

Bessere Ausnutzung bestehender Netze

Aufnahmefähigkeit der Verteilnetze für Strom aus Photovoltaik

Capacity of Distribution Networks Due to Power from Photovoltaic

Aufgrund der vor allem im Süden Deutschlands deutlich steigenden Zahl von Photovoltaikanlagen werden im Niederspannungsnetz und zum Teil im Mittelspannungsnetz verstärkt Netzausbaumaßnahmen notwendig. Die Autoren befassen sich mit der Abschätzung, inwieweit derzeitige Niederspannungsverteilstromnetze für dezentrale Energieeinspeisung aufnahmefähig sind. Diese Werte werden an dem im Erneuerbare-Energien-Gesetz genannten Grenzwert von 30 kW sowie an der theoretisch möglichen Ausbauleistung von PV-Anlagen je Hausanschluss gespiegelt. Die bessere Kenntnis der Aufnahmefähigkeit von Niederspannungsnetzen kann zu einer verbesserten Ausnutzung der bestehenden Netze und damit zu einer Verschiebung von erforderlichen Ausbaumaßnahmen führen.

SUMMARY

The increasing number of photovoltaic power generators especially in the southern part of Germany requires upgrades in the low voltage and medium voltage grid. The aim of the study is to evaluate the capacity of current low voltage grids due to power infeed of renewable energy sources. This capacity is compared with the 30 kW limit mentioned in the Erneuerbare-Energien-Gesetz and with the maximum possible photovoltaic power generator per house connection. The better knowledge of the capacity of the grid could lead to a better utilisation of the grid and therefore to a shift of necessary network upgrades.

Prof. Dr.-Ing. **Rolf Witzmann**, Fachgebiet Elektrische Energieversorgungsnetze, Technische Universität München; Dipl.-Ing. **Georg Kerber**, Fachgebiet Elektrische Energieversorgungsnetze, Technische Universität München.

Erneuerbare Energien stehen zunehmend im Fokus der europäischen und der deutschen Energiepolitik. So soll der Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromversorgung in Deutschland bis zum Jahr 2010 auf 12,5 % verdoppelt werden, bis 2020 ist ein Anteil größer 20 % angestrebt. Vor diesem Hintergrund veranlasste der Gesetzgeber verschiedene Maßnahmen, um die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen zu fördern. Eine wichtige Rolle spielt das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG).

Hinsichtlich des Anschlusses der dezentralen Energieerzeugungsanlagen wird im § 13 Abs. 1 EEG davon ausgegangen, dass bis zu einer Anlagenleistung von 30 kW der vorhandene Hausanschluss (HAS) den günstigsten Netzverknüpfungspunkt darstellt und die Mehrkosten für Verstärkungen, Neubauten und einen eventuell anderen erforderlichen Netzverknüpfungspunkt vom Netzbetreiber vollständig zu tragen sind.

Mit dem starken Zubau von Photovoltaik-(PV-)Anlagen vor allem in ländlichen Strukturen werden zunehmend Netzausbaumaßnahmen notwendig, da die in den einschlägigen Normen geforderten Grenzwerte zum sicheren und zuverlässigen Betrieb der Netze und der daran angeschlossenen Geräte hinsichtlich Betriebsmittelbelastung und Spannungsabweichung trotz relativ kleiner Anlagenleistungen (häufig <30 kW) nicht eingehalten werden können.

Die vorliegende Untersuchung soll die Frage beantworten, inwieweit die aufgrund von Dachflächen bestehende theoretische PV-Leistung in die existierenden Verteilnetze ohne Verstärkungsmaßnahmen integriert werden kann, wenn die Anlagenleistung in der Umsetzung des Postulats des Gesetzgebers auf

einen Maximalwert von 30 kW je HAS begrenzt wird.

