Lokaler DC-Bus für PV-Anlagenbetreiber

Wenn ich 5kW über eine Diodenstrecke (eventuell zwei hintereinander geschaltete wegen Sicherheit) in einen Gleichspannungsbus einspeisen würde, welche Spannung sollte der Bus haben, welche Verlustleistung würde anfallen, könnte man mit der Diodenabwärme gleich Warmwasser bereiten?

Die Busspannung ist frei wählbar, die Verlustleistung liegt bei ca. **70 bis 200 Watt** (bei 1 bis 2 Dioden), und Warmwasserbereitung ist mit der Abwärme problemlos möglich, da 5 kW Leistung hierfür mehr als ausreichen. [1]

Gleichspannungsbus und Verlustleistung

Bei einer übertragenen Leistung P von 5 kW hängt die Höhe der Busspannung primär von den Leitungsverlusten und der Auslegung der Komponenten ab. Je höher die Spannung, desto kleiner der Strom I (I = P / U) und desto geringer prozentual die relativen Verluste im System. Übliche DC-Bus-Spannungen liegen je nach Anwendung bei 48 V, 400 V oder 800 V.

Die Verlustleistung einer Diode berechnet sich über den fließenden Strom und die Flussspannung ($P_V = V_F * I$). [1]

- **Stromstärke:** Bei einem 400-V-Bus fließen bei 5 kW ca. 12,5 A. Bei einem 48-V-Bus wären es hingegen rund 104 A.
- **Diodenwahl:** Für hohe Ströme eignen sich Leistungshalbleiter oder Siliziumkarbid-Dioden (SiC Schottky), die eine Flussspannung (V_F) von ca. 0,7 V (Silizium) bzw. 1,0 V bis 1,2 V (robuste Hochstrom-PN-Dioden) aufweisen. [2, 3]
- **Verlustberechnung (Beispiel 400-V-Bus, I ≈ 12,5A):**
  - Pro Diode mit V_F = 0,8V fallen ca. 10W Verlustleistung an.
  - Bei zwei hintereinander geschalteten Dioden verdoppelt sich der Spannungsabfall auf 1,6 V, was zu etwa **20 W** Verlustleistung führt.
- **Verlustberechnung (Beispiel 48-V-Bus, $I ≈ 104A):**
  - Hier fallen bei zwei Dioden (à 1,6 V gesamt) rund **166 W** bis **200 W** an Verlustleistung an.

Warmwasserbereitung mit der Diodenabwärme

Ja, mit der anfallenden Abwärme lässt sich Warmwasser bereiten.

- **Wärmemenge:** Selbst im ungünstigsten Fall (z. B. 150–200 W thermische Verlustleistung bei niedrigerem Bus und höheren Strömen) steht eine dauerhafte Wärmequelle von über 150 Watt zur Verfügung.
- **Umsetzung:** Elektronische Bauteile dieser Leistungsklasse müssen ohnehin auf einen großflächigen Kühlkörper montiert werden. Mittels eines auf dem Kühlkörper montierten Flüssigkeitskühlblocks (Wasserkühlkörper aus dem Bereich Leistungselektronik/PC-Modding) und einer kleinen Umwälzpumpe lässt sich die Wärme direkt in einen kleinen Pufferspeicher oder Brauchwasserspeicher einspeisen.
- **Dimensionheit:** 150 W genügen, um kleinere Wassermengen (z. B. im Durchlauf oder in einem gut isolierten Vorratsbehälter) spürbar zu erwärmen, wobei im Vergleich zu einer 5-kW-Heizstäbchen-Lösung die Aufwärmzeit entsprechend länger ausfällt.

