

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 80 (1962)
Heft: 21

Artikel: Ein Jahr Betriebsbewährung der Müllverbrennungsanlage Helsinki
Autor: Tanner, R.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-66159>

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: 15.03.2025

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

Ein Jahr Betriebsbewährung der Müllverbrennungsanlage Helsinki

DK 628.492

Von R. Tanner, dipl. Ing., Zürich

1. Beschreibung

Die Müllverbrennungsanlage der Stadt Helsinki ist zur Zeit die modernste in Betrieb befindliche Anlage dieser Art. Sie wurde durch das Stadtbauamt Helsinki gebaut. Dieser Stelle untersteht auch der Betrieb der Anlage. Ihr Zweck ist die hygienische Vernichtung des Mülls. Die bei der Verbrennung frei werdende Wärme dient zum Heizen von Abhitze-kesseln, deren Dampf teils an umliegende Industrien abgegeben, teils dem ausgedehnten städtischen Fernheiznetz zugeführt wird.

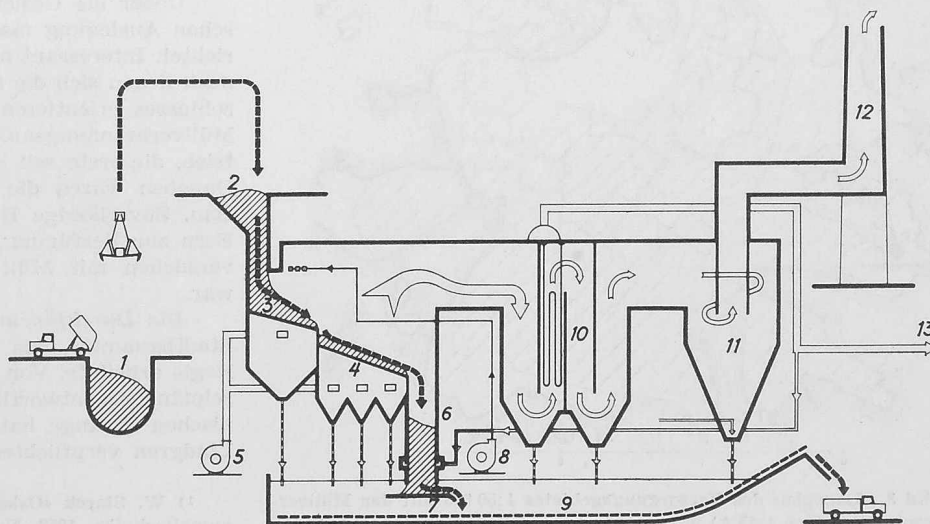
Die *Arbeitsweise der Anlage* geht aus dem Schema (Bild 1) hervor. Die Sammelfahrzeuge kippen den Müll in den Müllbunker, der ein vollständig geschlossenes Gebäude darstellt. Aus ihm wird die Verbrennungsluft für die Oefen abgesogen, was den Austritt von Staub oder üblen Gerüchen verhindert. Ein Zweischalengreifer fördert den Müll vom Bunker in die Fülltrichter der Oefen. Die Steuerung des Greifers mit zugehörigem Kran erfolgt von einer festen, verglasten, von aussen belüfteten Krankabine aus. Im Bunkerraum hat somit niemand zu arbeiten. Vom Fülltrichter gelangt der Müll über den senkrechten Füllschacht auf den Vortrocknungsrost. Die Müllsäule im Füllschacht verbürgt den luftdichten Abschluss des Ofeninneren gegen aussen, während der Vortrocknungsrost dazu dient, den frischen Müll unter dem Einfluss der Strahlung zu trocknen und zu zünden. Die eigentliche Verbrennung findet auf dem nachfolgenden Hauptrost statt, den der Müll in Form von glühender Schlacke verlässt. Vortrocknungs- und Hauptrost sind mechanische Treppenvorschubroste mit stufenlos verstellbarer Fördergeschwindigkeit. Sie sind in verschiedene Zonen unterteilt, die mit kalter Verbrennungsluft beschickt werden. Da die vom Hauptrost fallenden Schlacken erfahrungsgemäss noch beträchtliche Anteile an unverbranntem Kohlenstoff in Form von Kohle, Koks usw. enthalten, folgt auf die Roste ein sogenannter Schlackengenerator. Das ist ein senkrechter, wassergekühlter Schacht, in welchem sich die Schlacke staut. An seinem Fuss wird ein Gemisch von Luft und Dampf eingeblasen, welches den noch vorhandenen Kohlenstaub vergast und/oder verbrennt. Damit erreicht man eine bessere Wärmeausbeute und eine gut ausgebrannte Schlacke. Der Inhalt des Schlack-

