

EZA – Regelkonzepte und – Anschlusskonzepte für den Parallelbetrieb von Stromerzeugungsanlagen im Versorgungsnetz der Energie Ried Gesellschaft m.b.H.

1. Allgemein

Diese Richtlinie gilt für Anlagenbetreiber von Erzeugungsanlagen (EZA) im Netz der Energie Ried GmbH ab einer installierten Leistung von > 0,8kW je Netzanschlusspunkt (Übergabezähler). Die Richtlinie ist unter Berücksichtigung der Vorgaben der Regelwerke in der letztgültigen Fassung "Technischen und organisatorischen Regeln für Betreiber und Benutzer von Netzen (TOR)" sowie den Anforderungen durch die Verordnung „System Operation Guideline (SOGL)“ formuliert worden. Diese sind in ihrer aktuellen Fassung auf den entsprechenden Homepages abrufbar.

Ziel ist, neben der Erfüllung der gesetzlichen Vorgaben, zudem eine optimierte Anpassung der Netzinfrastruktur an vermehrt dezentrale Einspeisung sowie die Vermeidung von spannungsbedingten Kraftwerksabschaltungen zu gewährleisten. Dies wird vermieden, indem der Netzbetreiber zumindest größere Erzeugungsanlagen ansteuern kann, wenn die Netzstabilität oder die Einhaltung des Spannungstoleranzbandes es erfordert.

Die Summe der maximalen Wirkleistungen der Erzeugungseinheiten ΣP_{max} bezieht sich bei der in diesem Dokument beschriebenen Fernsteuerbarkeit durch den Verteilnetzbetreiber (VNB) auf die Summe der Erzeugungsanlagen je Übergabestelle (damit im Einzelfall auch auf mehrere Anlagen je Netzanschlusspunkt. Siehe Abb. 1).

Bei wesentlichen Änderungen an der Erzeugungsanlage im Sinne der „TOR“ sind die jeweils gültigen Regelungen (TOR, Parallelaufbedingungen, Normen) auf die so neu entstehende Erzeugungsanlage anzuwenden.

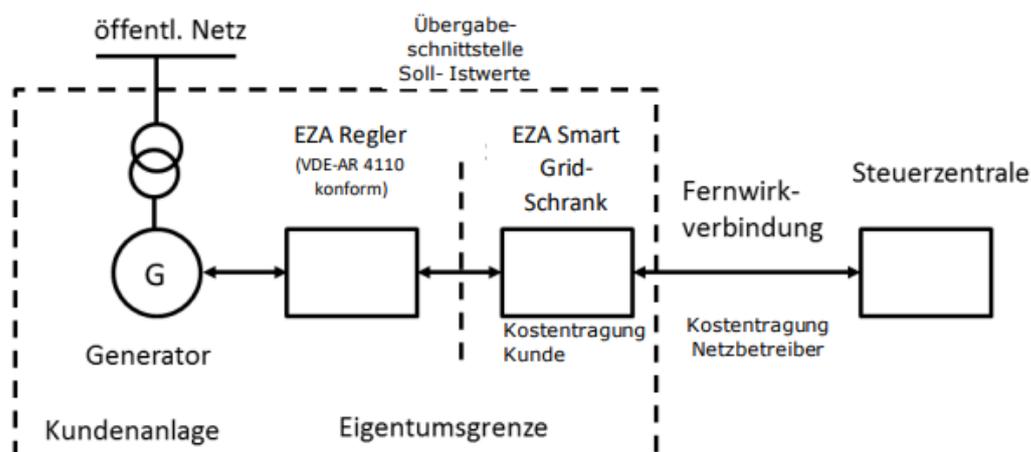


Abb. 1: Eigentumsgrenzen und Schnittstellen

2. Planungsgrundsätze

Als eine wesentliche Planungsgrundlage in der Netzplanung wird die Festlegung eines Toleranzspannungsbandes herangezogen. Die konventionelle Netzplanung basiert auf einem je Netzbetreiber etwas unterschiedlich ausgelegten Aufteilung des Spannungsbandes von insgesamt +/-10% für Anhebung durch Einspeisung und Spannungsabfall durch Lasten in Nieder- und Mittel- Spannungsnetzen ausgehend von einer geregelten Spannung im Umspannwerk.

Beim konventionellen Planungsansatz wird diese Zuordnung unabhängig von den tatsächlichen Verhältnissen eingehalten. Weiters wird unter der Annahme, dass alle einphasigen Anlagen am gleichen Außenleiter angeschlossen sind, für diese die sechsfache Leistung angesetzt.

Der erweiterte Planungsansatz geht von einer möglichst gleichmäßigen Verteilung der Anlagen aus und berücksichtigt darüber hinaus das durch Lasten und Einspeisungen im Niederspannungsnetz wie auch im relevanten Mittelspannungsnetzabschnitt tatsächlich erforderliche Spannungsband.

Wenn während der Berechnung eines Anschlusspunktes in einem Ortsnetz die oberen bzw. unteren Randwerte der Spannungspegel erreicht werden, wird Spannungsregelung mit Blindleistungsregelung als Alternative zum Netzausbau eingesetzt werden.

3. Spannungsregelung

Das insgesamt fünfstufige Regelungskonzept basiert auf autonomen Spannungsregelungen (1. Stufe) des Ortsnetztransformators durch Stufenstellung und des Wechselrichters durch Blind- und Wirkleistungssteuerung. Ladestationen führen dabei eine automatische spannungsabhängige Wirkleistungsregelung durch.

Bei der Fernregelung (2. Stufe) werden ausgewählte Messstellen an neuralgischen Knoten im Netz verwendet und mittels Kommunikationstechnik die Messwerte an den Spannungsregler in der Station übertragen. Der Regler wählt die optimale Stufenstellung für den Transformator. Sowohl die Wechselrichter als auch die Ladestationen sind hier im Modus von Stufe 1, der autonomen Regelung.

Bei der koordinierten Regelung (3. Stufe) wird zusätzlich zur Fernregelung auch an alle Wechselrichter bzw. steuerbare Lasten eine optimierte Konfiguration für das Spannungsregelungsverhalten als Vorgabe gesendet.

Die selektive koordinierte Regelung (4. Stufe) unterscheidet sich von Stufe 3 darin, dass vom zentralen Spannungsregler in der Transformatorstation für einzelne Wechselrichter bzw. steuerbare Lasten selektiv das optimale Spannungsregelungsverhalten vorgegeben wird.

Für aneinandergrenzende Ortsnetze mit Trennstellen für Ersatzversorgung ist die selektive koordinierte Regelung mit Topologie Erkennung (5. Stufe) in Zukunft konzipiert. Dabei wird automatisch erkannt welche Verbraucher und Erzeuger vom jeweiligen Ortsnetzstrang versorgt werden.

Zur Validierung der Spannungsregelung wird ein vom Regelungssystem unabhängiges Spannungsqualitätsmonitoringsystem installiert.

