

4.3 Blaupause 10: Bereitstellung von Blindleistung durch Wechselrichter-basierte Anlagen (Batteriespeicher, dezentrale Erzeugungsanlagen, STATCOM)

Blaupause	
Zielgruppen	<ul style="list-style-type: none"> ■ Netzbetreiber ■ Anlagenbetreiber ■ Anlagenhersteller
Ausgangslage und Problemstellung	<p>Im Zuge des Ausbaus dezentraler und erneuerbarer Erzeugung im Verteilnetz ist aktives Blindleistungsmanagement eine Voraussetzung für einen sicheren und effizienten Netzbetrieb. Nur wenn die im Verteilnetz angeschlossenen EE-Erzeugungsanlagen und Batteriespeicher sowie STATCOM-Einheiten über den Wechselrichter Blindleistung flexibel in einem bedarfsgerechten Stellbereich bereitstellen und damit einen Beitrag zum Blindleistungsmanagement leisten, kann eine hohe Versorgungsqualität der Endkunden gewährleistet werden.</p>
Lösungsansatz	<p>In SINTEG wurde demonstriert, dass dezentrale (Erzeugungs-)anlagen, wie Windenergieanlagen aber auch Batteriegroßspeicher in der Mittel- und Hochspannung in die Leitsysteme der Netzbetreiber integriert und genutzt werden können, um Blindleistung gemäß den Anforderungen der TAR bereitzustellen. Bei STATCOM-fähigen Anlagen ist darüber hinaus auch die weitgehend freie Wahl des P/Q-Arbeitspunktes (Einspeisung von Wirk- und Blindleistung) möglich.</p>
Einordnung in Prozessschema der Flexplattformen	<p style="text-align: center;">SDL für den gestörten Betrieb</p> <div style="border: 1px solid #00a090; padding: 10px; margin: 10px auto; width: 80%;"> <p style="text-align: center; color: #00a090;">SDL für den ungestörten Betrieb</p> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin: 5px auto; width: 80%;"> <p style="text-align: center;">Frequenzhaltung</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin: 5px 0;"> <div style="border: 1px solid #00a090; padding: 5px; width: 40%; text-align: center;">Regelleistung</div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; width: 40%; text-align: center;">Momentanreserve</div> </div> </div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin: 5px auto; width: 80%; text-align: center;">Spannungshaltung</div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin: 5px auto; width: 80%; text-align: center;">Betriebsführung und Netzengpassmanagement</div> </div>
Technologiereifegrad	<p style="text-align: center;"> 1 2 3 4 5 6 7 8 9 </p> <p>TRL 7 – 9: Von z. T. Prototyp mit systemrelevanten Eigenschaften existiert und wird im Betriebsumfeld getestet bis zu z. T. kommerziellem Einsatz.</p>
Eingeflossene SINTEG-Aktivitäten	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  <p>■ Hybridgroßspeicher Varel</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>■ Batteriespeicher Jardelund</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>■ Zukunftsspeicher Energiewende</p> </div> </div>
Innovationsgehalt	<ul style="list-style-type: none"> ■ Bisher erreichte und industriell etablierte Entwicklungsstände werden fortgeführt, dabei wird vor allem die systemische Einbettung auf ein neues Niveau gehoben. ■ Existierende Vorgaben des Anlagenbetriebs und gängige Praxis werden graduell ausgeweitet (Steuermöglichkeiten über TAR-Anforderungen hinaus).
Bedingungen für Übertragbarkeit und Skalierbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> ■ Technische Konzepte sind ausgereift und kurzfristig universell anwendbar (verschiedene Netze, Netzebenen). ■ Skalierung setzt Anpassung des regulatorischen Rahmens voraus (Vergütung für Blindleistungsbereitstellung).

PROBLEMSTELLUNG

Durch den Ausbau der dezentralen und erneuerbaren Erzeugung werden die Lastflüsse in Verteilnetzen weiter an Intensität und Komplexität zunehmen. Ein aktives Blindleistungsmanagement im Verteilnetz ist Voraussetzung für einen sicheren und effizienten Netzbetrieb und eine hohe Versorgungsqualität. Es gibt auch schon heute Verteilnetzgebiete, in denen wegen der hohen erreichten Durchdringung mit dezentraler Erzeugung aktives Blindleistungsmanagement erforderlich ist, um auftretende spannungsbedingte Engpasssituationen effizient zu beheben. Die Erfordernisse sind immer spezifisch für die konkrete Netz- und Belastungssituation, hängen also ab von Erzeuger-, Verbraucher- und Netzstruktur und den aktuellen Leistungsflüssen.

