

Abwasserwirtschaft im Großraum Sana'a / Jemen

- Ertüchtigung der Kläranlage -

Dr.-Ing. Joachim Glasenapp

Dipl.-Ing. Joachim Kilian

- 1 Einführung**
- 2 Projektziele und Maßnahmen**
- 3 Machbarkeitsstudie**
- 4 Der ausführungsbereite Entwurf (Final Design)**
- 5 Zusammenfassung**



1 Einführung

Jemen (seit 1990 Republik; Al Yaman)

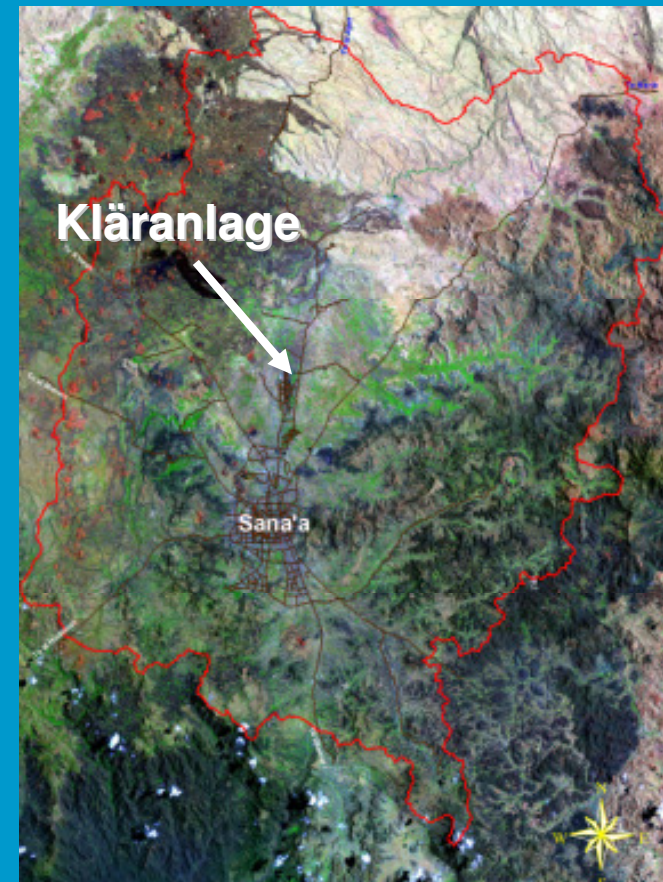
- **Bevölkerung:** 18,0 Mio. Einwohner;
Wachstum: 3,4% p.a. (2001)
- **Fläche:** 573.000 km²
- **Klima:** mit Ausnahme Hochland und Küste
überwiegend Wüstenklima (heiß und trocken)
- **Gesellschaft:** nach wie vor sehr traditionell,
doch Trend für Modernisierung u. Öffnung
- **Umwelt:** stark begrenzte Wasserressourcen,
Überweidung, Erosion, Desertifikation
- **Wirtschaft:** BIP \cong 820 USD/cap (Landwirt-
schaft: 20%; Industrie: 42%); Wachstum:
6% p.a.
- **Beschäftigung:** $> \frac{3}{4}$ im primären Sektor



1 Einführung

Sana'a (Hauptstadt von Jemen)

- **Geografische Lage:** zentral im jemenitischen Hochland „Sana'a Basin“; 2.200 müNN
- **Bevölkerung:** 1.6 Mio. Einwohner (2003),
Prognose 2021: 3,2 Mio. Einwohner
→ teilweise unkontrollierte Stadtentwicklung
- **Wirtschaft:** Zentrum der Region
 - ausgeprägter primärer Sektor: Landwirtschaft
ca. 110.000 ha, bewässert ca. 24.000 ha
(Feldfrüchte, Getreide, Kaffee, Baumwolle, Qat)
 - sekundärer Sektor: Textil, Leder, Lebensmittel,
Kunsth Handwerk, Bauindustrie, ...
 - wachsender tertiärer Sektor (Tourismus /
Dienstleistungen ...)



