

CO₂-Emissionsminderungen durch das geplante Innovationskraftwerk von Vattenfall

Hintergrundpapier

*im Auftrag der Behörde für Stadtentwicklung und Umweltschutz
der Freien und Hansestadt Hamburg*



Version 1.2 – 16.11.2011

Helmut-M. Groscurth

arrhenius Institut für Energie- und Klimapolitik

Am Waldpark 18, 22589 Hamburg

info@arrhenius.de, www.arrhenius.de

1 Hintergrund: Das Vattenfall-Innovationskraftwerk

Vattenfall plant die Errichtung eines innovativen Kraftwerks in Hamburg. Es besteht aus einem Erdgas-gefeuerten Gas- und Dampfturbinen-Heizkraftwerk (GuD-HKW) sowie einem Wärmespeicher. Dieser Wärmespeicher kann auf zwei Arten beladen werden, zum einen durch Bezug von Fernwärme (aus dem GuD-Heizkraftwerk) und zum anderen durch elektrische Heizstäbe. Diese Heizstäbe sollen ausschließlich mit Strom aus erneuerbaren Energien betrieben werden, und zwar in Zeiten, in denen mehr davon verfügbar ist, als zum jeweiligen Zeitpunkt nachgefragt wird.

In diesem Arbeitspapier wird abgeschätzt, welche Minderungen an CO₂-Emissionen mit dem Einsatz eines solchen „Innovationskraftwerks“ verbunden wären.

2 Mögliche Minderungen von CO₂-Emissionen durch das Innovationskraftwerk

Die CO₂-Minderungen für die beiden Teile des Kraftwerks werden jeweils separat abgeschätzt. Grundlage der Rechnung bildet zunächst die Verursacherbilanz für die CO₂-Emissionen in Hamburg, die die Grundlage der von Senat und Bürgerschaft definierten Minderungsziele bildet und die auch dem „Basisgutachten zum Masterplan Klimaschutz für Hamburg“ des arrhenius Instituts zugrunde liegt. Die Zurechnung von CO₂-Emissionen aus Kraft-Wärme-Kopplung erfolgt dabei gemäß der Finnischen Methode, die mittlerweile auch als gesetzlich Grundlage für die Verteilung von Emissionen auf Strom und Wärme bei Kraft-Wärme-Kopplung dient.

Da die Verursacherbilanz sich eher für regionale Körperschaften eignet als für die Beurteilung einzelner Kraftwerksprojekte werden zum Vergleich auch die Werte einer Quellenbilanzierung angegeben.

2.1 Erdgas-GuD-Heizkraftwerk

Es soll abgeschätzt werden, welche CO₂-Minderung sich ergibt, wenn statt des Anschlusses des steinkohle-gefeuerten Heizkraftwerks Moorburg an das Fernwärmesystem in Hamburg ein Erdgas-gefeuertes GuD-Heizkraftwerk das bestehende Heizkraftwerk in Wedel ersetzen würde.

Die entsprechende Rechnung wurde im Rahmen des oben erwähnten „Basisgutachtens“ bereits durchgeführt. Details sind im Gutachten erläutert. Die Rechnung wird hier um eine Fallunterscheidung ergänzt, nach der das geplante GuD-Kraftwerk 1.250 GWh/a oder 1.450 GWh/a Wärme zur Fernwärmeversorgung beisteuert.

Im Gutachten wurde unterstellt, dass der Fernwärmeabsatz in Hamburg proportional zur Absenkung des gesamten Heizwärmebedarfs zurückgeht. Vattenfall möchte dagegen seinen Fernwärmeabsatz noch ausbauen. Daher sind in Tabelle 1 verschiedene Mengen für den Fernwärmeabsatz von 4.000 bis 5.000 GWh/a zugrunde gelegt.

Tabelle 1 gibt die spezifischen und die absoluten CO₂-Emissionen für

- die heutige Struktur,
- den Ersatz des HKW Wedel durch das HKW Moorburg
- den Ersatz des HKW Wedel durch ein Erdgas-GuD-HKW sowie
- den zusätzlichen Ersatz des HKW Tiefstack durch ein Biomasse-HKW wieder.

Zudem werden die Minderungen bei Übergang zwischen ausgewählten Varianten ausgewiesen.