kengenerators ruht auf einem im Wasser des Schlackenkanales befindlichen Tisch, über welchen die Generatorkette gleitet. Dadurch wird die unterste Schicht der Schlackensäule laufend weggefördert. Sie fällt auf die Austragkette, die auf dem Grunde des Schlackenkanales läuft und zugleich mit der Schlacke sämtliche Rostdurchfälle sowie die Asche aus den Kesseltrichtern und dem Staubabscheiderzyklon austrägt. Auf diese Weise ist die Entaschung der gesamten Anlage auf äusserst einfache und betriebssichere Art gelöst. Für die Füllung des Schlackenkanales, die Aschepfaltung usw. konnte auf Grund von Erfahrungen bedenkenlos Meerwasser verwendet werden, das in unmittelbarer Nähe verfügbar ist. Die den Ofen verlassenden Feuergase haben eine Temperatur von 800 bis 1000° C. Sie werden im nachgeschalteten Abhitze-kessel bis auf etwa 250° C abgekühlt. In der Anlage in Helsinki wurden zum ersten Mal Eckrohr-Kessel verwendet, da sich dieses System durch wirtschaftliche Bauweise und gute Zugänglichkeit der Heizflächen auszeichnet, was zwecks Reinigung und Reparaturen vorteilhaft ist. Jeder Kessel umfasst Verdampfer- und Ueberhitzer-Heizflächen, aber noch keinen Vorwärmer. Dessen nachträglicher Einbau ist jedoch vorgesehen. Der Wassermantel des Schlackengenerators ist dem Kessel angeschlossen; er steht somit unter Kesseldruck und ähnelt in seinem Aufbau einer Feuerbüchse. Die Reinigung der Rauchgase erfolgt in je einem Zyklon pro Kessel, worauf die Gase in den Schornstein geleitet werden.

Die *Bemessung der Anlage* geschah nach folgenden Gesichtspunkten: Es wurden vorderhand zwei Einheiten Ofen-Kessel für eine Normalleistung von je 200 t Müll/24 h aufgestellt; eine dritte Einheit ist vorgesehen. Damit kann die anfallende Müllmenge während der Arbeitszeit der Industrie (werktags zwei Schichten) verbrannt werden. Diese Forderung wurde im Hinblick auf den Wärmeverkauf gestellt. Ueber den Heizwert des Mülls gab es zur Zeit der Projektierung nur wenige Anhaltspunkte; auf Grund von zur Verfügung stehenden Untersuchungen rechnete man mit 1000 bis 1400 kcal/kg. Bekannt war, dass sich der Heizwert des skandinavischen Mülls vor allem auf Zellulose-Bestandteile stützt. Das ist auch ein Grund für das im Vergleich zu mitteleuro-

Bild 1. Müllverbrennungsanlage der Stadt Helsinki, Arbeitsschema

- 1 Müllbunker
- 2 Fülltrichter der Oefen
- 3 Vortrocknungsrost
- 4 Hauptrost
- 5 Unterwindgebläse
- 6 Schlackengenerator
- 7 Generatorkette
- 8 Generatorluft-Gebläse
- 9 Schlackenkanal
- 10 Dampfkessel
- 11 Zyklon
- 12 Kamin
- 13 Fernleitung für überhitzten Dampf zum Elektrizitätswerk



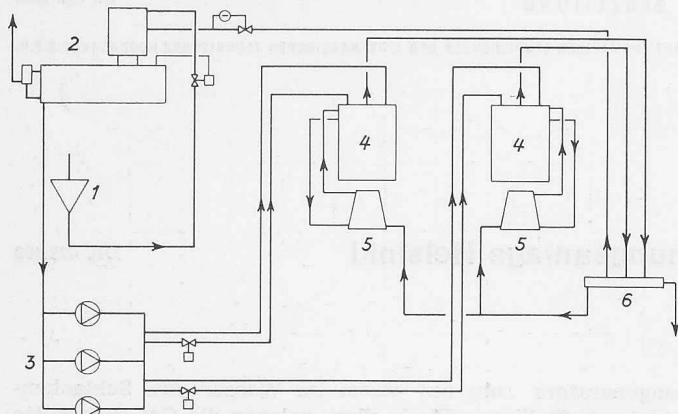


Bild 2. Thermisches Schema

- 1 Basenaustauscher für Speisewasser
- 2 Speisewasserbehälter mit Entgaser
- 3 Speisewasserpumpen, davon zwei mit elektrischem Antrieb, die dritte mit Dampfturbinenantrieb
- 4 Eckrohr-Abhitzekessel
- 5 Schlackengenerator mit wassergekühltem Mantel
- 6 Dampfsammler

päischem Müll sehr geringe Raumgewicht von 90 bis 150 kg/m³. Diese Tatsache musste bei der Bemessung der Greifer und Krane sowie des Bunkerinhalts besonders berücksichtigt werden.

An die Wärmeausnutzung wurden für die erste Ausbaustufe keine übertriebenen Forderungen gestellt. Man tat das in der richtigen Ueberlegung, dass die Anlage in erster Linie ihrem Hauptzweck, der Müllverbrennung, dienen und deshalb einfach und betriebssicher sein müsse.