Die durch EE-Erzeugungsanlagen und Batteriespeicher bereitgestellte Blindleistung kann in einem weiten Stellbereich flexibel geregelt werden, ggf. in Abhängigkeit von der Auslastung des Wechselrichters. Grundsätzlich können auch Lasten, die über Wechselrichter an das Netz angeschlossen sind, Blindleistung bereitstellen. Diese Fähigkeiten und Möglichkeiten umfassend unter Beweis zu stellen, war eines der Anliegen verschiedener Schaufensterinitiativen.

Blindleistungsbereitstellung ist auch komplementär zu anderen SDL Produkten, wie z. B. Primärregelleistung möglich. Hierfür ist ggf. eine Anpassung der Betriebsstrategien notwendig, d. h. die Priorisierung von Blindleistungsbereitstellung vor Wirkleistungsbereitstellung bei einer begrenzten Anlagenscheinleistung.

AUSSERHALB VON SINTEG ERREICHTER KENNTNIS- UND ENTWICKLUNGSSTAND

Ausgangspunkt für das Blindleistungsmanagement bilden die technischen Anschlussregeln (TAR) in ihrer jeweils aktuellen Fassung, welche für neu zu errichtende Erzeugungs- und Verbrauchsanlagen die erforderlichen Fähigkeiten zur Blindleistungsbereitstellung verbindlich definieren. Diese werden ergänzt durch weitere Anwendungsregeln (VDE-AR) für das Netzmanagement inklusive netzebenenübergreifender Koordination. Die in den technischen Regelwerken formulierten Anforderungen bilden den Stand der Technik ab.

IN SINTEG AUFGEZEIGTE WEITERFÜHRENDE LÖSUNGSANSÄTZE BZW. ALTERNATIVE LÖSUNGSANSÄTZE

Die Arbeiten in den Schaufestern haben in der Praxis gezeigt, dass mit dezentralen Anlagen (hier konkret Batteriespeicher), entsprechend den aktuell geltenden TAR (Vorgabe $\cos(\phi)$, Vorgabe von Kennlinien für Blindleistungseinspeisung, Spannungsregelung am Netzverknüpfungspunkt), effektive Beiträge zu Blindleistungsmanagement und Spannungshaltung im Netz möglich sind. Dabei wurde besonderes Augenmerk auf die Einbindung der anlagenseitigen Steuerungstechnik in die Leitsysteme der Netzbetriebsführung gelegt.

Werden volatile EE für die Blindleistungsbereitstellung genutzt, kann aus den am Markt verfügbaren Anlagen (Stand 2020) bei niedriger oder gänzlich fehlender Wirkleistungserzeugung kein gesichertes Blindleistungspotenzial bereitgestellt werden. In vielen Fällen korreliert der Blindleistungsbedarf mit der Wirkleistungserzeugung – in diesen Fällen stellt die mangelnde Sicherheit kein Problem dar. Darüber hinaus lässt sich das abrufbare Potenzial wie die Wirkleistung prognostizieren und in Fahrpläne integrieren.

Über die Anforderungen heutiger TAR hinausgehend, lässt sich eine gesicherte Erbringung von Blindleistung und eine weitgehend unabhängige Wahl des P/Q-Arbeitspunktes mit Hilfe STATCOM fähiger Anlagen realisieren. Derartige Eigenschaften gehen allerdings über den Bedarf hinaus, der derzeit allgemein vorausgesetzt werden kann. Perspektivisch kann bei hohen Durchdringungen mit fluktuierenden EE ein Bedarf für dynamische Blindleistungsbereitstellung entstehen (NEW 4.0 - Norddeutsche Energiewende, 2021a, S. 365). Solche erweiterten Möglichkeiten eröffnen in Einzelfällen, an netztechnisch herausfordernden Standorten interessante Lösungsmöglichkeiten. Die exemplarische Demonstration in den Schaufenstern untermauert dieses Potenzial.