1 Einführung

Wasserdargebot:

- Niederschlag: ca. 150 .. 200 mm/a, Evapotranspiration: ca. 2.500 mm/a
- Teilweise ergiebige Grundwasservorkommen – mehrere Aquifere (u.a. zerklüfteter Sandstein bis 330 m Tiefe)

Wasserversorgung:

- Anschlußgrad an öffentliche WV: 75%
- WV marode: nur Deckung Grundlast, niedriger Druck im Netz (Wasserverluste); Privatsektor versorgt sich je nach Zahlungskraft über oberen oder unteren GW-Leiter
- Oberer GW-Aquifer stark kontaminiert inf. unkontrollierte Abwasserableitung und leckende Fäkalgruben (cesspits)
- Sauberes GW nur noch in ca. 300 .. 400 m Tiefe (GW-Spiegel sinkt seit ca. 25 Jahren um ca. 4 – 7 m/a ab, da bisher keine gesetzliche Beschränkung der individuellen Förderung)

1 Einführung

Abwasserentsorgung:

- Anschlußgrad an öffentliche Abwasserentsorgung: 40 .. 45% (ca. 700.000 Einwohner)
- Abwasseranfall: $Q = 35.000 \text{ m}^3/\text{d}$ → spez. Abwasseranfall $q_s = 50 \text{ l}/(\text{E} \cdot \text{d})$
- Abwasserbeschaffenheit: BSB_5 -Gehalt = 1.100 mg/l ; $T_{\text{mittel}} = 21^\circ \text{ C}$
- Z. Zt. Ausbau und Erweiterung zentrales Abwassernetz (Schwemmkanalisation) mit Anschluß zahlreicher Außendistrikte
- 04/2000: Inbetriebnahme neues Zentralklärwerk (Kapazität: $Q = 50.000 \text{ m}^3/\text{d}$; $B_d = 25.000 \text{ kg/d}$)
- Gereinigtes Abwasser wird nach Chlorung in Wadi Saila abgeleitet



2 Projektziele und Maßnahmen

Übergeordnete Ziele

- Nachhaltige Bewirtschaftung der Wasserressourcen im Becken von Sana'a
- Minderung abwasserbezogener Gesundheitsrisiken der Bevölkerung von Sana'a
- Reduzierung von Geruchsemissionen

Grundlegende Maßnahmen

- Technische und institutionelle **Projekte** wie das Sana'a Water Supply and Sanitation Project (Weltbank); darunter
 - Sana'a Basin Water Resources Management
 - Sana'a Sewerage Network Extension (Arab Fund)
 - Sana'a WWTP Upgrade (Arab Fund)
 - u.a.
- **Transformation der staatlichen Träger der Wasserver- und Abwasserentsorgung (NWSA) in regionale „Local Corporations“**; u.a. mit deutscher Unterstützung (GTZ, u.a.)

2 Projektziele und Maßnahmen

Maßnahmen zur Abwasserbehandlung

- **Ausbau Kanalisation:** zur Zeit enorme Anstrengungen !!!
- **Neubau Zentralkläranlage Sana'a** (direkt am internationalen Flughafen):
 - 1994: Planung als Belebungsanlage mit simultaner Schlammstabilisierung)
 - 1999: Schlüsselfertige Erstellung + 1 Jahr Betrieb; Finanzierung Weltbank
 - 2000: Übernahme durch Betreiber Sana'a Water and Sanitation Local Corporation
- **Betrieb ab 2000: Erhebliche Probleme**
 - KA überlastet inf. hoher BSB-Fracht, hohe Stromkosten, Schlamm nicht stabilisiert
 - Geruch im Zulaufsammler
 - ungelöste Nutzung gereinigtes Abwasser + Klärschlamm
- **Abhilfemaßnahmen: Feasibility Studie (August 2000 bis Mai 2001)**
- **Entscheidung für WWTP Upgrade (10/2002)**
 - Erstellung Final Design + Tender Documents gemäß FIDIC „Red Book“
 - Consultant: CONSULAQUA Hamburg GmbH (Tochter Hamburger Wasserwerke)

3 Machbarkeitsstudie

4 Teile

- 1 Ertüchtigung Kläranlage
- 2 Verwertung des Klärschlammes
- 3 Wiederverwendung des gereinigten Abwassers
- 4 Geruchsreduzierung

} werden hier nicht
behandelt

hier: Ertüchtigung der Kläranlage

→ Bestandsaufnahme IST + Grundlagenanalyse (2000 und Ende 2002)