Theoretisch installierbare PV-Leistung

Aufgrund der unterschiedlichen Lastdichten verschiedener Netze muss die Aufgabenstellung differenziert betrachtet werden. Für verschiedene Netzstrukturen wurden deshalb Beispielnetze ausgewählt, die von Netzbetreibern zur Verfügung gestellt wurden und damit real vorhanden sind. Folgende Strukturen wurden betrachtet:

- Stadtnetz,
- Blockbebauung,
- Gewerbegebiet,
- Vorstadtnetz (Ein- und Mehrfamilienhäuser, Reihenhausbebauung)
- Landnetz,
- Dorfnetz.

Zur Abschätzung der theoretisch installierbaren PV-Leistung wurden unter Verwendung eines geographischen Informationssystems [1] die Gebäudegrundflächen einschl. Nebengebäude A_{GRF} ermittelt und mit einer Schätzung [2] die für die PV nutzbare Dachfläche A_N abgeleitet. Eine Berücksichtigung der Ausrichtung bzw. Neigung fand insofern statt, als dass nur eine Dachhälfte als für PV-Anlagen geeignet angesehen wurde. Die nutzbare Dachfläche ergab sich nach Gl. (1)

$$A_N \approx A_{GRF} \cdot 0,5. \quad (1)$$

Die mittlere PV-Anlagenleistung je HAS P_A wurde unter Berücksichtigung einer spezifischen Modulleistung von $p_M = 0,150 \text{ kW/m}^2$ nach Gl. (2) bestimmt. Da nur Anlagen $\leq 30 \text{ kW}$ betrachtet werden sollten, wurden größere mögliche PV-Anlagenleistungen je HAS begrenzt. Es ergibt sich eine mittlere begrenzte PV-Anlagenleistung P_{A30} nach Gl. (3)

$$\overline{P}_A = \frac{1}{n} \cdot \sum_{k=1}^n A_{N,k} \cdot p_m \quad (2)$$

$$\overline{P}_{A30} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{k=1}^n \max(P_{A,k}, 30 \text{ kW}). \quad (3)$$

Bild 1 zeigt die mittlere PV-Anlagenleistung für die betrachteten Beispielnetze. Es wird deutlich, dass in den verschiedenen Netzstrukturen nur wenige Gebäude mit genügend Dachfläche für eine Anlagenleistung von mehr als 30 kW existieren. Dies sind vor allem Gewerbebetriebe sowie Landwirtschaften mit

