

**Zeitschrift:** Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 94 (2002)  
**Heft:** 9-10

**Artikel:** Pulsbreitenmodulation für Kleinwärmepumpenanlagen : Erprobung in Wohnhaus  
**Autor:** Zogg, Martin  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-939658>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 04.04.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Pulsbreitenmodulation für Kleinwärmepumpenanlagen – Erprobung in Wohnhaus

■ Martin Zogg

Grundidee der Wärmepumpenregelung durch Pulsbreitenmodulation ist das optimale Nutzen der thermischen Trägheit von Gebäude und Wärmeverteilsystem sowie der Stromtarifzeiten bei der Zufuhr der über einen Tag benötigten Wärme durch einen geschickt portionierten Wärmepumpenbetrieb.

In der Phase 2 des Projekts wurden handelsübliche Regler von zwei Industriepartnern mit den in der Phase 1 dieses Projekts entwickelten neuen Regelstrategien programmiert und erprobt. Die Erprobung der neuen Regelstrategien erfolgt auf einer Referenzanlage in einem Wohnhaus mit der typischen Charakteristik eines Sanierungsobjekts und einer Luft-Wasser-Wärmepumpe (Bild 1). Das hydraulische Wärmeverteilsystem war mit einem Seriespeicher ausgerüstet. Die Wärmeverteilung erfolgte durch eine Fussbodenheizung und durch Heizkörper (Anteile umschaltbar von 33% / 67% auf 67% / 33%).

Dabei zeigte sich, dass die neuen Regelstrategien mit den beiden kommerziellen Reglern problemlos realisiert werden konnten. Gegenüber der herkömmlichen aussentemperaturgeführten Rücklauftemperaturenregelung (ARL) ergaben sich bei vergleichbarem Komfort in den beheizten Räumen folgende Vorteile:

1. Die Wärmepumpen konnten mit einem Niedertarifanteil von 60% bis 70% gefahren werden (gegenüber 43% bei ARL).
2. Es ergaben sich lange Wärmepumpenlaufzeiten im Teillastbereich von 0,5 bis 1,5 Stunden.
3. Die Umwälzpumpe musste während der Zeiten mit ausgeschalteter Wärmepumpe nicht betrieben werden → tieferer Hilfsenergiebedarf.
4. Einfache Einstellung (keine Heizkurvengabe, keine Koppelung von Heizkurve und Zeitprogramm sowie von Heizkurve und Warmwasserbereitung).
5. Optimale Nutzung von Niedertarifzeiten ohne Überdimensionierung der Wärmepumpe.

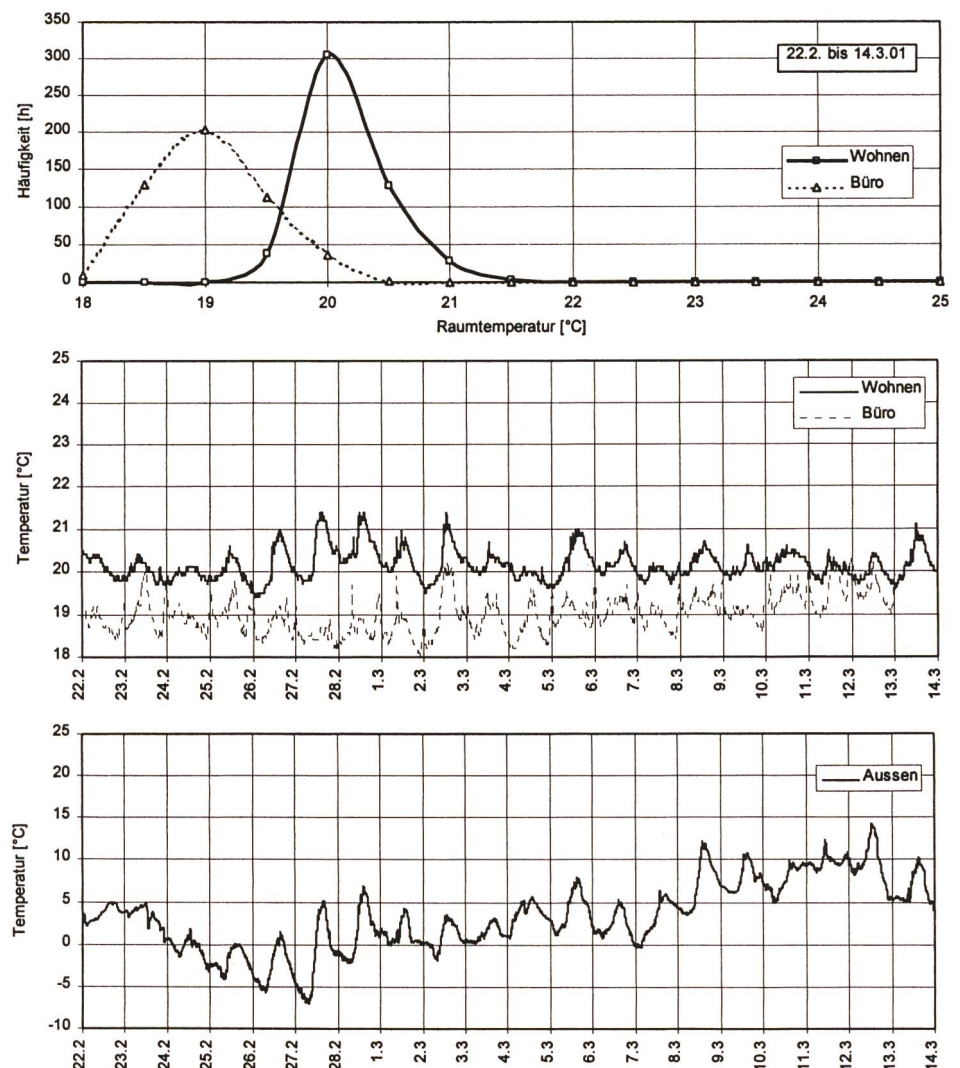
Es wurden drei Pulsbreitenmodulationsstrategien getestet. Sie unterscheiden sich nach der Bestimmung der notwendigen Wärmezufuhr und deren optimalen Verteilung auf den ganzen Tag. Die Bestimmung der notwendigen Wärmezufuhr erfolgt bei den einfachen Ansätzen aufgrund einer Energiekenn-