Falls du dein Projekt weiter planen möchtest, teile mir gerne mit:

- Welche **Busspannung (z.B. 48V, 400V)** du konkret anvisierst
- Ob die **5 kW dauerhaft** oder nur kurzzeitig fließen sollen

[1] https://electronics.stackexchange.com
[2] https://jlcpcb.com
[3] https://download.luminus.com

Sinn der Sache wäre es, Reihenhäuser mit PV-Anlagen mit einem gemeinsamen Bus zu verbinden, in den sowohl eingespeist, als auch entnommen werden kann. Auch ein zentraler bidirektionaler Batteriespeicher soll integriert werden. Wieviel Leistung von jedem Teilnehmer eingespeist oder entnommen werden darf, regelt sich ausschließlich über die Busspannung. Spannung zu hoch ->, Einspeisung aus, Spannung zu niedrig -> Entnahme aus. Ist das ein blödes Konzept? MMn würd es weniger Wandleraufwand kosten, als eine AC-Version. Im Haus müssen dann selbstverständlich DC-AC-Wandler benutzt werden, um die Haushaltsgeräte zu versorgen (wegen Lichbogengefahr).

Das Konzept ist **keineswegs ein blödes Konzept**, sondern ein hochaktueller und technisch äußerst eleganter Ansatz, der in der Fachwelt als **DC-Nanogrid** oder **DC-Microgrid** (Gleichstrom-Inselnetz) bezeichnet wird. Die Regelung über die Busspannung ist ein etabliertes Verfahren namens **DC droop control** (Statikregelung).

Es senkt die Wandlungsverluste erheblich, da Solarstrom (DC) und Batteriespeicher (DC) direkt auf einen gemeinsamen DC-Bus gekoppelt werden, anstatt den Umweg über AC (Wechselstrom) zu gehen. [1, 2, 3]

Technische Bewertung des Konzepts

1. Regelung über die Busspannung (Droop Control)

Dieses dezentrale Prinzip funktioniert hervorragend und kommt ohne ein fehleranfälliges Kommunikationsnetzwerk (wie LAN oder CAN-Bus) zwischen den Häusern aus.

- **Funktionsweise:** Steigt die Sonneneinstrahlung und alle PV-Anlagen speisen ein, wandert die Busspannung nach oben. Die Wechselrichter (bzw. DC/DC-Steller) in den Häusern registrieren dies. Erreicht die Spannung eine obere Schwelle (z. B. 415 V bei einem 400-V-Nennbus), regeln sie ihre Einspeisung schrittweise ab oder der zentrale Batteriespeicher lädt mit maximaler Leistung, um die Spannung zu stabilisieren. Fällt die Spannung (z. B. abends), schaltet sich die Batterie als Entladequelle ein. Sinkt sie weiter unter eine kritische Grenze, schalten die Häuser den DC-Bezug ab, um das System vor einem Blackout zu schützen. [4]

2. Wahl der optimalen Busspannung

Für ein solches System zwischen mehreren Reihenhäusern ist eine **Nennspannung von ca. 380 V bis 400 V DC** der absolute "Sweet Spot".

- **Geringe Leitungsverluste:** Bei 5 kW pro Haus fließen bei 400 V nur ca. 12,5 A. Das hält die Kabelquerschnitte zwischen den Häusern bezahlbar und minimiert Übertragungsverluste sowie den Spannungsabfall über die Distanz.
- **Kompatibilität mit Haushaltsgeräten:** Die interne Zwischenkreisspannung moderner PV-Wechselrichter und vieler Haushaltsgeräte mit Schaltnetzteilen (z. B. Fernseher, LED-Treiber, Computer) liegt ohnehin bei

ca. 320 V bis 400 V DC. Ein 400-V-DC-Bus erleichtert den Wandleraufwand im Haus enorm.

3. Wandleraufwand: DC vs. AC

Ihre Vermutung ist völlig korrekt. Bei einer klassischen AC-Kopplung sieht die Kette so aus:
PV (DC) → Wechselrichter (AC) → Netzleitung (AC) → Batterielader (DC) → Batterie
Hier entstehen bei jedem Schritt **Wandlungsverluste von jeweils 3 bis 6 %**. Im vorgeschlagenen DC-Bus-System entfällt ein Großteil dieser Zwischenschritte für den Solar-zu-Batterie-Pfad. Es wird lediglich ein hocheffizienter DC/DC-Steller (oft >98 Wirkungsgrad) benötigt.