PV-Anlagenleistungen

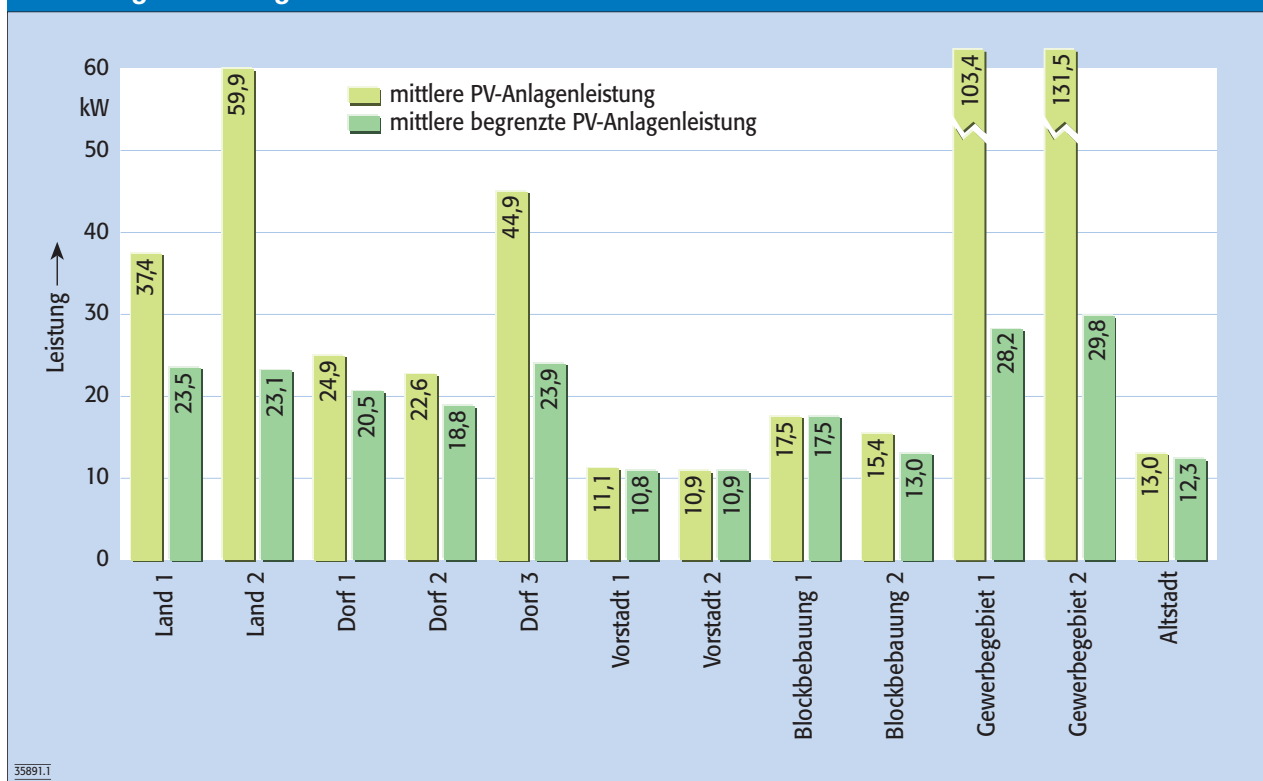


Bild 1. Mittlere PV-Anlagenleistungen je Hausanschluss

deren Nebengebäuden. Nur in Netzen mit derartiger Bebauung spielt die Begrenzung eine Rolle.

Für die Einspeisung in das Niederspannungsnetz ist nicht die Anlagenleistung (Modulleistung) maßgebend, sondern die Wechselrichterleistung, die typischerweise um 10 % niedriger ausgelegt ist. Somit ergibt sich die von den Netzen aufzunehmende mittlere Wechselrichterleistung P_{WR} nach Gl. (4)

$$\overline{P_{WR}} = 0,9 \cdot \overline{P_{A30}} \quad (4)$$

Netzbelastbarkeit und installierbare PV-Leistung

Die Beispielnetze wurden mit ihren Betriebsmitteldaten und Topologien in einem Simulationsprogramm bis an den HAS abgebildet. Dabei wurden folgende Vereinfachungen angenommen:

- Vernachlässigung der Verbraucherlasten an den einzelnen HAS,
- Vernachlässigung der Stochastik und Verteilung der Leistungseinspeisung (zeitliche und örtliche Abhängigkeit),
- reine Wirkleistungseinspeisung durch die PV-Anlagen ($\cos \varphi = 1$),
- keine Berücksichtigung des spezifischen zeitlichen Verlaufs des PV-Zubaus.

Diese Annahmen ermöglichen in einem ersten Schritt einen einfacheren rechnerischen Zugang zu der ge-

schilderten Problematik. Zur Bestimmung der Aufnahmefähigkeit der Netze wurde an jedem HAS eine Einspeisung mit gleicher Leistung angenommen, die bis zur Überlastung des Netzes sukzessive erhöht wurde. Als Belastungsgrenze wurden dabei verschiedene Kriterien verwendet und miteinander verglichen.

- Einhaltung des derzeit gültigen Spannungsbands am HAS von +6/

-10 % der Netzennennspannung U_{Nr} (Kriterium A) sowie des voraussichtlich ab dem Jahr 2007 gültigen Spannungsbands am HAS von ± 10 % U_{Nr} (Kriterium B) [3].

