. Abgangslänge erhöht sich unwesentlich von 510 m auf 570 m. Sowohl im Bezugs- als auch im Einspeisefall muss die Betriebsmittelauslastung und die Einhaltung des Spannungsbandes gewährleistet werden. Der rONT kann aufgrund seiner Spannungsregelfähigkeit die Einhaltung des Spannungsbandes unterstützen.

Wirtschaftliche Bewertung der beiden Varianten:

Variante 1: Beispielhafte Kalkulation Stationserneuerung

20-kV-Kabel	
250 m	Mittelwertige Oberfläche
300 m	3 Kabel NA2XS(FL)2Y 1x150 (inkl. Muffen und Endverschlüsse)
1 St.	20-kV-Kabelanbindung an Station
Neubau (ohne Dienstbarkeit)	
1 St	Typ 2817 (Kompaktstation)
1 St	Elektr. Grundausstattung
1 St	SF6-Schaltanlage (3feldrig (2 Kabel / 1 Trafo)
1 St	Trafo aufstellen + Kabelbrücke mit Stecker (3 x 8 m)
1 St	Sammelschienensystem 1000 A für 9 Lastschaltleisten
9 St	Lastschaltleisten
Ortsnetztrafo (ohne Aufstellen)	
1 St	ONT 160 kVA
Instandhaltung	
2 St	Instandhaltungsaufwand für die gesamte Nutzungsdauer einer Trafostation

Variante 2: Beispielhafte Kalkulation Stationszusammenlegung

Neubau (ohne Dienstbarkeit)	
1 St	Kabelverteiler

0,4-kV-Kabel	
250 m	Geringwertige Oberfläche
550 m	NAY2Y-J 4x250/50
Instandhaltung	
1 St	Instandhaltungsaufwand für die gesamte Nutzungsdauer einer Trafostation
1 St	Sekundärtechnischer Erneuerungsaufwand für die gesamte Nutzungsdauer einer Trafostation

Durch die Zusammenlegung der Stationsbereiche kann der Ersatz der Maststation verzögert oder gänzlich vermieden werden. Zur Behebung der Spannungsproblematik im neu aufgeteilten Ortsnetz stellt der Einsatz des rONT gegenüber der Errichtung einer neuen ONS und den benötigten Verkabelungsaufwand zu deren Einbindung in das bestehende MS- und NS-Netz mit dem Kostenverhältnis von ca. 1:2,5 die wirtschaftlichere Maßnahme dar.

B4.4 Ausgewählte Lösung

Die Netzverstärkungsvariante mit rONT ermöglicht die Einhaltung der Spannungsbänder im Einspeise- und Bezugsfall für den neu aufgeteilten Stationsbereich. Die Umbaumaßnahme ist kurzfristig umsetzbar und beschränkt sich durch die Nachrüstbarkeit des rONT in die bestehende Station auf den Transformatorwechsel und die Verstärkung der niederspannungsmäßigen Verbindung zwischen den beiden vormals getrennten Stationsbereichen. Die Maststation kann entfallen und abgebaut werden. Die rONT-Kenngrößen für diese Lösung sind:

- Nennleistung 630 kVA
- Übersetzung 21/0,42 kV
- Oberspannungsseitige Umschaltung mit Laststufenschalter
- 9-stufig mit -3/+5 Stufen á 2,5 %
- Autarke lokale Regelung auf einen festen Spannungswert von 98 % bezogen auf U_n an der NS-Sammelschiene
- Regelbandbreite 4 % (± 2 %) bezogen auf U_n

Die Spannungsbandaufteilung mit rONT ist Bild 23 zu entnehmen.