4. Blindleistung und Regelung

4.1. Blindleistung einfach erklärt

Als Erklärmodell für Blindleistung kann man die Einnahmen und Ausgaben eines fiktiven Betriebes betrachten: Im Januar nimmt er 10.000 Euro ein, im Februar fallen Ausgaben von 10.000 Euro an. In den folgenden Monaten wiederholt sich das Ganze. Trotz monatlich 10.000 Euro Kontoumsatz ist der durchschnittliche Gewinn gleich Null – reine Blindleistung, könnte man sagen. Doch wie entsteht so etwas im Wechselstromnetz?

4.2. Wie entsteht Blindleistung

Beim Gleichstrom sind die Verhältnisse noch einfach: Leistung ist das Produkt aus Spannung und Stromstärke. Beim Wechselstrom liegen die Dinge jedoch komplizierter, denn Stärke und Richtung von Stromfluss und Spannung ändern sich hier regelmäßig. Im öffentlichen Stromnetz haben beide einen sinusförmigen Verlauf mit einer Frequenz von 50 Hertz (Hz). Solange Strom und Spannung „in Phase“ sind, also quasi im Gleichschritt schwingen, ergibt das Produkt der beiden pulsierenden Größen eine ebenfalls pulsierende Leistung mit positivem Durchschnittswert – reine Wirkleistung (Abb. 2).

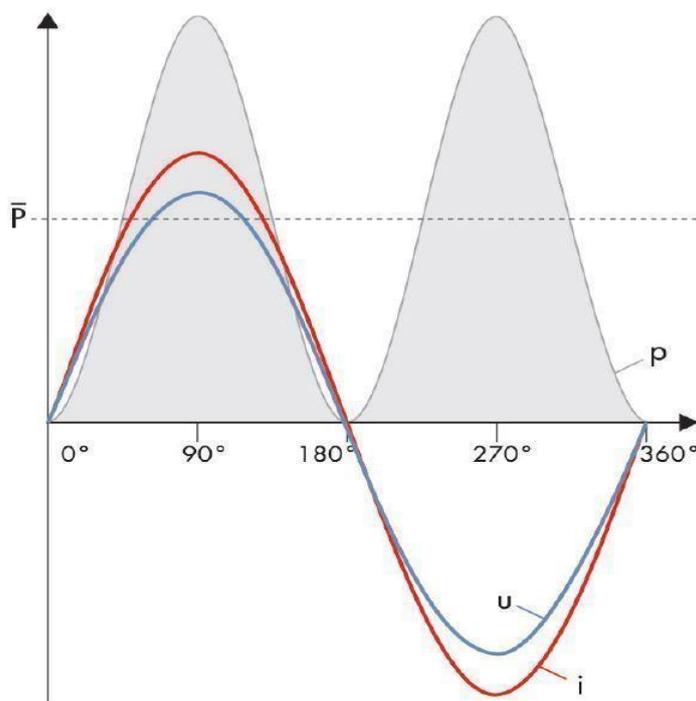


Abb. 2: Ohne Phasenverschiebung ergibt das Produkt aus Strom i und Spannung u eine pulsierende, aber immer positive Leistung – reine Wirkleistung.

Sobald aber die sinusförmigen Verläufe von Strom und Spannung gegeneinander verschoben sind, ergibt ihr Produkt eine Leistung mit abwechselnd positivem und negativem Vorzeichen. Im Extremfall sind Strom und Spannung zeitlich um eine Viertelperiode verschoben: Die Stromstärke erreicht ihren Maximalwert immer dann, wenn die Spannung Null beträgt – und umgekehrt. Das Ergebnis: Reine Blindleistung, die positiven und negativen Leistungsanteile heben sich vollständig auf (Abb. 3).

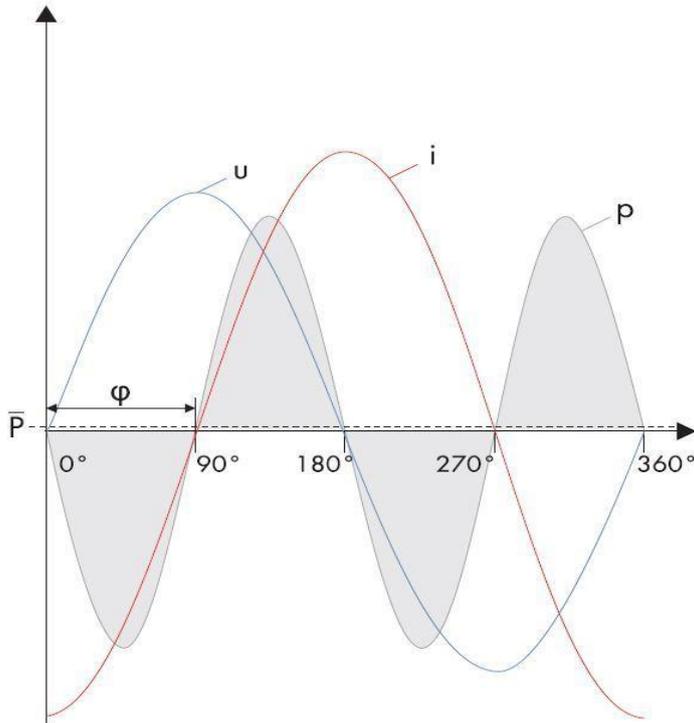


Abb. 3: Bei 90 Grad Phasenverschiebung zwischen Strom i und Spannung u ergibt sich abwechselnd positive und negative Leistung mit dem Durchschnittswert Null – reine Blindleistung.

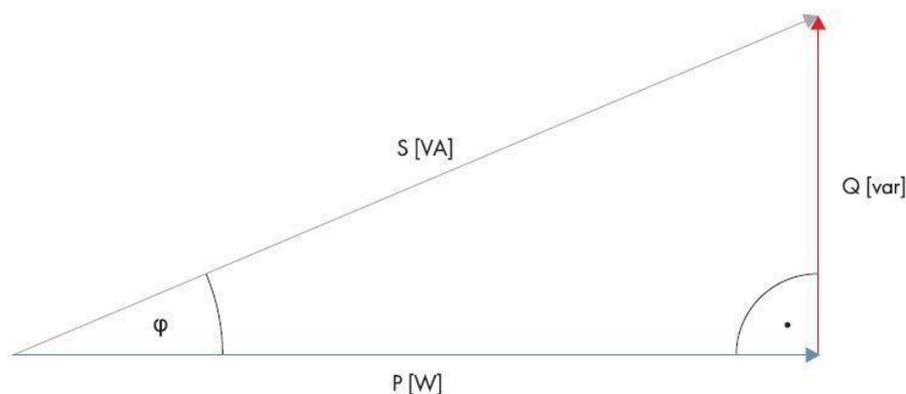
Die angesprochene Verschiebung nennt man auch Phasenverschiebung, wobei sie naturgemäß zwei Richtungen haben kann. Sie entsteht, wenn sich Spulen oder Kondensatoren im Wechselstromkreis befinden – und das ist eigentlich immer der Fall: Alle Motoren oder Transformatoren enthalten Spulen (sorgen für induktive Verschiebung), Kondensatoren (sorgen für kapazitive Verschiebung) sind ebenfalls häufig anzutreffen.