Tabelle 1: Spezifische und absolute CO₂-Emissionen verschiedener Konfigurationen der Fernwärme in Hamburg.

| | Fernwärmeabsatz [GWh/a] | 5000 | 4500 | 4000 |
|--|-------------------------|---------------------------|-------|------|
| Spez. CO₂-Emissionen der Fernwärme gem. Finnischer Methode | | g/kWh_{th} | | |
| heutige Struktur | | 238 | 233 | 227 |
| Moorburg für Wedel | | 230 | 225 | 220 |
| Erdgas-GuD-Anlage statt Moorburg (1.250 GWh/a) | | 190 | 188 | 184 |
| Erdgas-GuD-Anlage statt Moorburg (1.450 GWh/a) | | 185 | 182 | 179 |
| Absolute CO₂-Emissionen der Fernwärme gem. Finnischer Methode | | kt / a | | |
| heutige Struktur | | 1.188 | 1.049 | 909 |
| Moorburg für Wedel | | 1.149 | 1.015 | 880 |
| Erdgas-GuD-Anlage statt Moorburg (1.250 GWh/a) | | 951 | 844 | 738 |
| Erdgas-GuD-Anlage statt Moorburg (1.450 GWh/a) | | 923 | 820 | 718 |
| Minderung der absoluten CO₂-Emissionen der Fernwärme gem. Finnischer Methode | | kt / a | | |
| heutige Struktur -> Moorburg für Wedel | | -39 | -34 | -29 |
| heutige Struktur -> Erdgas-GuD statt Moorburg (1.250 GWh/a) | | -237 | -204 | -171 |
| heutige Struktur -> Erdgas-GuD statt Moorburg (1.450 GWh/a) | | -265 | -229 | -192 |

Der Ersatz des HKW Wedel durch das HKW Moorburg würde – auf Basis der Finnischen Methode – lediglich zu Emissionsminderungen von 30.000 - 40.000 Tonnen CO₂ pro Jahr führen. Ursache hierfür ist, dass das HKW Moorburg nur über eine im Vergleich zu seiner Gesamtleistung geringe Wärmeauskopplung verfügt und als Brennstoff unverändert Steinkohle eingesetzt wird.

Würde dagegen Wedel durch ein in der Größe auf die Wärmeerzeugung abgestimmtes GuD-HKW ersetzt, ließen sich – je nach angenommenem Fernwärmeabsatz, insgesamt und durch das Heizkraftwerk selbst – 170.000 - 270.000 Tonnen CO₂ pro Jahr einsparen im Vergleich zur heutigen Situation.

Es wird öfter argumentiert, dass die Verursacherbilanz und die Finnische Methode den wahren CO₂-Minderungen nicht gerecht werden. Eine ausführliche Darstellung der Begründung für diese Vorgehensweise findet sich im Basisgutachten.

Zum Vergleich sind in Tabelle 2 auch die Werte wiedergegeben, die sich aus einer Quellen-Bilanzierung ergeben würden:

Tabelle 2: CO₂-Emissionen des HKW Wedel und eines möglichen Erdgas-GuD-HKW gemäß Quellenbilanz.

| Absolute CO ₂ -Emissionen gemäß Quellenbilanz | kt/a |
|--|---------------|
| HKW Wedel | 1.400 - 1.500 |
| Erdgas-GuD-Heikraftwerk | 600 - 800 |

Demgemäß ergibt sich eine Reduzierung der gesamten CO₂-Emissionen für die Wärme- und die Stromproduktion um rund 50%.

Es muss aber erwähnt werden, dass die Emissionen des HKW Wedel in der Quellenbilanz dem Land Schleswig-Holstein zugerechnet werden, während die Emissionen eines neuen Kraftwerks je nach Standort entweder Hamburg oder wiederum Schleswig-Holstein zugerechnet würden.

Weiter ist zu berücksichtigen, dass in einer umfassenden Quellenbilanzierung für ganz Hamburg auch das Kraftwerk Moorburg zu berücksichtigen wäre. In diesem würden die CO₂-Emissionen reduziert, wenn keine Wärme ausgekoppelt, sondern nur Strom erzeugt wird.

2.2 Wärmespeicher

Der eigentlich innovative Teil des „Innovationskraftwerks“ ist der Wärmespeicher, der zum einen die (finanzielle) Entkopplung von Strom- und Wärmeproduktion ermöglichen soll und zum anderen einer verbesserten Integration von Strom aus erneuerbaren Energien in das Gesamtsystem dienen soll.

2.2.1 Füllung des Speichers mit Hilfe von Strom aus erneuerbaren Energien

Zunächst wird der (einfachere) Fall betrachtet, dass der Speicher mit Strom aus erneuerbaren Energien aufgeladen wird.

Gemäß Angaben von Vattenfall soll der Speicher ein Volumen von 30.000 m³ haben. Bei einer spez. Wärmespeicherung von 0,07 MWh/m³ ergibt sich ein maximaler Wärmeinhalt von 2.100 MWh (vgl. Tabelle 3). Bei einer Wärmeabgabe von 200 MW_{th} ergibt sich eine maximale Lieferdauer aus dem Speicher von 10 Stunden.

Unterstellt man nun, dass zunächst rund 15 Mal im Jahr eine Situation auftritt, in der mehr Strom aus erneuerbaren Energien verfügbar ist, als nachgefragt wird, dann ergibt sich eine jährliche Wärmelieferung aus dem Speicher von 32 GWh.