So wurde vorläufig auf die Aufstellung von Vorwärmern verzichtet und damit bewusst eine hohe Abgastemperatur in Kauf genommen. Dadurch ist es möglich, die Kesselanlage samt Rauchgaszyklonen mit natürlichem Zug zu betreiben und Saugzuggebläse zu vermeiden. Für die vorgesehene Wärmeverwertung (Dampfabgabe an Industrie und

Fernheiznetz) genügt ein Dampfzustand von 14 ata und 250° C. Die maximale Dauerleistung der Kessel wurde in Berücksichtigung des Müllheizwertes zu je 15 t/h Dampf festgelegt. Da kein Kondensat zurückgespiessen wird, muss die gesamte Speisewassermenge aufbereitet werden. Für die genannten Dampfdaten genügt dafür eine Basenaustauscheranlage mit Entgaser. Aus Gründen der Einfachheit hat man auf die Ausnutzung der Wärme der Abschlämung verzichtet. Hingegen wurde nichts unterlassen, um der Besonderheit der Müllfeuerung Rechnung zu tragen, nämlich den stark und rasch schwankenden Gasmengen und Gas-Temperaturen. So ist jeder Kessel mit einer Dreikomponenten-Speisewasserregulierung und einer automatischen Regulierung der Heissdampf-temperatur ausgerüstet. Das thermische Schema ist auf Bild 2 dargestellt.

In bezug auf den Staubauswurf führten Betrachtungen über den Standort der Anlage gegenüber dem Stadtkern, die Hauptwindrichtung sowie die nähere Umgebung zum Entschluss, Einfachzyklone in Verbindung mit einem 100 m hohen Schornstein zu verwenden. Man hoffte auf diese Weise einen Reingasstaubgehalt unter 1 g/Nm³ zu erreichen. Bezüglich der Abwasserreinigung wurde der geräumige Schlackenkanal als genügend grosses Absetzbecken erachtet, so dass dessen Ueberlauf ohne weiteres ins Meer zurückgeführt werden konnte.

2. Baugeschichte

Die ersten Kontakte zwischen dem Bauamt der Stadt Helsinki und der Firma L. von Roll AG., Zürich, welche die Anlage projektiert und erstellt hat, gehen auf das Jahr 1953 zurück. In der Folge kam es zu einer Ausschreibung des Auftrages und zu einem harten Kampf gegen dänische und englische Konkurrenten. Der Vertrag, welcher die Firma von Roll als Generalunternehmer für die Lieferung der elektromechanischen Ausrüstung verpflichtete, trat am 1. Jan. 1958 in Kraft. Stadtgenieur W. Starck, der Leiter des städtischen Bauamtes, setzte sich mit diesem Bauvorhaben eingehend sowohl theoretisch¹⁾ als auch praktisch auseinander. Als sein direkt Beauftragter für den Bau amtierte sein Adjunkt L. Salmensaari, während der Betrieb der fertigen Anlage zu den Obliegenheiten des Leiters der Stadtreinigung, H. Saarento, gehört.

Die Planung legte den Standort der Anlage schon in einem sehr frühen Studium fest und zwar auf der Halbinsel Kyläsaari im NE der Stadt (Bild 3). Die Vorteile dieses Standortes sind: eine wesentliche Verkürzung der Anfahrwege für Müll gegenüber den weitab liegenden Abfuhrplätzen, eine billige Schlackenabfuhr, da die Schlacke zum Auffüllen der unmittelbaren Umgebung benützt werden kann, eine günstige Lage hinsichtlich des Dampfverkaufs (s. Bild 3) sowie des Staubauswurfs aus dem Schornstein (Hauptwindrichtung SE), weiter die Möglichkeit, den Schlamm der in unmittelbarer Nähe liegenden Kläranlage später zu verbrennen und schliesslich die einfache Wasserbeschaffung aus dem Meer.

Ueber die Gesichtspunkte, die bei der maschinentechnischen Auslegung massgebend waren, wurde schon oben berichtet. Interessant mag noch sein, die Vorbilder anzuführen, nach denen sich die Stadt Helsinki zur Zeit des Vertragsabschlusses orientieren konnte. Die durch von Roll gebauten Müllverbrennungsanlagen Bern und Brüssel standen in Betrieb, die erste seit drei, die zweite seit einem halben Jahr. Daneben waren die Anlagen Lausanne und Hamburg im Bau. Zuverlässige Betriebsergebnisse standen vor allem in Bern zur Verfügung, wo auch eine grosse Zahl von Brennversuchen mit Müll anderer Städte durchgeführt worden war.

Die Durchführung des Baues lag in den Händen des Stadtbauamtes, das mit städtischem Personal in eigener Regie arbeitete. Von Roll war für die Erstellung der Schlüsselpläne verantwortlich. Für die Betreuung der architektonischen Belange hatte sich die Stadt das Architekturbüro Lindgren verpflichtet und für die statischen Berechnungen