Beispielsweise wirken mehradrige Stromkabel wie ein Kondensator, während man Hochspannungsfreileitungen als extrem langgezogene Spulen betrachten kann. Damit ist klar: Ein bestimmtes Maß an Phasenverschiebung und damit an Blindleistung lässt sich in Wechselstromnetzen kaum vermeiden.

Messgröße der Phasenverschiebung ist der Verschiebungsfaktor $\cos(\varphi)$, der Werte zwischen 0 und 1 annehmen kann. Mit seiner Hilfe lassen sich unterschiedliche Leistungswerte sehr einfach ineinander umrechnen (siehe Infokasten unten).

FORMELN UND GRÖSSEN

Bezeichnung	Formelzeichen	Einheit
Scheinleistung	S	[VA]
Wirkleistung	P	[W]
Blindleistung	Q	[var]
Verschiebungsfaktor	$\cos(\varphi)_{\text{kapazitiv / induktiv}}$	einheitenloser Faktor



$$S^2 = P^2 + Q^2 \text{ (Satz des Pythagoras für rechtwinklige Dreiecke)}$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$S = \frac{P}{\cos(\varphi)}$$

$$P = S \cdot \cos(\varphi)$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

Abb. 4: Geometrischer Zusammenhang von Schein-, und Wirk- und Blindleistung, dargestellt als rechtwinkeliges Dreieck

4.3. Wie wirkt sich Blindleistung im Stromnetz aus

Nur die Wirkleistung ist nutzbare Leistung. Mit ihr lassen sich Maschinen antreiben, Lampen zum Leuchten bringen oder Heizstrahler betreiben. Bei der Blindleistung liegen die Dinge anders: Sie verbraucht sich nicht und kann auch keine Arbeit leisten. Sie pendelt lediglich im Stromnetz hin und her – und belastet es dadurch zusätzlich. Denn alle Leitungen, Schalter, Transformatoren und sonstige Bauteile müssen die zusätzliche Blindleistung berücksichtigen.

Konkret: Sie müssen für die Scheinleistung ausgelegt werden, also für die geometrische Summe aus Wirk- und Blindleistung. Auch die ohmschen Verluste beim Energietransport entstehen auf Grundlage der Scheinleistung, zusätzliche Blindleistung führt daher zu größeren Transportverlusten.

4.4. Entlastung der Stromnetze und Spannungsregelung

Zum Glück lässt sich eine vorhandene Phasenverschiebung aber kompensieren. Man erzeugt lediglich eine entsprechend gegenläufige Phasenverschiebung durch Kompensationsspulen oder Kompensationskondensatoren oder eben durch Wechselrichter. Damit verringern sich einerseits die Transportverluste, andererseits wird das Netz nur noch mit der Wirkleistung belastet.

Die freiwerdenden Leitungsressourcen können damit für die Übertragung zusätzlicher Wirkleistung genutzt werden.

Die kapazitive oder induktive Phasenverschiebung hat aber noch einen anderen Effekt: Sie erhöht oder vermindert die Spannung im Netz. So wird in Großkraftwerken die Energie schon mit einer kapazitiven Phasenverschiebung erzeugt, um den spannungssenkenden Einfluss der induktiven Freileitungen und Transformatoren auszugleichen. Für die Netzregelung ist die Kontrolle der Phasenverschiebung oder Blindleistung daher außerordentlich wichtig. Das gilt nicht nur für Großkraftwerke, sondern auch für PV-Anlagen im Nieder- oder Mittelspannungsnetz.

4.5. Verschiebefaktor

Derzeit fordern einige VNB schon heute die Blindleistungseinspeisung, um Anlagen noch an gegebene Netzverknüpfungspunkte anschließen zu können. Aus diesem Grund sind auch wir dazu gezwungen einen Verschiebungsfaktor von 0,90 zu fordern. Dies und die Q/U Regelung in mehreren Stufen ist auch die Basis bei unserer Anschlussberechnung.

Hintergrund: Aus physikalischen Gründen führt die Wirkleistungseinspeisung vor allem im Niederspannungsnetz zu einer Spannungsanhebung, die unter Umständen problematisch werden kann (siehe Abb. 3). Gleichzeitig ist hier aber besonders viel Blindleistung nötig, um die Spannung wieder abzusenken.

4.6. So plant man mit Blindleistung

Selbstverständlich muss die Blindleistung bei der Auslegung einer PV-Anlage berücksichtigt werden. Dabei spielt der gewünschte oder geforderte Verschiebungsfaktor die entscheidende Rolle: Er bestimmt die Höhe der Scheinleistung und damit die zusätzlich benötigte Wechselrichterleistung. So entsteht bei einem Verschiebefaktor von $\cos(\varphi) = 0,95$ eine Scheinleistung von 105,26 % der angebotenen PV-Wirkleistung. Um 100 kW Wirkleistung mit dieser Phasenverschiebung einzuspeisen, wird daher ein Wechselrichter mit mindestens 105 kVA Nenn-Scheinleistung benötigt (siehe Abb. 5).

Wichtig ist dabei zu beachten: Die vom Wechselrichter aufgenommene Wirkleistung bleibt dabei in voller Höhe erhalten. Die jeweilige Blindleistung entsteht zusätzlich im Wechselrichter, weshalb er entsprechend größer dimensioniert sein muss.



Abb. 5: Die gewünschte Blindleistung wird im Wechselrichter erzeugt – zusätzlich zur aufgenommenen PV-Wirkleistung. Die geometrische Summe aus beiden ist die Scheinleistung, sie ist für die Auslegung des Wechselrichters maßgeblich.

4.7. Mit Blindleistung Probleme lösen

In bestimmten Konstellationen ist die Einspeisung von Blindleistung für den Anlagenbetreiber durchaus von Vorteil: Denkbar ist, dass eine Anlage nur wenig Wirkleistung einspeisen kann, da die Netzspannung durch Spannungsanhebung andernfalls die zulässigen Werte überschreitet und die Wechselrichter sich vom Netz trennen. Vor allem bei der Einspeisung in das (überwiegend ohmsche) Niederspannungsnetz kann dieser Fall eintreten, denn hier wirkt sich auch die Wirkleistungseinspeisung merklich auf die Netzspannung aus. Grundsätzlich ist das ein Problem des Netzbetreibers, der einen ausreichend dimensionierten Einspeisepunkt zur Verfügung stellen muss. Dazu bedient sich der Netzbetreiber unter anderem auch der Regelmöglichkeit solcher Erzeugungsanlagen. Bei größeren Anlagen gilt es jedoch die gesamtwirtschaftlich günstigste Lösung zu finden – egal, ob auf Kosten des Erzeugungsanlagen- oder des Netzbetreibers.

