Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 72 (1981)

Heft: 16

Artikel: Lieferung von Heisswasser für lokale Heizzentralen mittels Eisenbahnwaggons

Autor: Taube, M.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-905145

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.12.2025

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

unterliegen dort voll und ganz der kantonalen und kommunalen Steuerhoheit. Ein Doppelbesteuerungskonflikt im interkantonalen Verhältnis kann somit gar nicht entstehen. Für die angestrebte Gesetzesvorlage zur steuerlichen Gewinnberichtigung bei Partnerwerken fehlt es deshalb unseres Erachtens an einer zureichenden verfassungsrechtlichen Grundlage.

Sodann würde eine besonders steuerliche Behandlung einiger weniger Produktionsgesellschaften (Partnerwerke) der Elektrizitätswirtschaft unseres Erachtens gegen den Grundsatz der Allgemeinheit der Steuern verstossen, welcher sich aus Art. 4 der Bundesverfassung (Rechtsgleichheitsgebot) ableitet.

Das Begehren der Standesinitiative steht sodann im Widerspruch zu Sinn und Zweck von Art. 49 Abs. 3 und 4 des Bundesgesetzes über die Nutzbarmachung der Wasserkräfte vom 22. Dezember 1916. Dieser Artikel verbietet die Erhebung von besondern Steuern auf der Wasserkraft und die Erhebung von höhern Steuern auf der in andere Kantone ausgeführten Energie. Die Gewinnberichtigung im Sinne der Standesinitiative kommt aber einer Sonderbesteuerung gleich und verletzt daher den zitierten Artikel des eidgenössischen Wassernutzungsgesetzes.

Schliesslich dürfte das Begehren der Initiative einen rechtlich nicht unbedenklichen Eingriff in die Steuerhoheit der einzelnen direkt oder indirekt betroffenen Kantone darstellen.

Aus dieser kurzen Aufzählung ist ersichtlich, dass die Standesinitiative auch unter rechtlichen Gesichtspunkten fragwürdig erscheint.

Adresse der Autoren
G. Hertig, Direktor, und *H. Raaflaub*, Fürsprecher, Bernische Kraftwerke AG, Postfach, 3000 Bern 25.

Lieferung von Heisswasser für lokale Heizzentralen mittels Eisenbahnwaggons

Von M. Taube

Der Autor stellt eine unkonventionelle Methode einer Fernwärmeversorgung vor, die auf dem Prinzip des Bahntransportes von Heizwasser aus Kernkraftwerken in lokale Heizzentralen beruht. Nach Ansicht des Autors ist eine solche Fernwärmeversorgung heute schon wirtschaftlich durchzuführen.

L'auteur présente un système de chauffage à distance peu ordinaire, reposant sur le transport de l'eau de chauffage par wagons-citernes, à partir d'une centrale nucléaire jusqu'à des centrales de chauffage locales. L'auteur estime qu'un tel système serait aujourd'hui déjà rentable.

1. Ausgangslage

Es kommt in der Schweiz nicht selten vor, dass sich längs einer Eisenbahnlinie im Abstand von ein paar Kilometern Heizzentralen für lokale Bedürfnisse befinden, die eine Leistung von ein paar Gigakalorien pro Stunde erbringen (1 Gcal/Stunde entspricht einer thermischen Leistung von 1,16 Megawatt).

Beispiele für solche lokale Ölheizungen können sein: Wohnungsquartier, grösseres Spital, grössere Schule, Einkaufszentrum, Hallenbad, Molkerei, Brauerei, holzverarbeitende Fabrik, Station und Postamt in grösseren Städten usw.

Es sei angenommen, dass diese lokalen Heizzentralen in dieser Gegend zusammen etwa eine Bandlast von 12 Megawatt erreichen. Bei einer Kälteperiode von 232 Tagen mit Bandlast und während den übrigen Tagen mit nur 20% der Vollast verbrennen diese Heizzentralen jährlich etwa 8000 Tonnen Heizöl. Die Deckung der Spitzenlast an den kälteren Tagen des Jahres ist dabei ausser acht gelassen.

Weiter sei vorausgesetzt, dass sich in einer Entfernung von 40 bis 50 Kilometer ein Kernkraftwerk befindet, ebenfalls eine typische Situation von vielen Ortschaften im Mittelland.

