

WÄRME | KÄLTE | KRAFT-WÄRME-KOPPLUNG

Beheizung eines Stadtquartiers mit Grubenwasser

Nach dem Ende des Steinkohlenbergbaus im Ruhrgebiet entstehen auf den freiwerdenden Flächen neue Möglichkeiten für Wohnquartiere oder Gewerbe. Gleichzeitig kann das dort anfallende Grubenwasser in Verbindung mit Wärmepumpen für die Beheizung der Liegenschaften genutzt werden. Zusammen mit vor Ort installierter Photovoltaik ist eine autarke Wärmeversorgung möglich.

Mit der letzten Kohleförderung 2018 endete die Ära der Steinkohle im Ruhrgebiet. Der Bergbau hinterlässt einen Untergrund, der von einer Vielzahl an Stollen und Schächten durchzogen ist. Oberflächenwasser sickert in die entstandenen Hohlräume und wird zu Grubenwasser. Es musste im aktiven Bergbaubetrieb abgepumpt werden, damit die untertägigen Arbeiten nicht gefährdet wurden. Damit sich das Grubenwasser nicht mit den darüber liegenden grundwasserführenden Schichten vermischt, wird es weiterhin gefördert. Das Abpumpen wird als Teil der Ewigkeitskosten von der RAG Stiftung getragen. An sechs aktiven Wasserhaltungsstandorten im Ruhrgebiet wird Grubenwasser zukünftig gehoben und in nahe gelegene Flüsse geleitet.



Bild 1. Im neuen Stadtteil Essen 51 sollen Wohnhäuser, Bürogebäude und Mischgebäude mit Gewerbe, Gastronomie und Büros entstehen

Das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (Lanuv) hat in einer Potenzialstudie ermittelt, dass rd. 150 000 Haushalte mit der im Grubenwasser enthaltenen geothermische Wärme versorgt werden könnten [1]. Das Verbundvorhaben Grubenwasser-Ruhr [2], das vom Bundeswirtschaftsministerium im 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung gefördert wurde, hat Konzepte entwickelt, mit denen diese Potenziale in einer konkreten Umsetzung genutzt werden können.

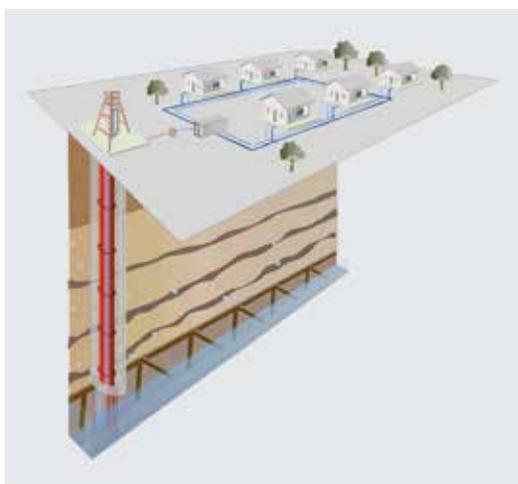


Bild 2. Sondenkonzept: Eine Wärmesonde stellt aus dem Grubenwasser eine Wärmeleistung von etwa 2 MW bereit

Neben den sechs aktiven Wasserhaltungsstandorten gibt es über das Ruhrgebiet verteilt eine Vielzahl an Sicherungsstandorten. Diese werden von der RAG so ausgebaut, dass sie zu aktiven Pumpstandorten umgebaut werden können. Der Schacht Marie in Essen ist ein solcher zukünftiger Sicherungsstandort.

Standort Marie: Essen 51

Rund um diesen Schacht entsteht auf dem ehemaligen Kruppgrütel ein neuer Stadtteil mit dem Namen Essen 51. Auf 52 ha Entwicklungsfläche entstehen Gewerbeflächen, Bürogebäude, urbanes Wohnen und Gastronomiebetriebe. Standorteigner, Entwickler und zukünftiger Energieversorger ist die Thelen Gruppe. Es sollen nach aktuellem Stand der Planungen 46 mehrgeschossige Häuser entstehen. Sie lassen sich hinsichtlich ihrer Nutzung in Wohnhäuser, Bürogebäude und Mischgebäude mit Gewerbe, Gastronomie und Büros unterteilen (Bild 1).

