# LEITFADEN ERSTELLUNG PQ-DIAGRAMM

## 1.0 ALLGEMEINES

Dieses Dokument dient als Leitfaden zu Erstellung eines PQ-Diagrammes für verschiedene Anlagentypen (exklusive Mischanlagen im Sinne der TAR-Höchstspannung (VDE-AR-N 4130)), wie es zur Teilnahme an der marktgestützten Beschaffung von Blindleistung gefordert wird. Dieses soll bei bestimmten Wirkleistungsarbeitspunkten das maximale Blindleistungsvermögen am Netzanschlusspunkt (NAP) zeigen. Dazu ist eine korrekte Modellierung aller relevanten Komponenten notwendig, welche für die einzelnen Anlagentypen erklärt wird.

Es soll für jeden anfahrbaren Wirkleistungsarbeitspunkt im Abstand von mindestens 0,1 p.u. das Blindleistungsvermögen am NAP gezeigt werden. Es ist darauf zu achten, dass dabei die korrekte Wirkleistung zur Normierung der Werte verwendet wird.

Zudem soll die Mindestanforderung, welche für die Anlage gilt, eingezeichnet werden. Die für die verschiedenen Anlagentypen gültigen Mindestanforderungen sind dem Dokument „Infoblatt - vergütungspflichtige Bereiche.pdf“ zu entnehmen. Die für die entsprechende Anlage geltende Variante wurde im Rahmen des Netzanschlusses vorgegeben.

Im Folgenden werden die Begrifflichkeiten aus der TAR (VDE-AR-N 4130) verwendet. Bei allen Beispielen wird die Mindestanforderung der Variante 1 eingezeichnet.

Die beispielhaften Berechnungen wurden in DIgSILENT PowerFactory 2024 SP2 durchgeführt.

## 2.0 TYP 1 ANLAGEN

Die folgende Abbildung zeigt das für die Simulation heranzuziehende vereinfachte Single-Line-Diagramm einer Typ 1 Anlage.

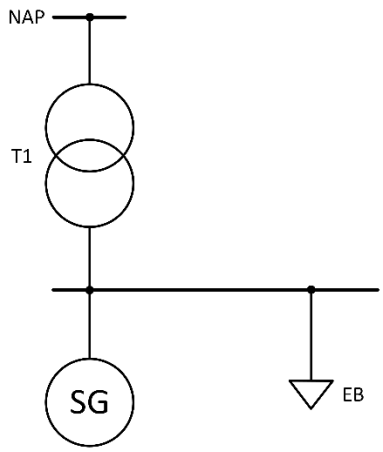


Abbildung 1 - Single Line Diagramm einer Typ 1 Anlage

Dieses Diagramm kann für alle Typ 1 Anlagen mit Blocktransformator angenommen werden. T1 beschreibt den Blocktransformator, SG den Synchrongenerator und EB den Eigenbedarf, welcher als Last abgebildet wird. Wichtig ist, dass die Kurzschlussspannung des Transformators korrekt modelliert wird. Dies ist essenziell, damit der Transformator in der Simulation das korrekte Blindleistungsverhalten zeigt. Ebenso

müssen Kabelstrecken zwischen dem Generator und dem Blocktransformator modelliert sein. Der Netzanschlusspunkt muss für die Berechnungen als Externes Netz (PQ-Knoten mit Sollwerten (0 MW und 0 Mvar)) modelliert werden.

Es soll in 10 %-Schritten der maximalen Einspeisewirkleistung das maximale Blindleistungsvermögen für den jeweiligen Wirkleistungsarbeitspunkt gezeigt werden. Dazu ist eine korrekte Modellierung des Eigenbedarfes notwendig.

Für die Versorgung des Eigenbedarfs gibt es prinzipiell mehrere Möglichkeiten. Eine davon ist, dass der Eigenbedarf vom Generator mitversorgt wird. Dieser Fall ist in Abbildung 1 dargestellt und dient für dieses Dokument als Beispiel. Die maximale Einspeisewirkleistung ist in diesem Fall $P_{AV,E}$, also die Nettowirkleistung $P_{Netto}$. Damit der korrekte Blindleistungswert für den jeweiligen Wirkleistungsarbeitspunkt angenommen wird, muss der Eigenbedarf arbeitspunktabhängig modelliert werden. Durch eine Addition der Nettowirkleistung und des Eigenbedarfs kann die Bruttowirkleistung des Generators ermittelt werden. Die resultierende Blindleistung, welche an diesem Arbeitspunkt maximal eingespeist werden kann, ist aus dem Generator-Leistungsdiagramm abzulesen. Dieser Wert muss dann als Q-Sollwert für den Generator in dem Lastfluss eingestellt werden. Damit korrekte Ergebnisse zu erwarten sind, ist es unerlässlich den Spannungsregler des Generators auf den Modus „Konstant-Q“ einzustellen. Dies ist für jeden Wirkleistungsschritt im Abstand 0,1 p.u. von $P_{Netto,max}$ durchzuführen.