Die Spannungshaltung über Einspeisung von Blindleistung ist hier unter Umständen die günstigste Alternative: Mit einer passenden Phasenverschiebung durch den Wechselrichter lässt sich die Spannungserhöhung am Netzanschlusspunkt unter Umständen so weit kompensieren, dass eine Verletzung der Spannungskriterien sicher verhindert wird (siehe Abb. 6). Damit kann aufwendiger Netzausbau oder die Auswahl eines unwirtschaftlich Netzverknüpfungspunktes (zu Lasten des Erzeugungsanlagenbetreibers) vermieden werden.

Für die Blindleistungsabgabe muss zwar in zusätzliche Wechselrichterleistung investiert werden. Trotzdem lohnt sich der Aufwand, wenn ansonsten deutlich weniger oder gar keine Wirkleistung eingespeist werden könnte oder ein anderer Netzverknüpfungspunkt gewählt werden müsste.

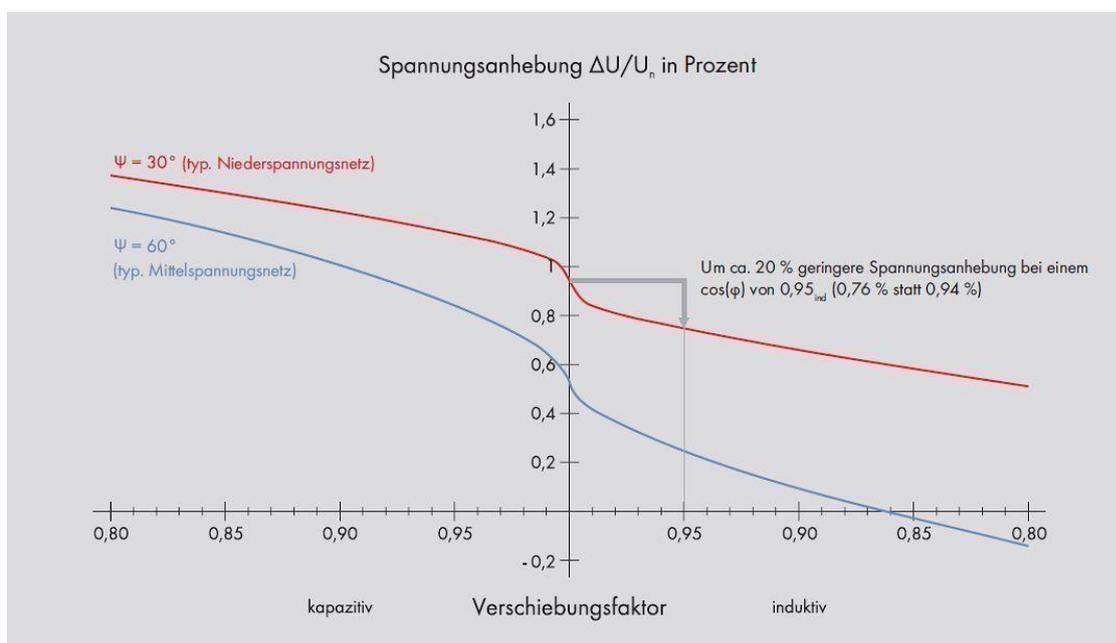


Abb. 6: Die prozentuale Spannungsanhebung bei 27 kW Wirkleistungseinspeisung, abhängig vom Netzimpedanzwinkel und dem Verschiebungsfaktor $\cos(\varphi)$

4.8. Verfahren zur Blindleistungsbereitstellung

Prinzipiell soll das Verfahren „Blindleistung mit Spannungsbegrenzungsfunktion“ zum Einsatz kommen.

Das Blindleistungsverhalten der Erzeugungsanlage ist so auszulegen, dass alle anderen Netzbenutzer nicht unzulässig beeinflusst werden. Erfolgt im Zuge der Anschlussbeurteilung keine andere Vorgabe, so ist die Einstellung gemäß „TOR Erzeuger - Verfahren zur Blindleistungsbereitstellung“ vorzunehmen. Auch bei Betrieb des Wechselrichters muss der Leistungsfaktor der Kundenanlage innerhalb der nach den Allgemeinen Versorgungsbedingungen (AVB) des Netzbetreibers vorgegebenen Grenzen liegen. Andernfalls ist eine Abstimmung mit dem Netzbetreiber vorzunehmen.

Die Erzeugungsanlage muss mit einer Blindleistungskapazität gemäß „TOR Erzeuger“ und den dort beschriebenen Verfahren zur Blindleistungsbereitstellung ausgestattet sein.

4.8.1. Stromerzeugungsanlagen mit $P_{max} > 0,8 \text{ kW}$ bis 20 kW :

Bei diesen Anlagen ist immer die integrierte Blindleistungsregelung (Q/U) in den Wechselrichtern zu aktivieren.

Kurve gemäß TOR:

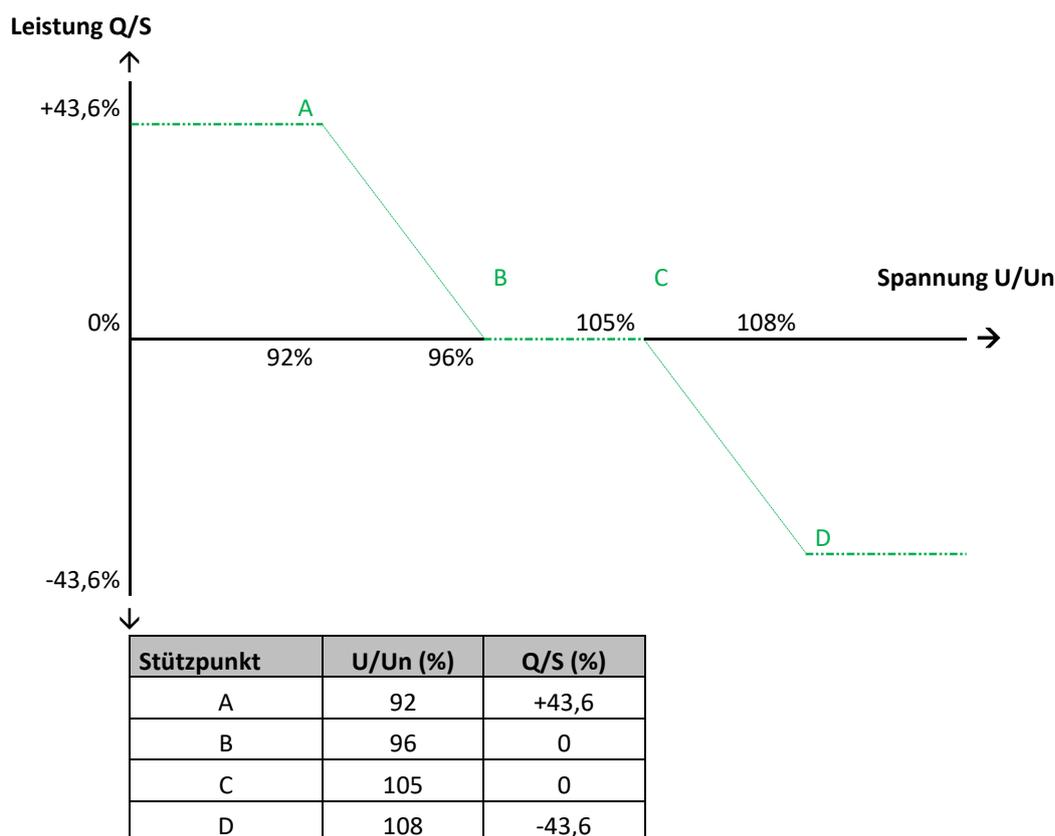


Abb. 7: Parameterkennlinie und Stützpunktstabelle für EZA Anlagen gemäß TOR

4.8.2. Stromerzeugungsanlagen mit $P_{max} > 20 \text{ kW}$ bis 100 kW :

Bei diesen Anlagen ist immer die integrierte Blindleistungsregelung (Q/U) in den Wechselrichtern zu aktivieren.