Aufgrund von Schwankungen der Mittelspannung, wurde die max. zulässige Spannungsanhebung von der Primärseite des Transformators bis zum HAS um 2 % reduziert [2]. Als zulässige Spannungsanhebung

Ergebnis Kriterium A

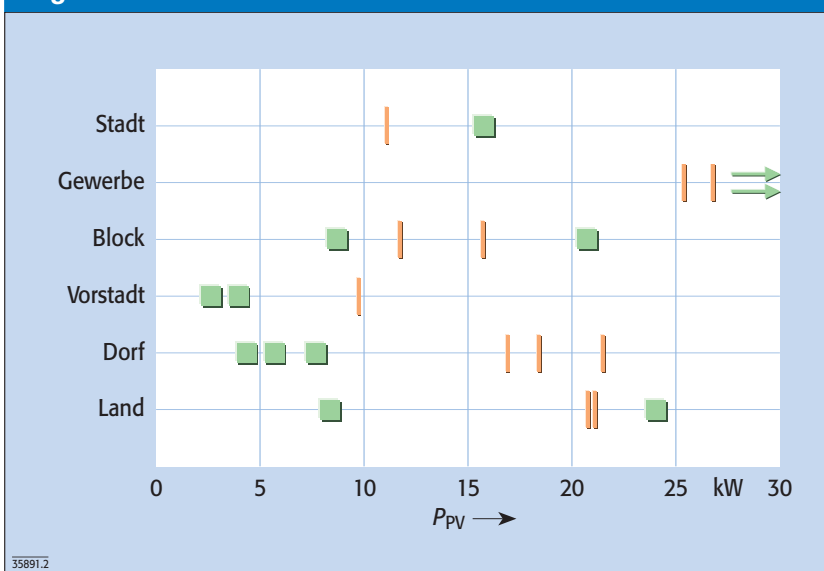


Bild 2. Maximale Einspeiseleistung bei $U_{HAS} \leq 106$ % U_{Nr} »□« und mittlere Wechselrichterleistung »|«

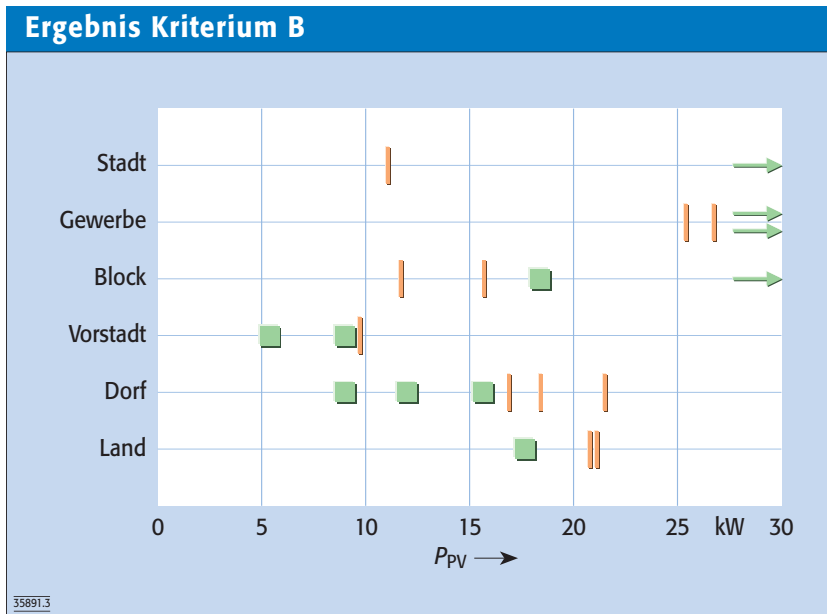


Bild 3. Maximale Einspeiseleistung bei $U_{HAS} \leq 110\% U_{Nr}$ »□« und mittlere Wechselrichterleistung »|«

wurden somit +4 % bzw. +8 % U_{Nr} angesetzt.

- Einhaltung der max. Spannungsänderung an einem Netzknoten nach den VDEW-Richtlinien zu Eigenerzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz [4] von $\Delta U = 2\% U_{Nr}$ (Kriterium C) sowie

- Betriebsmittelbelastung von Kabeln (Nennstrom I_Z ; Kriterium D) und Transformatoren (Nennscheinleistung S_N ; Kriterium E). Eine evtl. kurzzeitige Überlastfähigkeit wurde nicht berücksichtigt.

Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Bild 2 bis 6 wiedergegeben. Für die verschiedenen Netzstruktu-

ren sind die unter Einhaltung der jeweiligen Kriterien max. möglichen Einspeiseleistungen dargestellt (»□«, »○«). Wird ein Grenzwert nicht erreicht, so ist dies durch »→« gekennzeichnet. Als Vergleich sind die mittleren Wechselrichterleistungen dargestellt (»|«).