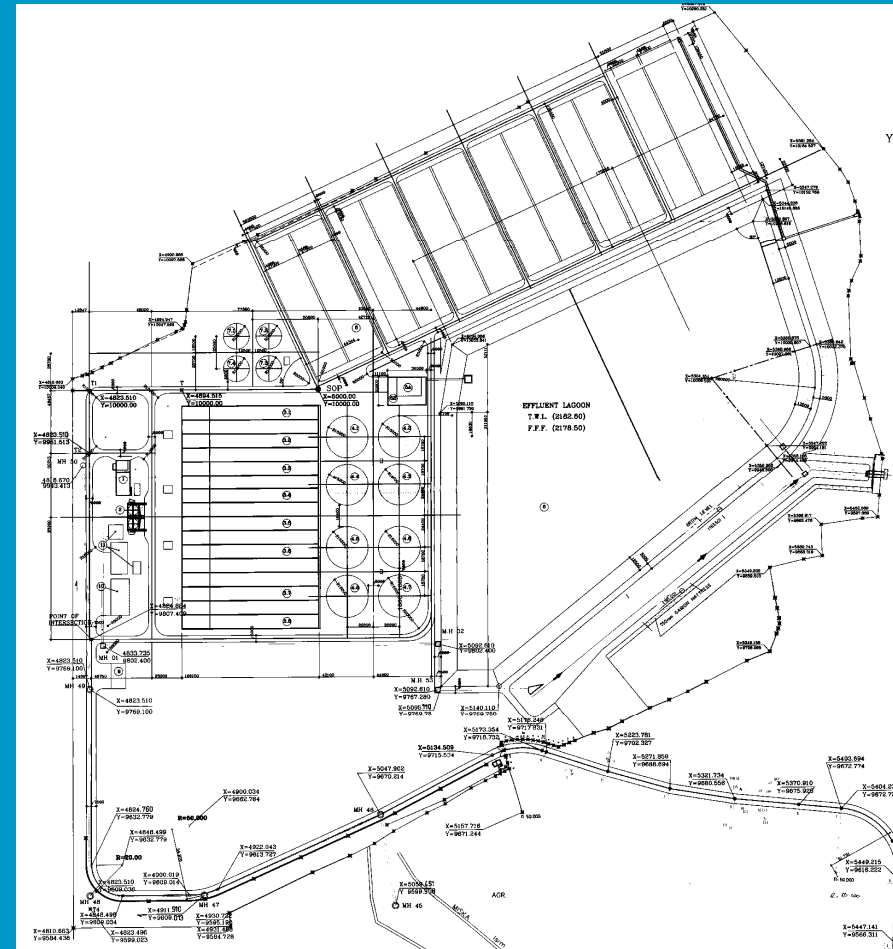
- **Hydraulische Belastung** ca. 36% der Gesamtkapazität
- **BSB₅-Fracht** ca. 86% der Gesamtkapazität !!!
(BSB₅ im Zulauf ist 1.100 mg/l anstelle 500 mg/l gemäß Design !)
- **Reinigungsleistung** unzureichend: Ablauf BSB₅ ≈ 45 mg/l; SS ≈ 55 mg/l
(Vorgabe: BSB₅ ≤ 30 mg/l; SS ≤ 30 mg/l)
- Hoher ÜS-Anfall: Kapazität SDB völlig erschöpft → **TS_{BB} >> 10 g/m³**
- Energieversorgung: Kapazität (kVA) zu gering; Not-BHKW funktioniert nicht

3 Machbarkeitsstudie

→ Vorhandene Verfahrenstechnik

- 2 Grobrechen mit Notüberlauf,
4 Schneckenpumpen \varnothing 2 m,
2 Sandfänge (Detritors)
- 8 Belebungsbecken $V = 96.000 \text{ m}^3$
(simultane Schlammstabilisierung)
 $t = 5,5 \text{ m}$, je Becken 4 Oberflächen-
belüfter + 1 Mischer
- 8 Nachklärbecken \varnothing 30 m
- Ablaufchlorung, Abflußmessung,
Schönungsteich ($t_A = 4,5 \text{ d}$)
- 4 stat. Schlammeindicker \varnothing 18,0 m
- 20 „solare“ Schlamm-trockenbeete
mit jeweils 55 x 27,5 m Fläche

→ Bilder: s. folgende Seiten



3 Machbarkeitsstudie

Im Überblick



3 Machbarkeitsstudie

Zulauf-PW und Grobrechen



3 Machbarkeitsstudie

Sandfänge



3 Machbarkeitsstudie

Belebungsbecken mit
anoxischer Zone



3 Machbarkeitsstudie

**Nachklärbecken mit
Schönungsteich**



3 Machbarkeitsstudie

Schlamm-trockenbeete



3 Machbarkeitsstudie

Kontrollraum - Blockschaltbild



3 Machbarkeitsstudie

→ Juni 2001: Vorschläge für Änderung Verfahrenskonzept (Kostenschätzung ca. 6,6 Mio. USD)

