

Machbarkeitsstudie



**Perspektiven der solaren
Klärschlamm-trocknung im Land
Bremen**

Anhang

für

Bremer Energie-Konsens GmbH
Am Wall 140

28195 Bremen

vom

Institut für Kreislaufwirtschaft GmbH
Neustadtswall 30

28199 Bremen, Germany

Tel.: +49 (0)421 5905 2311

Fax: +49 (0)421 5905 2349

Mail: IKrW@hs-bremen.de

Homepage: www.IKrW.de

Juni 2005

Anhang A1: Verfahrensfließbild der VERA

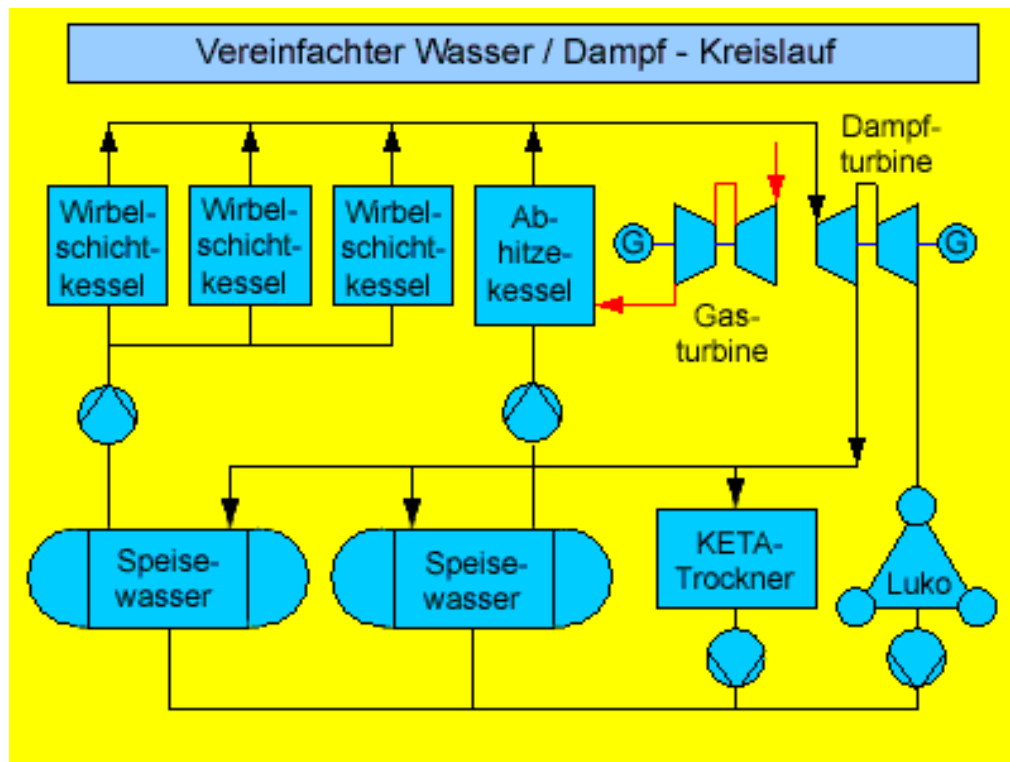


Abbildung A1: Wasser-Dampf-Kreislauf der VERA [www-verahamburg.de]

Anhang A2: Anlagenspezifische Kenndaten der VERA

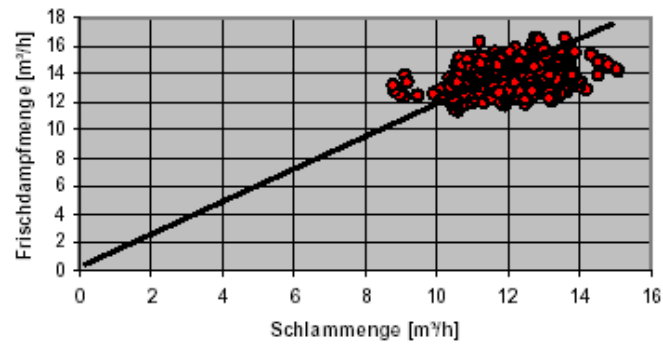


Abbildung A2.1: Erzeugte Frischdampfmenge in der VERA (bezogen auf Klärschlamm mit einem Heizwert von 4.200 kJ/kg) [Mineur, 2004]

