

Jahr 1996, der den Glauberg endgültig in den Fokus von Wissenschaft und Öffentlichkeit katapultierte: Am 24. Juni kam in der Nähe des Grabhügels eine einzigartige, 1,86 Meter grosse Sandsteinstatue zum Vorschein, der «Keltenfürst vom Glauberg». Bis auf die abgeschlagenen Füsse ist er vollständig und makellos erhalten. Erstmals – und bis heute ohne Parallele – fand sich eine lebensgrosse Figur aus keltischer Zeit, die konkret einen Herrscher darstellt, nämlich denjenigen, der im Riesengrabhügel bestattet liegt. Kleinere Fragmente von mindestens drei ähnlichen Figuren wurden im Hügelumfeld entdeckt. Die Bilder der Statue mit dem merkwürdigen Kopfputz – Helm, Ritualhaube oder «Heiligenschein»? – gingen um die Welt. Sie machten den Glauberg zu einer der bekanntesten keltischen Fundstätten.

Die Forschungen gingen weiter. Um andere eingeebnete Grabstätten zu finden, wurde das Gelände geophysikalisch untersucht. Es kam tatsächlich ein zweiter Hügel mit einem dritten Kriegergrab zum Vorschein. Und es stellte sich heraus, dass das Wallgrabensystem nicht nur das Plateau umfasste: Ein Wassereservoir am Hügel Fuss auf der Nordseite und auf der Südseite der Riesengrabhügel sowie eine 350 Meter lange, sogenannte Prozessionsstrasse gehören ebenfalls zur Anlage.

Dieser in der keltischen Welt bis anhin einzigartige Fund – das ausgedehnte, verzweigte Wallgrabensystem von insgesamt 3,8 Kilometern Länge und die vom ersten Hügel weg ins Tal hinabführende Prozessionsstrasse – warf Fragen auf. Wozu dienten die Anlagen? Was war ihre Funktion? Ein von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördertes Projekt – «Untersuchungen im territorialen Umland des Glaubergs: zur Genese und Entwicklung eines Fürstensitzes» – ging diesen Fragen nach. Seine Resultate wurden kürzlich in den «Glauberg-Studien, Band 2» veröffentlicht.

Gewaltige Dimensionen

Die Archäologen unter Christopher Pare und Leif Hansen von der Universität Mainz kommen in der umfangreichen Publikation – wie in der Archäologie so oft – zu keiner definitiven Interpretation. Klarheit herrscht aber nun erstmals über die gewaltigen Dimensionen der Anlage: Die Wälle sind bis 18 Meter breit, die Gräben bis 4,4 Meter tief; etwas bescheidener sind die Ausmaße der Spitzgräben entlang der «Prozessionsstrasse». Im Gegensatz zu den Wällen auf dem Hügelplateau oben, deren Befestigungscharakter unbestritten ist, handelt es sich unten um reine Erdwälle. Die Forscher haben ausgerechnet, dass allein für deren Bau 170 000 Kubikmeter Material bewegt werden mussten! Eine ungeheure Arbeitsleistung – freiwillig erbracht oder erzwungen?

Ebenfalls eindeutig ist heute, dass die Anlage nicht geschlossen war, sei es, weil sie unfertig aufgegeben wurde – oder eine Geschlossenheit überhaupt nicht angestrebt war. Für die Funktion des Erdwerks sei diese Frage von grosser Bedeutung, schreiben die Forscher: Handelt es sich um einen riesigen heiligen Bezirk, eine monumentale Grabanlage, einen Festplatz für heilige Wettkämpfe anlässlich des Todes eines Herrschers, des «Keltenfürsten vom Glauberg»? Oder liegt ganz profan eine befestigte Aussensiedlung vor, der Rest eines unvollendet gebliebenen städtischen Grossprojekts?

Die Forscher lassen die Frage offen. Erstaunlich sei in jedem Fall die kurze Lebensdauer der ganzen Anlage: Aufgrund von Fundmaterial und Radiokarbondatierungen lasse sie sich auf maximal sieben Generationen – eingrenzen. Dabei müsse berücksichtigt werden, dass nicht alle Abschnitte gleichzeitig nebeneinander bestanden hätten. Gräben, die sich überschneiden, wobei der untere älter und der obere jünger sei, würden dies eindeutig nachweisen.