Aus den Ergebnissen der Beispielnetze kann abgeleitet werden, dass es in den meisten Netzen nicht möglich ist, eine Leistung von 30 kW je HAS einzuspeisen (Ausnahme: Gewerbegebiete). Der Grund dafür ist die übliche Dimensionierung der Niederspannungsnetze unter Berücksichtigung des Gleich-

zeitigkeitsgrads der Verbraucherlasten [5], dessen Anwendung für eine Einspeisung im Allgemeinen nicht zulässig ist.

Beim Vergleich der Grenzen der Netzbelastbarkeit werden zunächst die Spannungsgrenzwerte (Kriterien A, C) überschritten. Die Transformatorüberlastung (Kriterium E) sowie eine Überschreitung des Spannungsbereichs von $\pm 10\% U_{Nr}$ (Kriterium B) treten bei sehr ähnlichen Leistungswerten auf. Eine Überlastung der Kabel (Kriterium D) geschieht i. d. R. zuletzt. Unter Vernachlässigung von Kriterium C ($\Delta U \leq 2\% U_{Nr}$) ergeben sich folgende Aussagen:

- Indem die Aufnahmefähigkeit der Netze mit den theoretisch möglichen mittleren Wechselrichterleistungen verglichen wird, kann abgeschätzt werden, ob ein Anschluss des theoretischen PV-Potenzials ohne weitere Maßnahmen wie Netzausbau möglich wäre.
- In Gewerbegebieten kann dezentrale Energieeinspeisung auch deutlich über 30 kW je Anschluss vom Netz ohne weitere Ausbaumaßnahmen aufgenommen werden.
- In Netzen mit Stadt- und Blockbebauung kann das PV-Potenzial fast vollständig aufgenommen werden. Dies liegt an der hohen Wohnungsdichte und der dadurch höheren Leistung je HAS.
- Bei den Landnetzen kann das PV-Potenzial nicht uneingeschränkt in das Netz eingespeist werden. Dies hängt mit dem hohen Anteil von (ehemaligen) landwirtschaftlichen Gebäuden (>50 %) und der damit verbundenen großen möglichen Einspeiseleistung zusammen. Die große Streuung der Landnetze untereinander ist auf die zwei gewählten Beispiele zurückzuführen. (Niederspannungsfreileitung und Kabel)
- Die größte Diskrepanz zwischen der mittleren Wechselrichterleistung und der Aufnahmefähigkeit ist bei den Dorf- und Vorstadtnetzen zu erkennen. Trotz des relativ geringen PV-Potenzials von 10 bis 20 kW je HAS ist es aufgrund der hohen Bebauungsdichte nicht möglich, dies ohne Zusatzmaßnahmen zu integrieren.

