

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 100 (1982)  
**Heft:** 13

**Artikel:** Energiekonzept und Geruchsvernichtung  
**Autor:** Haerter, Alex / Unger, Kurt  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-74782>

### **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:** 08.02.2026

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

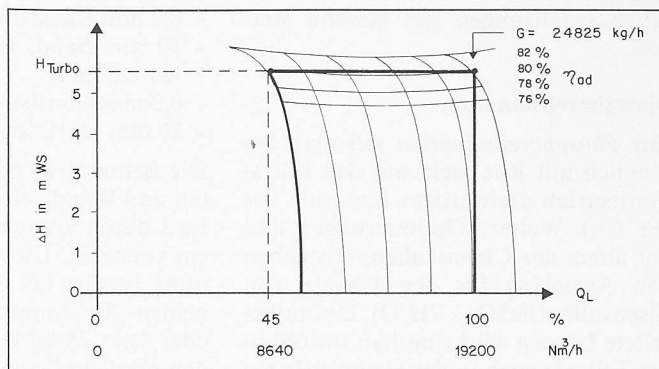
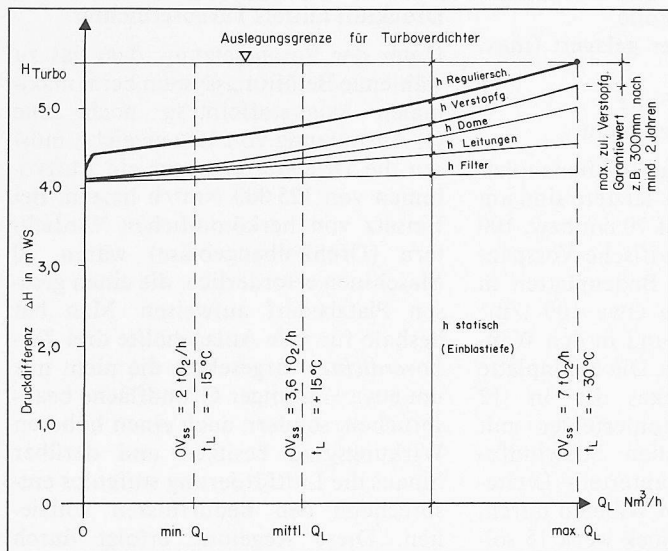


Bild 4b. Q-H-Kennlinien (Turboverdichter Typ KA 22 S)

Bild 4a. Druckverlust in Funktion der Luftliefermenge

dem eine gute  $O_2$ -Ausnützung von über 19% erreicht wird. Auch von der betriebstechnischen Seite her sind hohe Anforderungen an das Belüftungssystem zu stellen, gilt es doch – je nach Wahl des Fabrikates – zwischen 30 000 und 40 000 Dome zu unterhalten, die auf einem Bodenverteilungsnetz von etwa 20,5 km Länge montiert sind. Verstopfungen sollten deshalb nicht vor Ablauf von zwei Betriebsjahren einen Druckverlust von 300 mm übersteigen. Nebst wartungsfreundlichem Betrieb mit hoher Zuverlässigkeit sind auch gute Zugänglichkeit erwünscht. Letztere könnte durch *Einbetonieren der Bodenverteilungen* erreicht werden. Der Überbeton wird aber starken Temperaturdifferenzen ausgesetzt, her-

vorgerufen durch hohe Temperaturen der komprimierten Luft (bis 70 °C) und das kältere Abwasser. Zudem ist sein Kriech- und Schwindmass wesentlich grösser als dasjenige der vorgespannten Konstruktion.

Im weiteren müssen die auf einer Totalfläche von 12 700 m<sup>2</sup> verteilten Dome in ihrer Höhenlage exakt montiert werden, weil bereits bei kleinen Druckunterschieden die Luft nicht mehr gleichmässig ausströmt. Die äusseren Bedingungen bezüglich Korrosionsgefahr, Schlagunempfindlichkeit, Temperatureinflüsse (Dehnungswege) und Stabilität erfordern dementsprechendes Leitungsmaterial. Innerhalb der Becken gelangen mit Vorteil rostfreie Stahlrohre zur Anwendung.

#### Literaturverzeichnis

- [1] EAWAG. Abwasserreinigungsversuche für den Ausbau der ARA Werdhölzli, Nitrifikation. EAWAG-Bericht September 1975
- [2] EAWAG. Auswirkungen von abgesetztem Faulwasser auf die Nitrifikation. EAWAG-Bericht Januar 1976
- [3] EAWAG. Abschätzung der Sicherheit der Nitrifikation in der ARA Werdhölzli. EAWAG-Bericht Januar 1977
- [4] Poduska, R. A., und Andrews, J. F.: «Dynamics of nitrification in the activated sludge process». Journal Water Pollution Control Federation, 47, 2599, 1975
- [5] Ericsson, B.: «Nitrogen removal in a pilot plant». Journal Water Pollution Control Federation, 47, 727, 1975

Adresse des Verfassers: P. Morgenthaler, Bauing. SIA, Ingenieurbüro Kropf & Morgenthaler, Waldmannstr. 10, 8001 Zürich.

## Energiekonzept und Geruchsvernichtung

Von Alex Haerter und Kurt Unger, Zürich

### Konzeptrahmen

In der Kläranlage Werdhölzli soll das Energiekonzept [1] auf *verschiedenartigen Anforderungen* eingehen.

1. Energiebewusste Nutzung des Faulgases (Strom- und Wärmeenerzeugung)
2. Unterbrochslose Deckung des Notstrombedarfs
3. Geringe Abhängigkeit von Fremdwärmeenergie
4. Deckung der hochtemperaturigen Prozesswärme
5. Deckung des Heizbedarfs von Be-

triebsgebäuden

6. Geruchsvernichtung der in der Kläranlage gesammelten Geruchsabluft (Immissionsschutz)
7. Nutzung des Wärmepotentials Klärwasser offenlassen für spätere nachbarliche Überbauungen
8. Geringer Überwachungs- und Unterhaltsaufwand.