Ähnlich befestigte Hochplateaus gibt es laut den Forschern im keltischen Siedlungsgebiet Mitteleuropas einige, in Deutschland, Frankreich und in der Schweiz. Eine gute, wenn auch wesentlich bescheidenere Befestigung findet sich beispielsweise auf dem Üetliberg

bei Zürich. Auch dort läuft ein Aussenwall um ein kleines besiedeltes Plateau, während weitere Wälle eine grössere unbesiedelte Fläche umschliessen, wo einst ebenfalls ein Hügel mit einem reichen, allerdings geplünderten Grab stand. Merkwürdige Wallgrabenanlagen oder so etwas wie «Prozessionswege» wurden auf dem Üetliberg aber nicht festgestellt – vielleicht auch mangels entsprechender Forschungen.

Skelette in Abfallgruben

Die neueren Ausgrabungen um den Glauberg herum haben mehrere kleine zugehörige Siedlungen und Gehöfte zutage gefördert. Die für das Plateau veranschlagte Zahl von rund 2000 Bewohnern muss also gegen oben korrigiert werden. Zählt man die Menschen in den neu entdeckten Weilern dazu, müssen es Tausende mehr gewesen sein. Wo sind sie begraben? Bis anhin konnten ausser den fürstlichen Grabhügeln keine Grabstätten entdeckt werden. Allerdings fanden sich in den nicht mehr verwendeten Vorratsgruben der Weiler über zwanzig Skelette. Diese Personen – Männer wie Frauen – wurden nicht regulär bestattet. Es macht viel eher den Anschein, als habe man sie pietätlos in die Silos hineingeworfen. Welches war ihr sozialer Status?

Der Vergleich der Kohlenstoff-Stickstoff-Isotopie zwischen den fürstlichen Kriegerskeletten und den Grubenskeletten zeigt eindeutig: Die Krieger aus dem Monumentalhügel assen viel Fleisch, während sich die Menschen aus den Gruben vornehmlich von Hirse ernährten. Die Knochen Letzterer weisen zudem Spuren schwerer körperlicher Belastung bis hin zu degenerativen Verschleisserscheinungen auf. Eine Strontium- und Sauerstoff-Isotopen-Analyse ihrer Gebeine hat ergeben, dass sie zwar nicht lokaler Herkunft waren, aber vermutlich aus der Region stammten, aus der Wetterau und dem Taunus. Die genetischen Untersuchungen konnten zwischen den Individuen keine verwandtschaftlichen Beziehungen nachweisen.

Die Forscher ziehen aus diesen Resultaten den Schluss, dass es sich bei diesen Toten um Abhängige – Kriegsgefangene oder Sklaven – handle, deren sozialer Tod bereits beim Eintritt in den unfreien Zustand erfolgt sei. Nach ihrem physischen Tod seien sie dann einfach in den offen gelassenen Silos entsorgt worden. Das Fehlen von Spuren von Gewaltanwendung einerseits und die Vermengung mit gewöhnlichem Siedlungsabfall in den Silos andererseits lasse eine Interpretation als Menschenopfer oder Opfer von Überfällen nicht zu.

Die Skelette erbringen den Beweis, dass die aus schriftlichen Quellen bereits bekannte, stark hierarchisch aufgebaute keltische Gesellschaft, ähnlich wie die griechische und die römische, über einen breiten Sockel von Unfreien verfügte. Die nachgewiesene Ausbeutung dieser Unfreien fand – neben ihrem Einsatz bei den Erdarbeiten für die Wallgrabenanlagen und Grabhügel – in der Landwirtschaft statt. Der Glauberg liegt in einem für Ackerbau und Viehzucht günstigen Umfeld, das gute Möglichkeiten für eine Überschussproduktion bot. Diese Überschüsse bildeten ziemlich sicher die Grundlage für den Reichtum der Herrschenden, von dem die opulente Grabausstattung des «Glaubergfürsten» ein beredtes Zeugnis ablegt.