Kurve gemäß TOR:

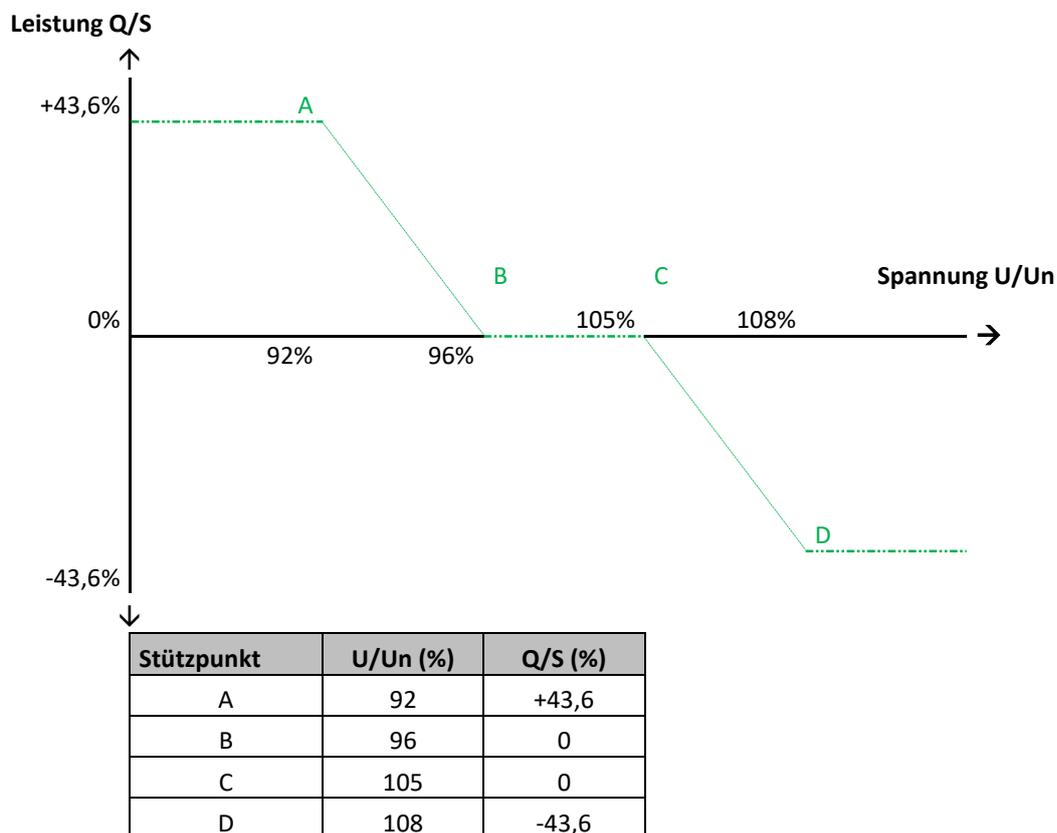


Abb. 8: Parameterkennlinie und Stützpunkttable für EZA Anlagen gemäß TOR

4.8.3. Stromerzeugungsanlagen mit $P_{max} > 100$ kW bis 32 MW:

Die Einstellung zur Blindleistungsregelung (Q/U) in drei Stufen wird in Form von potentialfreien Kontakten vorgegeben. Bei offenen Schaltkontakten ist die Blindleistungsvorgabe (Q/U) gemäß „TOR Erzeuger“ fixiert („Kurve 3“). Die entsprechende Ansteuerung der entsprechenden Kurven erfolgt aus dem Fernwirkgerät des Netzbetreibers.

Stufe 1

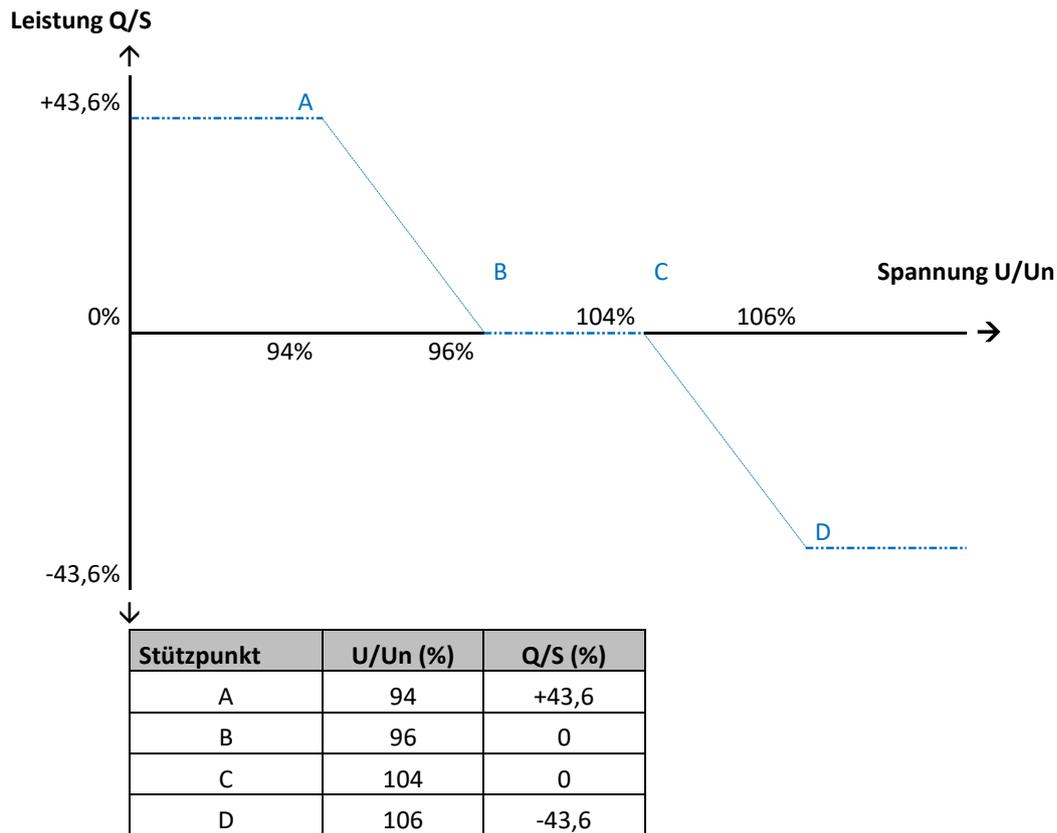
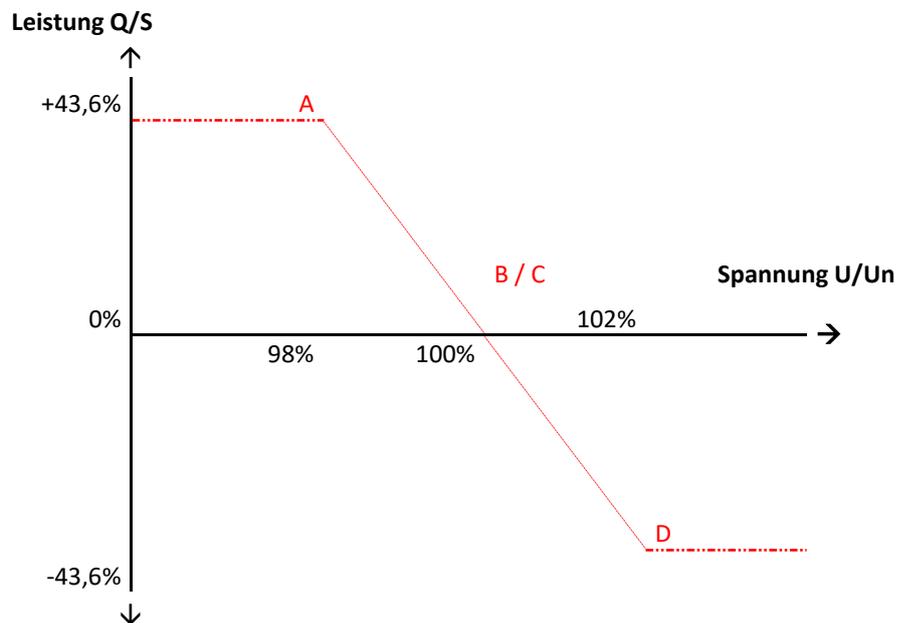


