

Plädoyer für kalte versus warme Nah- und Fernwärmenetze aus erneuerbaren Quellen - 12/21

Grundlegender Systemvergleich

Wenn das noch verfügbare Emissionsbudget zum Erreichen des 1,5°- bzw. 2°-Zieles eingehalten werden soll, ist das Ende der heute noch zu 75 % mit den fossilen Brennstoffen Kohle und Gas betriebenen Nah- und Fernwärmenetze in ihrer heutigen konventionellen Ausführungsart absehbar.

Die bisherigen fossilen Ressourcen werden zunehmend ersetzt. Zukünftige Ressourcen sind typischerweise Erdreichflächen in Form von Flächenkollektoren oder Erdsonden als Anergie-Quellen (Q_B) und der Flächenbedarf für Windkraftanlagen und PV-Flächen als Exergie-Lieferant für die elektrische Energie (W_{el}) zum Antrieb von Wärmepumpen und Pumpen für den Netztransport.

Die Frage ist: wie werden die neuen Ressourcen – insbesondere der oben beschriebene Anergieanteil – nutzbar gemacht und an die Endverbraucher gebracht? Ohne Netze, mit warmen oder kalten Wärmenetzen?

Großwärmepumpen als zentrale Wärmeerzeuger für warme Netze (Vorlauftemperaturen 60 ... 80°C) mit Erdreich, Fluss- und Abwasserwärme, Solarthermie oder Wärme aus PVT-Kollektoren, Umgebungsluft und Abwärme aus industriellen Prozessen als „Anergie“-Wärmequellen im näheren Umfeld einer Heizungszentrale stehen zukünftig mit dezentralen Wärmepumpen in den Gebäuden im Wettbewerb.

Dezentrale Wärmepumpen in Gebäuden können in gleicher Weise Umgebungsluft, Grundwasser, Solarthermie und Wärme aus PVT-Kollektoren sowie Erdreichflächen in Gebäudenähe als „Anergie“-Wärmequellen (Vorlauftemperaturen 0 ... 20°C) nutzen. Eine weitere „Anergie“-Wärmequelle für dezentrale Wärmepumpen in den Gebäuden können kalte Netze liefern, welche die gleichen Wärmequellen wie zentrale Großwärmepumpen für warme Netze nutzen und u. a. folgende Vorteile aufweisen.

Zum ersten erfordern diese kalten Netze keine Dämmung, das vermindert die Investitionskosten. Außerdem muss das Netz insgesamt eine geringere Wärmemenge transportieren, nur den Anergieanteil. Denn der Exergieanteil, d.h. der Antriebsstrom der Wärmepumpe, wird erst im Gebäude hinzugefügt. Darüber hinaus weisen diese kalten Netze geringere oder keine Netzverluste im Vergleich zu warmen Netzen auf. Das mindert die zu erzeugende Wärmemenge einer Wärmepumpe entsprechend. Zuletzt ist das dezentral im Gebäude erforderliche Temperaturniveau für die Verbraucher niedriger als bei einer zentralen Lösung.

Diese Aspekte mindern allesamt den Flächenbedarf für die Anergie-Quellen (Erdreich, Kollektoren usw.) und die Exergie-Quellen (PV, Windkraft). Denn auch diese Flächen für erneuerbare Technologien sind nicht unendlich verfügbar. Und Importe grünen Wasserstoffs sollten weitgehend minimiert werden.

Formelsammlung für zugehörige Energiebilanzen und für die Pumpenergien zum Transport

Als gegeben wird die Nutzwärmeabnahme der Gebäude (Q_N) für ein Gebäudequartier angenommen. Es kann mit warmer Nahwärme (Fall 1, Index 1) oder mit kalter Nahwärme (Fall 2, Index 2) versorgt werden. In beiden Fällen kommen Wärmepumpen zum Einsatz, deren Arbeitszahl (β) vom Temperaturniveau abhängt. Die Wärmepumpe macht eine Anergie-Quelle (Q_B) nutzbar und benötigt elektrische Energie (W_{el}) als Antrieb.

Für den Fall warmer Nahwärme ist von einem ganzjährig höheren Temperaturniveaus von 60 ... 80°C auszugehen und einem damit verbundenen Netzverlust, der auch als Netznutzungsgrad (η_{d1}) ausgedrückt werden kann. Im Falle kalter Nahwärme werden im Jahresmittel nur 30 ... 50°C Vorlauftemperatur benötigt. Aufgrund der verschiedenen Temperaturniveaus weisen zentrale Großwärmepumpen in der Regel niedrigere Jahresarbeitszahlen (β_1) auf als Kleinwärmepumpen in den Gebäuden (β_2).