Tabelle 3: Daten des Wärmespeichers.

| Wärmespeicher | | |
|---|--------------------|--------|
| Größe des Speichers | m ³ | 30.000 |
| spez. Speicherung | MWh/m ³ | 0,07 |
| max. Wärmeinhalt des Speichers | MWh | 2.100 |
| | | |
| Anzahl Zyklen | 1/a | 15 |
| Dauer der Zyklen | h | 10,5 |
| Wärmeleistung | MW_th | 200 |
| | | |
| jährliche Wärmelieferung aus dem Speicher | GWh/a | 32 |

Die mögliche CO₂-Minderung ergibt sich unmittelbar, indem die gelieferte Wärmemenge mit den spezifischen CO₂-Emissionen der vermiedenen sonstigen Fernwärmelieferung in Höhe von 180-190 g/kWh multipliziert wird. Je Einsatzperiode ergibt sich so eine CO₂-Minderung von 400 t. Bei anfänglich 15 Einsatzperioden im Jahr erhält man so eine Einsparung von rund 6.000 t CO₂ pro Jahr. Dieser Wert kann sich im Laufe der Zeit deutlich erhöhen, wenn mehr Stunden auftreten, in denen mehr Strom aus erneuerbaren Energien produziert wird als unmittelbar genutzt werden kann. Zudem sei betont, dass es sich hier um ein Pilotprojekt handelt, dass im Erfolgsfalle noch deutlich ausgebaut werden kann.

Es ist allerdings auch zu berücksichtigen, dass die geplante elektrische Ladeleistung um einen Faktor 3 bis 10 kleiner ist als die abzugebende Wärmeleistung. Das heißt, die Zeit, um den Speicher auf diese Weise zu laden und somit auch die Zeit, in der ein Überschuss an Strom aus erneuerbaren Energien vorherrscht, muss zwischen 30 und 100 Stunden am Stück oder mindestens in zeitlicher Nähe liegen.

Für die Quellenbilanz sind zwei Fälle zu unterscheiden: Wenn die GuD-Anlage aufgrund der Wärmelieferung aus dem Speicher überhaupt nicht läuft, dann entfallen ihre gesamten Emissionen und die Emissionsminderung würde sich auf 1.600 t je Einsatzperiode belaufen. Diese Minderung wirkt sich aber nur in der lokalen Quellenbilanz, z.B. für Hamburg, aus, weil der fehlende Strom an einem anderen Ort erzeugt werden muss.

Wenn die GuD-Anlage dagegen weiterhin Strom erzeugt, dann entfallen nur die Mehrmissionen aus der Wärmeproduktion in Höhe von rund 300 t je Einsatzperiode.

Es ist schwer abzuschätzen, welcher Fall wie häufig auftreten würde. Nimmt man daher an, dass beide jeweils zu 50% vorkommen, dann ergäbe sich eine mittlere jährliche CO₂-Einsparung in der lokalen Quellenbilanz von rund 14.000 t pro Jahr.

Alternativ zu dem hier beschriebenen Vorgehen könnte der Elektroheizer, der den Speicher befüllt auch direkt zur Bereitstellung von Fernwärme eingesetzt werden. Auch ein kombinierter Einsatz von Speicher und Heizer ist vorstellbar. Mit Ausnahme ggf. vermiedener Verluste im Speicher wären die Minderungen von CO₂-Emissionen jedoch gleich hoch wie im beschriebenen Fall.

2.2.2 Füllung des Speichers mit Fernwärme

Wesentlich komplexer ist die Rechnung für den zweiten Fall. Dabei wird der Speicher nicht direkt mit dem überschüssigen Strom aufgeheizt, sondern der Speicher wird bei Vorliegen einer entsprechenden Prognose für die Stromproduktion aus erneuerbaren Energien vorher mit Hilfe von ausgekoppelter Wärme aus dem GuD-Kraftwerk aufgeladen. Wenn dann die Situation eintritt, dass mehr Strom aus erneuerbaren Energien verfügbar ist, als benötigt wird, muss die GuD-Anlage nicht zur Wärmeproduktion laufen. Sie wäre in dem Fall nämlich sonst eine sogenannte „Must run“-Anlage im Strommarkt, was dazu führen würde, dass mehr Wind- und PV-Anlagen abgeschaltet werden müssten als wenn die Anlage nicht betrieben wird.

In der Verursacherbilanz treten keine Veränderungen der Emissionen auf, da hier nur die Wärmeproduktion relevant ist. Diese erfolgt in beiden Fällen mit Hilfe der Auskopplung aus dem GuD-Kraftwerk, nur zu unterschiedlichen Zeiten. Wenn man die Verluste des Wärmespeichers noch in Betracht zieht, dann sind die Emissionen der vorproduzierten Wärme geringfügig höher als bei direkter Nutzung.