Hat das Kraftwerk eine technische Mindestleistung ist das der kleinste Wirkleistungsarbeitspunkt, welcher dargestellt werden soll. Werte kleiner der technischen Mindestleistung sollen nicht dargestellt werden, da diese in Wirklichkeit nicht angefahren werden können.

Sollte der Eigenbedarf nicht von den Generatorklemmen abgezogen werden, ist die Last zu deaktivieren. Dann gilt, $P_{Brutto} = P_{Netto}$, weshalb die Blindleistungswerte für den jeweiligen Arbeitspunkte ohne weitere Berechnung aus dem Generator-Leistungsdiagramm entnommen werden können.

Die folgende Abbildung zeigt ein beispielhaftes PQ-Diagramm einer Typ 1 Anlage mit Blocktransformator und wirkleistungsabhängigem Eigenbedarf, sowie einer technischen Mindestleistung. Außerdem wurde ein realistischer Wert für die Kurzschlussspannung des Blocktransformators angenommen. Die dargestellten Punkte sind die mit einer Lastflussberechnung simulierten Blindleistungswerte an der Oberspannungsseite des Blocktransformators bzw. am NAP.

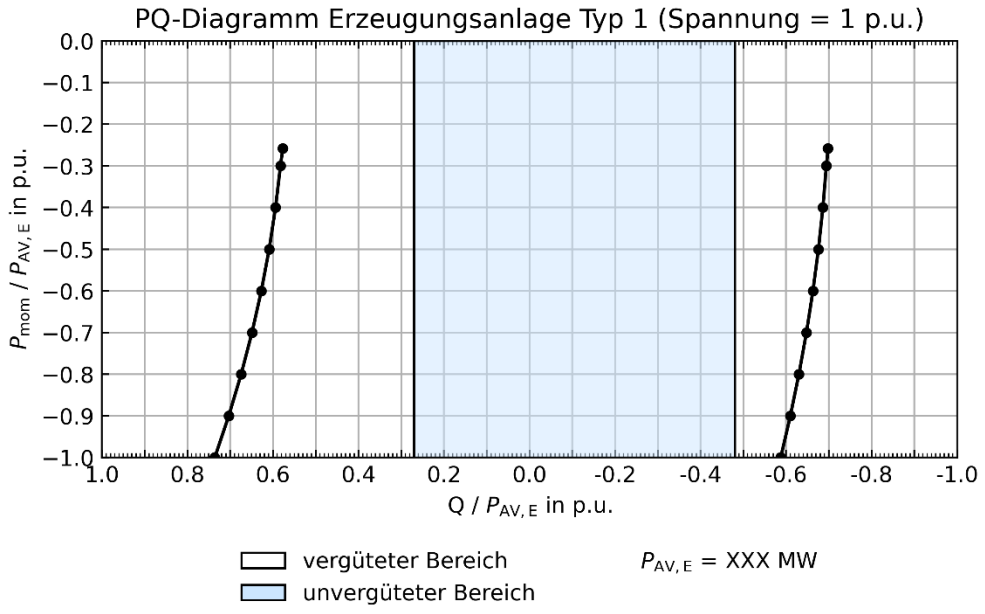


Abbildung 2 – Beispielhaftes PQ-Diagramm einer Typ 1 Anlage mit Eigenbedarf und technischer Mindestleistung

Das PQ-Diagramm ist grundsätzlich im Verbraucherzählpfeilsystem darzustellen. Außerdem soll die gleiche Achsenbeschriftung wie in der TAR verwendet werden. Die in den Lastflussberechnungen ermittelten Werte sind zudem normiert darzustellen. Die Wirkleistung, mit welcher die einzelnen Werte normiert werden, ist im Fall, dass der Eigenbedarf vom Generator mitversorgt wird, $P_{AV,E}$. Wird der Eigenbedarf nicht vom Generator selbst versorgt, ist für die Normierung $P_{b,inst}$ zu verwenden. Der Wert, mit welchem normiert wird, soll im PQ-Diagramm genannt werden.

## 2.1 SONDERFALL PUMPSPEICHERKRAFTWERK

Ein Sonderfall von Typ 1 Anlagen sind Pumpspeicherkraftwerke. Diese haben neben dem Generatorbetrieb ebenfalls einen Motorbetrieb (Pumpbetrieb). Daher ist im PQ-Diagramm das Vermögen für Generator- und Pumpbetrieb getrennt einzutragen. Der Teil des PQ-Diagramms für den Generatorbetrieb wird auf die gleiche Weise erstellt, wie in der Abbildung zuvor. Hier wird ebenfalls $P_{AV,E}$ als normierende Größe verwendet.