Dieser Anforderungskatalog verlangt, dass die verschiedenen Energieströme wo möglich miteinander zu verquicken sind, wobei auf die verschiedenen Temperaturniveaus (Bild 1) und möglichen zeitlichen Variationen (Bild 2) zu achten ist.

### Elemente des Energiekonzeptes

Die Optimalisierungsrechnungen wurden 1977/79 durchgeführt, Kostengaben basieren auf den damaligen Energie- und Installationspreisen.

#### Energieträger

##### Faulgasproduktion

Aus heutiger Sicht liegt die Produktionsspanne in einem  $\pm 30\%$ -Streubereich, und auch der Heizwert variiert im Bereich  $\pm 10\%$ . Mit einem mittleren Heizwert von 6,3 kWh/m<sup>3</sup> Gas und drei typischen Tagen fallen im Endausbau an Gasmenge und Energie die Werte der Tab. 1 an (auch Bild 2).

Bei Inbetriebnahme der Anlage werden generell 30% geringere Werte erwartet.

Das Gas wird *entschwefelt* auf 0,1 g/m<sup>3</sup>

zur Begrenzung der Korrosion in den Anlageteilen und der Immissionen.

Der vorhandene 10 000-m<sup>3</sup>-Niederdruckspeicher und neu hinzukommende Hochdruckspeicher können Schwankungen innerhalb Perioden von 1-2 Tagen ausgleichen.

Für die Konzeptoptimalisierung wird bei einem *allfälligen Verkauf* des Faulgases an die Kehrlichtverbrennungsanlage KVA Josefstrasse (Gasleitung besteht und wird heute so benutzt) von einem Erlös von 13 Rp/m<sup>3</sup> resp. 2,4 Rp/kWh ausgegangen. Das Faulgas kann aus technischen Gründen nicht in die benachbarte Erdgasverteilerzentrale Schlieren eingespiesen werden.

### Strombedarf

Die *Mindestleistung* zum Weiterbetrieb der Kläranlage bei Stromausfall liegt bei 700 kW und soll innert 1 Minute verfügbar sein. Der normale Leistungsbedarf liegt je nach Tages- und Jahreszeit im Bereich 4000-6000 kW.

Für die Optimalisierungsrechnung wird von mittleren Stromkosten gemäss bisheriger EWZ-Abrechnung von 10 Rp/kWh ausgegangen (gleichmässiger Strombezug über den Tag das ganze Jahr). Wird Überschussstrom aus einer Eigenproduktion in das Netz abgegeben, so schreibt das EWZ die anfallende Band- oder Nachtenergie mit 5-3 Rp/kWh gut.

### Erdgas oder Erdöl und Abwärmennutzung

Die Faulgasproduktion kann im Winter nicht ausreichen oder durch eine Vergiftung drastisch zurückgehen, und die Stromversorgung ab Netz kann ausfallen, so dass in solchen Fällen Erdgas oder Öl eingesetzt werden muss.

Der Gastarif für die Kläranlage wurde angesetzt zu 5,2 Rp/kWh als Verbraucherpreis und es würden jährliche Vorhaltegebühren von 140 000 Fr./a erhoben. Weil im Notstromfall auch die

Tabelle 1. Tagesanfall an Faulgas bzw. Energie

Tagesanfall	Menge		Energie	
	m <sup>3</sup> /d	m <sup>3</sup> /h	kWh/d	kW
normaler Tag	16 000	680	105 000	4400
mittlerer Tag	22 400	930	145 000	6000
maximaler Tag	29 300	1200	190 000	8000

Tabelle 2. Wärmebedarf gemäss Schlammanfall

Schlammanfall		Verbleibende Heizleistung nach Wärmeaustausch			
		Sommer		Winter	
		m³/d	kWh/d	kW	kWh/d
Minimum	780	20 000	830	33 000	1400
Mittel	1500	33 000	1360	57 000	2400
Maximum	2500	54 000	2250	90 000	3740

Erdgasversorgung ausfallen kann und die jährlichen Erdgas-Grundkosten relativ hoch sind, wird *nur Erdöl als Ersatzenergie* verwendet.

Bei einem Ölpreis von 70 Rp. pro kg Heizöl entsteht ein Energiepreis von 6 Rp/kWh. Wird das Heizöl als Motortreibstoff einer Heizkraftanlage verwendet, kommen lediglich 5,6% Warenumsatzsteuer dazu. Es ist eine Erdöl-Vorratshaltung von 100 000 l vorgesehen.

Zur Deckung von Heizlastspitzen kann auch die Wärmepumpe eingesetzt werden mit Prozessabwärme oder Klärwasser auf der Kaltseite.

### Wärmebedarf

#### Prozesswärmen

Mit dem Entscheid zur Frischschlamm-pasteurisierung entstand entsprechend

dem variablen Schlammanfall ein Wärmebedarf gemäss Tab. 2 bzw. Bild 2, wobei der Wärmerückgewinn zwischen pasteurisiertem und kaltem Schlamm bereits berücksichtigt ist.

Der Jahresenergiebedarf liegt im Bereich 10-26 Mio kWh/a, Verlauf nach Bild 2.

Zur Schlammwärmerung ist im Winter eine *Heizwasservorlauftemperatur* im Behälter von 95 °C erforderlich. Durch einen gestaffelten Betrieb der 3 Pasteurisierungsstrassen verläuft der Wärmebedarf über den Tag gleichmässig.