Zusammenfassung

Die Annahme, dass in Verteilnetzen für dezentrale Erzeugungsanlagen

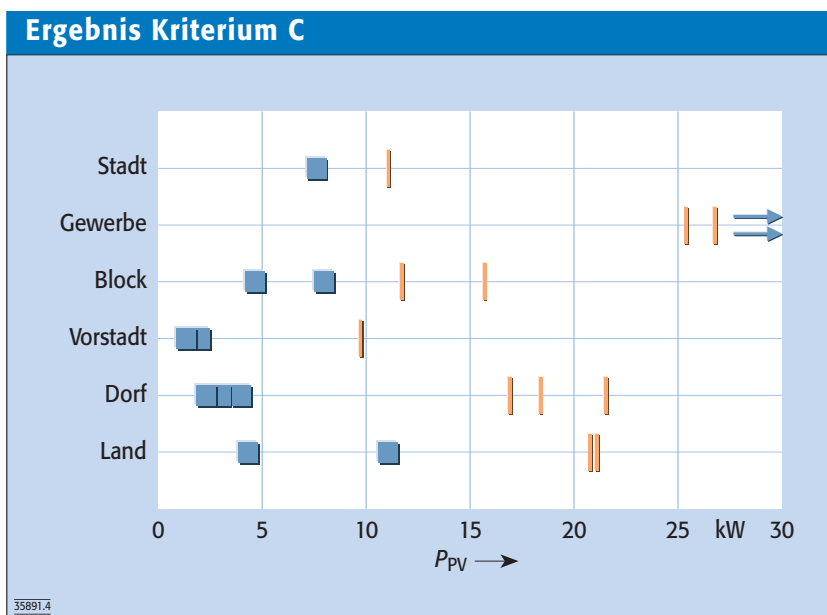


Bild 4. Maximale Einspeiseleistung bei $\Delta U_{Nk} \leq 2\% U_{Nr}$ »□« und mittlere Wechselrichterleistung »|«

mit einer Anschlussleistung bis 30 kW der HAS den günstigsten Verknüpfungspunkt darstellt, gilt nicht generell. Nur in den Gewerbegebieten kann eine Einspeiseleistung von 30 kW je HAS ohne Netzausbau aufgenommen werden. Bei allen anderen Netzen ist dies nicht möglich.

Da die benötigte Dachfläche für eine PV-Anlagenleistung von 30 kW nur in wenigen Netzen gegeben ist, ergibt ein Vergleich der theoretisch möglichen PV-Einspeiseleistung (Wechselrichterleistung) mit der Aufnahmefähigkeit der Netze ein differenzierteres Bild:

- In Gewerbegebieten, Stadtnetzen und Netzen mit Blockbebauung kann die theoretisch installierbare PV-Leistung im Allgemeinen ohne Verstärkungsmaßnahmen angeschlossen werden.

- In den Landnetzen ist aufgrund der hohen Anzahl von landwirtschaftlichen Betrieben eine große theoretische PV-Anlagenleistung vorhanden. Diese kann, trotz einer Begrenzung der Anlagenleistungen auf 30 kW je HAS und der geringen Verbraucherzahl je Betriebsmittel (Gleichzeitigkeitsgrad) meist nicht ohne Netzverstärkung integriert werden.

- In Dorf- und Vorstadtnetzen mit einem hohen Anteil an Einzel- oder Reihenhäusern ist die theoretisch mögliche PV-Leistung je HAS zwar deutlich kleiner als 30 kW, doch auch diese kann aufgrund des niedrigen Gleichzeitigkeitsgrads nur zu einem geringen Teil ohne zusätzliche Maßnahmen angeschlossen werden.

Bei dem zukünftig zu erwartenden weiteren Zubau von PV-Anlagen sind vor allem in den Vorstadtgebieten sowie Dörfern mit vorwiegend Ein- und Zweifamilienhäuser Probleme zu erwarten. Engpässe der Netzkapazität werden allerdings erst bei einer hohen Anlagen-dichte auftreten. In Landnetzen kann durch die großen Ausbauleistungen die Belastbarkeit des Netzes hingegen schon bei einer geringen Anzahl von PV-Anlagen erreicht werden.

Da in der vorliegenden Untersuchung nur eine begrenzte Anzahl von Beispielnetzen betrachtet werden konnte, sind die gewonnenen Ergebnisse als exemplarisch, nicht jedoch als statistisch gesichert anzusehen. Zur genaueren Abschätzung der Aufnahmefähigkeit von