Abb. 9: Parameterkennlinie und Stützpunkttable für Kurve 1

Stufe 2:

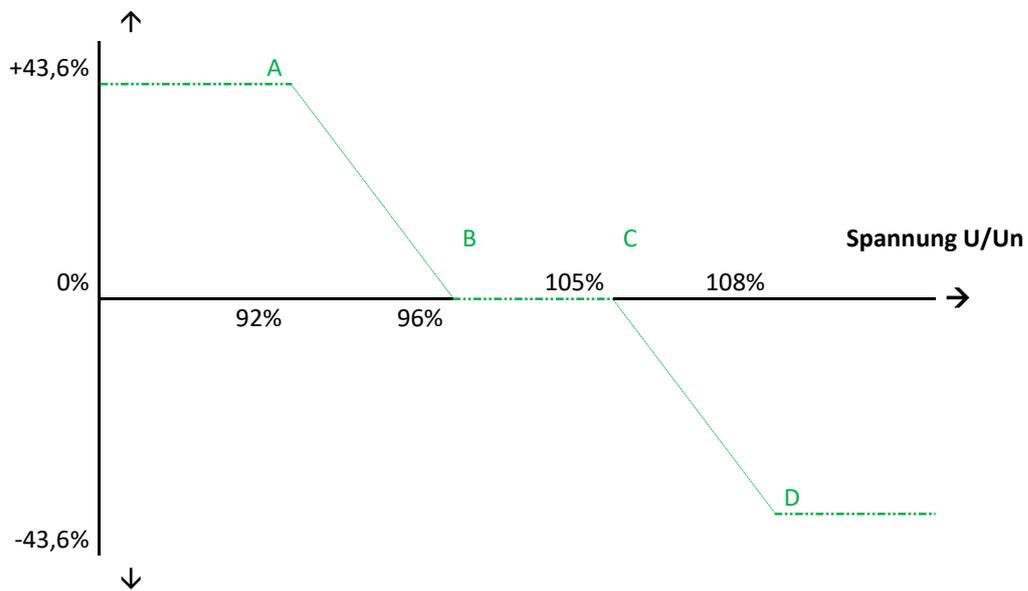


Stützpunkt	U/Un (%)	Q/S (%)
A	98	+43,6
B	100	0
C	100	0
D	102	-43,6

Abb. 10: Parameterkennlinie und Stützpunkttable für Kurve 2

Stufe 3:

Leistung Q/S



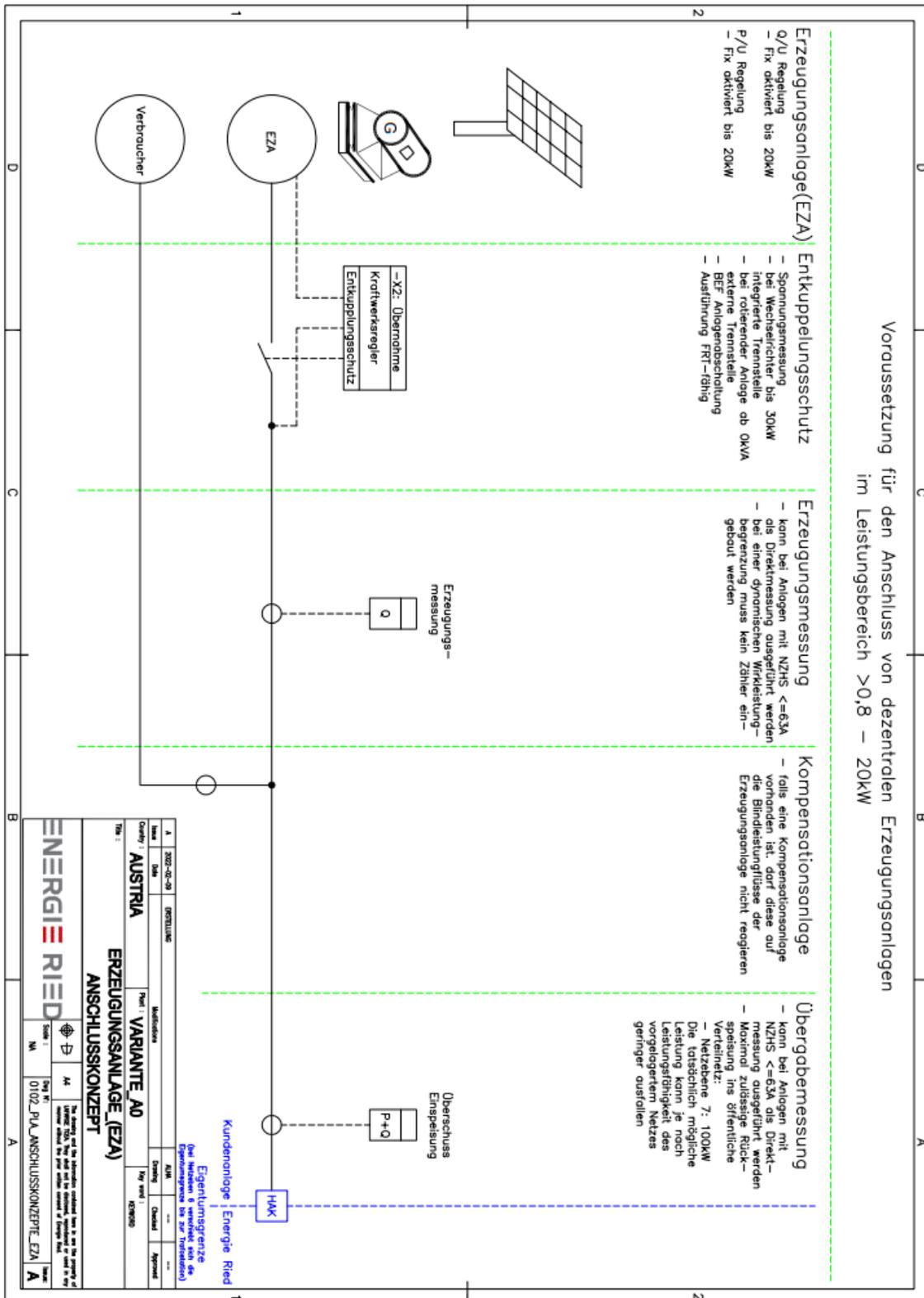
Stützpunkt	U/Un (%)	Q/S (%)
A	92	+43,6
B	96	0
C	105	0
D	108	-43,6