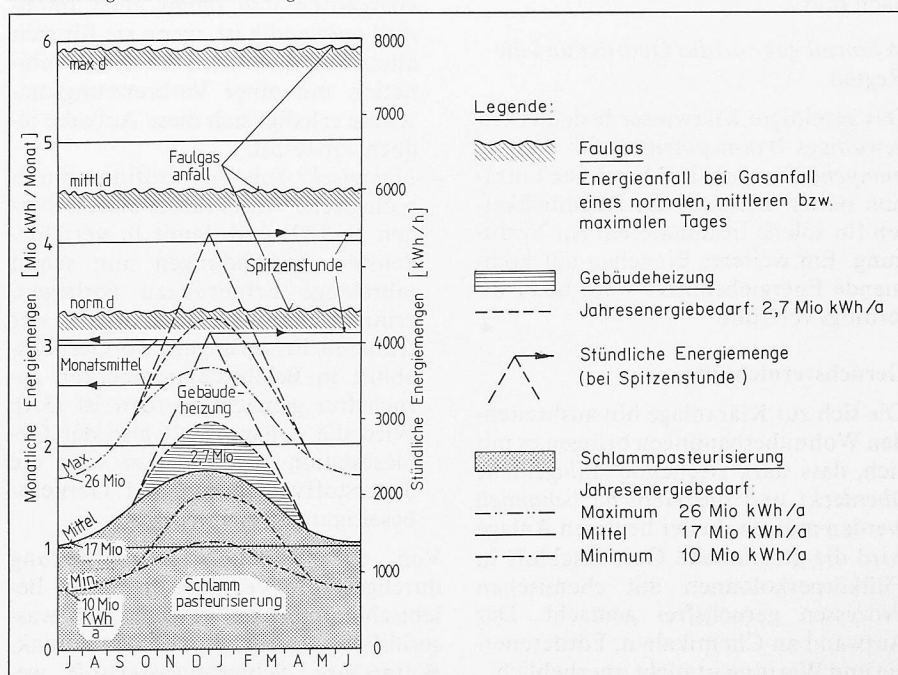
#### Heizung der Betriebsgebäude

Vorgesehen ist eine *Niedertemperaturheizung*; etwa 60% der Heizleistung wird von Luftheizungen erbracht und 40% sind statische Heizungen. Das *Verteilnetz* im ausgedehnten Areal der

Bild 1. Temperaturniveaus in °C der anfallenden und benötigten Energiemengen

Energie anfall	Temp. niveau	Energie bedarf
Faulgas, Erdöl	1000	Geruchsluft (Merkaptan)
Motoren abwärme	100	Schlamm-pasteurisierung
	90	
	80	Gebäude heizung
	70	
	60	
Schlammabwärme	50	
Gebäudeabwärme	30	
Klärwasser	20	
	10	

Bild 2. Energiemengen pro Stunde, im Monatsmittel und pro Jahr des Faulgasanfalls, für die Schlamm-pasteurisierung und Gebäudeheizung





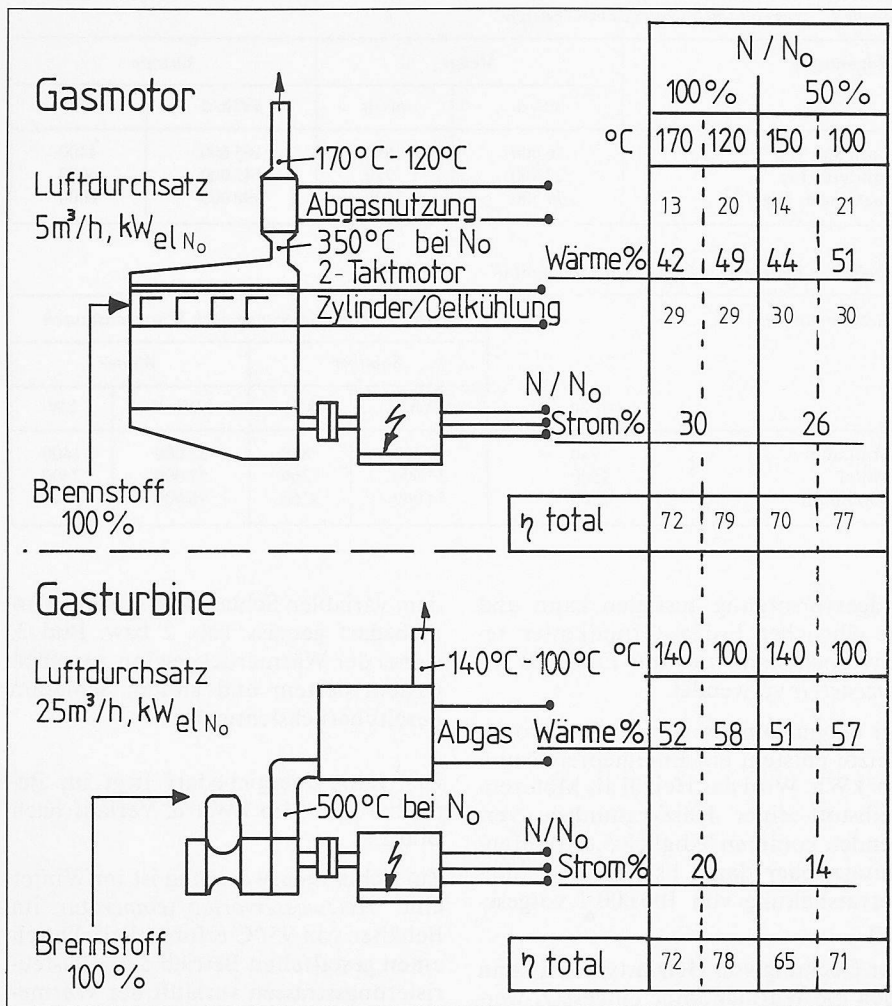


Bild 3. Energiebilanz zum Gasmotor und zur Gasturbine für Voll- und Halblast an der Welle, Temperatur-niveaus der Abwärmemengen

Kläranlage wird gleitend gefahren. Die wirtschaftliche Auslegung des Verteilnetzes verlangt, dass mit Vorlauftemperaturen bis zu 80 °C gearbeitet wird.