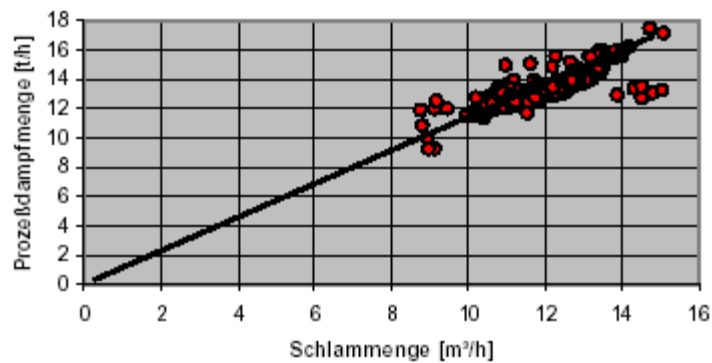


Abbildung A2.2: VERA - Benötigte Prozessdampfmenge zur Klärschlamm-trocknung [Mineur, 2004]

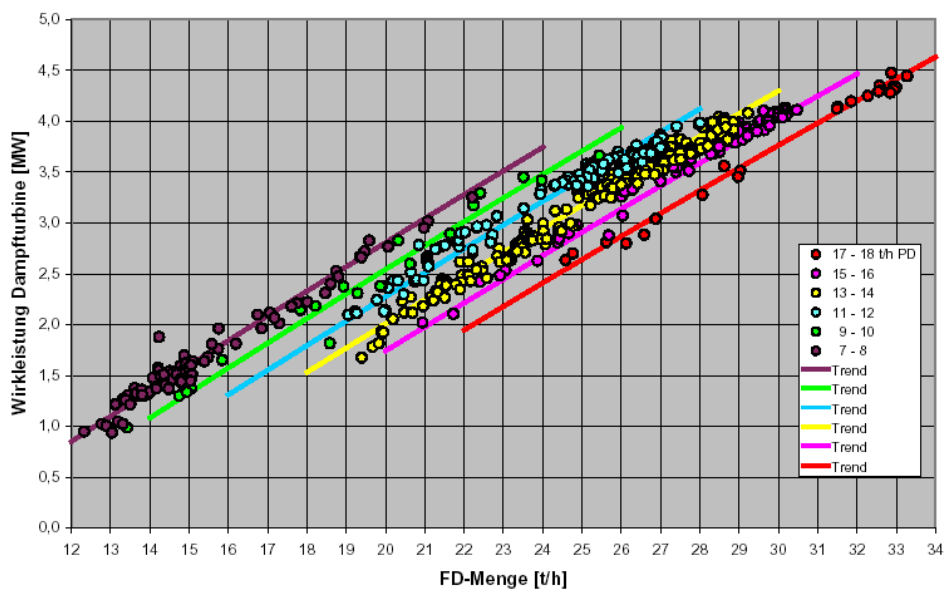


Abbildung A2.3: VERA – Entnahmediagramm der Dampfturbine [Mineur, 2004]

Anhang A3: CO₂-Bilanzierung der Vergleichsvarianten

Rechenwerte

| Emissionsfaktoren | Einheit | Wert |
|-------------------|---------|------|
| Diesel | [g/kWh] | 266 |
| Erdgas | [g/kWh] | 201 |
| Steinkohle | [g/kWh] | 335 |
| Strom-Mix Bremen | [g/kWh] | 856 |
| Fernwärme | [g/kWh] | 191 |

| Annahmen | Einheit | Wert |
|----------------------|-----------------------|-------|
| Energieinhalt Diesel | [MJ/l] | 35,7 |
| Hu Erdgas | [kWh/m ³] | 8,816 |

Variante ST: Solare Trocknung

| | Elektrischer Energiebedarf [kWh/a] | Spezifischer Emissionsfaktor Strom-Mix [g CO ₂ /kWh] | CO ₂ -Emissionen [Mg CO ₂ /a] |
|---------------------|------------------------------------|---|---|
| Elektrische Energie | 154.280 | 856 | 132 |

| | Dieseleinsatz [l/a] | Energieinhalt Dieseldieselkraftstoff [MJ/l] | Energieinhalt Diesel [GJ/a] | Energieinhalt Diesel [kWh/a] | Emissionsfaktor Diesel [g/kWh] | CO ₂ -Emissionen [Mg CO ₂ /a] |
|---------------|---------------------|---|-----------------------------|------------------------------|--------------------------------|---|
| Dieseleinsatz | 8.000 | 35,7 | 286 | 79.333 | 266 | 21 |