Als beste Möglichkeit für die Substitution von Heizöl böte sich eine Fernwärmeleitung mit etwa 120 m^3 Heisswasser pro Stunde (Rohrleitung mit einem Durchmesser von 20 cm) an.

In der Nähe dieser oben erwähnten Lokalheizzentralen gebe es keine anderen, schon bestehenden Wärmeabnehmer. Darum kann auf einen Anschluss durch eine Rohrleitung erst in ferner Zukunft gehofft werden, und bis dann muss die herkömmliche Ölverbrennung beibehalten werden. Eine spezielle Leitung ab dem «Nachbar-Kernkraftwerk» würde wahrscheinlich zuviel kosten.

Bleibt also nur das jährliche Verbrennen von über 8000 t Heizöl?

2. Ein Lösungsvorschlag

Im folgenden ist eine mögliche Lösung dieses Problems skizziert. Das Heisswasser aus dem Kernkraftwerk soll mittels Eisenbahnwaggons zu den heute schon bestehenden lokalen Heizzentralen transportiert werden (Fig. 1). Dies wirft folgende Fragen auf:

– Ist das Unternehmen energetisch sinnvoll (der Eisenbahntransport benötigt Elektrizität)?

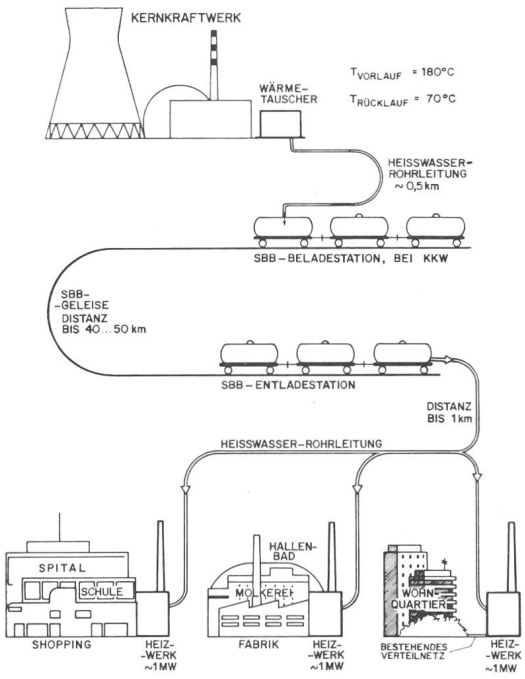

Fig. 1 Schema des «WWW»-Systems

– Ist ein solches System ökonomisch konkurrenzfähig (Öl ist immer noch relativ billig)?

– Ist die SBB in der Lage, solche Transporte ohne grosse Zusatzinvestition zu bewältigen?

– Wie passt ein solches System in die seit Jahren in der Schweiz bestehende Gesamtenergie- und Gesamtverkehrskonzeption?

– Wie passt das Ganze in das Bild des Umweltschutzes?

Zur Lösung dieser Fragen wurde eine Berechnung durchgeführt, die auf mehrjährigen genauen Studien basiert, an welchen alle Betroffenen direkt teilgenommen haben, so das Eidg. Institut für Reaktorforschung (von welchem dieses System vorgeschlagen und entwickelt wurde), die Schweizerischen Bundesbahnen (SBB), ein Kernkraftwerk, ein Industriekonzern (spezialisiert auf Fernwärme), ein Industrieunternehmen (spezialisiert auf Waggonbau) und ein auf Verkehr spezialisiertes Hochschulinstitut.

Vorerst sei versucht, unsere Fragestellung in konkreten Zahlen auszudrücken. Die betrachteten, heute schon bestehenden lokalen Heizzentralen mit etwa 1 MW(th) Leistung liegen nicht weit weg von den bestehenden Eisenbahnlinien und, wenn möglich, nicht weit weg von bestehenden Bahnhöfen und Industriegeleisen. «Nicht weit» heisst: weniger als 1 km. Es sei angenommen, dass während der Kälteperiode von rund 230 Tagen diese Heizzentralen zusammen etwa 12 MW(th) verbrauchen (in Spitzenzeiten viel mehr, aber wir beschränken uns auf die «Bandenergie»). Während der Sommerperiode wird nur etwa $^1/_5$ der Leistung der Winter-«Bandenergie», also nur 2,5 MW(th), benötigt. Eine Energiebilanz ist in Figur 2 wiedergegeben.