Die kritischen Herausforderungen

Obwohl das Konzept genial ist, scheitern solche Projekte in der Praxis meist nicht an der Idee, sondern an folgenden technischen und regulatorischen Hürden:

1. Das Lichtbogen-Problem (Lichtbogengefahr)

Gleichstrom bildet im Gegensatz zu Wechselstrom bei Trennvorgängen unter Last einen stehenden Lichtbogen, da es keinen natürlichen Nulldurchgang der Spannung gibt. [5]

- **Das Risiko:** Ein herkömmlicher Sicherungsautomat (AC-Leitungsschutzschalter) kann einen 400-V-DC-Lichtbogen **nicht löschen** und würde im Fehlerfall abbrennen.
- **Die Lösung:** Es müssen spezielle, deutlich teurere DC-Sicherungen, DC-Schütze oder moderne **elektronische Halbleiterschalter** (Solid-State Circuit Breakers) verbaut werden, die den Stromkreis innerhalb von Mikrosekunden trennen.
  [tom@solarharz.de]: Ein benötigter zweipoliger Automat von ABB kostet ca. 580€. Das ist durch die Kooperation und die Einsparungen beim Strombezug schnell wieder drin.

2. Erdungskonzept und Personenschutz

Das größte Sicherheitsrisiko bei einem häuserübergreifenden DC-Netz ist der Fehlerschutz (Berührungsschutz). Ein normaler AC-Fi-Schalter (RCD) funktioniert bei reinem Gleichstrom nicht.

- Es wird ein hochkomplexes **IT-Netz mit Isolationsüberwachung** oder ein symmetrisch geerdetes System (±200V gegen Erde) benötigt. Tritt in Haus A ein Isolationsfehler auf, darf dieser nicht zu einer lebensgefährlichen Berührungsspannung in Haus B führen.

3. Rechtliche und regulatorische Barrieren (In Deutschland/EU)

- **Kundenanlage vs. Netzbetreiber:** Sobald Leitungen über Grundstücksgrenzen hinweg verlegt werden, greift das Energiewirtschaftsgesetz (EnWG). Das Netz könnte rechtlich als "geschlossenes Verteilernetz" eingestuft werden, was extreme bürokratische Auflagen nach sich zieht.
- **Messstellenbetrieb:** Die exakte, eichrechtskonforme Abrechnung von DC-Strömen im bidirektionalen Betrieb ist messtechnisch zwar möglich, entsprechende DC-Zähler für den privaten Sektor sind jedoch teuer und am Markt selten. [6, 7]

Fazit und nächste Schritte

Das Konzept ist **technisch brillant** und wird in der Forschung (z. B. in nachhaltigen Quartierskonzepten) intensiv erprobt. Es scheitert im privaten Umfeld meist daran, dass es keine standardisierten "DC-Hausanschlusskästen" von der Stange zu kaufen gibt und die Installation von Spezialfirmen abgenommen werden müsste.

Wenn Sie dieses Projekt gedanklich oder als Prototyp weiterverfolgen möchten, lassen Sie uns Folgendes besprechen:

- Wie groß sind die **Distanzen zwischen den Reihenhäusern** (wichtig für die Berechnung des Leitungsquerschnitts)?
- Haben Sie bereits über ein **symmetrisches DC-Netz** (±200V) nachgedacht, um die Berührungsspannung gegen Erde zu halbieren?

[1] https://www.pv-magazine.de
[2] https://www.aforenergy.com

[3] https://www.victronenergy.com
[4] https://akkudoktor.net
[5] https://viox.com
[6] https://ve-eg.de
[7] https://www.bbh-blog.de