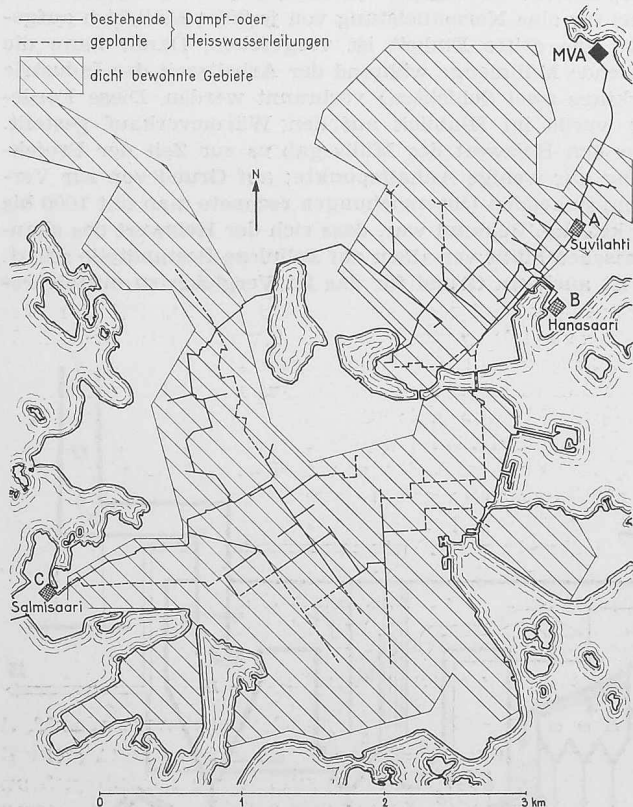
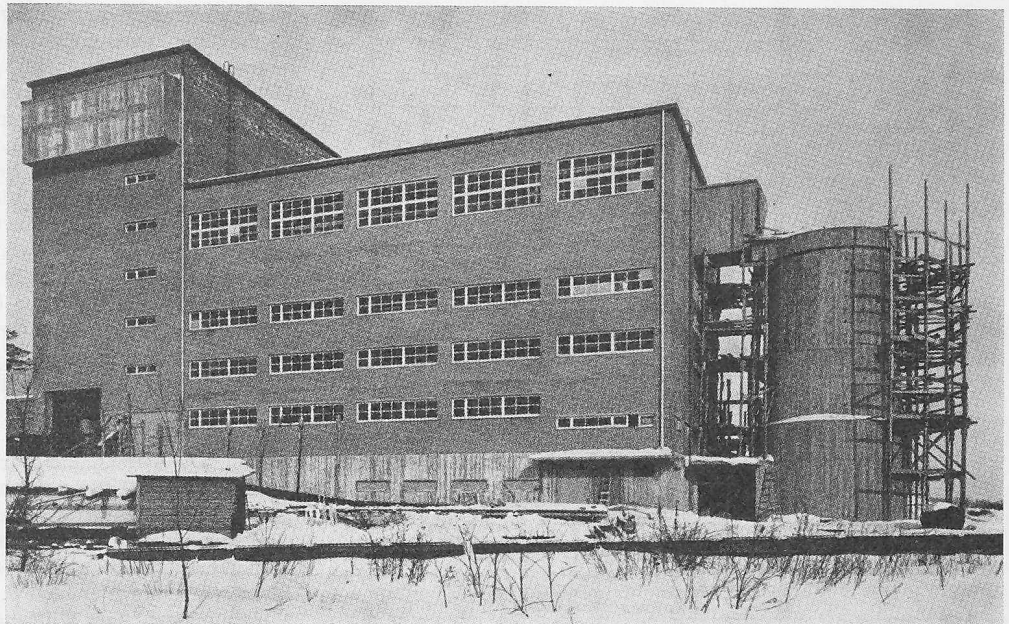


Bild 3. Lageplan des Versorgungsgebietes 1:50 000 mit der Müllverbrennungsanlage (MVA) und den drei Fernheizkraftwerken (A, B, C).

1) W. Starck «Oskadliggörandet av städernas avfall» in «Kommunalteknik», 1958, Nr. 2.

Bild 4. Müllverbrennungsanlage Helsinki. Links Müllbunker, in der Mitte das Kesselhaus, rechts der untere Teil des Hochkamins



das Ingenieurbüro Hansson, beide in Helsinki. Von Roll stellte sodann einen Ingenieur während 8 Monaten für die ständige Bauüberwachung. Die Arbeiten wickelten sich nach folgendem Zeitplan ab:

April 58: Lieferung der generellen Bauzeichnungen 1:100 für das Ausführungsprojekt durch von Roll. Juli 58: Lieferung der detaillierten Schlüsselpläne 1:50, 1:20, 1:5 mit Lastangaben durch von Roll. Oktober 58: Baubeginn. Juli 59: Fertigstellung des Gebäudes im Rohbau (Richtfest 25. Juli 59).

Es ist bemerkenswert, dass gemäss finnischer Praxis während des ganzen Winters 58/59 gebaut wurde (Bild 4). Das Gebäude ist ein Stahlbeton-Skelettbau, der mit Backsteinen ausgefacht ist. Es ist in Form und Aussehen an die etwa 500 m entfernte Kraftzentrale angepasst. Das ganze Gebäude gründet auf Fels. Die Sohle des Müllbunkers liegt bemerkenswerterweise unter dem Meeresspiegel. Der Schornstein ist gemäss finnischer Gepflogenheit in Backstein erstellt.