linie (Tageswärmebedarf in Funktion der Aussentemperatur) oder einer Laufzeitkennlinie (Wärmeleistungsbedarf gemäss Energiekennlinie dividiert durch Wärmeleistungsproduktion gemäss der Wärmepumpenkennlinie). Während die thermische Trägheit des Gebäudes bei der Energiekennlinienmethode unberücksichtigt bleibt, wird sie bei der Laufzeitkennlinienmethode teilweise erfasst. Die wesentlich weiter gehende dritte Strategie (modellbasierte prädiktive Regelung) berücksichtigt die thermische Trägheit von Gebäude und Wärmeverteilsystem durch ein mathematisch-physikalisches Modell. Weiter enthält sie eine Vorausschätzung der zu erwartenden Aussentemperatur für die kom-



**Bild 1. Versuchsobjekt zum Testen der drei Regelstrategien mit Pulsbreitenmodulation [aus Schlussbericht].**

menden Stunden aufgrund des Temperaturverlaufs der vergangenen 24 Stunden. Sie



**Bild 2. In der Messperiode mit der modellbasierten Pulsbreitenmodulation erreichte Raumtemperaturverteilung im Wohnzimmer und im Büro mit Vergleich zur Aussentemperatur [aus Schlussbericht].**



berücksichtigt für die Optimierung der Wärmezufuhr sowohl die Leistungszahl der Wärmepumpe, die EW-Sperrzeiten wie auch die Tarifstruktur. Die Raumtemperatur wird indirekt über die Rücklauftemperatur berücksichtigt. Der Regler lässt sich auf eine Betriebsweise für minimalen Energiebedarf und eine Betriebsweise für minimale Stromkosten umschalten.

Die Regelalgorithmen der drei Pulsbreitenmodulationsstrategien werden im Schlussbericht ausführlich beschrieben. Der Schlussbericht zeigt die damit in den jeweiligen Versuchszeitabschnitten erreichten Ergebnisse. Als Beispiel wird im Bild 2 die mit dem modellbasierten Pulsbreitenmodulationsregler in einer Messperiode erzielte Raumtemperaturverteilung aufgezeigt. Bei der Beurteilung der Standardabweichung der

Raumtemperatur unter 0,5 °C im Wohnzimmer ist zu beachten, dass die Regelung ohne Raumtemperaturfühler arbeitet!

Die Messungen in einem Wohnhaus dienen auch der Gewinnung eines realistischen Wärmebedarf-Datensatzes für den dynamischen Prüfstand der ETHZ. Auf diesem Prüfstand soll dann im Rahmen der Phase 3 eine vergleichende Untersuchung der erwähnten Regelstrategien bei identischen Betriebsbedingungen durchgeführt werden. In den späteren Projektphasen sollen dann auch die Begrenzung der Kondensatoraustrittstemperaturen in Anlagen mit hohem Thermostatventilanteil, die Abtausteuern, die Warmwasserbereitung sowie die Verbesserungsmöglichkeiten durch das zusätzliche Erfassen der Raumtemperatur und der Sonneneinstrahlung untersucht werden.

*Ausführlicher Schlussbericht zu diesem BFE-Forschungsprojekt:*

*H. R. Gabathuler, H. Mayer, E. Shafai, R. Wimmer: Pulsbreitenmodulation für Kleinwärmepumpenanlagen, Phase 2, Schlussbericht, Bundesamt für Energie 2002.*

*Download aus [www.waermepumpe.ch/fe](http://www.waermepumpe.ch/fe) Rubrik «Berichte»*

*Bestellung der schriftlichen Fassung unter der Projektnummer 38848 bei ENET, Egnacherstrasse 69, 9320 Arbon, Tel. 071 440 02 55, [enet@temas.ch](mailto:enet@temas.ch)*

Anschrift des Verfassers

Dr. Martin Zogg, Forschungsprogrammleiter Umgebungswärme, Abwärme, WKK (UAW) des Bundesamts für Energie, Kirchstutz 3, CH-3414 Oberburg.