Aus dem Schacht Marie kann Wärme aus Grubenwasser über einen geschlossenen Wärmesondenkreislauf gewonnen werden (Bild 2). Aufgrund der untertägigen Grubenwasserströmung ist ein permanenter Wärmenachfluss von 25 °C gewährleistet. Die Wärmesonde soll

daraus eine Wärmeleistung von etwa 2 MW auf einem konstanten Temperaturniveau von 20 °C bereitstellen.

Energiesystem

Derzeit wird ein Energiekonzept erstellt und untersucht, wie das Quartier innovativ und effizient versorgt werden kann. Dazu werden Wärme aus Abwasser und Wärme aus Grubenwasser in dem Netz verwendet. Primäre Wärmequelle ist ein Abwasserkanal, aus dem eine Leistung von rd. 8 MW erschlossen werden kann. Abhängig von der Jahreszeit beträgt die Temperatur rd. 8 bis 12 °C. In Kombination mit der Wärme aus Grubenwasser können so im jahreszeitlichen Verlauf Vorlauftemperaturen zwischen 10 und 15 °C erreicht werden. Um die für eine Flächenheizung notwendige Temperatur von etwa 35 °C zu erreichen, müssen Wärmepumpen (WP) eingesetzt werden. Diese nutzen Strom als Hilfsenergie, um das Temperaturniveau entsprechend der Bedarfe anzuheben

Untersuchungen im Projekt Grubenwasser-Ruhr haben gezeigt, dass Konzepte mit einer dezentralen Erwärmung die Niedertemperaturwärmequellen unter 20 °C optimal nutzen. Im Gegensatz zu einer zentralen Erwärmung können die WP bessere Leistungszahlen (COP) erreichen. Bereitschaftsverluste werden minimiert und das Wärmenetz kann ohne Isolierung verlegt werden. Aus dieser Kombination ergeben sich sehr niedrige Primärenergiefaktoren zur Gebäudebeheizung. Darüber hinaus ermöglichen es die WP, mit dem Versorgungskonzept in den Sommermonaten die Gebäude zu klimatisieren.

Wärmebedarfe

Nach derzeitigen Berechnungen haben in dem Quartier alle Gebäude

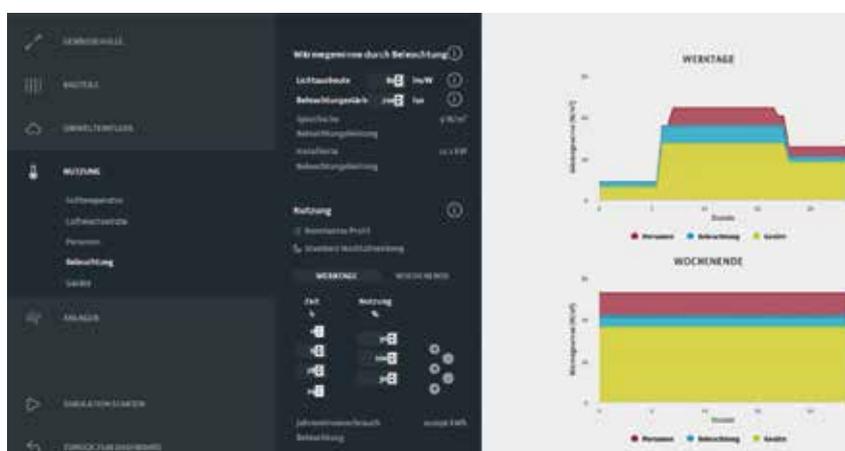


Bild 3. Erstellung der Lastgänge mit dem Online-Simulationswerkzeug „TDA thermal demand analysis“