Abb. 11: Parameterkennlinie und Stützpunkttable für Kurve 3 = gemäß TOR

5. EZW - Anschlusskonzepte

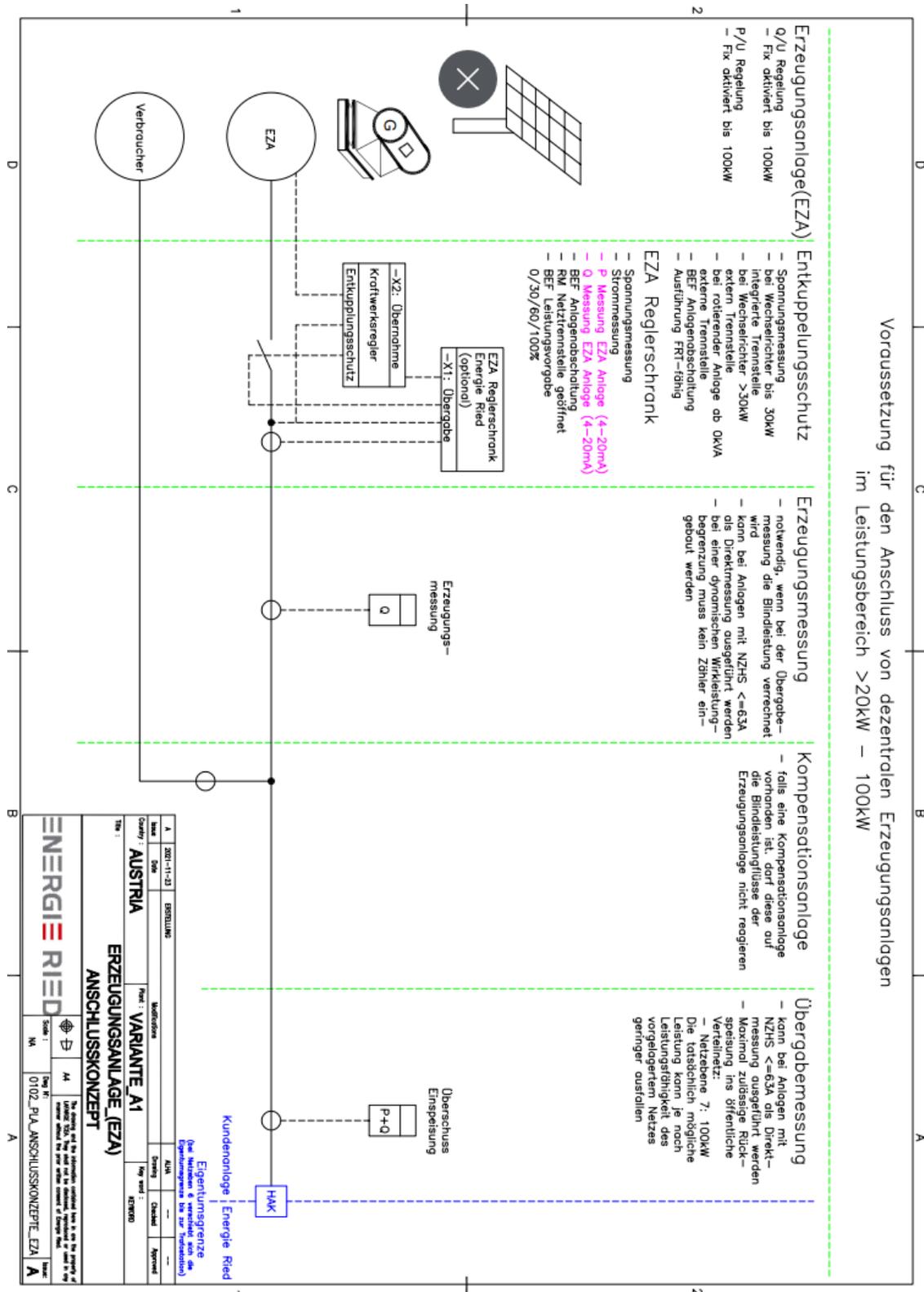
Variante A0:

