



Ministerium für Umwelt, Raumordnung  
und Landwirtschaft  
des Landes Nordrhein-Westfalen

Entwicklung eines Managementkonzeptes  
für eine wirtschaftliche Energiebereitstellung  
auf kommunalen Abwasserreinigungsanlagen  
mit dem Ziel der Energieautarkie

- Forschungs- und Entwicklungsvorhaben -  
- KURZBERICHT -

**FiW**

**T&M**

**IBR**

August 2000



Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft  
an der RWTH Aachen e.V.  
Mies-van-der-Rohe-Straße 17  
52056 Aachen



**TUTTAHS & MEYER**  
INGENIEURGESELLSCHAFT  
FÜR WASSER-, ABWASSER-  
UND ABFALLWIRTSCHAFT MBH  
Bismarckstraße 2 - 8 52066 Aachen

Ingenieurbüro Redlich und Partner GmbH  
Beratende Ingenieure für Elektrotechnik  
Technologiezentrum Jülich  
Karl-Heinz-Beckurts-Straße 13  
52428 Jülich



**Entwicklung eines Managementkonzeptes  
für eine wirtschaftliche Energiebereitstellung  
auf kommunalen Abwasserreinigungsanlagen  
mit dem Ziel der Energieautarkie**

Projektbearbeitung FiW:

Dipl.-Ing. Friedrich-Wilhelm Bolle  
Dipl.-Ing. Peter Brautlecht  
Dipl.-Ing. Sylvia Gredigk

Projektbearbeitung IBR:

Dipl.-Ing. Richard Wagner  
Dipl.-Ing. Frank Illing  
Dipl.-Ing. Stefan Schmuck

Projektbearbeitung Tuttahs & Meyer:

Dr.-Ing. Markus Schröder  
Dipl.-Ing. Arnold Schäfer  
Dipl.-Ing. Bernhard Wöffen

**August 2000**

**INHALTSVERZEICHNIS**

- 1 Veranlassung und Zielsetzung.....1
- 2 Grundlagen zur Energieversorgung von Kläranlagen .....2
- 3 Managementkonzept zur alternativen Energieversorgung von Kläranlagen .....6

**ABBILDUNGSVERZEICHNIS**

- Abbildung 1: Anwendungsprogramm Eman zur Simulation der Energieversorgung von Kläranlagen .....2
- Abbildung 2: Verknüpfungen bei der Energieoptimierung auf Kläranlagen .....3
- Abbildung 3: Mögliche Energieträger für den Einsatz auf Kläranlagen .....4
- Abbildung 4: Standorte regenerativer Energiesysteme auf Kläranlagen gemäß Umfrage .....5
- Abbildung 5: Beispielhafte Ergebnisse einer Energieverbrauchsermittlung für ein halbes Jahr.....7
- Abbildung 6: Eingabematrix des Programmes Eman zur Simulation der Energiebereitstellung verschiedener Varianten.....9

**TABELLENVERZEICHNIS**

- Tabelle 1: Qualitätsstufen der Energieautarkie .....6

**LITERATURVERZEICHNIS**

BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (1997): Klimaschutz in Deutschland: Zweiter Bericht der Regierung der Bundesrepublik Deutschland nach dem Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderung, April 1997

## 1 Veranlassung und Zielsetzung

Eine zukunftsorientierte Energiepolitik erfordert einen schonenden Umgang mit den verfügbaren fossilen Ressourcen und die weitgehende Nutzung von alternativen Energieträgern. Die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre ist in den letzten Jahrzehnten besorgniserregend gestiegen. Aus diesem Grund ist die Reduktion der klimarelevanten Schadstoffe zu einem wesentlichen Ziel in der nationalen und internationalen Umweltpolitik geworden. So strebt die Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahr 2005 eine Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 25 % gegenüber dem Referenzjahr 1990 an. Laut Prognosen wird dieses Ziel jedoch kaum eingehalten werden. [BMU 1997].

Es ist deshalb angeraten zu prüfen, inwieweit auch auf Kläranlagen ein Beitrag zum allgemeinen Ziel der CO<sub>2</sub>-Reduktion geleistet werden kann. Der hohe Verbrauch an elektrischer und thermischer Energie belegt die Notwendigkeit, im Bereich der Abwasserreinigung alle Anstrengungen zu unternehmen, um eine ressourcenschonende und ökologische Energiepolitik voranzutreiben.