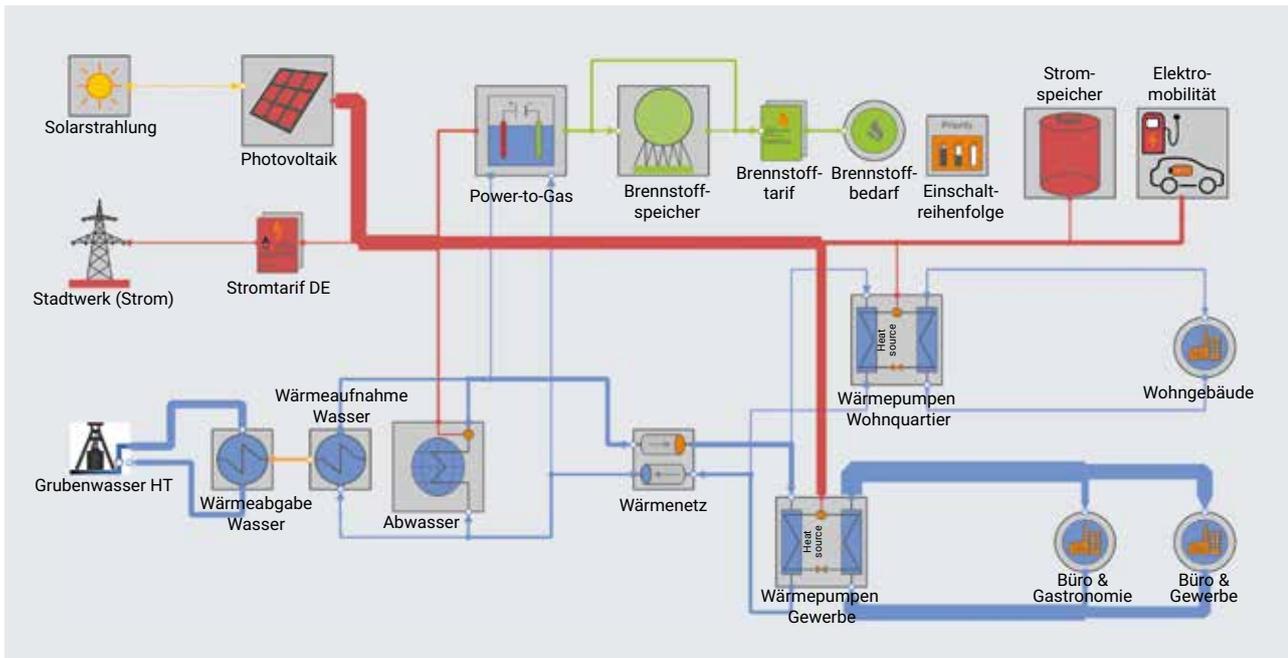


Bild 4. Mit der Simulationssoftware TOP-Energy können verschiedene Versorgungsalternativen untersucht werden

zusammen einen Wärmebedarf von rd. 16 GWh/a mit einer Spitzenleistung von rd. 12 MW auf etwa 38000 m² Geschossfläche. Um zu untersuchen, wie die WP mit Strom, der in Photovoltaikanlagen erzeugt wird, versorgt werden können, ist ein stündlich aufgelöster Lastgang notwendig.

Zur Erstellung des Lastgangs wird das Online-Simulationswerkzeug „TDA thermal demand analysis“ der Aachener TLK Energy GmbH eingesetzt (Bild 3) [3]. Das Simulationswerkzeug berücksichtigt bei der Berechnung von Wärme-, Kälte- und Stromlastgängen typische Gebäudeparameter wie Mauern und Fensterflächen, Lage und Ausrichtung. Ebenso können das Nutzerverhalten, wie eine Nachttemperaturabsenkung, und innere Lasten durch Beleuchtung, Geräte, Personen, Luftwechselrate usw. berücksichtigt werden. Mit diesen Parametern kann der stündlich aufgelöste Lastgang der Heizwärme mit einem Testreferenzjahr des Deutschen Wetterdienstes erzeugt werden.