- BSB₅-Elimination: Einführung Vorklärung ($t_A = 1,5$ h) mit neuem Zwischen-PW
- Unterdrückung Schlammabtrieb NKB: Einführung gezielte Denitrifikation mit zusätzl. Druckluftbelüftung und Erhöhung TS_{BB}
- Verbesserung „Schlammqualität“: aerobe Schlammstabilisation in vorh. BB (Faulung zurückgestellt), 2 weitere stat. Eindicker + 3 mech. Zentrifugen sowie 60 neue Schlamm Trockenbeete
- Vermeidung Rohabwasserabschlag in Wadi: Neubau Rückhaltebecken (15.000 m³)

4 Der ausführungsbereite Entwurf

Was wurde aus der Studie: der Weg zum ausführungsbereiten Entwurf

→ Erstellung Final Design + Tender Documents gemäß FIDIC „Red Book“:

- **Januar 2003:** Start Planungsaktivitäten vor Ort in Sana'a, zeitweise Unterbrechung wg. Reisewarnung Auswärtiges Amt
- **August 2003:** Fertigstellung FD + TD für 44 zusätzl. Schlamm-trockenbeete. Unterstützung des Kunden bei der Ausschreibung und Vergabe
- **Dezember 2003:** 1. Entwurfsrevision
 - Entscheidung für 2 Faulbehälter mit mech. Voreindickung. Entfall N-Elimination. Energetische Biogasverwertung in BHKW-Anlage
- **Oktober 2004:** 2. Entwurfsrevision
 - Einführung 3. Faulbehälter, Wegfall mech. Voreindickung (Polymere !) und Einführung Nacheindicker. Grundlegende Überarbeitung Lageplan zur Vereinfachung Baumaßnahme und Betrieb
- **März 2005:** Übergabe FD + TD an Kunden. Ausschreibung Bau- und Lieferleistungen