Das vorliegende Vorhaben zeigt die Potentiale und Konzepte auf, mit denen durch eine verstärkte Nutzung, Integration und Kombination alternativer Energieträger auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten eine weitgehende Energieautarkie von Kläranlagen erreicht werden kann.

Um dem Betreiber kommunaler Kläranlagen eine Anleitung bzw. einen Leitfaden an die Hand zu geben, wie eine alternative Energieversorgung mit möglichst hohem Eigenenergieversorgungsgrad zu erreichen ist, wurde das Simulationsprogramm Eman entwickelt (siehe Abbildung 1), in dem aufbauend auf den drei Bausteinen

- Energieverbrauchsermittlung,
- Energieverbrauchsdeckung und
- Wirtschaftlichkeitsnachweis auf Jahreskostenbasis

die Energiebereitstellung in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht beurteilt und eine Entscheidungshilfe für die Planung einer weitgehenden Eigenenergieversorgung geboten wird. Zur Veranschaulichung wird die Anwendung des entwickelten Modells beispielhaft für die Kläranlage Vreden demonstriert.



Eman - Energiemanagement auf Kläranlagen

**Eman - Energiemanagement auf Kläranlagen**

Eine Simulation

erstellt im Rahmen des Projektes

"Entwicklung eines Managementkonzeptes für eine wirtschaftliche Energiebereitstellung auf kommunalen Abwasserreinigungsanlagen mit dem Ziel der Energieautarkie"

Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen

Im Auftrag des

Tuttahs & Meyer, Ingenieurgesellschaft mbH

Ingenieurbüro Redlich und Partner GmbH

Forschungsinstitut f. Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen e.V.

Programmbildung: T & M

IBR

FWW

Programmbildung: btennergie

Programm beenden

Parameterdatei laden

Entwicklung: Dipl.-Ing. B. Wölfen  
Tuttahs & Meyer Ingenieurgesellschaft mbH,  
Aachen

Programmierung: Dipl.-Ing. S. Maurer  
FW e.V., Aachen








**Abbildung 1: Anwendungsprogramm Eman zur Simulation der Energieversorgung von Kläranlagen**

## 2 Grundlagen zur Energieversorgung von Kläranlagen

Auch bei der Energieversorgung von Kläranlagen lassen sich durch eine Optimierung die volkswirtschaftlichen Ziele des Klimaschutzes mit den betriebswirtschaftlichen Interessen des Kläranlagenbetreibers effizient verknüpfen. Bei einer Optimierung des Energieverbrauches und der Energiebereitstellung können sowohl die CO<sub>2</sub>-Emissionen als auch die Gesamtkosten der Kläranlage gesenkt werden.

In Abbildung 2 ist das Zusammenwirken der einzelnen Bausteine der Energieoptimierung auf Kläranlagen dargestellt. Eine Verminderung klimarelevanter Schadstoffe kann sowohl durch eine Reduzierung des Energieverbrauches als auch durch eine Versorgung der Kläranlage mit regenerativen Energien erreicht werden. Beide Maßnahmen können zudem zur Reduzierung von Energiekosten unter Beibehaltung der Gesamtwirtschaftlichkeit beitragen. Dem Gewässerschutz als eigentliche Zielsetzung der Abwasserbehandlung ist dabei immer Priorität einzuräumen.



ENERGIEOPTIMIERUNG AUF KLÄRANLAGEN	
ZIELSETZUNG	 CO <sub>2</sub> -Reduktion  Klimaschutz  Betriebskostenreduzierung  Gebührentabilisierung
INSTRUMENTE	 Optimierung Energieverbrauch  Optimierung Energiebereitstellung
VORAUSSETZUNG	 Einhaltung der prozeßstabilen Abwasserreinigung