Die Montage des elektro-mechanischen Teiles, die zur Generalunternehmung von Roll gehörte, begann im Oktober 1959. Sie stand unter der Leitung eines Ingenieurs, der seinen ständigen Wohnsitz bis zur Schlussabnahme in Helsinki hatte. Abgesehen von drei eigenen Monteuren arbeitete er ausschliesslich mit finnischem Personal. Das verwendete Material konnte zum grösseren Teil in Finnland selbst beschafft werden; Spezialteile wurden aus der Schweiz, Deutschland und z. T. Belgien geliefert. Dank der rechtzeitigen Fertigstellung des Gebäudes samt Heizeinrichtung konnte die Montage in einem Zuge durchgeführt werden. Diesem Umstand ist es zu verdanken, dass die veranschlagte Montagezeit um fünf Monate verkürzt werden konnte. Das Trockenheizen des sehr umfangreichen Mauerwerks begann am 1. Februar 1961 und dauerte bis zum 23. März, wobei die Einhaltung des vorgeschriebenen Planes durch Temperatur-Messungen an zahlreichen Stellen überprüft wurde. Am 4. April begann der Betrieb mit Müll. Das durch die Stadt gestellte Betriebspersonal war zu diesem Zeitpunkt vollzählig verfügbar und wurde durch die Erstellerfirma geschult. Am 31. Mai fand die Uebernahme des Betriebes durch die Stadt Helsinki statt, nachdem die Anlage sich im regelmässigen Betrieb befand (Bild 5). Die Abnahmeversuche erfolgten vereinbarungsgemäss im Januar 1962; sie wiesen die Erreichung der zugesicherten Leistungsgarantien nach und ergaben z. T. wesentlich bessere Werte. Am 2. April fand die Schlussabnahme statt, womit die Garantiezeit für den Hauptteil des Materiales zu Ende ging.

3. Betriebsergebnisse

Bild 6 zeigt die wichtigsten Betriebsergebnisse, nämlich die verbrannte Müllmenge, die erzeugten und die über die Fernleitung abgegebenen Dampfmengen, die Betriebsstundenzahlen und die spezifische Verdampfung. Dazu sei folgendes bemerkt:

Während den ersten 14 Betriebstagen mussten die verschiedenen Elemente unter Feuer ausprobiert werden; statistische Aufzeichnungen hatten in jener Periode keinen Sinn. Anschliessend begann der regelmässige Betrieb; von da an wurden die erzeugten Dampfmengen laufend gemessen. Die verbrannte Müllmenge konnte erst nach Einbau der betreffenden Instrumente (12. Juni) gemessen werden.

Die Dampffernleitung zur Verbindung der neuen Anlage mit den Dampfableitern wurde anfangs Juli fertiggestellt.

Von da an sind auch Angaben über die abgegebenen Dampfmengen vorhanden. Der Unterschied zwischen erzeugter und abgegebener Dampfmenge rührt vom internen Verbrauch für die Gebäudeheizung, die Schlackengeneratoren und vor allem für die Aufwärmung des gesamten Speisewassers zwecks Entgasung (105° C) her.

Die Betriebsstundenzahlen richten sich nach den zu verbrennenden Müllmengen. Im allgemeinen wurde von Montag