Für den Pumpbetrieb ist das Vorgehen ähnlich. Hier wird als normierende Größe jedoch $P_{AV,B}$ verwendet. Das hat den Grund, dass die maximale Wirkleistung in den beiden Betriebsarten unterschiedlich sein kann. Auch hier können die maximalen Blindleistungswerte für den bestimmten Wirkleistungsarbeitspunkt aus dem Generator-Leistungsdiagramm abgelesen werden.

Es ist zu beachten, dass die Achsenskalierungen im Generator- und Pumpbereich durch die Normierung mit unterschiedlichen Werten, unterschiedlich sind.

Die folgende Abbildung zeigt ein beispielhaftes PQ-Diagramm mit den durch Lastflussberechnungen ermittelten Blindleistungen an der Oberspannungsseite des Blocktransformators eines Pumpspeicherkraftwerks ohne Eigenbedarf und ohne technischen Mindestleistung. Hier wurde angenommen, dass $P_{AV,E} > P_{AV,B}$ ist. Es wurde beim Blocktransformator die gleiche Kurzschlussspannung angenommen.

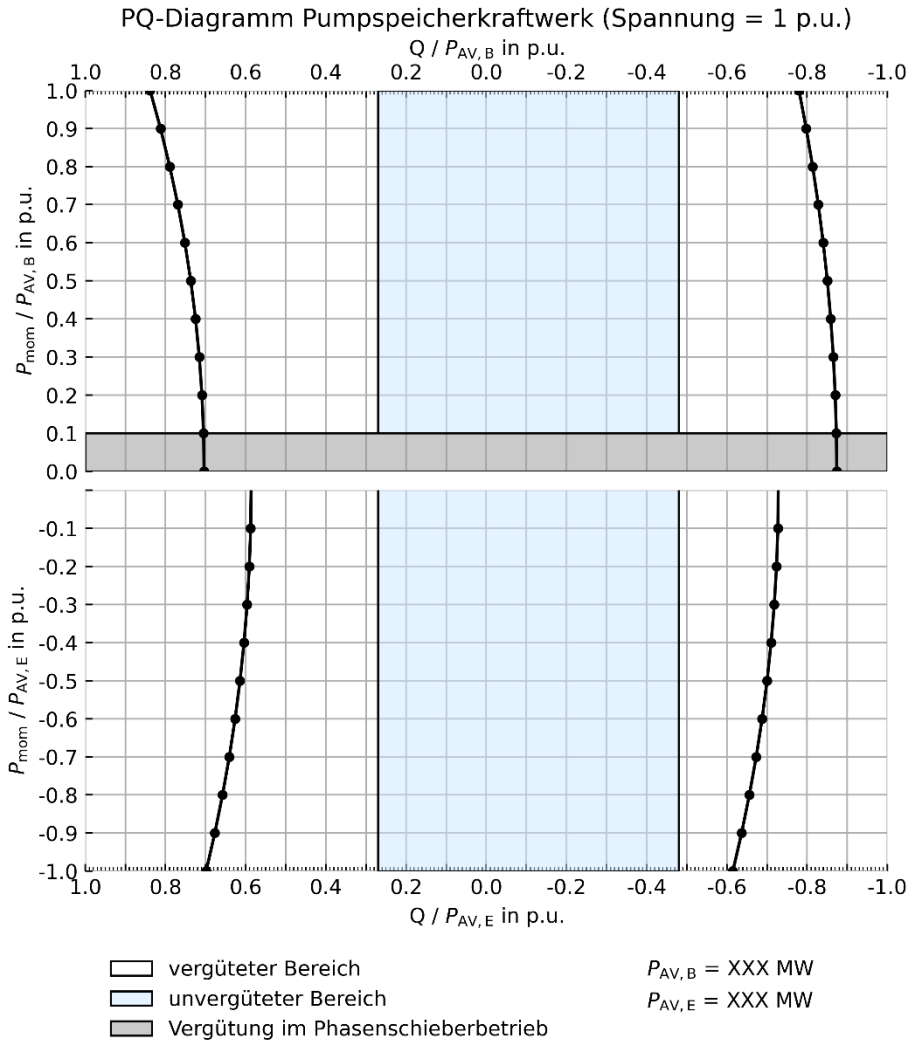


Abbildung 3 - Beispielhaftes PQ-Diagramm eines Pumpspeicherkraftwerkes ohne Eigenbedarf und ohne technische Mindestleistung

Sollte das vorliegende Pumpspeicherkraftwerk phasenschieberfähig sein, ist dieser Bereich ebenfalls im PQ-Diagramm einzuzeichnen. Die Wirkleistungswerte $P_{AV,E}$ und $P_{AV,B}$ sollen im Diagramm dargestellt werden, um die absoluten Werte ablesen zu können.

# 3.0 TYP 2 ANLAGEN

- In Bearbeitung -

## 3.1 SONDERFALL BATTERIESPEICHER

- In Bearbeitung -

## 3.2 SONDERFALL VERBAUCHSANLAGE

- In Bearbeitung -