Variante ST+A: Solare Trocknung (mit Abwärmenutzung)

| | Elektrischer Energiebedarf [kWh/a] | Spezifischer Emissionsfaktor Strom-Mix [g CO ₂ /kWh] | CO ₂ -Emissionen [Mg CO ₂ /a] |
|---------------------|------------------------------------|---|---|
| Elektrische Energie | 154.280 | 856 | 132 |

| | Dieseleinsatz [l/a] | Energieinhalt Dieseldieselkraftstoff [MJ/l] | Energieinhalt Diesel [GJ/a] | Energieinhalt Diesel [kWh/a] | Emissionsfaktor Diesel [g/kWh] | CO ₂ -Emissionen [Mg CO ₂ /a] |
|---------------|---------------------|---|-----------------------------|------------------------------|--------------------------------|---|
| Dieseleinsatz | 6.000 | 35,7 | 214 | 59.500 | 266 | 16 |

| | Thermischer Energiebedarf [kWh/a] | Spezifischer Emissionsfaktor Bereitstellung Fernwärme [g CO ₂ /kWh] | CO ₂ -Emissionen [Mg CO ₂ /a] |
|---------------------------|-----------------------------------|--|---|
| Bereitstellung Warmwasser | 4.818.000 | 191 | 920 |

Variante KT: Konventionelle Trocknung (Erdgas)

| | Elektrischer Energiebedarf [kWh/a] | Spezifischer Emissionsfaktor Strom-Mix [g CO ₂ /kWh] | CO ₂ -Emissionen [Mg CO ₂ /a] |
|---------------------|------------------------------------|---|---|
| Elektrische Energie | 954.750 | 856 | 817 |

| | Erdgasverbrauch [m ³] | Unterer Heizwert (Hu) Erdgas [kWh/m ³] | Einsatzmenge Erdgas (bezogen auf Hu) [kWh/a] | Emissionsfaktor Erdgas [g CO ₂ /kWh] | CO ₂ -Emissionen [Mg CO ₂ /a] |
|----------------|-----------------------------------|--|--|---|---|
| Einsatz Erdgas | 697.500 | 8,816 | 6.149.160 | 201 | 1.236 |

Variante KT+A: Konventionelle Trocknung mit Abwärmenutzung

| | Elektrischer Energiebedarf [kWh/a] | Spezifischer Emissionsfaktor Strom-Mix [g CO ₂ /kWh] | CO ₂ -Emissionen [Mg CO ₂ /a] |
|---------------------|------------------------------------|---|---|
| Elektrische Energie | 954.750 | 856 | 817,27 |

| | Thermischer Energiebedarf [kWh/a] | Spezifischer Emissionsfaktor Bereitstellung Fernwärme [g CO ₂ /kWh] | CO ₂ -Emissionen [Mg CO ₂ /a] |
|---------------------------|-----------------------------------|--|---|
| Bereitstellung Warmwasser | 6.990.000 | 191 | 1.335 |

Anhang A4: CO₂-Bilanzierung der Szenarien

Rechenwerte

| Emissionsfaktoren | Einheit | Wert |
|-----------------------|--------------------------|------|
| Strom-Mix Deutschland | [g CO ₂ /kWh] | 639 |
| Erdgas | [g/kWh] | 201 |
| Steinkohle | [g/kWh] | 335 |
| Strom-Mix Bremen | [g/kWh] | 856 |

Szenario St: Solare Trocknung

| Annahmen | Einheit | Wert | Anmerkung |
|--|------------------------------|-------|---------------------------------|
| Transportentfernung KA Seehausen - VERA | [km] | 100 | |
| Spezifischer Emissionsfaktor Transport | [g CO ₂ /(km Mg)] | 186 | |
| Untere Heizwert KS (70% TS, 55% oTS) | [kJ/kg] | 8.200 | |
| Spezifischer Stromverbrauch Entwässerung | [kWh/Mg OS] | 1,3 | |
| VERA - Auslegung Heizwert Klärschlamm | [kJ/kg] | 4.200 | |
| VERA - Auslegung TS-Input KS | [%] | 42,00 | |
| VERA - Dampfproduktion aus KS | [Mg/m ³] | 1,17 | |
| VERA - Stromproduktion aus Dampf | [kWh/Mg] | 245 | |
| VERA Eigenstromverbrauch | [GJ/Mg TS] | 0,117 | Kesselanlage, Rauchgasreinigung |