Die Keltenwelt am Glauberg

glü. · Das neue Museum am Fuss des Glaubergs zeigt in einer kleinen, gut konzipierten Ausstellung die Funde aus den Ausgrabungen samt der Statue im Original! Die Sandsteinfigur mit ihrem eigenartigen Kopfputz lässt sich von ganz nah anschauen, und auch die qualitativ hochstehenden und zum Teil einzigartigen Funde aus den Kriegergräbern – Goldhalsring, Eisenprunkschwert, Bronzekanne – sind anschaulich präsentiert. Ein archäologischer Park mit mehreren kulturhistorischen Rundgängen um und auf den Berg lädt zu einer vertieften Beschäftigung mit der Landschaft ein.

Ein Turbolader auf dem Holzweg

Neue Technologien erlauben es, mit Holz Strom zu erzeugen, ohne gleich ein Kraftwerk zu errichten. Das macht den klimafreundlichen Brennstoff wirtschaftlich attraktiver.

RALPH DIERMANN

Wer mit Holz Strom erzeugen wollte, musste lange Zeit gleich in ein ganzes Kraftwerk investieren. Darin wird Biomasse verbrannt, um Wasser zu verdampfen. Der Dampf treibt dann eine Turbine an. Zwar funktioniert dieser Prozess auch in sehr kleinem Massstab, wie die Miniatur-Dampfmaschinen aus dem Spielwarenhandel zeigen. Doch effizient arbeiten Dampfturbinen nur in einer um ein Vielfaches grösseren Leistungsklasse. «Der Dampfkraftprozess liefert erst ab einer Leistung von etlichen Megawatt einen zufriedenstellenden Wirkungsgrad», sagt Marco Klemm vom Deutschen Biomasseforschungszentrum (DBFZ) in Leipzig.

Biomassekraftwerke produzieren neben dem Strom gleichzeitig allerdings auch viel Wärme, die genutzt werden muss, um die Anlagen wirtschaftlich betreiben zu können – meist per Einspeisung in ein Fernwärmenetz, wie es etwa das Holzheizkraftwerk Aubrugg im Norden Zürichs tut. Doch längst nicht überall gibt es genug Abnehmer für diese Energie. Viele Wärmenetze sind schlichtweg zu klein, als dass man dort Biomassekraftwerke errichten könnte. Das limitiert den Einsatz des Energieträgers Holz, seiner guten Klimabilanz zum Trotz.

Das Unternehmen Schmid Energy Solutions aus Eschlikon hat nun eine Technologie entwickelt, die dieses Hindernis beseitigen soll: eine mit Holz betriebene Heissluftturbine, die mit einer elektrischen Leistung von 100 Kilowatt deutlich kleiner ist als die üblicherweise verwendeten Dampfturbinen. Entsprechend gering ist die Wärmemenge, die verwertet werden muss. «Die Anlage lohnt sich bereits für ein grösseres Dorf oder auch einen Industriebetrieb, der ganzjährig Wärme benötigt», erklärt Dietrich Vogel, Leiter Verfahrenstechnik bei Schmid Energy Solutions. Die Technologie wird derzeit im Wärmenetz der Gemeinde Düringen bei Bern erprobt.

Bescheidener Wirkungsgrad

Wie ein Dampfkraftwerk arbeitet die Anlage mit einer Feuerung, in der Holz verbrannt wird. Über einen Wärmetauscher wird die Hitze auf Prozessluft übertragen, die zu einem Turbolader geführt wird und dort teilentspannt. Die dabei freigesetzte Energie verwendet der Turbolader, um Umgebungsluft zu komprimieren. Sie wird dann in einer Heissluftturbine mit angeschlossenem Generator entspannt, um Strom zu erzeugen. Ein weiterer Wärmetauscher kühlt die Luft anschliessend von 420 auf 90 Grad herunter. Die entzogene Wärme wird schliesslich auf einen Wasserkreislauf, etwa in einem Wärmenetz, übertragen.