4 Der ausführungsbereite Entwurf

Entwurfsgrundlagen

→ Schmutzfrachten im Zulauf der Kläranlage

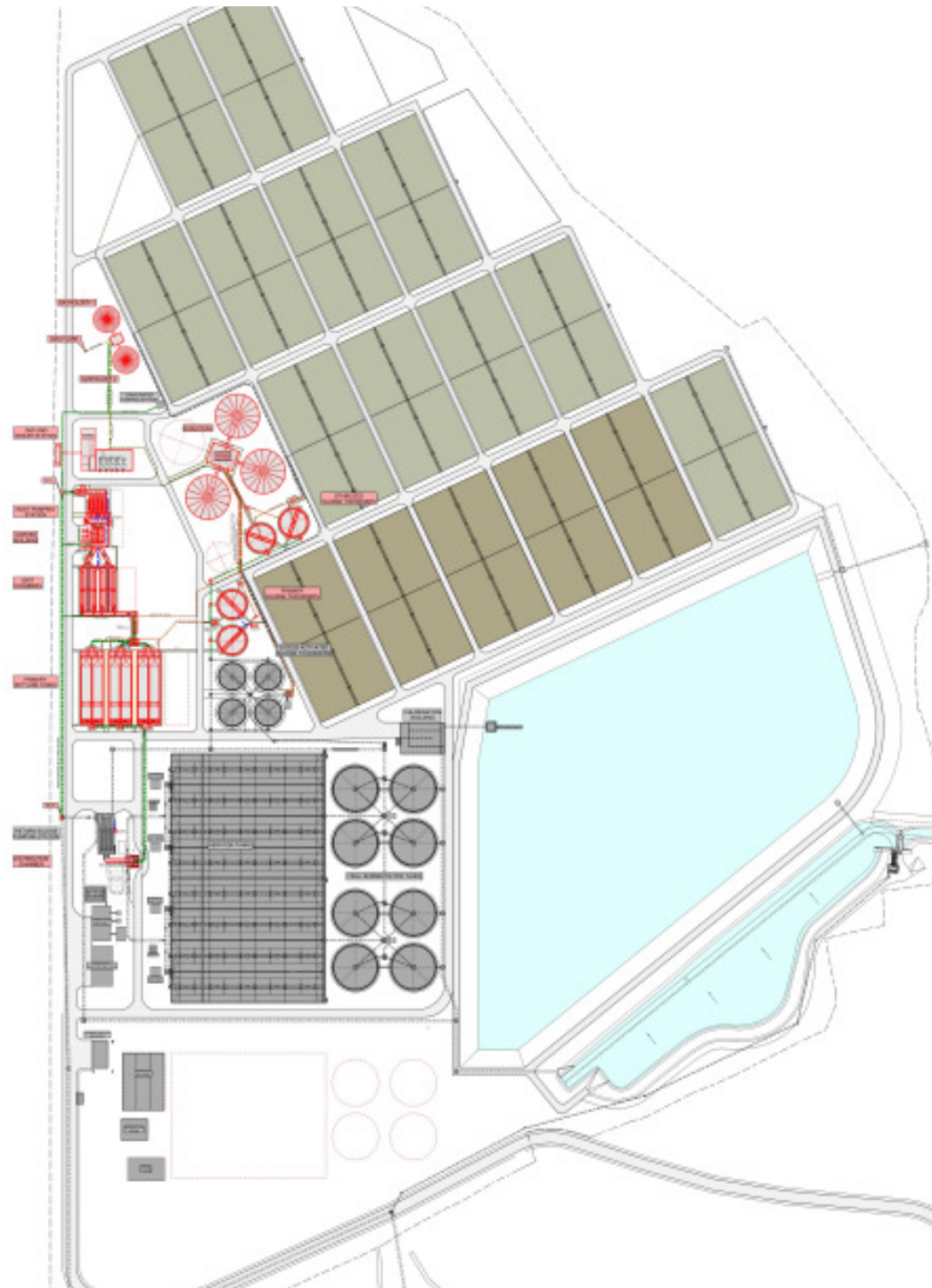
Design Criteria	Unit	BOD-Elim. / Sim. Aerobic Stab.		BOD ₅ -Elim. / Anaerobic Digestion	
		Original Design	Existing Situation	Start of Operation	Design Horizon
Design Horizon / Target Year	-	1995	2004	2008	2020
INFLOW					
Daily Wastewater Inflow	m ³ /d	50.000	36.000	50.000	50.000
Peak factor (max flow/average flow)	-	3,0	2,0	2,0	2,0
Safety factor	-	1,0	1,0	1,0	1,3
Maximum Treatment Capacity	m³/d	50.000	36.000	50.000	65.000
BOD₅					
BOD ₅ -concentration	mg/l	500	1.100	1.100	1.100
BOD ₅ -load	kg/d	25.000	39.600	55.000	71.500
Specific BOD ₅ -pollution load	g/cap*d	55	55	55	55
Pollution load (Population Equivalent)	PE	454.545	720.000	1.000.000	1.300.000
SUSPENDED SOLIDS					
SS-concentration	mg/l	750	1.070	1.070	1.070
SS-load	kg/d	37.500	38.520	53.500	69.550
Specific SS-pollution load	g/cap*d	82,5	53,5	53,5	53,5