Bei -11 °C beträgt die totale Heizleistung 1700 kW. Der Jahresenergiebedarf liegt um 2,7 Mio kWh/a, Verlauf nach Bild 2.

#### Wärmeabgabe an das Quartier und die Region

Das gereinigte Klärwasser bedeutet ein gewaltiges Wärmepotential für Wärmepumpenheizungen. Im Areal der Filtration stehen allenfalls die Räumlichkeiten für solche Installationen zur Verfügung. Ein weiteres Eingehen auf kommende Energiebenutzer wäre heute allerdings verfrüht.

#### Geruchsvernichtung

Die sich zur Kläranlage hin ausbreitenden Wohnüberbauungen bringen es mit sich, dass stark riechende Anlagenteile überdeckt und die Gerüche behandelt werden müssen. In der heutigen Anlage wird die gesammelte Geruchsabluft in Füllkörperkolonnen mit chemischen Prozessen geruchsfrei gemacht. Der Aufwand an Chemikalien, Förderenergie und Wartung ist nicht unerheblich.

Der Betriebsaufwand wird minimal, wenn die Geruchsabluft in einen ohnehin ablaufenden Prozess eingeführt werden kann. Es gibt die beiden Möglichkeiten

- *thermisch*: Die Geruchsverbrennung ist eine gesicherte Methode, die aber energetisch und damit auch finanziell aufwendig ist, wenn sie für sich allein betrieben wird. In der Kombination mit einer Verbrennungsmaschine erledigt sich diese Aufgabe jedoch von selbst
- *biologisch*: Seit die Erdfilter durch biologische Waschtürme ersetzt worden sind [2] und damit in verschiedensten Anwendungen nun schon jahrelange Erfahrungen vorliegen, erinnert man sich auch wieder der früheren Erfahrungen, wo Geruchsabluft in Belebtschlammbecken geruchsfrei gemacht worden ist [3,4]. Wird die Anlageabluft also der Gebläsestation zugeführt, so wird die Sauerstoffversorgung und Geruchs-beseitigung in einem gelöst.

Von der Werdhölzli-Betriebsleitung durchgeführte Versuche in einem Belebtschlammbecken zeigten, dass wasserlösliche Gerüche wie Ammoniak, Buttersäure, Schwefelwasserstoff we-

sentlich besser abgebaut werden als wasserschwerlösliche Stoffe wie Mercaptan.

Gemäss dieser Unterscheidung entstehen an Geruchsabluft etwa 30 000 m³/h mit biologisch abbaubaren Gerüchen und etwa 20 000 m³/h mit zu verbrennenden Geruchsmolekülen. Darin eingeschlossen ist Abluft aus der kommenden Schlammmentwässerungsanlage. Die methanhaltige Abluft der Nacheindicker wird wegen Explosionsgefahr wie bisher direkt ins Freie entlassen. Diese Geruchsimmissionen sind jedoch vernachlässigbar.

#### Überwachung und Unterhalt

Grosser Wert ist auf einfache Anlagekomponenten zu legen, welche die ständigen Schwankungen im Betriebsablauf bei geringer personeller Überwachung störungsfrei verarbeiten können und die mit geringen Unterhaltsarbeiten auskommen. Die unterschiedlichen Aufwendungen werden in Prozenten der Installationskosten erfasst.

#### Energieumsetzer

##### Heisswasserkessel

Heutige Kessel und Brenner führen auf Jahreswirkungsgrade gegen 85%. Installationskosten für grosse Einheiten liegen um 100 Fr./kW. Der Unterhaltskostenansatz wird zu 3% vom Installationspreis angenommen.

##### Gasmotoren

Mit Klärgas betriebene Gasmotoren stehen seit Jahren im Einsatz. Der unbeständige Heizwert des Klärgases setzt den Motorventilen zu, so dass *ventillose 2-Takt-Maschinen* günstiger, aber auch teurer sind. Der Schwefelgehalt im Klärgas verursacht starke Korrosionsschäden im Auspuff-Wärmetauscher, wenn die Nutzung der Abgasabwärme zu weit getrieben wird [5].

Beim üblichen Kohlenstahlabhitzekeessel sollen 170 °C Abgastemperatur nicht unterschritten werden, bei einer Konstruktion in V2A-Stahl kann bis auf 120 °C abgekühlt werden. Die dann nutzbaren Energien, bezogen auf die vom Motor bezogene Brennstoffenergie, sind in Bild 3 für Voll- und Halblast angegeben.

In der Kläranlage Werdhölzli sind allerdings zwei der Bedingungen des Konzeptrahmens von entscheidender Bedeutung für die Motorwahl.

- Im Notstromfall muss der Gasmotor auch mit Erdöl betrieben werden können, es ist also ein *2-Stoff-Motor* zu wählen. Dieser arbeitet aber auch im Normalbetrieb mit einem Öl-Zündstrahl, der 10% der Motorlei-

stung ausmacht, d.h. der ständige Ölkonsum reduziert die Wirtschaftlichkeit spürbar. Der Zündstrahl wäre nicht nötig, wenn mit Propangas gefahren würde, doch ist im Vergleich zu Erdöl eine grössere Propan-Vorratshaltung zu aufwendig.