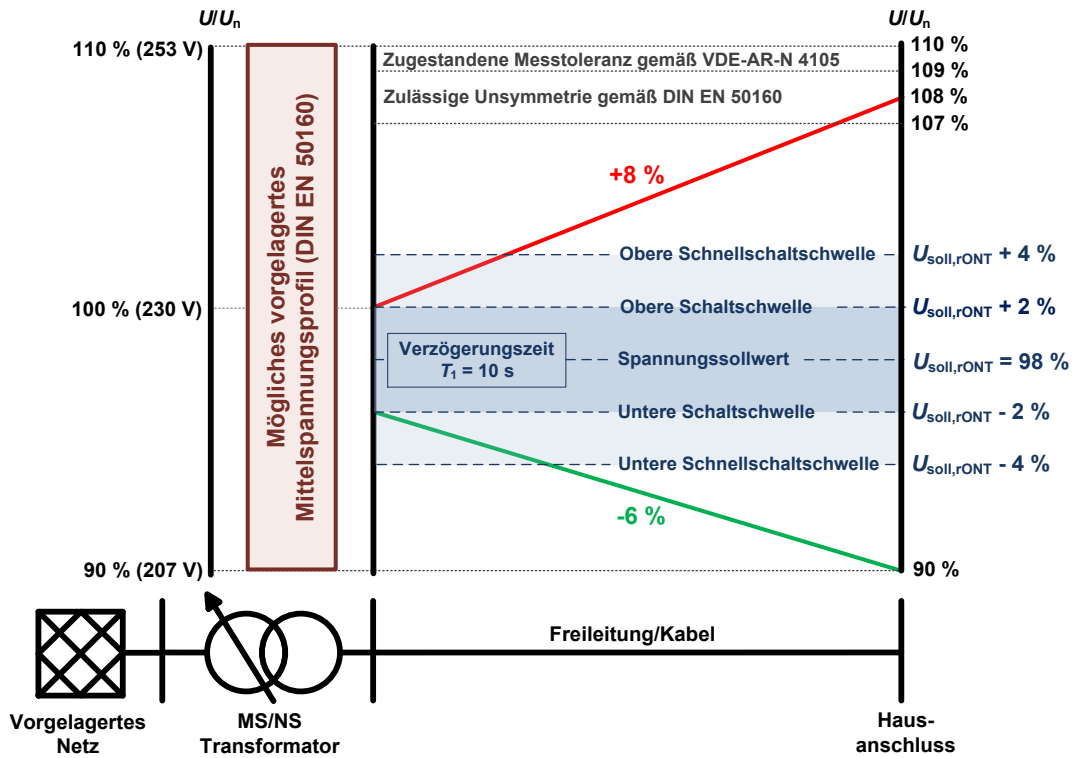


Bild 23: Beispielhafte Spannungsbandaufteilung mit rONT bei einem Spannungssollwert von 98 % U_n

B5 Regelung auf einen lastflussabhängigen Spannungssollwert

B5.1 Motivation für das Projekt

Es lagen Überschreitungen der in VDE-AR-N 4105 zugelassenen maximalen Spannungsdifferenz von $\Delta u_a \leq 3\%$ bedingt durch den Zubau von Erzeugungsanlagen im Niederspannungsnetz und durch die gewachsenen Netzstrukturen vor. Abhilfe wurde bisher vornehmlich durch den Ausbau des Netzes geschaffen, was insbesondere in bebauten Ortslagen sehr kostenintensiv ist.

B5.2 Netzausschnitt

Es handelt sich um ein ländlich geprägtes Straßendorf mit einer Vielzahl von teils ehemaligen landwirtschaftlichen Anwesen im Ortskern. Entsprechend sind große Dachflächen als potentielle oder bereits genutzte Standorte für Photovoltaikanlagen, oftmals mit Ausrichtung nach Süden, vorhanden. Die Versorgung mit elektrischer Energie erfolgt in weiten Teilen über Niederspannungsfreileitung.