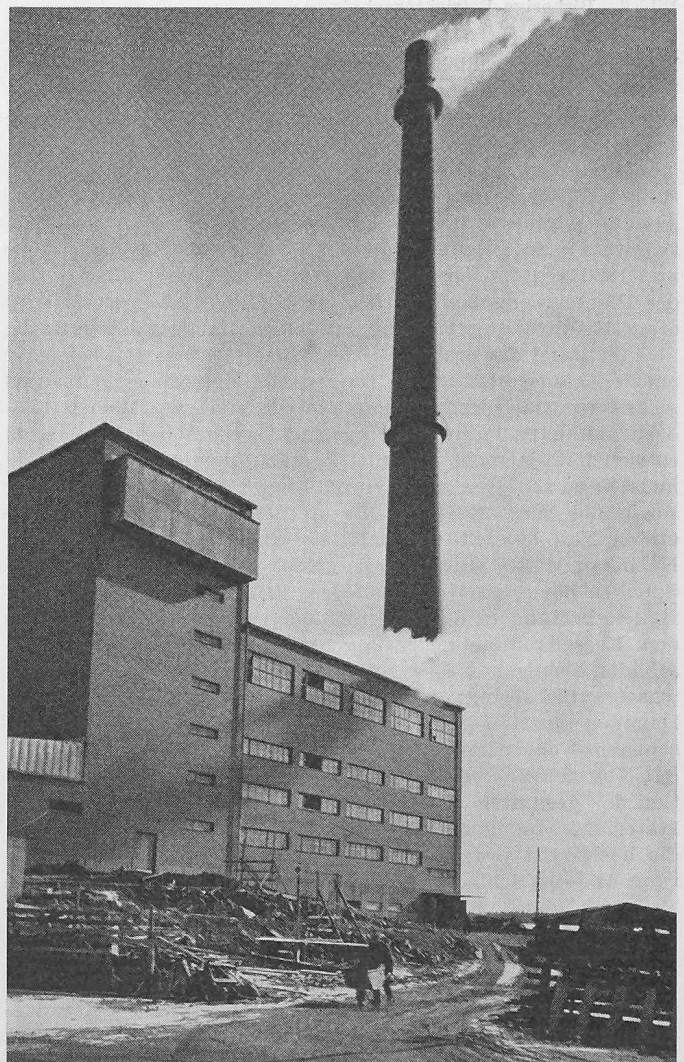


Bild 5. Ansicht der Anlage nach Fertigstellung des Hochkamins

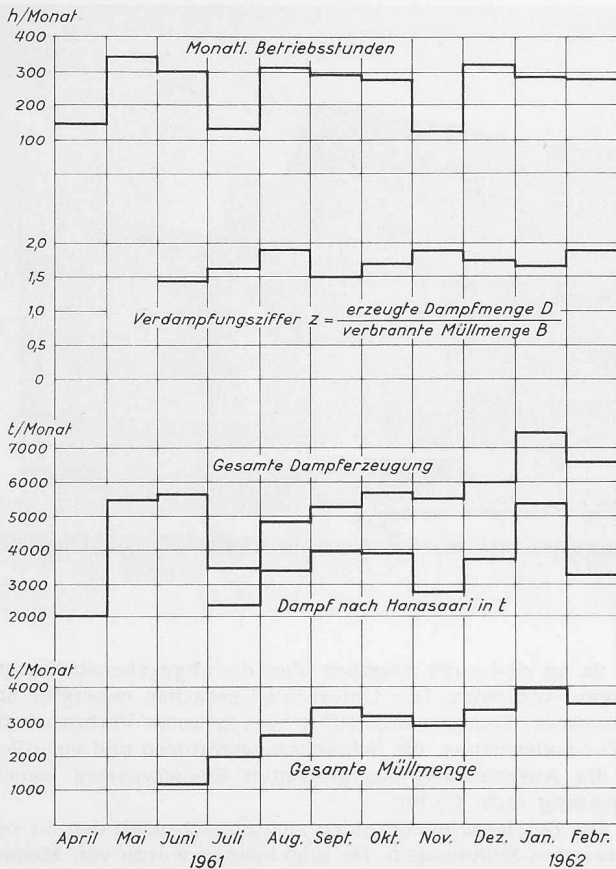


Bild 6. Bisherige Betriebsergebnisse

bis Freitag zweischichtig, am Samstag einschichtig gefahren. In das erste Betriebsjahr fallen auch verschiedene Anpassungs- und Abänderungsarbeiten, die Stillstände verursachten (s. unten).

Berechnet man den Müllheizwert auf Grund der spezifischen Verdampfungszahlen unter Benützung des durch die Abnahmeversuche ermittelten Gesamtwirkungsgrades (s. Abschnitt 4), so gelangt man zu Werten, die zwischen 1300 und 1800 kcal/kg liegen. Das ist erheblich mehr als zur Zeit der Planung angenommen wurde. Bei der Erweiterung wird diese Erfahrung gebührend berücksichtigt werden müssen.

Während des ersten Betriebsjahres traten, wie bei jeder neuen Anlage, kleinere Störungen auf, die Anpassungs- und Abänderungsarbeiten nötig machten. Von eigentlichen Kinderkrankheiten kann allerdings nicht gesprochen werden, da es sich hier ja nicht um eine Erstausrüstung handelte. Am meisten zu schaffen machten die Regulierung der Entgasung sowie die Wasserabscheidung in den Kesseltrommeln. Im ersten Fall handelte es sich um eine reine Regulierfrage. Nachdem diese einwandfrei gelöst war, fiel das lästige Spucken des Speisewassergefäßes weg. Eine zweite Schwierigkeit bestand in der ungenügenden Wasserabscheidung in den Kesseltrommeln; sie machte sich durch Ueberhitzer-schäden bemerkbar. Erst schloss man auf fehlerhafte Speisewasseraufbereitung; doch erwies sich diese als einwandfrei. Dagegen mussten in die Trommel besser durchgebildete Abscheiderbleche eingebaut werden.

Vor der Schlussabnahme fand eine eingehende Inspektion der gesamten Anlage statt, wobei sich ergab, dass das Material in tadellosem Zustand war. Das gilt besonders für die hoch beanspruchten Teile wie die Roste, die Ausmauerung und die Schlacken- und Generatorketten. Irgendwelche Teile mit abnormaler Abnutzung wurden nicht festgestellt.

4. Abnahmeversuche

Die Abnahmeversuche, die im Januar 1962 durchgeführt wurden, dienten zur Prüfung der abgegebenen Leistungs-garantien. Diese beziehen sich auf die Verbrennungsleistung, die brennbaren Rückstände in den Schlacken, den Regulierbereich der Feuerung und den Zustand der Abgase. Das Ver-

suchsprogramm wurde zwischen den Stadtbehörden und der Lieferfirma gemeinsam besprochen. Während der Versuche hatte von Roll die Leitung des Betriebes inne, während die Ueberwachung der Versuche dem unabhängigen Büro Ekono²⁾ oblag. Das Versuchsprogramm sah sehr umfassende Messungen vor, die weit über das hinaus gingen, was die nachzuweisenden Garantien erfordert hätten. Der Zweck dieser Massnahme war, ein möglichst lückenloses Bild der Arbeitsweise der Anlage zu gewinnen, so dass die Messergebnisse auf verschiedene Arten kontrolliert werden konnten. Das hat sich in der Folge als sehr wertvoll erwiesen, da der Brennstoff Müll mannigfaltige Unsicherheiten in sich birgt.