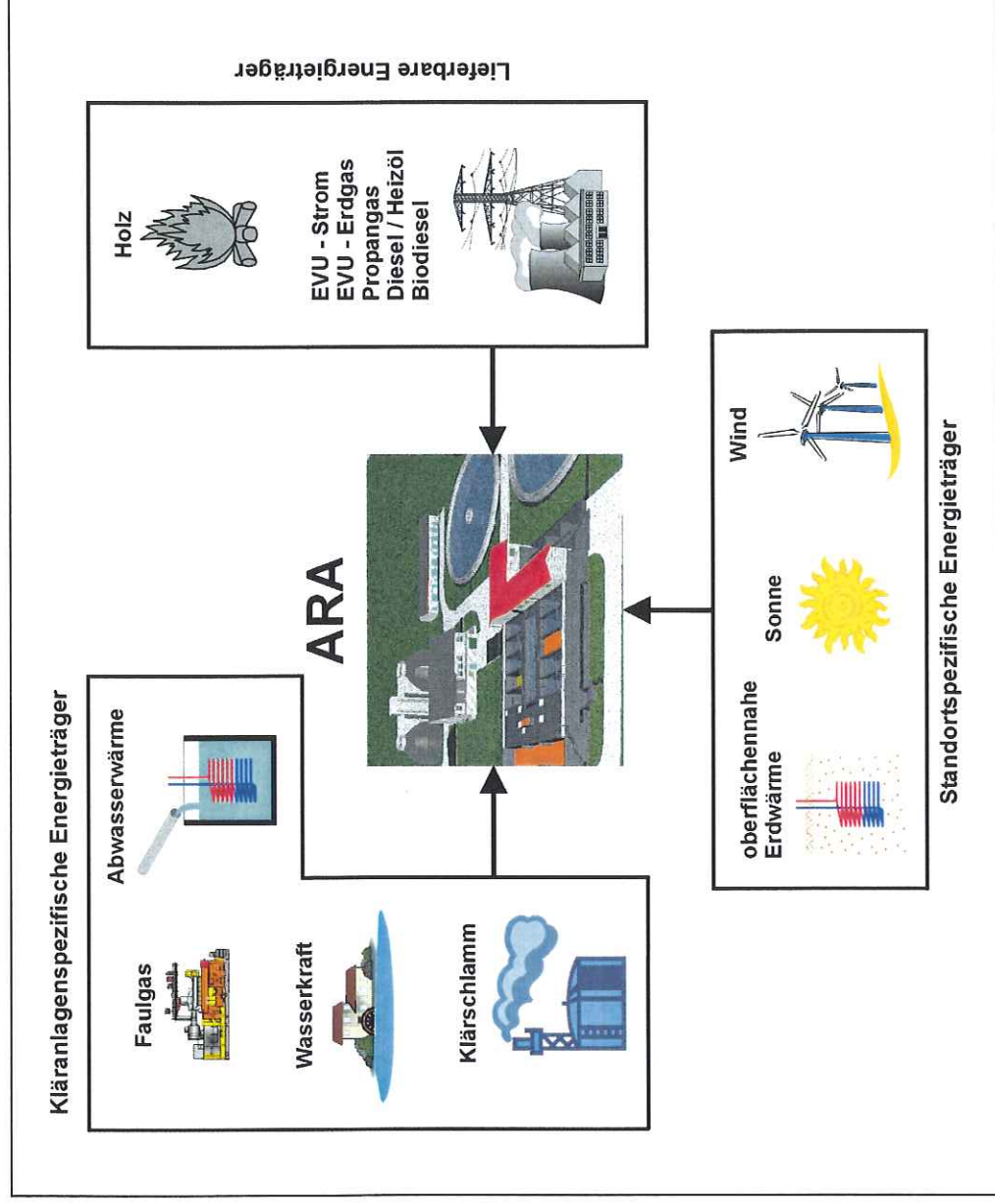
### Abbildung 2: Verknüpfungen bei der Energieoptimierung auf Kläranlagen

Eine im Rahmen des vorliegenden Forschungs- und Entwicklungsvorhabens durchgeführte Recherche zur Entwicklung des Energieverbrauchs und der Energiebereitstellung auf Kläranlagen verdeutlicht, daß mit steigenden Reinigungszielen ein erhöhter Energieverbrauch und gleichzeitig ein geringeres Eigenenergieangebot zu verzeichnen ist. Vor dem Hintergrund, daß derzeit weitergehende Abwasserreinigungsverfahren zur Entkeimung, wie z.B. die energieintensive Membranfiltration bzw. die UV-Behandlung, diskutiert oder auch zusätzliche Anstrengungen in der Regenwasserbehandlung verbunden mit einem erhöhten Mischwasseranfall unternommen werden, gewinnt die Forderung nach einem ressourcenschonenden Energieeinsatz auf Kläranlagen zunehmend an Gewicht.

Heutzutage erfolgt die Versorgung einer Kläranlage mit elektrischer und thermischer Energie meist durch elektrische Energie über das öffentliche Netz, durch angelieferte fossile Brennstoffe und/oder durch Faulgas. Dabei bestehen auf kommunalen Kläranlagen vielfältige Alternativen für die Energiebereitstellung.