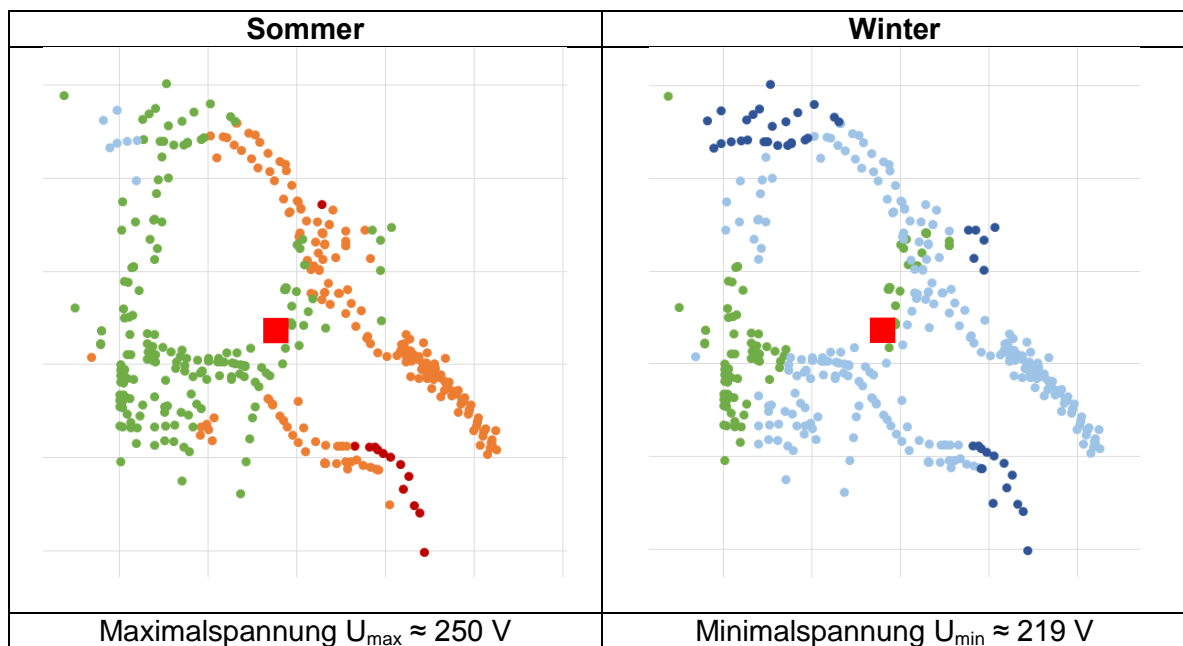


Bild 24: Knotenspannungen im Sommer und im Winter vor Einsatz eines rONT gemäß Beispiel in B5

Bild 24 zeigt die Knotenspannungen im Sommer und im Winter vor dem Einsatz eines rONT. Die Maximalspannung im Sommer beträgt rund 250 V und die Minimalspannung im Winter etwa 219 V. An der Sammelschiene der Trafostation selbst kann zwischen Sommer und Winter nur eine geringe Spannungsschwankung der MS von etwa 2 % festgestellt werden. Ein rONT mit Regelung auf einen festen Spannungssollwert hätte somit kaum Auswirkungen auf die Spannungswerte im Netz.

B5.3 Variantenvergleich

- Variante 1: Konventionelle Netzverstärkung
 - Da ein Umbau der Niederspannungsfreileitung aus technischen Gesichtspunkt nicht sinnvoll möglich ist, wäre hier eine niederspannungsseitige Verkabelung notwendig.
- Variante 2: Konventionelle Netzverstärkung
 - Alternativ könnte eine weitere Trafostation errichtet und in das vorhandene Freileitungsnetz eingebunden werden.
- Variante 3: Einsatz eines rONT
 - rONT mit lastflussabhängigen Spannungswert.

B5.4 Ausgewählte Lösung

Bei den Varianten 1 und 2 sind die Kosten um einen Faktor 6-7 höher als die Beschaffung und der Einbau eines rONT in der bestehenden ONS.

Es wird ein rONT mit lastflussabhängigen Spannungswert eingesetzt. Bild 25 zeigt die eingestellte Standardkennlinie des rONT. Bei hoher Einspeiseleistung wird die Spannung an der Sammelschiene unter die Nennspannung U_N abgesenkt und bei hohen Leistungsbezügen über die Nennspannung U_N angehoben. Die Differenz zwischen Maximal- und Minimalspannung an der Sammelschiene steigt somit, jedoch können so die Spannungsschwankungen im Netz deutlich begrenzt werden.