Zur Untersuchung verschiedener Versorgungsalternativen wird die

Simulationssoftware TOP-Energy der Magis Consult GmbH verwendet (Bild 4) [4]. Die Software wird zur Optimierung von Energiesystemen und zur Zeitreihenanalyse eingesetzt.

Manche Aspekte werden im Sinne einer besseren Übersichtlichkeit vereinfacht. So werden die einzelnen Gebäude zu Nutzungsgruppen mit ähnlichen Nutzungsmustern zusammengefasst. Es entstehen so Bedarfskomponenten für Büro und Gewerbe (11,4 GWh(th)), Büro und Gastronomie (4,5 GWh(th)) und Wohnen (2,5 GWh(th)).

Auch wenn im Konzept lokale, dezentrale WP für jedes Gebäude vorgesehen sind, werden sie in der Simulation zu zwei ausmodellierten Anlagen zusammengefasst. Die eingesetzten Flächenheizungen in den Gebäuden benötigen 35 °C Heizungsvorlauftemperatur. Bei einer Temperatur im Netz von 8 bis 10 °C im Winter muss die WP einen Temperaturhub von etwa 25 K leisten. In diesem Temperaturbereich arbeiten die WP sehr effizient mit einem COP-Wert von über sechs. Daraus ergibt sich ein

Strombedarf für die WP von etwa 3,1 GWh(el)/a.

In einer Simulationsstudie, die über das konkret geplante Projekt hinausgeht, wurde untersucht, zu welchem Anteil der Strombedarf über Photovoltaik-(PV-)Anlagen gedeckt werden könnte. Dazu werden PV-Module in das Modell eingepflegt, die in etwa die Hälfte der zur Verfügung stehenden Dachfläche ausnutzen sollten. Es bleiben daher 39900 m², auf denen mit heute marktüblichen 9 kW_{peak}/m² also rd. 3,9 MW_{peak} installiert werden. Mit der lokalen Globalstrahlung von max. 900 W/m² werden damit insgesamt 3700 MWh Strom erzeugt. Die erzeugte Spitzenleistung beträgt bei einer angenommenen Performance Ratio von 0,8 etwa 3,1 MW.

Die jährlich erzeugte elektrische Energie reicht theoretisch aus, um den Strombedarf der WP in Höhe von 3,1 MWh(el)/a zu decken. Ohne den Einsatz eines Speichers können allerdings nur 526 MWh(el)/a direkt genutzt werden, da Wärme und Strom nicht gleichzeitig benötigt werden. Dies ergibt einen Autar-