CO₂-Bilanzierung

| | Schlammmenge (6% OS/a) [Mg OS/a] | Spezifischer Stromverbrauch Entwässerung [kWh/Mg OS] | Stromverbrauch [kWh/a] | Emissionsfaktor Strom-Mix Bremen [g CO ₂ /kWh] | CO ₂ -Emissionen Strombedarf Zentrifuge [Mg CO ₂ /a] |
|--------------------------|----------------------------------|--|------------------------|---|--|
| Strombedarf Entwässerung | 50.000 | 1,3 | 65.000 | 856 | 55,64 |

| | CO ₂ -Emissionen Strombedarf solare KST [Mg CO ₂ /a] |
|------------------------------|--|
| Strombedarf solare Trocknung | 132,06 |

| | CO ₂ -Emissionen Dieseleinsatz solare KST [Mg CO ₂ /a] |
|--------------------------------|--|
| Dieseleinsatz solare Trocknung | 21,10 |

| | Transport-entfernung einfach [km] | Transportmenge [Mg/a] | Spezifischer Emissionsfaktor Transport (LKW) [g CO ₂ /km Mg] | CO ₂ -Emissionen Klärschlammtransport [Mg CO ₂ /a] |
|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|---|--|
| Klärschlammtransport (Strasse) | 100 | 4.286 | 186 | 79,71 |

Rückfahrten (Leehfahrten) werden nicht berücksichtigt

Klärschlammverbrennung in der VERA

| | Dampfproduktion aus KS (Auslegungsgröße) [Mg/m ³] | Dampfproduktion aus KS (Auslegungsgröße) [Mg/Mg OS] | Verhältnis: Heizwert Auslegungsgröße VERA -eingesetzter Klärschlamm [-] | Dampfproduktion aus solar getrockneten KS (70% S) [Mg/Mg OS] | Dampfproduktion aus solar getrockneten KS (70% S) [Mg/Mg TS] |
|-----------------|---|---|---|--|--|
| Dampfproduktion | 1,17 | 1,17 | 1,95 | 2,28 | 3,26 |

| | Stromproduktion aus Frischdampf [kWh/Mg] | Spezifische Stromproduktion aus solar getrockneten KS [kWh/Mg TS] | Stromproduktion aus solar getrocknetem KS [kWh/a] | Spezifischer Eigenstrombedarf VERA (GJ/Mg TS) | Spezifischer Eigenstrombedarf VERA [kWh/Mg TS] | Eigenstrombedarf VERA bezogen auf Einsatzmenge KS [kWh/a] | Netto Mehrstromproduktion VERA [kWh/a] |
|-----------------|--|---|---|---|--|---|--|
| Stromproduktion | 245 | 800 | 2.398.500 | 0,12 | 32,5 | 97.500 | 2.301.000 |

| | Spezifischer Emissionsfaktor Strom-Produktion [g CO ₂ /kWh] | CO ₂ -Gutschrift aus Stromproduktion [Mg CO ₂ /a] |
|---|--|---|
| CO ₂ -Gutschrift aus Stromproduktion | 639 | 1.470 |

Szenario ST+A: Solare Trocknung mit Abwärmenutzung

| Annahmen | Einheit | Wert | Anmerkung |
|--|------------------------------|--------|-----------|
| Spezifische Emissionen Schiffstransport | [g CO ₂ /(Mg km)] | 41 | |
| Heizwert Kohle (Hu) | [kJ/kg] | 27.600 | |
| Untere Heizwert KS (70% TS, 60% oTS) | [kJ/kg] | 8200 | |
| Transportentfernung | [km] | 30 | |
| Spezifischer Stromverbrauch Entwässerung | [kWh/Mg OS] | 1,3 | |

CO₂-Bilanzierung

| | Transportmenge (6% TS) [Mg/a] | Transportentfernung [km] | Spezifische Emissionen Transport [g CO ₂ / Mg km] | CO ₂ -Emissionen Transport (Schiff) [Mg CO ₂ /a] |
|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------|--|--|
| Klärschlammtransport (Schiff) | 50.000 | 30 | 41 | 61,5 |

| | Schlammnege (6% TS) [Mg/a] | Spezifischer Stromverbrauch Entwässerung [kWh/Mg] | Stromverbrauch [kWh/a] | Emissionsfaktor Strom-Mix Bremen [g CO ₂ /kWh] | CO ₂ -Emissionen [Mg CO ₂ /a] |
|--------------------------|----------------------------|---|------------------------|---|---|
| Strombedarf Entwässerung | 50.000 | 1,3 | 65.000 | 856 | 55.64 |

| | CO ₂ -Emissionen Strombedarf solare KST [Mg CO ₂ /a] |
|------------------------------|--|
| Strombedarf solare Trocknung | 132,06 |

| | CO ₂ -Emissionen Bereitstellung Warmwasser [Mg CO ₂ /a] |
|---|---|
| Solare Trocknung, Bereitstellung Warmwasser | 920,24 |

| | CO ₂ -Emissionen Dieseleinsatz solare KST [Mg CO ₂ /a] |
|--------------------------------|--|
| Dieseleinsatz solare Trocknung | 15,83 |