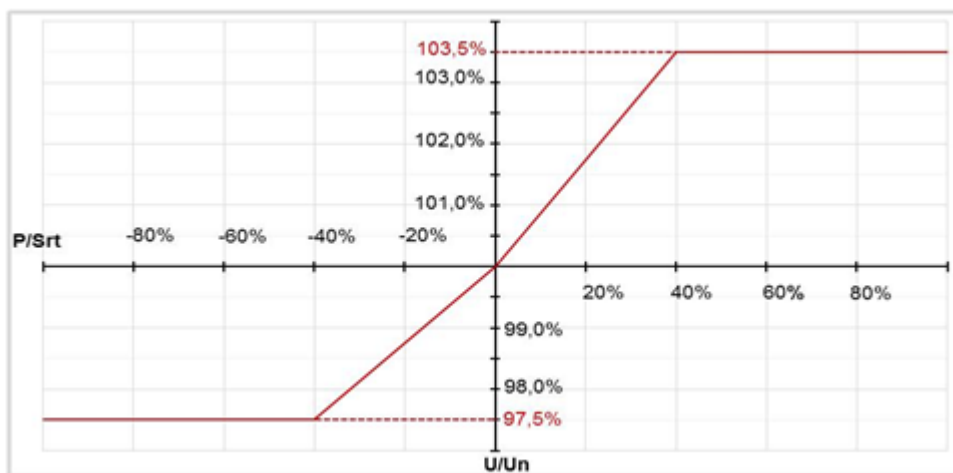


Bild 25: Eingestellte Kennlinie am rONT gemäß Beispiel in B5

B5.5 Planungs- und Betriebserfahrungen

Bild 26 zeigt die Knotenspannungen im Sommer und im Winter bei Einsatz eines rONT. Die Wirkung zeigt sich insbesondere durch das Absenken der Maximalspannung im Sommer von 250 V auf 236 V. Der maximal Spannungshub $\Delta u_a \leq 3\%$ nach VDE-AR-N 4105 wird somit wieder im gesamten Netz eingehalten.

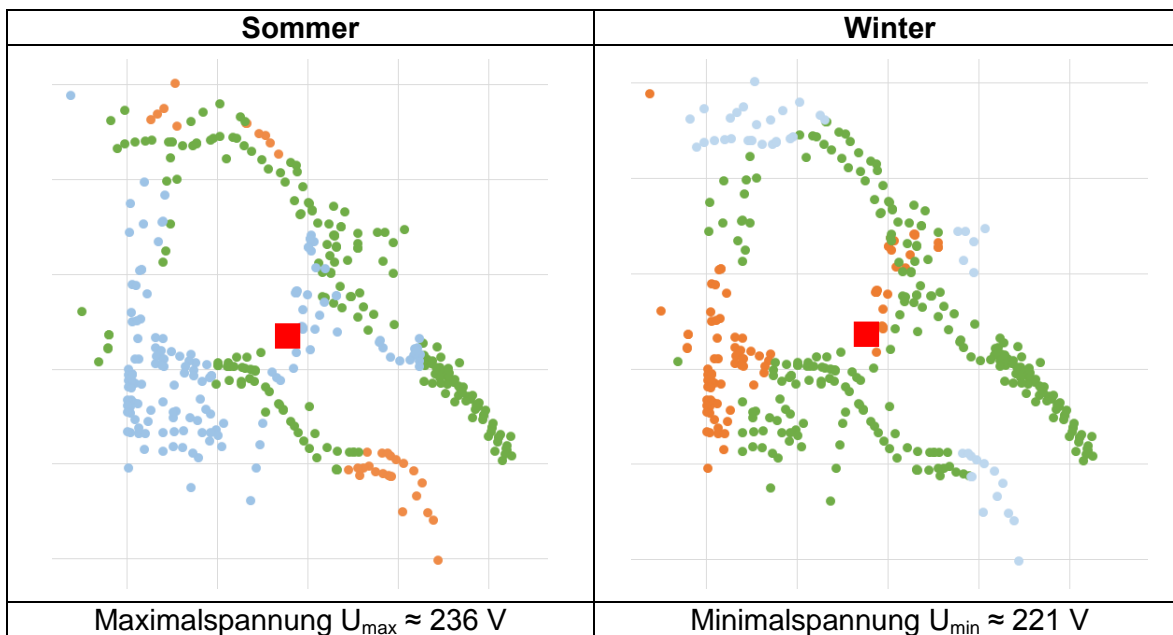


Bild 26: Knotenspannungen im Sommer und im Winter bei Einsatz eines rONT gemäß Beispiel in B5