Unter diesen Bedingungen produzieren diese lokalen Heizwerke während eines Jahres, ohne Spitzenleistung, etwa 74 Millionen Kilowattstunden Wärme, d. h. etwa 64000 Gigakalorien. Wenn der Nutzungsgrad der Kessel, Verluste im Kamin usw. mit 80 % einbezogen werden, bedeutet dies, dass jährlich etwa

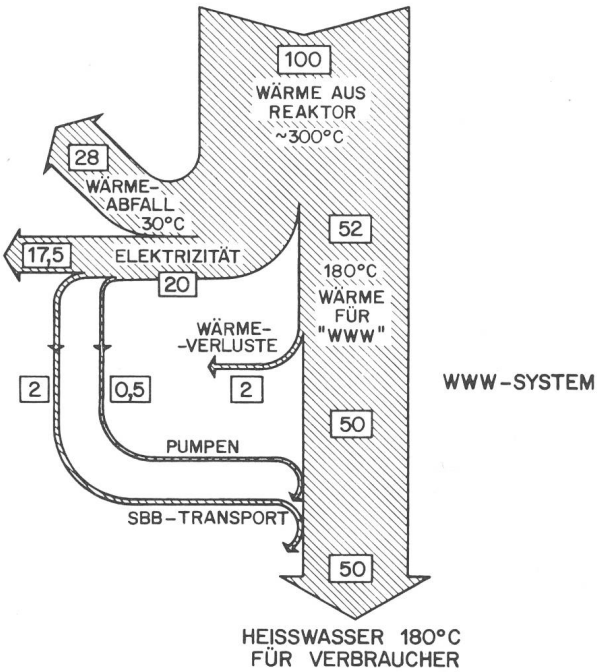

Fig. 2 Energiebilanz des «WWW»-Systems
(in prozentualen Energieeinheiten; Wärmebezug aus dem Kernkraftwerk = 100 %)

8000 Tonnen Heizöl verbrannt werden müssen. Bei einem Preis von etwa Fr. 60.– pro 100 Liter Leichtöl entspricht dies Kosten von etwa 6,5 Millionen Franken jährlich, alle anderen Aufwendungen nicht miteingerechnet.

Es ist klar, dass das vorgeschlagene System des Eisenbahntransportes bei diesen Zahlen voll konkurrenzfähig sein muss, und wenn möglich zu einem Zeitpunkt, bevor die Ölpreise weiter steigen. Die Konkurrenzfähigkeit des Systems wird im folgenden aufgezeigt.

Das Heisswasser komme mit einer Temperatur von 180 °C in den Heizzentralen an, was einem Druck von 10 bar entspricht. Das zurückfliessende Wasser hat eine Temperatur von etwa 70 °C. In diesem Fall gibt 1 m³ Heisswasser etwa 0,41 Gigajoule ab, was effektiv (mit allen Verlusten) einer Menge von 20 Litern Heizöl entspricht.

Ein speziell gebauter Eisenbahnwaggon mit einem Bruttogewicht von 110 Tonnen beinhaltet etwa 80 Kubikmeter Heisswasser (180 °C, 10 bar), was etwa 33 Gigajoule oder 1200 Litern Heizöl entspricht.

Diese Waggons machen im Winter täglich dreimal den Weg vom Kernkraftwerk zu den Heizzentralen. Diese haben eine durchschnittliche Entfernung von 40 km vom Kernkraftwerk. Um all diese lokalen Heizzentralen im Winter beliefern zu können, werden etwa 3 Züge mit 12 Waggons täglich benötigt. Die Waggons haben selber die Rolle des Speichers (bis 24 Stunden), sowohl beim Verbraucher wie auch beim Lieferanten, zu übernehmen.

3. Die Kosten des Transportsystems

Für das ganze System werden etwa 30 Waggons benötigt. Diese müssen vom Wärmelieferanten gekauft werden. Sie kosten ca. 8 Millionen Franken und haben eine Lebensdauer von etwa 20 Jahren. Diese Wärmelieferfirma sei «WWW» (*W*arm-*W*asser-*W*aggon) genannt.