Ergebnis Kriterium D

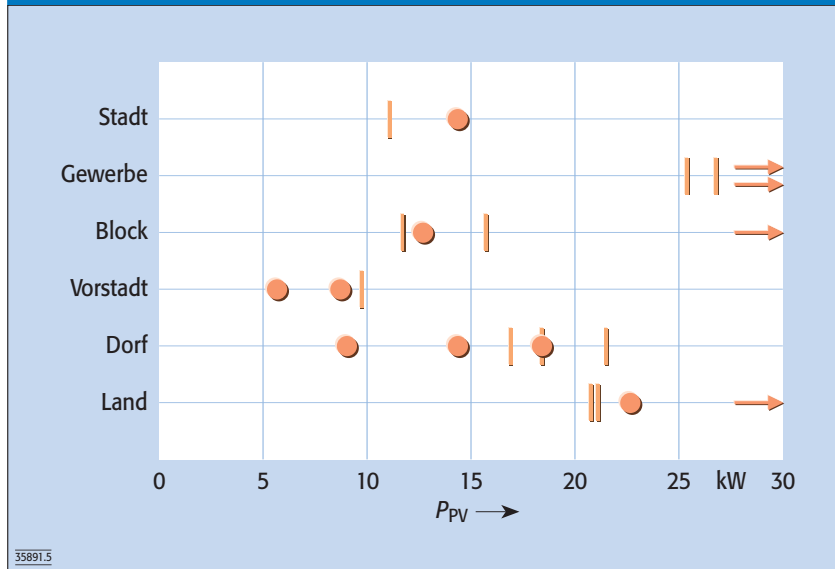


Bild 5. Maximale Einspeiseleistung bei Leitungüberlastung »○« und mittlere Wechselrichterleistung »|«

Verteilnetzen für Leistungseinspeisung aus PV-Anlagen ist es notwendig, die beschriebenen Vereinfachungen und Annahmen aufzuheben und u. a. eine zeitliche aufgelöste Betrachtung des Einspeiseverhaltens von PV-Anlagen vorzunehmen.

[3] Richtlinie: Eigenerzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz, Richtlinie für Anschluss und Parallelbetrieb von Eigenerzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz. 4. Ausgabe 2001, VDEW 2001.

[4] Norm: VDE 0175 (DIN-IEC 60038) IEC-Normspannungen. November 2002.

[5] Kaufmann, W.: Planung öffentlicher Elektrizitätsverteilungs-Systeme. VVEW Energieverlag, Frankfurt (Main), 1995, ISBN 3-8022-0469-7.

(35891)

LITERATUR

[1] Bayerische Vermessungsverwaltung, Bayern Viewer, Internet: 2006-05-10 <http://www.geodaten.bayern.de>.

[2] Scheffler, J.: Bestimmung der maximal zulässigen Netzanschlussleistung photovoltaischer Energiewandlungsanlagen in Wohnsiedlungsgebieten. Diss., TU Chemnitz, 2002.

georg.kerber@tum.de

www.een.ei.tum.de

Ergebnis Kriterium E

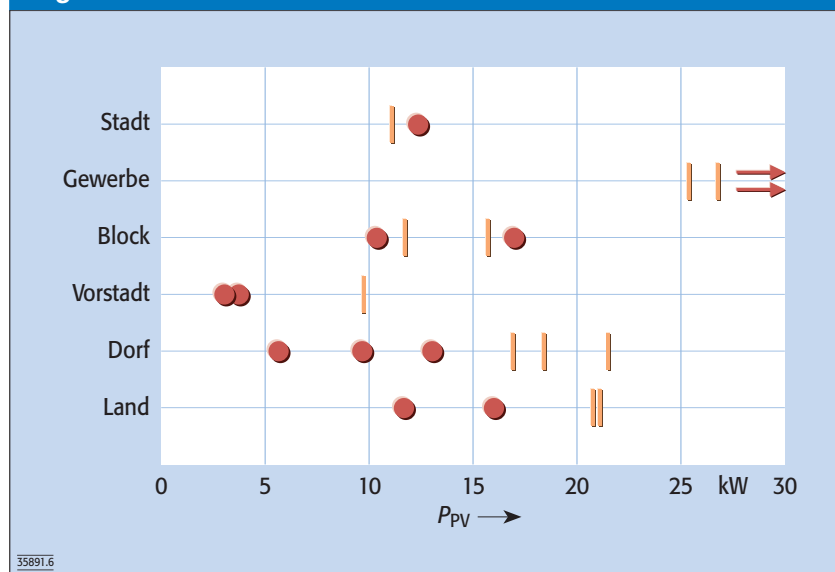


Bild 6. Maximale Einspeiseleistung bei Transformatorüberlastung »○« und mittlere Wechselrichterleistung »|«