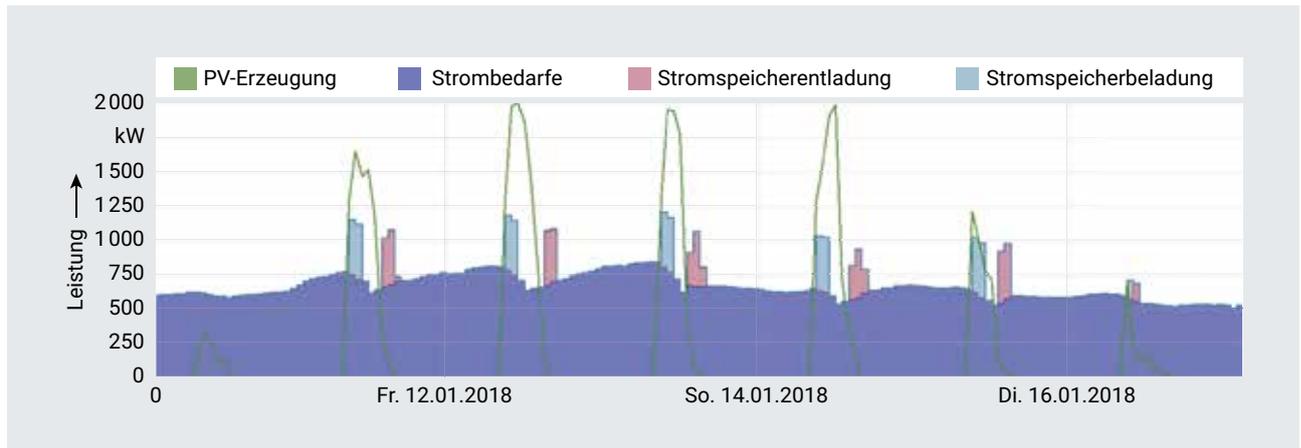


Bild 5. Stromspeichernutzung für Heizung im Winter

kiegrad von rd. 17 % und entspricht einer Eigenverbrauchsquote von 14 %.

In einem nächsten Schritt wird untersucht, ob sich der Autarkiegrad zur Selbstversorgung des Quartiers über den Einsatz von elektrischen Speichern erhöhen lässt. Die Betrachtung von Wärmespeichern wird nicht durchgeführt, da für Niedertemperaturwärmequellen ein großes Volumen zur Speicherung relevanter Wärmemengen notwendig wird.

Mit den Batteriespeichern soll in erster Linie eine Möglichkeit zur tagesinternen Speicherung – also der Nutzung tagsüber zu viel erzeugten Stroms in der Nacht – geschaffen werden. Für eine erste Rechnung wird ein Stromspeicher mit einer nutzbaren Kapazität von 800 kWh gewählt. Durch den guten COP-Wert der WP von 6 können damit rd. 4,8 MWh thermisch je Entladevorgang erzeugt werden.

Das Speichermanagement wird in der Simulation über eine Priorisierung gestaltet. Bei Stromerzeugung aus der Photovoltaikanlage werden zuerst die Wärmepumpen betrieben. Steht mehr Leistung zur Verfügung wird der Speicher beladen, und erst dann wird ins Netz eingespeist. Der Speicher wird so täglich geladen und – sofern geheizt wird – auch wieder entleert (Bild 5). Da-

mit kann ein Teil der in der Nacht notwendigen Heizlast bedient werden. In den Simulationen weist der Speicher in einem Jahr bis zu 200 Be- und Entladezyklen auf.

Mit der Implementierung eines Speichermanagements berechnet die Simulation einen Eigenverbrauch von 643 MWh(el)/a, was einem Autarkiegrad von 21 % entspricht. Die Eigenverbrauchsquote steigt entsprechend auf 17 %. Bei Verdopplung der Speicherkapazität auf 1600 kWh(el) lässt sich der Eigenverbrauch auf 784 MWh/a bzw. 20 % erhöhen, der Autarkiegrad steigt auf 24 %. Somit ließe sich ein Viertel des für die Wärmepumpen benötigten Stroms lokal durch Photovoltaik erzeugen.

Als Langzeitspeicher sind Batterien nicht geeignet. Es sind zu hohe Speicherkapazitäten erforderlich, was zu sehr hohen Investitionskosten führen würde. Der überschüssige Strom könnte aber mit einer Power-to-Gas-(P2G-)Anlage in Wasserstoff verwandelt und somit gespeichert oder für andere Anwendungen, z. B. in der Mobilität, verwendet werden. Der strombasiert erzeugte Brennstoff kann zudem zurückverstromt und für Heizzwecke verwertet werden.

Als Beispiel sei hier eine Simulation mit einer P2G-Anlage mit einer Maximalleistung von 500 kW bei

80 % Wirkungsgrad integriert. Im Zusammenspiel mit dem 800-kWh-Batteriespeicher können damit 32 % Autarkiegrad (1170 MWh) erreicht werden und 35 % Autarkiegrad (1188 MWh) mit einem 1,6-MWh-Stromspeicher. Die Eigenverbrauchsquoten steigen entsprechend auch auf rd. 31 % bzw. 35 %. Die Ergebnisse sind in Tafel 1 dargestellt.