4 Der ausführungsbereite Entwurf

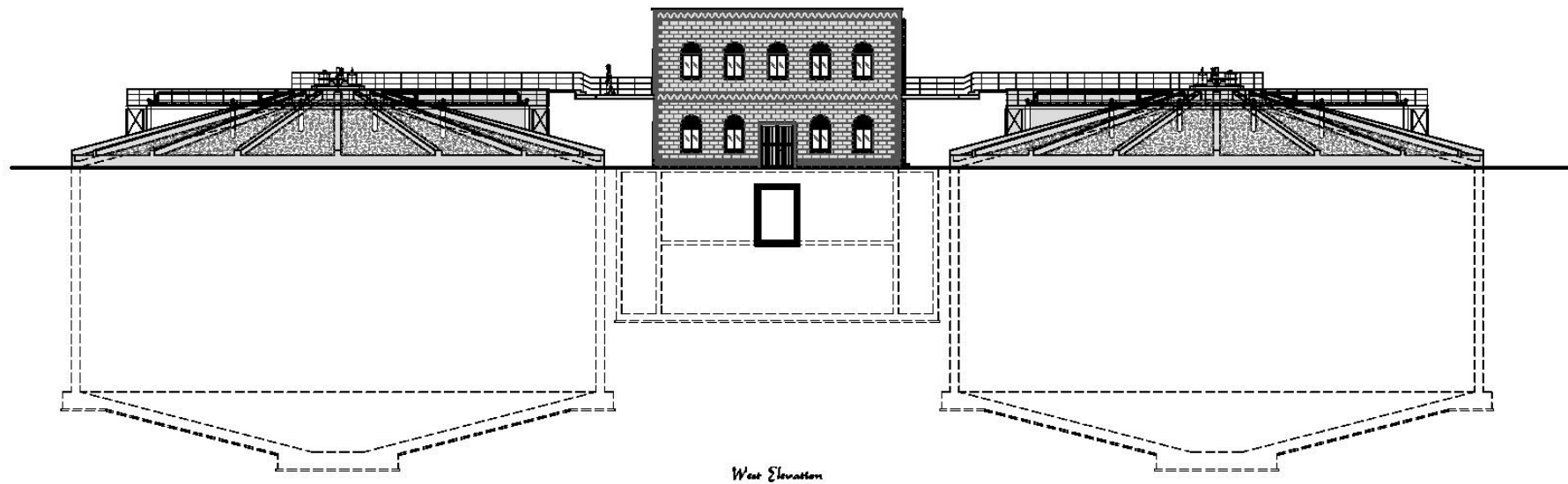
Endgültiges Entwurfskonzept

- **Mechanische Abwasserreinigung:** neue Grobrechen, neues Zulaufpumpwerk, Feinrechen und Vorklärung ($t_A = 1,5$ h)
 - + hydraulisch optimal, modularer Aufbau erlaubt einfache Erweiterung
 - + wesentlich höhere Effizienz Vorreinigung (→ Betrieb Faulung)
 - Verlängerung Zulaufsammler, Neubau Zulaufpumpwerk
- **Biologische Abwasserreinigung:** Umstellung von simult. aerober Stabilisierung auf Belebungsverfahren mit niedrigem Schlammalter (nur C-Elimination)
 - + Weiternutzung Becken und Zulaufleitungen
 - + Umnutzung vorh. Zulaufpumpwerk als RS-Pumpwerk
- **Schlammbehandlung / Faulgasnutzung:** 3 neue Faulbehälter à 10.000 m³, stat. Eindickung ÜS und PS, Gasspeicher, BHKW, Heizung, 2 neue Nacheindicker
 - + hohe Betriebs- und Prozeßsicherheit; keine Polymere !!
 - + Beschickung Eindicker im freien Gefälle; kurze Wege
 - + Anlagen zur Gasverwertung sehr kompakt
 - + Reduzierung EW-spez. Energiebedarf der KA um **ca. 2/3 (ca. 65%)**
 - Betriebsaufwand & Instandhaltung Faulung/BHKW ist relativ aufwendig

Der neue Lageplan im Überblick



Die neuen Faulbehälter



4 Der ausführungsbereite Entwurf

Implementierung (geplant)

- 03/2006: Auftragsvergabe
- 04/2008: Inbetriebnahme unter Verantwortung JV + Beginn Personaltraining (1 Jahr)
- 04/2009: Übernahme durch Betreiber

Investitionskosten (geschätzt)

→ Bau:	18,2 Mio. USD (inkl. Schlamm-trockenbeete)
→ M-Technik:	5,8 Mio. USD
→ E-Technik:	2,6 Mio. USD
→ Unvorhergesehenes:	1,6 Mio. USD
→ Ingenieurleistungen	<u>1,8 Mio. USD</u>
SUMME	30,0 Mio. USD

Finanzierung: Arab Fund for Social and Economic Development, Kuwait

5 Zusammenfassung

Abwasserwirtschaft im Großraum Sana'a

- 2004: 1,6 Mio. Einwohner
- Bevölkerungswachstum 4% p.a. → d.h. Verdopplung bis 2022)
- Wasserressourcenmanagement / Abwasserproblematik hat hohe Priorität in Politik und Verwaltung (Ausbau Kanalisation / Klärwerk/e)

KA-Ertüchtigung

- KA-Ertüchtigung: 1,3 Mio. EW (Zieljahr 2020) → zusätzl. Kapazität erforderlich
- „angepaßte“ Lösung:
 - große Vorklärung, „kleine“ Biologie, anaerobe Schlammstabilisation mit BHKW
 - beherrschbare Technik, Instandhaltung vor Ort möglich, kein Import wichtiger Betriebsmittel (Polymere)
 - Reduzierung spez. Energiebedarf gegenüber bisheriger Lösung um ca. 2/3
 - Option für Verwertung gereinigtes Abwasser zur Bewässerung (kein N-Elim.)

* * *