Klärschlammverbrennung KW Farge

| | Unterer Heizwert getrockneter KS [kJ/kg] | Einsatzmenge Klärschlamm [Mg/a] | Energieinhalt Klärschlamm [GJ/a] | Heizwert Kohle (Hu) [kJ/kg] | Substitution von Steinkohle [Mg/a] |
|-----------------------------|--|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| Substitution von Steinkohle | 8200 | 4.286 | 35.143 | 27.600 | 1.273 |

| | Substitution von Steinkohle [kWh/a] | CO ₂ -Emissionsfaktor Steinkohle [g CO ₂ /kWh] | CO ₂ -Gutschrift KS-Verbrennung KW Farge [Mg CO ₂ /a] |
|-----------------------------|-------------------------------------|--|---|
| CO ₂ -Gutschrift | 9.761.905 | 335 | 3.270 |

Referenzszenario: Verbrennung in VERA in Hamburg

| Annahmen | Einheit | Wert | Anmerkung |
|---|---------------------------|-------|---------------------------------|
| Entfernung KA Seehausen -VERA (Seeweg) | [km] | 300 | |
| Spezifischer Stromverbrauch Entwässerung | [kWh/Mg OS] | 1,3 | |
| KETA: Spezifischer Strombedarf | [kWh/Mg H ₂ O] | 100 | |
| Heizwert Hu KS getrocknet 42% TS | [kJ/kg] | 4.400 | |
| VERA: Eigenstromverbrauch | [GJ/Mg TS] | 0,117 | Kesselanlage, Rauchgasreinigung |
| VERA: Mehrstromerzeugung durch Klärschlamm vorgeschaltete Trocknung | [kWh/Mg OS] | 286 | |
| | [kWh/Mg OS] | 136 | |

CO₂-Bilanzierung

| | Transportmenge (6% TS) [Mg/a] | Transportentfernung [km] | Spezifische Emissionen Transport [g CO ₂ / Mg km] | CO ₂ -Emissionen Transport (Schiff) [Mg CO ₂ /a] |
|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------|--|--|
| Klärschlammtransport (Schiff) | 50.000 | 300 | 41 | 615 |

Klärschlammverbrennung VERA HH

| | Mehrstromerzeugung durch eingesetzte Menge Klärschlamm [kWh/Mg OS] | Verminderung der Stromproduktion durch Klärschlamm-trocknung [kWh/Mg OS] | Mehrstromerzeugung [kWh/Mg OS] | Mehrstromerzeugung [kWh/Mg TS] | Mehrstromerzeugung für eingesetzte Menge Klärschlamm [kWh/a] |
|--------------------------|--|--|--------------------------------|--------------------------------|--|
| VERA: Mehrstromerzeugung | 286 | 136 | 150 | 357 | 1.071.429 |

| | Elektrischer Eigenenergiebedarf [GJ/Mg TS] | Elektrischer Eigenenergiebedarf [kWh/Mg TS] | Elektrischer Eigenenergiebedarf für eingesetzte Menge Klärschlamm [kWh/a] | Nettomehrstromerzeugung aus eingesetzter Menge Klärschlamm [kWh/a] |
|--------------------------------|--|---|---|--|
| VERA: Netto-Mehrstromerzeugung | 0,12 | 32,50 | 97.500 | 973.929 |

| | Schlammnege (6% TS) [m ³ /a] | Spezifischer Stromverbrauch Entwässerung [kWh/Mg] | Stromverbrauch [kWh/a] |
|--------------------------|---|---|------------------------|
| Strombedarf Entwässerung | 50.000 | 1,3 | 65.000 |

| | Netto Stromproduktion (Einspeisung in das öffentliche Netz) | Spezifischer Emissionsfaktor Strom-Produktion [g CO ₂ /kWh] | CO ₂ -Gutschrift aus Stromproduktion [Mg CO ₂ /a] |
|-----------------------|---|--|---|
| Netto Stromproduktion | 908.929 | 639 | 581 |