So ist z.B. die Nutzung der Wind- oder Solarenergie - wenn auch nicht auf kommunalen Abwasserreinigungsanlagen - inzwischen Stand der Technik. Weitere Energieträger, die in ein Managementkonzept zur optimierten Energiebereitstellung eingebunden werden können, fallen verfahrensbedingt auf der Kläranlage selbst an bzw. können aus den öffentlichen Netzen bezogen oder am Standort Kläranlage zusätzlich installiert werden (siehe Abbildung 3).

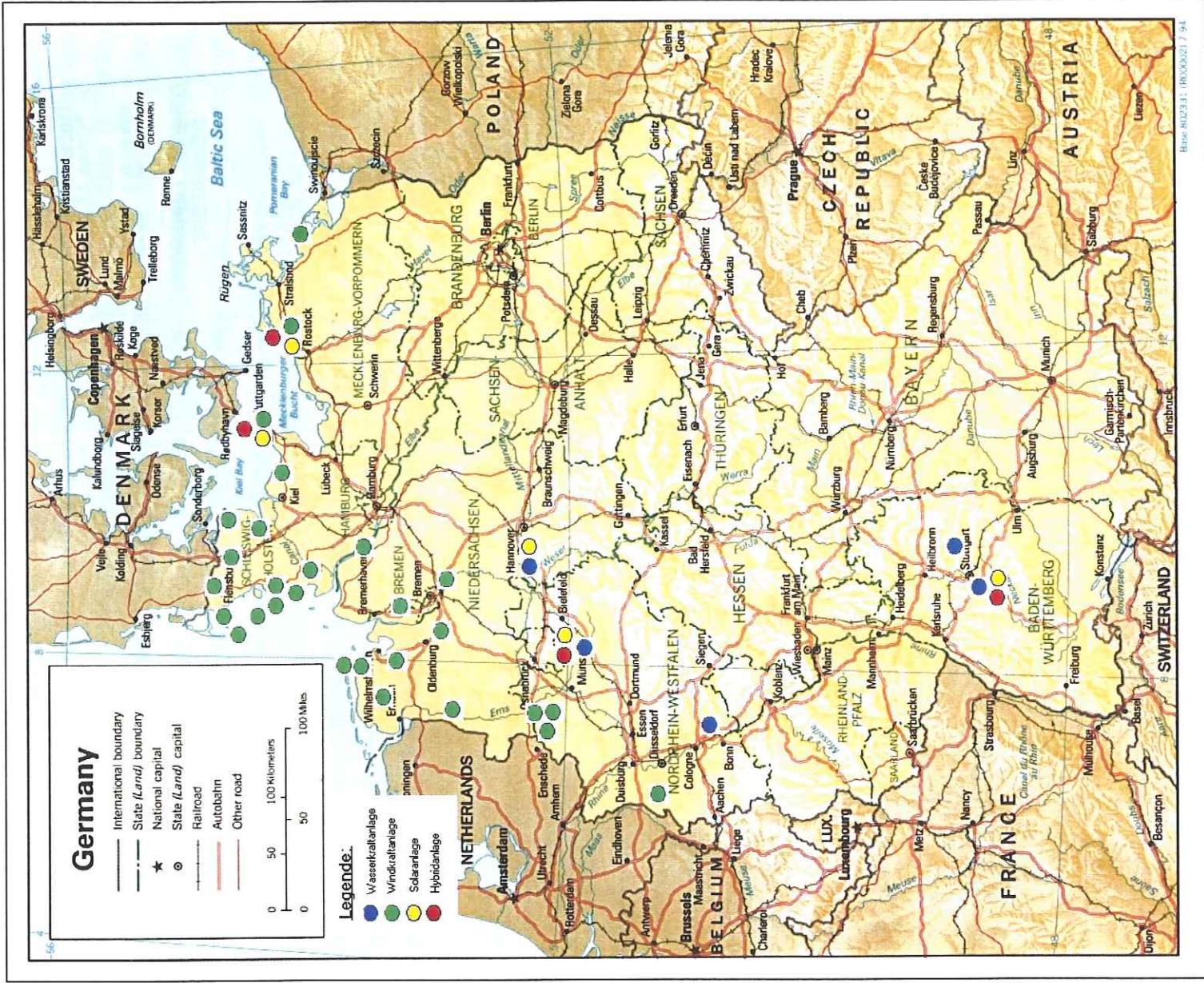
Eine systematische Kombination und ein optimiertes Managementkonzept dieser unterschiedlichen Energieträger mit planmäßiger Abstimmung auf die spezifische Verbrauchscharakteristik einer Kläranlage wird in diesem Vorhaben gezielt untersucht. Die Einflußparameter auf Energieverbrauch und Höhe der Leistungsaufnahme sowie deren Auswirkungen auf die Energieversorgung werden ausführlich diskutiert.