- Für das Pasteurisieren muss die *Heizwasservorlauftemperatur* ab Energiezentrale 110 °C betragen (Transportverluste, Regulierfähigkeit). Die Zylinder- und Ölkühlerabwärme fällt normalerweise bei einer Mitteltemperatur von 75 °C an, also zu tief. Durch eine Druckkühlung lässt sich zwar das Temperaturniveau auf 100 °C anheben, doch die Erfahrung lautet, dass ein solches Kühlsystem wartungsintensiv ist, und zudem führen die hohen Wandtemperaturen im Gasbetrieb oft zu Störungen [5].

Der Luftdurchsatz bei der hier gegebenen Motorgrösse ist relativ zur anfallenden Geruchsabluft klein, so dass der Gasmotor zur Geruchsabluftbehandlung wenig beitragen kann.

Die Installationskosten einer Gasmotor-Generatoreinheit mit Wärmerückgewinn von einigen hundert kW<sub>el</sub> liegen um 2000 Fr./kW<sub>el</sub> (1977). Der Unterhaltsaufwand wird zu 10% der Installationskosten angenommen.

#### Gasturbinen

Mit *Faulgas* betriebene Gasturbinen finden sich zurzeit in England und den USA. Industriemaschinen mit 2-Stoff-Brennkammern können auch variierende Faulgasqualitäten verarbeiten und unter Last von Gas- auf Ölbetrieb umgeschaltet werden. Mit *Erdöl* betriebene kleinere Einheiten stehen dort in Betrieb, wo die Abgasabwärme und der hohe Luftüberschuss erwünscht sind (z.B. Ziegelelektrolyseanlagen) oder wo hohe Betriebszuverlässigkeit entscheidend ist (Stromproduktion auf Erdölplattform, Notstromgruppen).

Das Ausfallrisiko ist vom Maschinen- aufbau her (Bild 4) wesentlich geringer als bei einem Gasmotor, wenn er den Bedingungen Gas- oder Ölbetrieb und Abwärme auf hohem Temperaturniveau genügen muss. Der 5mal grössere *Luftdurchsatz* gegenüber dem Gasmotor macht eine Verbrennung von Geruchsabluft möglich. Bei gleichem Schwefelgehalt im Brennstoff ist der *Schwefelsäure-Taupunkt* dank dem grossen *Luftüberschuss tiefer als beim Gasmotor*, entsprechend kann der *Abgasstrom stärker abgekühlt werden*.

Bild 3 zeigt die *Energieausnutzung* für Voll- und Halblast und zwei Temperaturniveaux; der mechanische Wirkungsgrad fällt rasch ab gegen Teillast, ein solcher Betrieb ist zu vermeiden. Die *Abwärmeausnutzung* ist grösser als

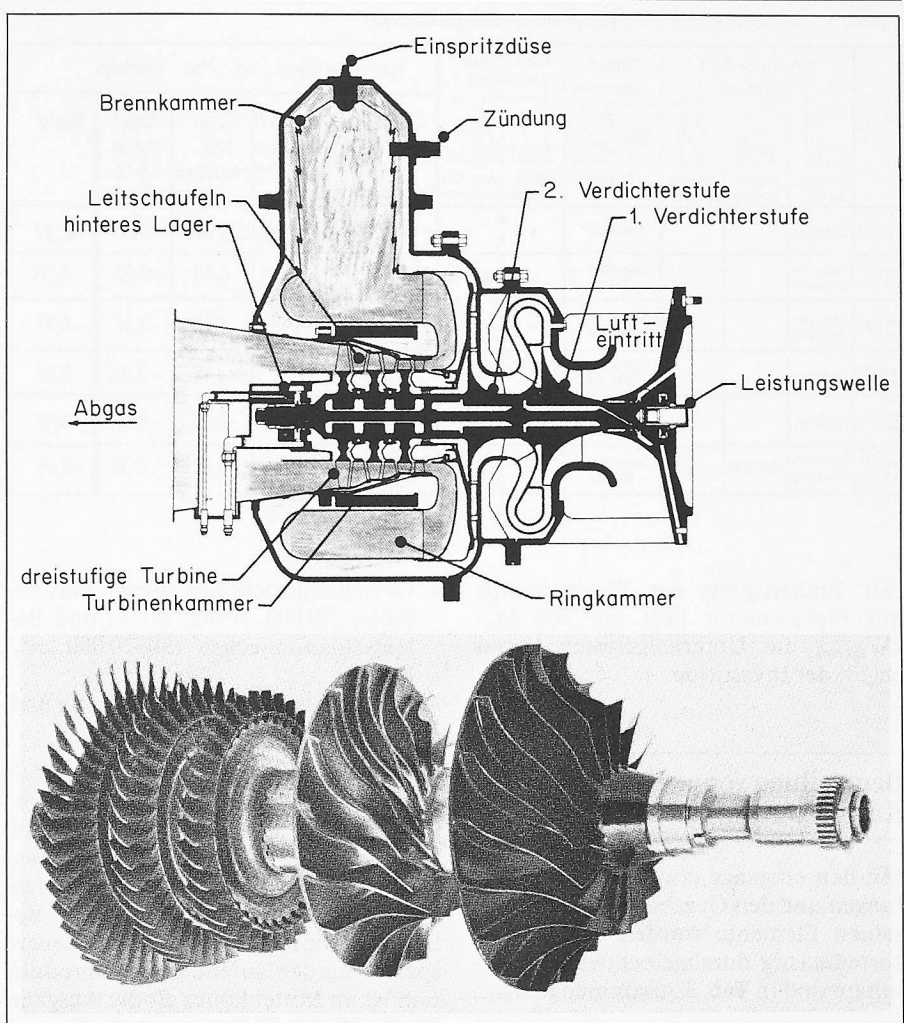


Bild 4. Schnitt durch Gasturbine, Ansicht der Verdichter-Turbinen-Einheit

beim Gasmotor und kann ohne zusätzliche Massnahmen auf dem benötigten hohen Temperaturniveau stattfinden. Die zugeführte Energie wird gesamthaft gleich gut ausgenützt wie beim Gasmotor. Die *Faulgasverdichtung* auf 15 bar braucht rund 1% der verfügbaren Faulgasenergie (für den Gasmotor sind 4 bar notwendig).