Für die Quellenbilanz ist folgende Überlegung anzustellen (vgl. Tabelle 4): Im Basisfall wird Strom zum Zeitpunkt A im Kraftwerk X produziert. Zum Zeitpunkt B werden Strom und Wärme von der GuD-Anlage erzeugt. Wenn diese Wärme vorproduziert und gespeichert werden soll, dann läuft die GuD-Anlage bereits zum Zeitpunkt A. Zum Zeitpunkt B wird der Strom dann aus erneuerbaren Energien bereitgestellt und die Wärme aus dem Speicher bezogen. Wenn man die Speicherverluste in erster Näherung vernachlässigt, dann heben sich die Emissionen der GuD-Anlage zum Zeitpunkt A und B auf. Bei der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien zum Zeitpunkt B fallen keine (klimarelevanten) CO₂-Emissionen an. Die CO₂-Einsparung ist also äquivalent zu den Emissionen des Kraftwerks X zum Zeitpunkt A.

Tabelle 4: Bilanzierung für die Vorproduktion von Wärme.

| | Zeitpunkt A | Zeitpunkt B |
|-------------------------|---|--|
| Basisfall | Kraftwerk X | GuD-Anlage produziert Strom und Wärme |
| Vorproduktion von Wärme | GuD-Anlage produziert Strom und Wärme, die gespeichert wird | Strom aus erneuerbaren Energien / Wärme aus dem Speicher |

Somit verbleibt die Aufgabe, zu bestimmen, welches Kraftwerk X zu jeweiligen Zeitpunkt verdrängt wird. Dies lässt sich nur mit Hilfe umfangreicher Simulationen herausfinden. Daher sollen hier zum Zweck einer groben Abschätzung nur die Extremfälle beschrieben werden.

Zunächst muss aber die Strommenge bestimmt werden, die ersetzt wird. Da die GuD-Anlage eine Leistung von $400 \text{ MW}_{\text{el}}$ hat, die Speicherbeladung aber mit höchstens $200 \text{ MW}_{\text{th}}$ erfolgt,¹ werden mit jeder Einheit Wärme rund 2 Einheiten Strom erzeugt.

Im günstigsten Fall wird die Stromproduktion aus einem (alten) Kohlekraftwerk verdrängt, im ungünstigsten diejenige aus einer andere GuD-Anlage.

Werden $2 \times 10 \text{ h} \times 200 \text{ MW}$ Stromerzeugung aus einem Kohlekraftwerk ($1000 \text{ g CO}_2/\text{kWh}$) verdrängt, dann entspräche dies rund 4.000 t CO_2 je Einsatzfall oder, bei anfänglich angenommenen 15 Einsätzen im Jahr, rund 60.000 t CO_2 pro Jahr.

Wird dagegen Stromerzeugung aus einem anderen GuD-Kraftwerk (350 g/kWh) verdrängt, dann beträgt die CO_2 -Minderung nur 1.400 t je Einsatzfall bzw. 21.000 t pro Jahr.

Nimmt man an, dass die beiden Extremfall im Mittel je zur Hälfte auftreten, dann beträgt die CO_2 -Minderung in der Quellenbilanz rund 40.000 t im Jahr.

Es sei noch darauf hingewiesen, dass die geplante Lösung mit einem größeren GuD-Kraftwerk hinsichtlich der CO_2 -Emissionen einer Lösung mit vielen kleinen KWK-Anlagen, die in das Netz einspeisen, vorzuziehen ist. Grund dafür ist der wesentlich höhere stromseitige Wirkungsgrad einer größeren Anlage. Zudem sind die kleineren Anlagen in ihrem Betrieb durch den jeweiligen lokalen Wärmebedarf eingeschränkt, so dass sie zu deutlich geringeren Nutzungszeiten kommen als eine größere Anlage. Aus diesem Grund sind sie als verlässlicher Backup in Zeit geringer Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien nur bedingt tauglich. Da das GuD-Kraftwerk auch mit reiner Stromerzeugung betrieben werden kann, ist es als Backup-Anlage überlegen.

Abschließend sei angemerkt, dass bei der Beurteilung des geplanten Wärmespeichers nicht die (momentane) CO_2 -Minderung im Vordergrund stehen sollte. In einem künftigen System, das vorrangig auf erneuerbaren Energien basiert, ist diese Betrachtung nicht länger relevant. Bei dem Speicher geht es vielmehr darum, einen möglichen Weg zu testen, die Integration fluktuierender / dargebots-abhängiger Energiequellen in das Gesamtsystem zu verbessern oder erst zu ermöglichen.

¹ Im Unterschied zur elektrischen Ladung kann die thermische Ladung des Speichers mit derselben Leistung erfolgen wie die Entladung, da hier derselbe Wärmetauscher genutzt wird.