Die in SINTEG aufgezeigten Lösungen sind im Einzelnen:

- **Blindleistungsbereitstellung aus Batteriegroßspeichern** (TRL 8 – 9: Verkaufsmuster liegt vor und erfüllt alle Anforderungen der Endanwendung bzw. kommerzieller Einsatz):
 - Im Schaufenster NEW 4.0 (Use Case 6) konnte die Bereitstellung von Blindleistung aus dem Batteriegroßspeicher Jardelund (betrieben von EnspireME) demonstriert werden. Der Speicher ist an ein Höchstspannung (HöS)/HS-Umspannwerk angeschlossen. Es konnten damit sowohl im Übertragungs- als auch im Verteilnetz signifikante Spannungsänderungen erreicht werden (5 % im HöS-Netz, 15 % auf HS-Ebene). Die erreichbaren Gradienten für eine Anpassung der Blindleistung und damit der Netzspannung sind sehr hoch. Untersuchte Modi für die Regelleistungsbereitstellung waren die Vorgabe eines Leistungsfaktors, die Vorgabe eines Blindleistungswertes sowie die Blindleistungsbereitstellung als Funktion der Netzspannung (NEW 4.0 - Norddeutsche Energiewende, 2021a, S. 348–381).
 - Im Schaufenster WindNODE (TAP 2.1) wurden Betriebsstrategien entwickelt, sowie Hardware und Software weiterentwickelt, um Batteriegroßspeicher als Standalone-Lösung sowie im Verbund mit dezentralen Erzeugern (DC-Kopplung mit PV-Anlagen) für die Bereitstellung von Systemdienstleistungen nutzen zu können. So konnte auch die Bereitstellung von Blindleistung demonstriert werden.
 - Im Schaufenster enera wurde der Hybridgroßspeicher Varel (Kombination aus Li-Ionen-Speicher und Natrium-Schwefel-Speicher) genutzt, um Blindleistung im Verteilnetz bereitzustellen. Dadurch konnte die Blindleistungsbelastung an der HS/MS-Umspannung deutlich gesenkt werden (Albano, Oeltjenbruns, Brockmeyer & Pielke, 2020; Goldkamp et al., 2021, S. 194–197).
- **Blindleistungsbereitstellung aus Windenergieanlagen** (TRL 7 – 8: Prototyp mit systemrelevanten Eigenschaften bzw. Verkaufsmuster, welches alle Anforderungen der Endanwendung erfüllt):
 - Im Schaufenster enera (AP 5) wurde ein Windpark zur STATCOM-Fähigkeit ertüchtigt und Blindleistungsbereitstellung demonstriert. Darüber hinaus wurden die bei Bereitstellung von Blindleistung aus dezentralen Anlagen (Windenergieanlagen, Speicher, STATCOM) entstehenden Verluste im Netz theoretisch untersucht (Brombach, Nikolai & Ramisch, 2020). Für die leittechnische Anbindung von Windparks wurden in diesem Zusammenhang zwei unterschiedliche Ansätze genutzt:
 - große Windparks mit Direktanschluss an einem Umspannwerk wurden in das Blindleistungsmanagement des Netzbetreibers einbezogen;
 - (elektrisch) weiter entfernte Anlagen wurden mit einer dezentralen Regelung ausgestattet, die auf die Optimierung der lokalen Spannungshaltung ausgerichtet war.
 - Im Schaufenster NEW 4.0 (Use Case 6) wurde neben der Bereitstellung von Blindleistung aus dem Jardelund-Großspeicher auch die Bereitstellung aus benachbarten Windenergieanlagen demonstriert.

INNOVATIONSGEHALT

Die im Rahmen von SINTEG demonstrierten technischen Konzepte und Lösungen knüpfen an erreichte und industriell etablierte Entwicklungsstände an und führten diese fort (Esslinger, 2012; Estermann, Samweber & Reinhard, 2017; Haines, 2018; Hoffmann, 2015). Die Arbeiten stellen eine graduelle Ausweitung der verbindlich gültigen Vorgaben und gängigen Praxis in Deutschland, Europa und international dar und spiegeln die aktuellen Entwicklungstrends wider (Colthorpe, 2014; Networks, 2020).