Der Einheitspreis der Gasturbine mit Wärmerückgewinn und Faulgasverdichter liegt bei einigen hundert kW<sub>el</sub> um 1600 Fr./kW<sub>el</sub> (1977). Der Unterhaltsaufwand wird zu 4% der Investitionskosten angenommen.

#### Wärmepumpe

Wärmepumpen können von Interesse sein für die Beheizung von *peripher gelegenen Bauten* und auch zur *Nutzung von Abwärmen*, z.B. Kompressoren- und Motoren-Abwärme der Energiezentrale. Sie können eine Spitzendeckung mit geringerem Fremdenergiebezug ermöglichen.

Die erreichbaren *Heizleistungen*, bezogen auf die Antriebsleistung an der Welle, sind für verschiedene Temperaturniveaux auf der Kälte- und Wärme-

Bild 5. Wärmemengen einer Wärmepumpe relativ zur Antriebsleistung für verschiedene Temperaturniveaux auf der Kalt- und Warmseite

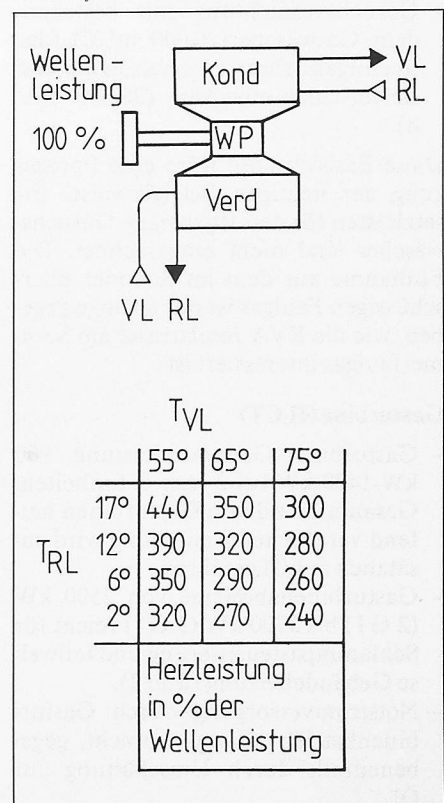




Tabelle 3. Kostenvergleich von 6 Varianten des Energiekonzepts

	Wärmebedarf			Strom Gasturbine	Geruchsvernichtung		Kostenvergleich in Mio Franken				
	Gas-Heizkessel	Wärmepumpe	Wärmetauscher		Belebtschlamm	best. Gaswäscher	Öl- Strom- kauf erparnis Resultierend	Aufwand Geruchs- vernicht.	Unter- halt Maschinen	Amorti- sation 6% 15a	Bilanz
I KO	Ständig			Notstrom	x	x	+0,08	-0,20	-0,04	-0,21	-0,37
II GT	Spitzen- deckung		x	Gasturbine 900 kW	x	Reserve	-0,71 +0,79 +0,08	0	-0,09	-0,30	-0,31
II GM	Spitzen- deckung		x	Gasmotor 1200 kW	x	x	-0,71 +1,05 +0,34	-0,20	-0,19	-0,32	-0,37
III GT	Reserve		x	Gasturbine 1600 kW	x	Reserve	-1,55 +1,40 -0,15	0	-0,12	-0,33	-0,60
III GM	Reserve		x	Gasmotor 2200 kW	x	x	-1,55 +1,86 +0,31	-0,15	-0,27	-0,41	-0,52
IV GT WP	Spitzen- deckung 1000 kW	x		Gasturbine 900 kW	x	Reserve	-0,30 +0,65 +0,35	0	-0,13	-0,37	-0,15

Der Einheitspreis der Wärmepumpe mit Elektromotor liegt um 300 Fr./kW<sub>therm</sub>, die Unterhaltskosten liegen bei 5% der Investition.

### Beurteilung von Konzeptvarianten

Mit den eingangs erwähnten Anforderungen und den Gegebenheiten der einzelnen Elemente wurden 6 Konzepte kostenmässig durchgerechnet. Die Resultate sind in Tab. 3 zusammengefasst.

#### Konventionell wie heute (I KO)

- Faulgas-Ölkessel für alle Heizleistungen, Faulgasüberschuss an KVA Josefstrasse, Manko durch Öl gedeckt
- Notstromgruppe in Bereitschaft
- Geruchsvernichtung mit bestehendem Gaswäscher (20 000 m<sup>3</sup>/h) (der in einigen Jahren zu ersetzen ist) und Belebtschlammbecken (30 000 m<sup>3</sup>/h).

Diese Basisvariante wäre eine Fortsetzung der heutigen Betriebsweise. Ersatzkosten für den 10jährigen Geruchswäscher sind nicht eingerechnet. Die Einnahme aus dem im Sommer überschüssigen Faulgas ist nur solange gegeben, wie die KVA Josefstrasse am Sommerfaulgas interessiert ist.

#### Gasturbine (II GT)

- Gasturbinen-Generatorleistung 900 kW-1400 kW bei 2 resp. 3 Einheiten. Gasanfall wird von Gasturbinen laufend verarbeitet, wenn nötig wird zusätzlich auf Öl gefahren.
- Gasturbinenabwärme von 2500 kW (2 GT) bis 3700 kW (3 GT) reicht für Schlammpasteurisierung und teilweise Gebäudeheizung (Bild 2).
- Notstromversorgung durch Gasturbinenbetrieb ständig erbracht, gegebenenfalls durch Umschaltung auf Öl.