**Abbildung 3: Mögliche Energieträger für den Einsatz auf Kläranlagen**

Derzeit genutzte regenerative Energieträger sowie alternative Energiebereitstellungsmöglichkeiten auf Kläranlagen wurden mittels einer bundesweiten Umfrage erfaßt. Eine Übersicht über die alternativen Bereitstellungsformen und Standorte der 52 identifizierten Kläranlagen zeigt Abbildung 4. Der wesentliche Anteil wird durch Windenergie beigetragen, ein Energieträger, dem auch wirtschaftlich ein hohes Potential beigemessen wird. Mit „Hybridanlagen“ werden Kläranlagen bezeichnet, bei denen mehrere regenerative Formen der elektrischen Eigenenergieerzeugung genutzt werden.





**Abbildung 4: Standorte regenerativer Energiesysteme auf Kläranlagen gemäß Umfrage**

Für die in Abbildung 3 dargestellten Energieträger werden die technischen Voraussetzungen und die Einflüsse auf ihre Verfügbarkeit auf Kläranlagen erläutert. Die Verfügbarkeit als wesentlicher Bestandteil zur Bewertung und Konfiguration autarker Energerversorgungssysteme von Kläranlagen unterliegt zeitlichen, quantitativen, geographischen, witterungsbedingten und verfahrensbedingten Abhängigkeiten, die



in diesem Vorhaben detailliert untersucht werden. Ferner erfolgt eine Beschreibung der zu berücksichtigenden rechtlichen Rahmenbedingungen der Abwasserreinigung und der Energieversorgung sowie der gegenseitigen Berührungspunkte mitsamt einem Verweis auf die Formen öffentlicher Zuwendungen und Finanzierungsmöglichkeiten. Eine abschließende Bewertung zeigt, ob die diskutierten Energieträger grundsätzlich für die Energieversorgung einer Kläranlage sinnvoll einsetzbar sind. Zudem wird abgeschätzt, welchen Anteil sie an der Energieversorgung der Kläranlage übernehmen können. Da neben der technischen und rechtlichen Realisierbarkeit zumeist die Wirtschaftlichkeit die entscheidende Rolle spielt, werden die anfallenden Kosten der Energieträger mitsamt der dazugehörigen Bau- und Anlagentechnik sowie Maschinen- und Elektrotechnik betrachtet.

### 3 Managementkonzept zur alternativen Energieversorgung von Kläranlagen

Nach dieser umfangreichen Darstellung der Eignung verschiedener Energieträger und deren Kombinationsmöglichkeiten auf Kläranlagen wurde aufbauend auf diesen Erkenntnissen ein Managementkonzept für die Energiebereitstellung mit dem Ziel der Energieautarkie entwickelt. In Abhängigkeit von der Fremdennergiezufuhr wurden die vier folgenden Qualitätsstufen einer Energieautarkie definiert:

Qualitätsstufe	Fremdennergiezufuhr [kWh/a]		Eigenenergieüberschuß [kWh/a]
	Zweitbrennstoffe	EVU-Strom	
1	0	0	$\geq 0$
2	$X_{\text{ZWEIT}}$	0	$\geq X_{\text{ZWEIT}}$
3	0	$X_{\text{EVU}}$	$\geq X_{\text{EVU}}$
4	$X_{\text{ZWEIT}}$	$X_{\text{EVU}}$	$\geq X_{\text{ZWEIT}} + X_{\text{EVU}}$

**Tabelle 1: Qualitätsstufen der Energieautarkie**

Die Erstellung von Energiebereitstellungskonzepten setzt aufgrund der vielfältigen und damit unterschiedlichen Ausgangssituationen auf kommunalen Kläranlagen eine systematische Vorgehensweise voraus. Generelle Aussagen, welcher Energieträger der sinnvollste ist, sind nicht möglich. Für jede einzelne Kläranlage muß eine detaillierte Untersuchung unter Beachtung der ortsspezifischen Randbedingungen erfolgen. Für alle Untersuchungen gilt jedoch einheitlich, daß bei der Umsetzung eines