BEDINGUNGEN FÜR ÜBERTRAGBARKEIT UND SKALIERBARKEIT

Die technischen Konzepte zur Bereitstellung von Blindleistung aus Kundenanlagen sind weitgehend ausgereift und universell anwendbar. Entsprechende Wechselrichter und STATCOM-Einheiten sind als Verkaufsmuster bzw. kommerziell verfügbar. Damit ist sowohl die Bereitstellung von Blindleistung aus Batteriespeichern als auch aus STATCOM-Anlagen aus dem jeweiligen Testumfeld auf andere Netze und Netzebenen übertragbar. Bei Anlagen, deren Regelung nicht auf Basis lokaler Messwerte erfolgt, sondern die durch den Netzbetreiber von außen angesteuert werden, ist eine entsprechende IKT-Infrastruktur für die Übertragung des Ansatzes notwendig.

Das Reproduzieren und Skalieren der Anwendung auf Kontexte außerhalb der Schaufenster ist kurzfristig möglich. Voraussetzung ist eine Anpassung des regulativen Rahmens (siehe hierzu Handlungsempfehlungen). Untersuchungen in enera zeigten, dass die Blindleistungsbereitstellung aus WEA, Speichern oder STATCOM-Anlagen mit Mindereinnahmen einhergeht, aufgrund Minderertrag bzw. erhöhtem Strombezug (Goldkamp et al., 2021, S. 82). Nur durch Vergütung der Blindleistungsbereitstellung können ökonomisch tragfähige Geschäftsmodelle entwickelt werden. Auf Ebene der Einzelanlage ist die Skalierbarkeit darüber hinaus durch die jeweilige Anlagenleistung begrenzt und steht u. U. in Wechselwirkung mit der Bereitstellung von Wirkleistung und weiteren Systemdienstleistungen.

WEITERE ENTWICKLUNGSMÖGLICHKEITEN

Wechselrichter (in Windparks oder PV-Anlagen) können grundsätzlich auf STATCOM-Funktionalität aufgerüstet werden. Damit sind sie in der Lage, unabhängig von der Wirkleistungserzeugung Blindleistung zu liefern. Dies eröffnet in Einzelfällen interessante Perspektiven. Beispiele sind Inselnetze oder abgelegene Netzbereiche, deren Anbindung so schwach ist, dass lokalen Regelungen eine besondere Bedeutung zukommt. In Deutschland kommen derartige Situationen nicht regelmäßig vor. Der Erkenntnisgewinn käme damit vorrangig Exportinitiativen zugute.

Eine weitergehende Standardisierung von Schnittstellen zwischen Anlagen sowie Kommunikations- und Leittechnik scheint sinnvoll. Diese müsste in die internationalen Standardisierungsbestrebungen eingebettet sein. Entsprechende Initiativen wurden im letzten SINTEG Jahr innerhalb der DKE (Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik) im VDE noch einmal aufgegriffen und sollten gezielt weitergeführt werden.

Die Bereitstellung von Blindleistung aus wechselrichterbasierten Lasten wurde im Rahmen der SINTEG-Schaufenster nicht demonstriert. Die Demonstration der potenziellen Möglichkeiten und Nutzeffekte bleibt künftigen Untersuchungen vorbehalten.

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Weiterführende Aktivitäten bedürfen in erster Linie einer entsprechenden Ausgestaltung des regulativen Rahmens. Die Bereitstellung von Blindleistung aus dezentralen Anlagen (Windenergieanlagen, Speicher, STATCOM) führt zu Mindereinnahmen bzw. Mehrkosten beim Anlagenbetreiber durch zusätzliche Verluste oder höheren Strombezug (Brombach et al., 2020). Dadurch entsteht der Bedarf, Blindleistungsbereitstellung entsprechend zu vergüten. Die erforderlichen rechtlichen Voraussetzungen wurden im Jahr 2020 durch Einfügen des neuen Paragraphen 12h im Energiewirtschaftsgesetz geschaffen. Die gesetzliche Änderung wurde in erster Linie getrieben durch die nationale Umsetzung der Strommarkttrichtlinie (RL (EU) 2019/944) und die darin geforderte marktgestützte Beschaffung nicht-frequenzgebundener Systemdienstleistungen. Konkrete Umsetzungsvorschläge werden in naher Zukunft durch die Bundesnetzagentur erarbeitet.

Es ist davon auszugehen, dass sich die demonstrierten Konzepte bei günstigen wirtschaftlichen Bedingungen durchsetzen, ohne dass dazu nennenswerte Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen erforderlich sind.