Zusammenfassung:

Für die Wärmeversorgung in Essen 51 liegt der Fokus auf der Möglichkeit, die Wärmepotenziale aus Abwasser und Grubenwasser zu nutzen. Hier zeigen die Simulationen, dass durch ein intelligentes Energiekonzept, bei dem lokale geothermische und solare Quellen einbezogen werden, eine äußerst emissionsarme Versorgung mit Heizwärme möglich ist. Da alleine im Ruhrgebiet 99 weitere Sicherungsstandorte für die Grubenwasserhaltung existieren, könnte Essen 51 auch als Vorzeigeprojekt für weitere Konversionsflächen aus dem Bergbau stehen.

Ausblick

Bisher wurde die Klimatisierung der großen Büro- und Gewerbeflächen auf dem Gelände in den Si-

Variante	PV- Erzeugung MWh	Gesamt- verbrauch MWh	Eigen- verbrauch MWh	Eigenver- brauchsquote %	Autarkie- grad %
Referenz	0	3107,9	0,0	0	0
PV	3738,1	3108,0	526,1	14	17
PV – Batterie	3738	3107,8	643,0	17	21
PV – 2 x Batterie	3738	3107,8	748,6	20	24
PV – Batterie-P2G	3738	3691,8	1169,4	31	32
PV – 2 x Batterie-P2G	3738	3749,9	1302,3	35	35

Tafel 1. Auswertung der Simulationen

mulationen noch nicht berücksichtigt. In einer Betrachtung des Gesamtenergieverbrauchs des Standorts spielt sie jedoch eine wichtige Rolle. Die Kombination aus Niedertemperatur-Wärmenetz, zur Kühlung geeigneter Wärmepumpen und dem Einsatz von Solarstrom scheint hier jedoch ein sehr vorteilhaftes Szenario zu sein. Schließlich überlappen sich Sonneneinstrahlung und Kältebedarf stark.

Darüber hinaus gibt es Überlegungen, auch Elektromobilität in das Quartierskonzept zu integrieren. Inwiefern dazu lokal erzeugter Strom genutzt werden kann, ist in erster Linie abhängig von der Nutzung bzw. dem Lademanagement. Aufladen über Nacht (wie es bei Anwohnern wohl üblich sein würde) würde den Strombezug aus dem Netz erhöhen. Sollten die Nutzer je-

doch tagsüber, z. B. an ihrem Arbeitsplatz laden, könnte noch mehr des lokal erzeugten Stroms genutzt werden. Geeignete Tarifstrukturen könnten dies befördern.

Insgesamt ergibt sich so eine Vielzahl von Chancen für eine emissionsarme, nachhaltige und sektorübergreifende Energieversorgung auf den ehemaligen Bergbaustandorten. Aus den Energieflächen der Vergangenheit werden so solche der Zukunft.

Literatur

- [1] Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Potenzialstudie Warmes Grubenwasser. Lanuv-Fachbericht 90, 2018.
- [2] www.gw-ruhr.rub.de
- [3] <https://tda.tlk-energy.de>
- [4] www.magis-consult.com

Prof. Dr.-Ing. Hermann-Josef Wagner,
bis Herbst 2019 Leiter des Lehrstuhls,
jetzt Seniorprofessor
wagner@lee.rub.de

**Lisa Altieri, Michel Gross,
Tobias Reiners**,
wissenschaftliche Mitarbeiter,
Lehrstuhl für Energiesysteme und
Energiewirtschaft, Ruhr-Universität
Bochum
altieri@lee.rub.de
michel.gross@rub.de
tobias.reiners@rub.de
www.lee.rub.de
www.gw-ruhr.rub.de

Dr. Johannes Schliesser,
Gründer und Geschäftsführer,
johannes.schliesser@magis-consult.com
www.magis-consult.com

Salah Dishneh,
Vertriebsingenieur,
Magis Consult GmbH, Berlin
salah.dishneh@magis-consult.com
www.magis-consult.com