- Geruchsvernichtung durch Gasturbinen (20 000–30 000 m<sup>3</sup>/h) und Belebtschlammbecken (30–20 000 m<sup>3</sup>/h)
- Ölheizkessel für Spitzendeckung und Notheizung

Dieses Konzept wird als *optimale Lösung der gestellten Forderungen* betrachtet: Die Gasturbinenabwärme reicht für die ständige Pasteurisierung aus, zur Gebäudeheizung wird im tiefen Winter zusätzlich die Ölheizung in Betrieb genommen. Die Stromkostensparnis aus der laufenden Eigenproduktion ist im Mittel höher als die Ausgabe für das Heizöl. Falls einmal alle Gasturbinen für kurze Zeit ausser Betrieb sein sollten, wird die Geruchsabluft aus dem Hochkamin der Energiezentrale direkt ausgeblasen. Damit kann der Betriebsaufwand für die bestehenden Gaswäscher eingespart werden. Der Unterhalts- und Amortisationsdienst ist etwas höher als bei der konventionellen Lösung. Über alle Kostenanteile betrachtet ist der finanzielle Aufwand jedoch geringer als bei der konventionellen Lösung I.

#### Gasmotor (II GM)

- Gasmotoren-Generatorleistung 1200 kW–1800 kW bei 2 resp. 3 Einheiten. Gasanfall kann von Gasmotoren laufend verarbeitet werden.
- Gasmotorenabwärme etwas geringer als bei Var. II GT (Bild 3) und wird ebenfalls zur Schlammpasteurisierung und teilweisen Gebäudeheizung verwendet.
- Notstromversorgung durch Gasmotorenbetrieb ständig erbracht
- Geruchsvernichtung durch bestehenden (nach einigen Jahren zu ersetzenden) Gaswäscher und Belebtschlammbecken.
- Ölheizkessel für Spitzendeckung und Notheizung

Der bessere mechanische Wirkungsgrad des Gasmotors gegenüber der

Gasturbine erhöht die Ersparnisse im EWZ-Strombezug. Dafür fallen wieder die Kosten des Gaswäschers an wie in Var. I und der Unterhaltsaufwand ist bei den hier benötigten Gasmotortypen wesentlich höher als bei Gasturbinen. Die Gesamtbilanz ergibt daher höhere Betriebskosten als bei der Gasturbine nach Var. II.

#### Grossgasturbine (III GT)

- Gasturbinen-Generatorleistung 1600 kW. Der Faulgasanfall reicht für Dauerbetrieb nicht aus und es muss Erdgas oder Öl zugekauft werden, weil Teillastbetrieb mit schlechtem  $\eta$  nicht erwünscht.
- Gasturbinenabwärme reicht praktisch ganzjährig für Schlammpasteurisierung und Gebäudeheizung, Überschusswärme geht mit GT-Abgas weg.
- Notstromversorgung mehr als sichergestellt
- Geruchsvernichtungskapazität von 40 000 m<sup>3</sup>/h grösser als notwendig
- Heizkessel für Notheizung

Hier stellt sich also die Frage, ob die so günstige Gasturbinenlösung der Var. II GT noch interessanter wird, wenn mit grösseren Gasturbinen zusätzlich zum Faulgas ständig auch mit Erdöl gefahren wird. Es wird mehr Strom produziert und auch die Winterheizung lässt sich weitgehend decken. Hingegen fällt in den Übergangszeiten und im Sommer Überschusswärme an und der schlechtere Gesamtwirkungsgrad des Heizkraftblockes gegenüber dem reinen Heizkessel wirkt sich aus. Die negative Energiekostenbilanz und die erhöhten Unterhalts- und Amortisationskosten gegenüber Var. II GT machen diese Variante zur *aufwendigsten* von allen.

#### Grossgasmotor (III GM)

- Gasmotoren-Generatorleistung 2200 kW. Faulgas muss durch Stadtgas ergänzt werden für Dauerbetrieb
- Gasmotorenabwärme reicht für Schlammpasteurisierung und Gebäudeheizung; in Übergangszeiten und im Sommer ist die Wärme abzuführen.
- Notstromversorgung mehr als sichergestellt
- Geruchsvernichtung teilweise möglich (11 000 m<sup>3</sup>/h), bestehender Gaswäscher muss weiterhin in Betrieb bleiben
- Gasheizkessel für Notheizung

Die erhöhte Stromproduktion kann gegenüber der Grossgasturbinen-Variante die Ölkosten mehr als kompensieren, doch relativ zu Var. II GM ist der Gewinn eher geringer wegen der sommerlichen Überschusswärme. Hinzu kommen wieder die Gaswäscher-Betriebs-

kosten und die relativ zu Var. II GM hohen Unterhalts- und Amortisationskosten. Die Gesamtbilanz wird ungünstiger als Var. II GM.

### Gasturbine und Wärmepumpe (IV GT/WP)

- Gasturbinen 900 kW–1400 kW nach Fall II
- Gasturbinenabwärme für Pasteurisieren, Wärmepumpe für Spitzendeckung Gebäudeheizung und evtl. Pasteurisieren durch Ausnutzung der Abwärme in der Energiezentrale.
- Notstromversorgung, Geruchsvernichtung, Ölheizkessel wie Fall II GT

Var. III GT und GM zeigten, dass es nicht günstig ist, einen zusätzlichen Heizwärmebedarf für kalte Wintertage durch die Abwärme eines auf den Spitzenbedarf dimensionierten Heizkraftblockes zu decken.

Bezogen auf Mittelwerte des Faulgasanfalls und der Pasteurisierungswärme zeigt sich bei Var. IV GT/WP relativ zu Var. II GT, dass der Öleinkauf durch eine Wärmepumpe so stark reduziert werden kann, dass diese Kosteneinsparung die etwas geringere Stromproduktion und die etwas erhöhten Unterhalts- und Amortisationskosten mehr als kompensieren.