In bezug auf die *Verbrennungsleistung* lautete die Garantie auf eine Normallast von 200 t Müll/24 h mit einem Regulierbereich von 70 % (Teillast) bis 130 % (Ueberlast). Dementsprechend wurden drei Versuche durchgeführt, für welche Leistungen von 140, 200 und 260 t/24 h Müll vorgesehen waren. Da auf Grund der Vorversuche mit einem so hohen Heizwert des Mülls gerechnet werden musste, dass die maximale Dauerleistung des Kessels von 15 t/h Dampf überschritten worden wäre, entschloss man sich, den Müll für den Ueberlastversuch zu befeuchten. Daher rührt sein niedriger Heizwert beim Versuch 3. Infolge der dadurch verursachten Veränderung der Müllqualität konnten die vorgegebenen Durchsatzleistungen nur annähernd erreicht werden. Tabelle 1 zeigt die gemessenen Werte.

Die Erhebung der Müllproben erfolgte nach dem System von Roll⁴⁾, die Analyse der gezogenen Proben wurde parallel durch von Roll und VTT (Valtion Teknillinen Tutkimuslaitos) in Helsinki ausgeführt. Die Ergebnisse beider Laboratorien stimmen sehr gut überein. Die Werte der Tabelle 1 stellen das arithmetische Mittel der beiden Bestimmungen dar. In bezug auf die *brennbaren Rückstände in den Schlacken* wurden garantiert: weniger als 6 %, bezogen auf das Gewicht der trockenen Schlacke, wovon weniger als 0,5 % Verwesliches. Die Schlackenproben wurden ebenfalls parallel durch von Roll und VTT untersucht, wobei für das Unverbrannte übereinstimmende Zahlen gefunden wurden. Die in Tabelle 2 aufgeführten Werte stellen das arithmetische Mittel der Bestimmungen der beiden Laboratorien dar. Die Ermittlung des Verweslichen war im vorliegenden Fall bedeutend umständlicher. VTT war dafür nicht eingerichtet, und die bisher von Roll verwendete Methode EMPA (Kochen in heisser Natronlauge) versagte infolge der besonderen Schlackeneigenschaften. Die Bestimmung des Verweslichen, als Zellulose ausgedrückt, gelang schliesslich über die Wasserstoffbilanz.

Tabelle 1. Ergebnisse der Leistungsversuche

Versuch	H _u	A	W	B	M	M'	D
1	2072	20,5	30,24	49,2	110,4	55,2	10,1
2	1837	28,21	28,21	43,58	168,6	84,0	13,8
3	1176	23,38	44,7	31,92	276,0	138,0	13,9

Hierin bedeuten

H _u	unterer Heizwert des Mülls in kcal/kg	} Mittelwerte der Bestimmungen von Roll und VTT ³⁾
A	Aschegehalt des Mülls in %	
W	Wassergehalt des Mülls in %	
B	Gehalt des Mülls an Brennbarem in %	
M	Gewicht des verbrannten Mülls in t/24 h	
M'	Verbrannter Müll in % der Normalleistung (100 % = 200 t/24 h)	
D	Erzeugte Dampfmenge in t/h	

2) Föreningen för Kraft- och Bränsleekonomi, Helsingfors.

3) VTT. Valtion Teknillinen Tutkimuslaitos

4) siehe Dr. R. Häfeli: Durchführung einer Müllanalyse. «Mitteilungen des VGB (Vereinigung der Grosskesselbesitzer)», 1961, Heft 73.

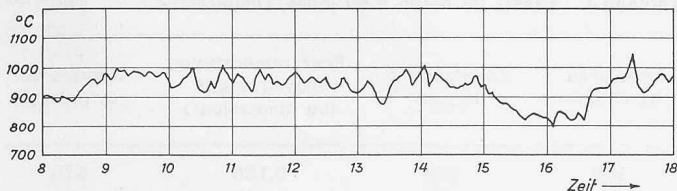


Bild 7. Rauchgastemperaturen in der Verbrennungskammer während des Ueberlastversuches vom 24. Jan. 1962

Die auf diese Weise vom Laboratorium von Roll gefundenen Werte finden sich in Tabelle 2.

Betreffend *Regulierbereich* war garantiert, dass sich die Anlage durch den Heizer leicht im Bereich von 70 bis 130 % der Normallast regulieren lasse. Der vorausgegangene Betrieb hat das eindeutig bewiesen; die während den Versuchen aufgenommenen Streifen der Verbrennungstemperaturen zeigen, dass diese ohne weiteres beherrschbar sind (Bild 7).