Der elektrische Wirkungsgrad der Anlage liegt bei etwa 15 Prozent. «Das ist nicht berauschend», kommentiert Professor Thomas Nussbaumer, Leiter der Fachgruppe Bioenergie an der Hochschule Luzern – kleine Dampfturbinen erreichen 20 Prozent, Grosskraftwerke mit mehreren hundert Megawatt Leistung 40 Prozent und mehr. Dennoch habe die Technologie ihre Berechtigung, meint der Wissenschaftler. Sie könne wirtschaftlicher sein als kleine Dampfturbinen, sofern sie wärmegeführt betrieben wird. (Das bedeutet, dass die Anlage den jeweiligen Wärmebedarf optimal deckt. Komplementär dazu ist der stromgeführte Betrieb, der am Stromertrag ausgerichtet ist.)

Auch aus Systemsicht ist die Technologie laut Nussbaumer durchaus sinnvoll. «Die Heissluftturbine erweitert die

Möglichkeiten der Holzenergie nach unten», sagt Nussbaumer. In einem zunehmend auf den fluktuierenden Quellen Sonne und Wind basierenden Energiesystem sind solche wetterunabhängigen Erzeugungsanlagen unabdingbar, um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten.

Wiederentdeckte Holzvergasung

Allerdings steht die Heissluftturbine in Konkurrenz mit einer weiteren Technologie zur Erzeugung von Energie aus Holz in kleinem Massstab: der Holzvergasung. Dabei wird Holz unter weitgehendem Sauerstoffabschluss in einer

«Die Heissluftturbine erweitert die Möglichkeiten der Holzenergie.»

Thomas Nussbaumer
Professor für Bioenergie in Luzern

Reaktionskammer auf Temperaturen von bis zu 1000 Grad erhitzt. In der Folge löst sich ein Gas aus der Biomasse, das wegen seiner Anteile von Methan und Kohlenmonoxid brennbar ist. «Der Charme der Holzvergasung liegt unter anderem in der Vielzahl der Möglichkeiten, das erzeugte Gas zu nutzen», sagt der DBFZ-Forscher Klemm. So könne man damit nicht nur Strom und Wärme erzeugen, sondern es auch für die Produktion von Wasserstoff, künstlichem Erdgas, Kraftstoffen oder Chemikalien einsetzen.

Die Holzvergasung ist kein völlig neues Verfahren. Bereits in den dreissiger Jahren brachten Unternehmen kleine Vergaser auf den Markt, die auf Autokarosserien montiert wurden. Gefüttert mit Brennholz, erzeugten sie Kraftstoff für Gasmotoren. Nach Kriegsende geriet die Technologie jedoch schnell in Vergessenheit. Mit der Suche nach Alternativen zu fossilen Energien besannen sich einige Mittelständler aus Deutschland vor rund zehn Jahren auf das alte Verfahren. Sie entwickelten die Technik weiter und verbanden sie mit Blockheizkraftwerken für die Strom- und Wärmeerzeugung. Mit elektrischen Leistungen von wenigen Dutzend bis mehreren hundert Kilowatt bieten die Anlagen viele Einsatzmöglichkeiten.

Dabei stellen sie allerdings hohe Ansprüche an die verwendete Biomasse. «Die Vergaser benötigen sehr trockene Holzqualitäten. Anders als die Heissluftturbine kommen sie mit normal feuchten Waldhackschnitzeln nicht zu recht», sagt der Luzerner Forscher Nussbaumer. Das macht das Verfahren vergleichsweise teuer. In der Schweiz sind daher kaum Holzvergaser in Betrieb. In Deutschland dagegen wurden bereits mehrere hundert Anlagen installiert. Die üppige Vergütung für Strom aus Biomasse setzte lange Zeit einen Anreiz, in die Technologie zu investieren. Als die Förderung jedoch vor zwei Jahren gekürzt wurde, brachen die Installationszahlen drastisch ein.



Wichtiges Wallsystem.

BILDER AP UNO PD