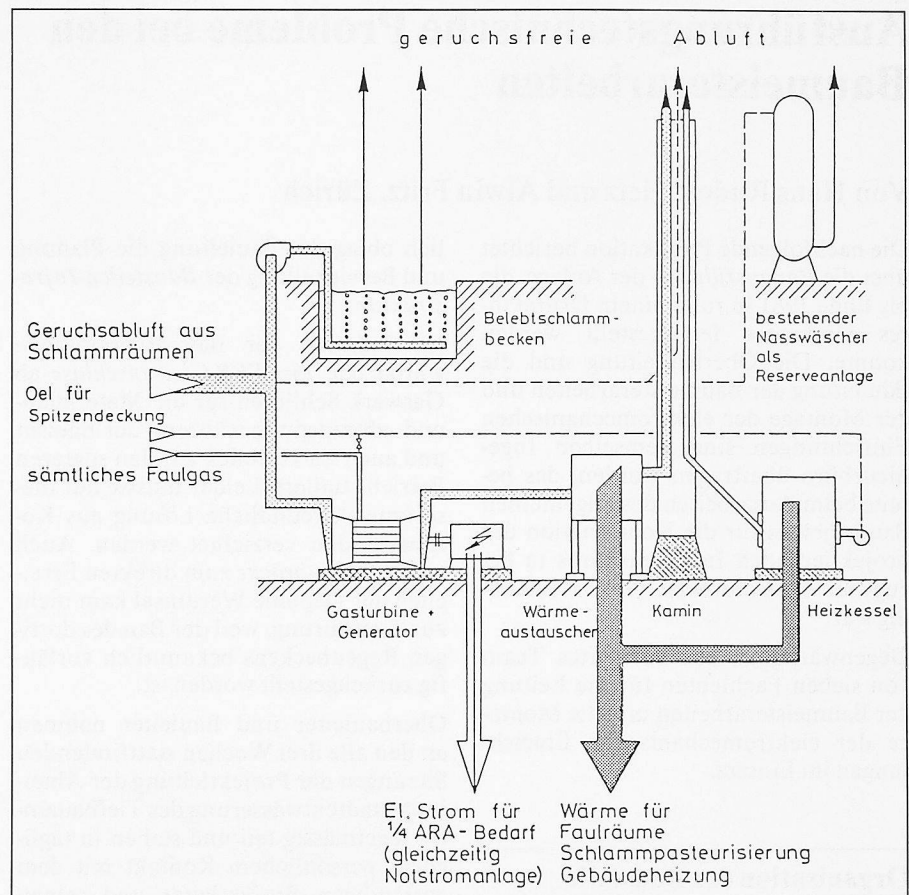


Bild 6. Schema des Energiekonzepts Werdhölzli. Variante II, Gasturbine mit Geruchsvernichtung und Abwärmeausnutzung

### Konzept Kläranlage Werdhölzli

Um die 8 Bedingungen des Konzeptrahmens möglichst umfassend erfüllen zu können, wird das Konzept II GT bzw. IV GT/WP gewählt (Schema gemäss Bild 6):

Mit 3 Gasturbinen-Einheiten von je 450 kW Generatorleistung kann der schwankende Gasanfall (Bild 2) über einen Zwischenspeicher in zeitlich gestaffeltem Betrieb mit 2 oder 3 Gasturbinen jeweils im Vollastbetrieb (besten Wirkungsgrad) verarbeitet werden.

Bei zu geringem Gasanfall lassen sich die Gasturbinen unter Last auf Ölbetrieb umstellen. Die Notstromversorgung kann mit 2 Gasturbinen erbracht werden und die dritte Turbine ist damit bei Revisionsarbeiten verfügbar.

Die Abwärme kann auf dem für das Pa-

steurieren notwendigen Temperaturniveau über 100 °C abgenommen werden, ohne dass dabei die Maschine speziell belastet wird, wie dies bei Gasmotoren der Fall wäre.

Die ersten Betriebsjahre werden die Relationen zwischen Gasanfall und Wärmebedarf aufzeigen, und es lässt sich dann entscheiden, ob zur Deckung von Lastspitzen Wärmepumpen (Ausnutzung der Abwärmen in der Energiezentrale und im Klärwasser) wirtschaftlicher sind als Ölkessel. Gas-/Ölkessel sind für einen Notheizbetrieb ohnehin vorhanden, Raum und Anschlussmöglichkeit für Wärmepumpen sind vorhanden.

Der hohe Luftdurchsatz der Gasturbinen gibt ohne zusätzlichen Betriebsaufwand die Möglichkeit, in der Brennkammer übelriechende Abluft geruchlos zu machen. Die wasserlöslichen Ge-

#### Literaturverzeichnis

- [1] Tiefbauamt der Stadt Zürich (TAZ), Energiekonzept (Büro Schindler Haerter AG, Zürich), Mai 1977
- [2] Aktuelle Probleme der Luftreinhaltung und ihre Lösungswege. TagungACHEMA '79, Frankfurt 1979
- [3] Imhoff, K.: «Geruchsvernichtung». Taschenbuch der Stadtentwässerung S. 89, 1979
- [4] Moderner Gewässerschutz, Tagung Pro Aqua Pro Vita (Band 8B), Basel, Juni 1980
- [5] Technische Unterlagen der Jenbacher Werke AG, Jenbach (Österreich), 1980

ruchsstoffe werden in die Druckluftversorgung der Belebungsbecken eingeführt und biologisch abgebaut.

Adresse der Verfasser: Dr. A. Haerter, dipl. Masch.-Ing. ETH/SIA, und K. Unger, Masch.-Ing. HTL, c/o Schindler Haerter AG, Stockerstr. 12, 8002 Zürich.