Der *Zustand der Rauchgase* wurde als frei von unverbrannten Anteilen und als «staubfrei» im Rahmen der Staubabscheidercharakteristik garantiert. Die Rauchgasanalysen, welche parallel durch von Roll, Ekono und Eidg. Materialprüfungsanstalt in Zürich (EMPA) durchgeführt wurden, ergaben vollständige Verbrennung, d. h. Fehlen von CO, C_nH_m, H₂ und CH₄. Die Staubmessung erfolgte durch die Firma Suomen Puhallintehdas O. Y. Sie erstreckte sich auf die Bestimmung des Staubgehaltes der Rauchgase vor und nach dem Zyklon bezüglich Menge und Korngrößenverteilung. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 summarisch aufgeführt und in Bild 8 mit der Garantiekurve verglichen.

Tabelle 2. Unverbranntes u und Verwesliches v in Prozenten der trockenen Schlacke

Versuch	u	v
1	6,11	0,16
2	4,235	0,164
3	4,805	0,138

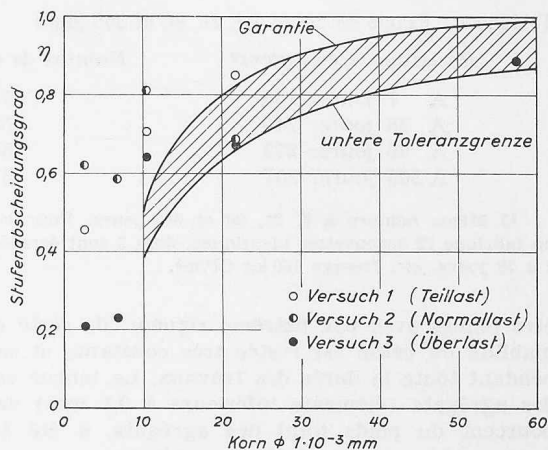


Bild 8. Gemessene Stufenabscheidungsgrade des Staubabscheider-Zyklons

Im Hinblick auf die Garantien kann festgestellt werden, dass diese überall erfüllt, ja zum Teil erheblich bessere Zahlen erreicht wurden.

Zum Schluss sei auf das gute Einvernehmen und die einwandfreie Zusammenarbeit zwischen Stadt und Lieferfirma hingewiesen, die wesentlich zum Gelingen dieses Werkes beigetragen haben.

Tabelle 3. Gemessener Entstaubungsgrad

Versuch	S ₁	S ₂	W
1	3,60	0,98	72,8
2	2,54	0,51	79,9
3	3,12	0,85	72,8

S₁ Rohgasstaubgehalt vor Zyklon g/Nm³
 S₂ Reingasstaubgehalt nach Zyklon g/Nm³
 W Gesamtentstaubungsgrad des Zyklons (S₁ - S₂)/S₁ in %

Adresse des Verfassers: R. Tanner, dipl. Ing., L. von Roll AG, Uraniastr. 31, Zürich 1.

L'aménagement hydro-électrique de la Gougtra

Les barrages de Moiry et de Tourtemagne — A. Le barrage de Moiry

par J.-P. Stucky, Ingénieur-Conseil, collaborateur au Bureau d'Ingénieurs A. Stucky, Lausanne

V. Problèmes d'exécution

Extraction et préparation des agrégats. Fabrication du béton. Les matériaux utilisés pour le béton ont été extraits de la moraine de Moiry, à 2350 m d'altitude, et transportés tels quels jusqu'au chantier, par une route de 4 km. Ils ont été concassés, lavés et triés dans une installation classique à laveuses rotatives, tamis vibrants, et à séparation hydraulique des sables. La tour à béton était équipée de 4 bétonnières à axe oblique, de 3 m³ chacune, et comprenait 9 balances au total, soit respectivement une pour le ciment, l'eau et l'entraîneur d'air et six pour les agrégats suivants:

0,1 à 1 mm	(préparation par voie hydraulique)
1 à 3,5 mm	(préparation par voie hydraulique)
3,5 à 10 mm	(tamis vibrants et jets d'eau)
10 à 30 mm	(tamis vibrants et jets d'eau)
30 à 70 mm	(tamis rotatifs et jets d'eau)
70 à 150 mm	(tamis rotatifs et jets d'eau)

Pour l'égouttage des sables, on a utilisé trois silos par calibre (0,1 à 1 mm, et 1 à 3,5 mm): un silo se remplissait de sable mouillé, le second, plein, était à l'égouttage, tandis qu'on vidait le troisième dont le sable avait été égoutté. On a ainsi pu abaisser l'humidité à 7,5 % pour le sable de 0,1 à 1 mm, et à 5 % pour celui de 1 à 3,5 mm. Il en est résulté

que la quantité d'eau contenue dans l'ensemble des agrégats ne dépassait pas les 60 % (± 10 %) de l'eau totale de gâchage nécessaire; cette circonstance assurait une régularité remarquable de la consistance du béton.

Granulométrie. Les courbes granulométriques effectives du béton devaient se situer, au besoin par modification des pesées, selon le tableau 2.

Grâce à la séparation des agrégats en 6 catégories, et par un jeu de concasseurs secondaires, ces limites ont pu

Tableau 2. Limites du fuseau granulométrique

Diamètre d des grains (mm)	Pourcentage des grains de diamètre inférieur à d	
	Limite inférieure	Limite supérieure
0,1	0	2
0,3	3	6
1	9	13
3	17	23
8	27	34
30	49	59
60	70	81
120	94	100
150	100	100