## Tunnelwärme für Mehrzweckhalle

■ Bundesamt für Energie (BFE)

### Erfahrungen bei der Wärmenutzung des Rickentunnelwassers bestätigen Berechnungen

Der Bahntunnel durch den Ricken verbindet mit einer Länge von 8,6 km die Linie St. Gallen–Rapperswil. Am Dorfrand von Kaltbrunn befindet sich sein Südportal, aus welchem pro Minute 690 Liter Wasser mit einer Temperatur von 12,3 °C fliessen. Hier wird in einer ersten Ausbaustufe die Beheizung der Mehrzweckhalle ermöglicht. Zusätzlich lassen sich ein Kindergarten sowie eine Zivilschutzanlage beheizen. Dadurch wird aber erst ein Drittel des vorhandenen Wärmepotenzials des Rickentunnelwassers ausgeschöpft.

### Wärmepumpe im Einsatz

Menge und Temperatur haben einen entscheidenden Einfluss auf die mögliche Anzahl Wärmeabnehmer. Die Wärmeerzeugung erfolgt in Kaltbrunn mit einer vierstufigen Wärmepumpe, welche eine installierte Leistung von 156 kW aufweist. Damit werden ca. 250 000 kWh Heizwärme pro Jahr erzeugt. Die benötigte Antriebsenergie für die Wärmepumpe beträgt ca. 75 000 kWh pro Jahr. Der entsprechende Substitutionseffekt von rund 27 000 Litern Heizöl pro Jahr reduziert die CO<sub>2</sub>-Emissionen und die damit verbundene Umweltbelastung.

### Mit Ausbausritt zur Wirtschaftlichkeit

Die Realisierung dieses Heizsystems hat zu höheren Wärmegestehungskosten als bei einer konventionellen Gasheizung geführt, da



**Bild 1. Der Ricken-Bahntunnel verbindet St. Gallen und Rapperswil auf direktem Weg und wird heute auch als Energiequelle genutzt.**

die Investitionen deutlich umfangreicher waren. Für die Zukunft ist jedoch geplant, zusätzliche Wärmeabnehmer anzuschliessen und damit tiefere Kosten zu erhalten. Die im Vergleich mit konventioneller Technik angefallenen Mehrkosten sowie die Aufwendungen für eine 2-jährige Messkampagne (Qualitätskontrolle) wurden vom BFE, dem Kanton St. Gallen und der NOK/SAK übernommen.

Weitere Informationen

*René Cotting*, Cotting Ingenieurbüro AG, CH-8730 Uznach, [cotting-ag@bluewin.ch](mailto:cotting-ag@bluewin.ch)

*Harald Gorhan*, Bundesamt für Energie BFE, Programmleiter Geothermie, c/o Electrowatt Engineering AG, CH-8037 Zürich, [harald.gorhan@ewe.ch](mailto:harald.gorhan@ewe.ch)

*Markus Geissmann*, Bundesamt für Energie BFE, Bereichsleiter Geothermie, CH-3003 Bern, [markus.geissmann@bfe.admin.ch](mailto:markus.geissmann@bfe.admin.ch)

### Tunnelprojekte mit Wärmepotenzial

Bahn- und Strassentunnels wirken im Allgemeinen als Entwässerung des durchbohrten Gebirges. Die in Tunnelröhren einsickernden warmen Kluftwässer können gesammelt und energetisch genutzt werden. Die Tunnelwassernutzung für energetische Zwecke ist dann interessant, wenn möglichst grosse Wassermengen mit hohen Temperaturen anzutreffen sind. Hierbei sind allerdings erhebliche Unterschiede bei den bestehenden Tunneln anzutreffen. Die Wärme verwendet man vorteilhaft für Heizzwecke bei Abnehmern in Portalnähe. Dies ist in der Schweiz bereits bei sechs Tunneln Tatsache geworden:

- Grosser St. Bernhard (VS)
- Hauenstein-Basistunnel der Bahn (Trimbach, SO)
- St.-Gotthard-Strassentunnel (TI)
- Mappo-Moretina (TI)
- Furka-Bahntunnel (VS)
- Ricken-Bahntunnel (SG)

In den beiden neuen in Arbeit befindlichen AlpTransit-Tunneln erwartet man auf Grund der relativ hohen Überdeckung und der geothermischen Vorstudien beachtliche Wärmepotenziale. Daher haben die vier involvierten Kantone bereits Interesse an einer Nutzung angemeldet. Gemäss Gewässerschutzbestimmungen müssen derartige Tunnelwässer mit Einsatz von Verdunstungsbecken oder Kühltürmen permanent abgekühlt werden, bevor sie in einen Vorfluter oder in die Kanalisation abgeführt werden dürfen.