Das Kernkraftwerk, das bereit ist, das Heisswasser von 180 °C zu liefern, muss sich entsprechend vorbereiten. Die Menge des Heisswassers für die erwähnten Abnehmer beläuft sich pro Tag auf etwa 2880 m³ (3 Züge pro Tag mit je 12 Waggons und 80 m³ Wasser pro Waggon). Für das Kernkraftwerk ist es viel günstiger, das Heisswasser in der Nacht zu liefern, wenn der Bedarf für die elektrische Energie drastisch abnimmt. Sollen alle Waggons in 6 Nachtstunden gefüllt werden, so entspricht dies einer Heisswasserentnahme von 480 m³ pro Stunde. Der dazu benötigte Wärmetauscher weist eine thermische Leistung von 50 Megawatt auf.

Für das Kraftwerk sind auch zusätzliche Investitionen nötig: Der oben erwähnte 50-MW-Wärmetauscher, Pumpen, Reguliersysteme und eine Rohrleitung von etwa 1 km Länge zur nächsten Verladestation der Heisswasserwaggons. Diese Investitionen werden auf etwa 4 Mio Fr. geschätzt und sind von der Wärmelieferfirma «WWW» zu tragen.

Von grösster Bedeutung für das Kraftwerk ist, dass sich durch die Abgabe von heissem Wasser weniger elektrische Energie produzieren lässt. Für ein Kraftwerk mit einem Leichtwasserreaktor geht im günstigsten Fall pro Kilowattstunde Wärme im heissen Wasser ¼ Kilowattstunde Elektrizität verloren, bzw. wird weniger produziert. Der Verlust an elektrischer Leistung beträgt somit für eine Ladung heisses Wasser, die während 6 Nachtstunden abgegeben wird, 12 MW(el).

Für diese Minderproduktion des Kernkraftwerkes muss eine Entschädigung entrichtet werden. In unserem Beispiel dürfte dies einer Summe von etwa 1,5 Millionen Franken pro Jahr entsprechen (20 Mio kWh(el)). Auch diese Kosten sind von der Wärmelieferfirma «WWW» zu übernehmen.

Eine weitere wichtige Kostenkomponente kommt von der Seite der SBB. Zwar hat die Firma «WWW» eigene Waggons, aber für den Transport der 9300 Waggons pro Jahr vom Kernkraftwerk zur Heizzentrale und zurück (= 2 × 40 km) ist die SBB, die dies besorgt, zu entschädigen. Der Betrag beläuft sich schätzungsweise auf rund 2,7 Mio Franken pro Jahr. Es ist anzunehmen, dass der SBB ein solch guter Kunde sehr willkommen sein wird.

Es muss noch bemerkt werden, dass die Berechnung der elektrischen Energie, die für den Transport der Heisswasserwaggons an einem Wintertag benötigt wird, ein Total von nicht ganz 13000 kWh ergibt. Das heisst, um 25 kWh Wärme in Form von Heisswasser 40 km weit transportieren zu können, benötigt man 1 kWh(el) Energie.

Auch beim Verbraucher, der zwar über eine lokale Heizzentrale verfügt, die in der Nähe des Bahngeleises liegt, werden spezielle Investitionen nötig. Hier muss die Firma «WWW» eine Rohrleitung und evtl. Nebengeleise bezahlen. Man rechnet für alle Investitionen mit etwa ⅔ Mio Fr. pro Verbraucher, also zusammen über 5 Mio Fr. Alle hier erwähnten Kapitalkosten für ein 12-MW-System ergeben:

Waggonanschaffungen	8 Mio Fr.
Umbau der Kernkraftwerke	4 Mio Fr.
Be- und Entladestationen beim Kunden	5 Mio Fr.
Total	17 Mio Fr.

Diese Annuitäten (Zinsen, Amortisationszeit: 20 Jahre) sind mit etwa 12 % gerechnet (optimistisch).