Anschlusskonzept im Leistungsbereich > 0,8kW – 20kW



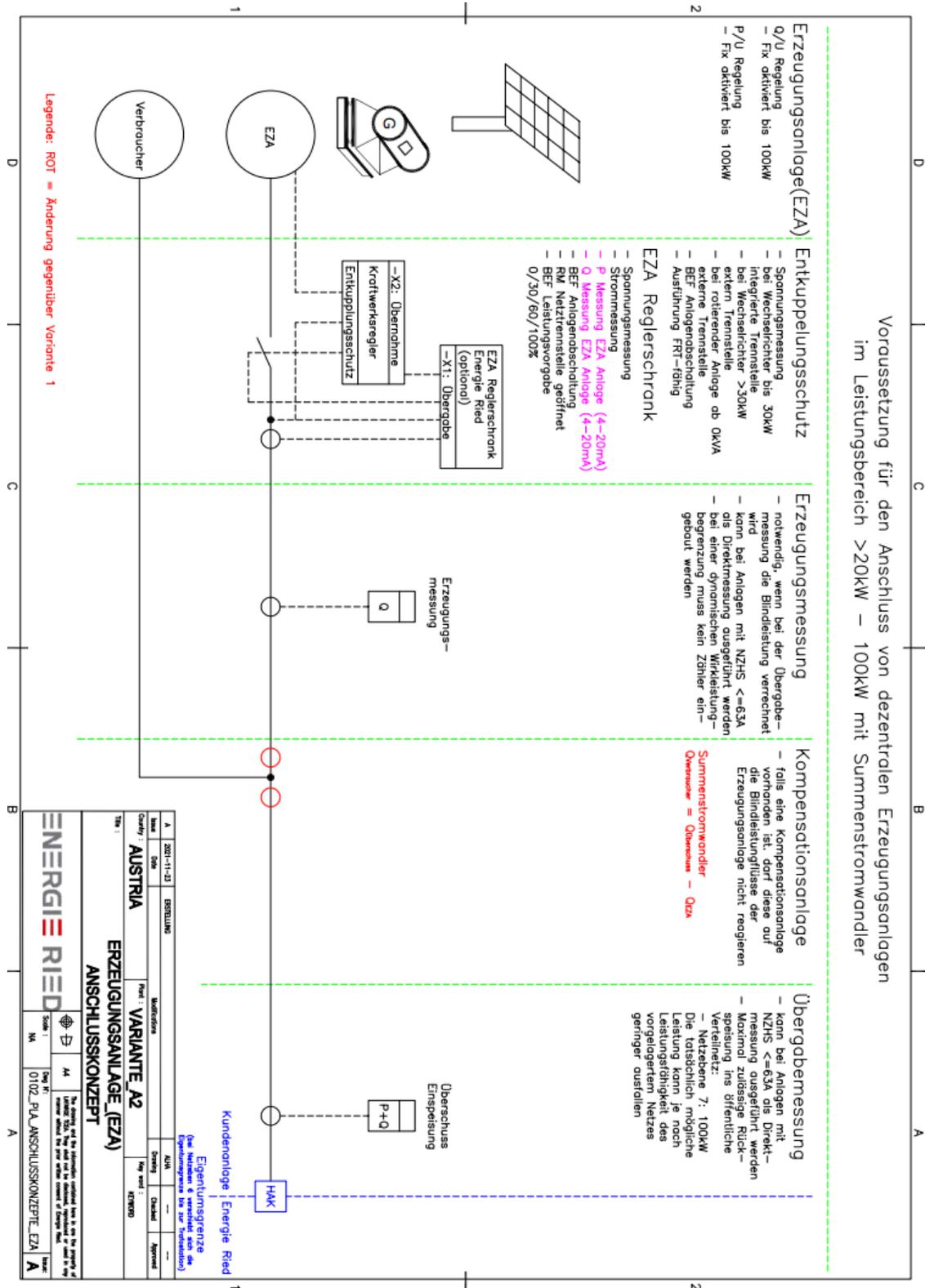
Variante A1:

Anschlusskonzept im Leistungsbereich >20kW – 100kW



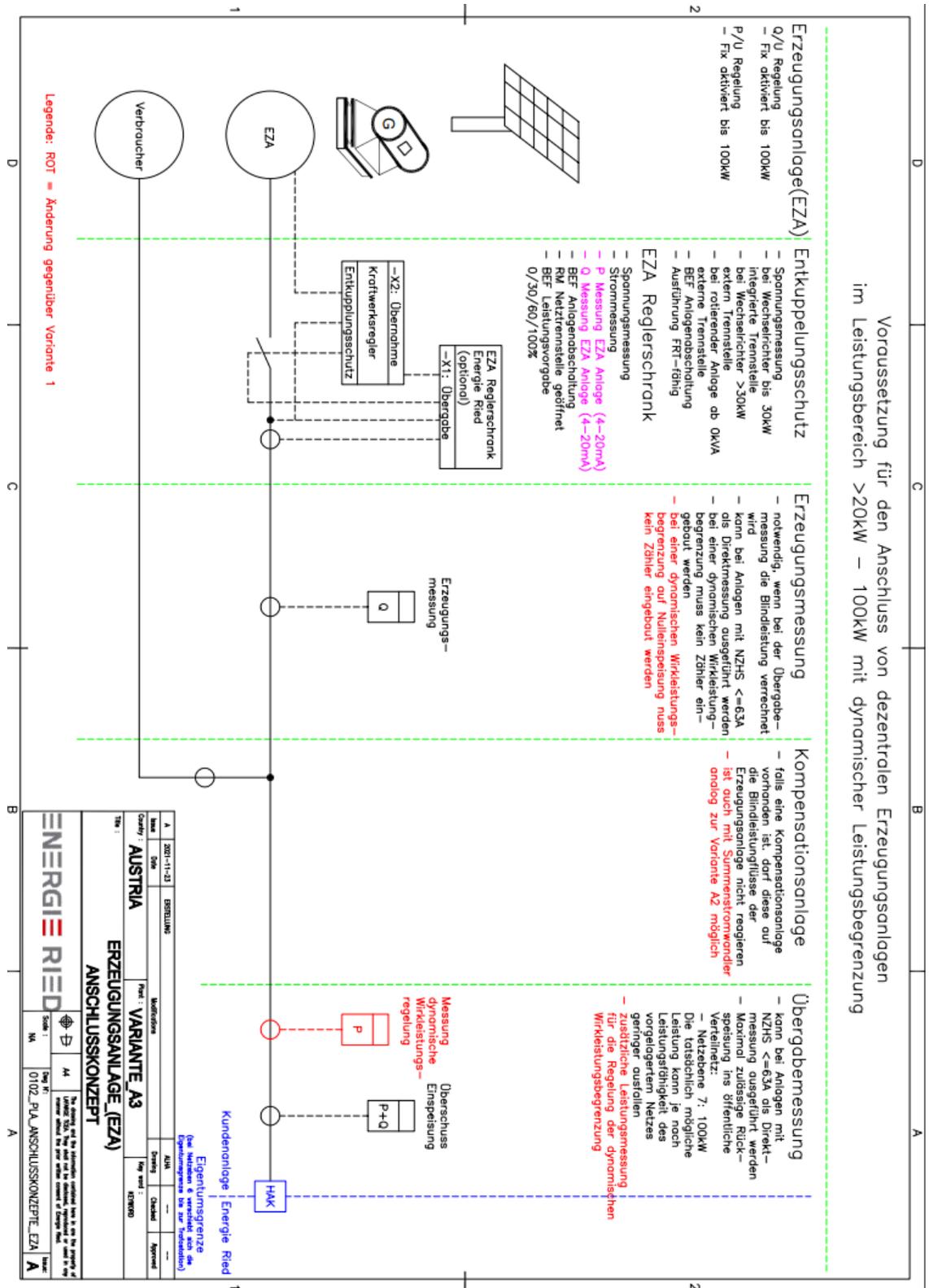
Variante A2:

Anschlusskonzept im Leistungsbereich >20kW – 100kW mit Summenstromwandler



Variante A3:

Anschlusskonzept im Leistungsbereich >20kW – 100kW mit dynamischer Leistungsbegrenzung



6. Signallisten zu EZW – Anschlusskonzepte



0102_PLA-EZA_Sign
alliste_20221118.xlsx

Eventuelle Rückfragen sind schriftlich an die folgende Mailadresse zu richten:

operation@energie-ried.at