Dies gilt trotz evtl. besserer Effizienzwerte des thermodynamischen Kreisprozesses von Großwärmepumpen. Letzteres wird ausgedrückt durch den exergetischen Wirkungsgrad ξ_{ex} als Verhältnis des realen Kreisprozesses im Vergleich zum idealen Carnot-Prozess.

- reale Effizienz von Wärmepumpen: $\beta = \xi_{ex} \cdot \frac{t_V + 2K + 273K}{t_V + 2K - (t_{Quelle} - 6K)}$

Bei gleicher Nutzwärmeabgabe $Q_N = Q_{N1} = Q_{N2}$ müssen in kalten Netzen nur die Anergie-Anteile Q_B transportiert werden, während in warmen Netzen die Nutzwärmeabgabe plus der Netzverlust durch das Netz transportiert wird (Q_{Netz}):

- Fall 1: $Q_{Netz,1} = \frac{1}{\eta_{d,1}} \cdot Q_N$
- Fall 2: $Q_{Netz,2} = \frac{\beta_2 - 1}{\beta_2} \cdot Q_N$

Für den Pumpenergieaufwand in beiden Netzen sind die unterschiedlichen Auslegungsspreizungen zwischen Netzvorlauf- und Netzurücklauf-temperatur zu berücksichtigen; z.B. typisch 70°C/45°C entsprechend 25 K (Δt_1) in warmen Netzen gegenüber typisch 12°C/6°C entsprechend 6 K (Δt_2) in kalten Netzen. Als Kriterium für das Verhältnis der notwendigen Netzinnehrdurchmesser (d_2/d_1) könnte der als gleich angenommene Pumpenergieaufwand im Jahr für den Vergleich des kalten gegenüber dem warmen Netz herangezogen werden. In der Regel fallen dann die notwendigen Rohrdurchmesser kalter Netze ohne Dämmfordernis geringer aus als die Außendurchmesser gedämmter warmer Netze inklusive Dämmung (typisch Dämmdicke = 0,5 ... 1,0 · Nenndurchmesser). Ein Ergebnis, das nicht sofort zu erwarten ist. Formeln zur Bewertung:

- Pumpenergieaufwand unter Annahme gleicher hydraulischer Leistungen: $P_{Hyd1} = P_{Hyd2}$
- Durchmesser Verhältnis kaltes gegenüber warmem Netz im Vergleich: $\frac{d_2}{d_1} = \sqrt[5]{\left(\frac{(\beta_2 - 1) \cdot \eta_{d1} \cdot \Delta t_1}{\beta_2 \cdot \Delta t_2}\right)^3}$

Mit diesen Ergebnissen sollten Neuplanungen warmer Netze nicht mehr notwendig werden, sondern in Neubau-Quartieren nur noch kalte Netze geplant und in bestehenden warmen Netzen diese durch kalte Netze relativ schnell ersetzt werden. Hierbei sollten immer parallel Berechnungen zum noch verfügbaren Emissionsbudget für Deutschland und zur Wirtschaftlichkeit erfolgen.

Für den elektrischen Antriebsenergiebedarf der Wärmepumpen gilt:

- Fall 1: $W_{el1} = \frac{Q_N}{\beta_1} = \left(\frac{1}{\beta_1 \cdot \eta_{d1}}\right) \cdot Q_N$
- Fall 2: $W_{el2} = \frac{Q_N}{\beta_2} = \left(\frac{1}{\beta_2}\right) \cdot Q_N$
- Differenz: $\Delta W_{el} = W_{el1} - W_{el2} = \left(\frac{1}{\beta_1 \cdot \eta_{d1}} - \frac{1}{\beta_2}\right) \cdot Q_N$

Elektrischer Energiebedarf der Wärmepumpen als Verhältnis:

- $\frac{W_{el1}}{W_{el2}} = \frac{\beta_2}{\beta_1 \cdot \eta_{d1}}$

Flächenbedarf der Anergie-Quellen (z.B. Erdreichkollektoren/-sonden) bezogen auf Nutzenergie:

- Fall 1: $Q_{B1} = \left(\frac{\beta_1 - 1}{\beta_1 \cdot \eta_{d1}}\right) \cdot Q_N$
- Fall 2: $Q_{B2} = \left(\frac{\beta_2 - 1}{\beta_2}\right) \cdot Q_N$

Flächenbedarf als Verhältnis:

- $\frac{Q_{B1}}{Q_{B2}} = \frac{\beta_1 - 1}{\beta_1 \cdot \eta_{d1}} \cdot \frac{\beta_2}{\beta_2 - 1}$