Die totalen Gestehungskosten betragen:

Transportkosten (SBB-Einnahmen)	2,7 Mio Fr./Jahr
Energiekosten (KKW-Einnahmen)	1,5 Mio Fr./Jahr
Feste Kosten (Invest. + andere)	1,8 Mio Fr./Jahr
Totale Kosten	6,0 Mio Fr./Jahr

was für 270000 GJ/Jahr einen Wärmepreis von 22,5 Fr./GJ ergibt.

Wie bereits erwähnt, könnte pro Abnehmer rund 8000 t Heizöl extra leicht substituiert werden, was einem Betrag von 6,5 Mio Fr. entspricht. Das heisst, dass die Firma «WWW» schon heute Kunden zu konkurrenzfähigen Konditionen beliefern könnte.

4. Vergleich mit einem konventionellen Fernwärmesystem

Um ein vollständiges Bild zu erhalten, wäre nun auch noch ein Vergleich mit einem konventionellen Fernheizsystem, d.h. mit Heisswassertransport mittels Rohrleitungen, nützlich.

Für dieselben Parameter, also 12 MW(th), 180 °C/70 °C Heisswasser, eine Distanz von 40 km, kann mit Transportleitungskosten von 1100 Fr. pro Meter gerechnet werden, was einem Investitionskapital von 45 Mio Fr. entspricht. Der Verbrauch an elektrischer Energie für Pumpen wurde auf 7 bis 15 kWh(el) pro Gigajoule geschätzt.

Aus diesen Zahlen ist ersichtlich, dass die Rohrleitung im Vergleich zum Eisenbahntransport gut dreimal kapitalintensiver ist und die Energiekosten um rund 20 % höher liegen.

Interessant wäre auch eine weitere Nutzung des Rücklaufwassers mit einer Temperatur von 70 °C. Es ist bekannt, dass die Leistungsziffer der Wärmepumpe ganz wesentlich von der Differenz der Temperatur der Umgebungswärme (z.B. Luft, Flusswasser, Untergrundwasser) und der Temperatur des Vorlaufes abhängt.

Dem Rücklaufwasser könnte deshalb noch weiter Wärme entzogen werden und die Temperaturdifferenz von 70 °C auf 20 °C ausgenützt werden, was einen zusätzlichen Gewinn von fast 0,21 GJ pro m^3 Rücklaufwasser ergäbe.

Diese zusätzliche Wärme könnte sehr günstig abgegeben werden, weil

- keine weiteren Transportkosten anfallen
- mit praktisch keinen Energiekosten beim Kernkraftwerk zu rechnen ist
- die festen Kosten bezahlt sind

Mit einer Wärmepumpe (z.B. Absorptionswärmepumpe, betrieben mit Heizöl) kann diese Niedrigtemperaturwärme sehr effizient im selben Heizwerk genutzt werden.

5. Schlussfolgerungen

Aufgrund all dieser Überlegungen können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Der Eisenbahntransport von Heisswasser (180 °C) scheint schon heute konkurrenzfähig, wenn relativ grosse Wärmeabnehmer vorhanden sind (z.B. Vollastleistungen ab 4 MW(th)), diese sich nicht zu weit von SBB-Geleisen befinden, und die Entfernung zum Kernkraftwerk höchstens 40–50 km beträgt.
- Die wichtigsten Einnahmen, fast die Hälfte, fliessen in die Kassen der SBB, welche heute und in Zukunft auf die Unterstützung des Steuerzahlers rechnen muss.
- In den nächsten 20 Jahren könnte ein solches System mit hundert Einheiten realisiert werden. Dann würde sich das «WWW»-System folgendermassen charakterisieren:

- 100 lokale Gruppierungen von je ~ 40–50 MW Vollast, mit etwa 8 bis 12 lokalen Heizwerken (d.h. ~ 12 MW Bandleistung)
- das System substituiert jährlich etwa 1 Mio Tonnen Leichtöl
- die Handelsbilanz der Schweiz verbessert sich um etwa eine halbe Milliarde Franken
- die SBB erhalten Mehreinnahmen von rund 200 Millionen Franken pro Jahr
- die Kraftwerke nutzen in der Nacht etwa 1,2 GW(el) Leistung für das WWW-System
- Viele Arbeitsplätze werden geschaffen

Adresse des Autors
Prof. Dr. *M. Taube*, Eidg. Institut für Reaktorforschung, 5303 Würenlingen.