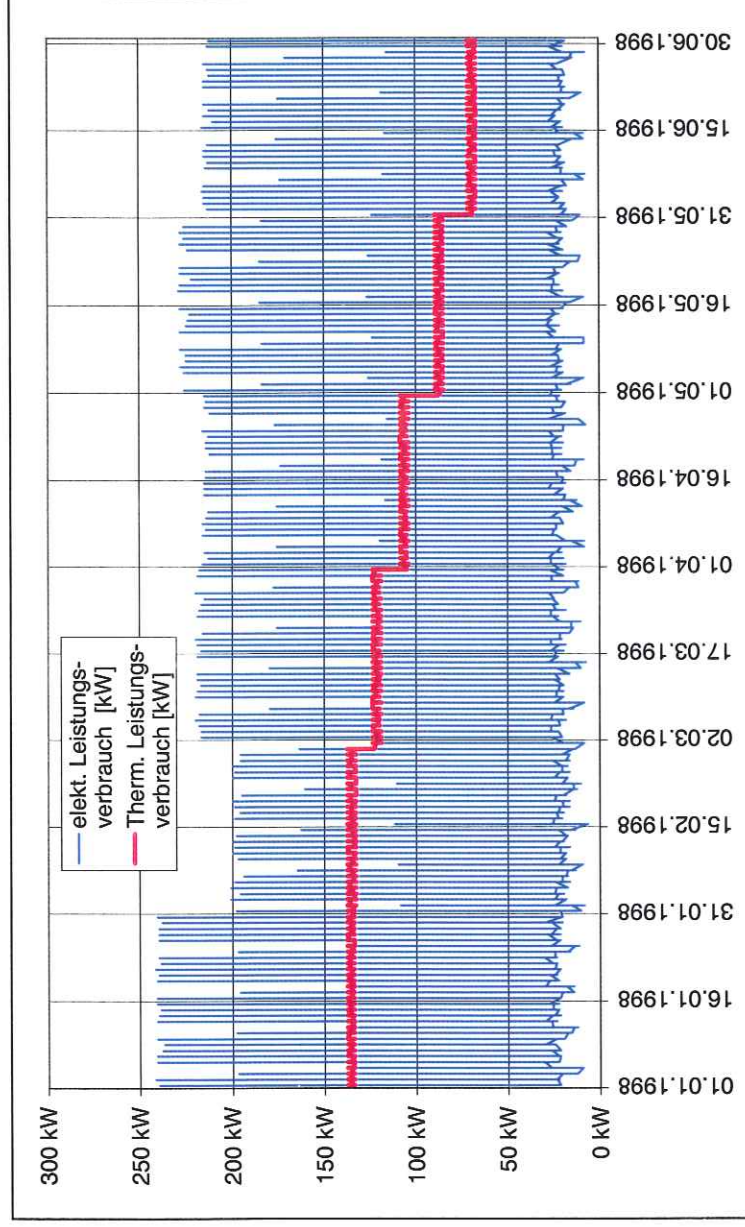
Energiemanagementkonzeptes die folgenden Anforderungen an die Abwasserbehandlung zu beachten sind:

- Einhaltung der gesetzlich festgelegten Reinigungsleistung
- Sicherheit beim Betrieb der Abwasser- und Schlammbehandlungsanlage

Um diese Anforderungen sicher und ständig zu erfüllen, muß das Managementkonzept auf den folgenden Eckpfeilern der Energiebereitstellung gegründet sein:

- Stromversorgung im bestimmungsgemäßen Betrieb (d.h. auch bei Spitzenlast)
- Wärmeversorgung im bestimmungsgemäßen Betrieb (d.h. auch in strengen Wintern)

Eine Bilanzierung des Strom- und Wärmeverbrauchs der jeweiligen Kläranlage bildet dabei die Grundlage. Die Vorgehensweise zur Ermittlung dieser Daten wird ausführlich erläutert. Als Ergebnis dieser Bestandsaufnahme liegen anschließend sowohl für den elektrischen als auch den thermischen Leistungsverbrauch die Ganglinien vor, aus denen sich durch Integration die benötigte Arbeit ermitteln läßt. Beispielhaft sind in Abbildung 5 die Leistungsganglinien für ein halbes Jahr aufgetragen.



**Abbildung 5: Beispielhafte Ergebnisse einer Energieverbrauchsermittlung für ein halbes Jahr**

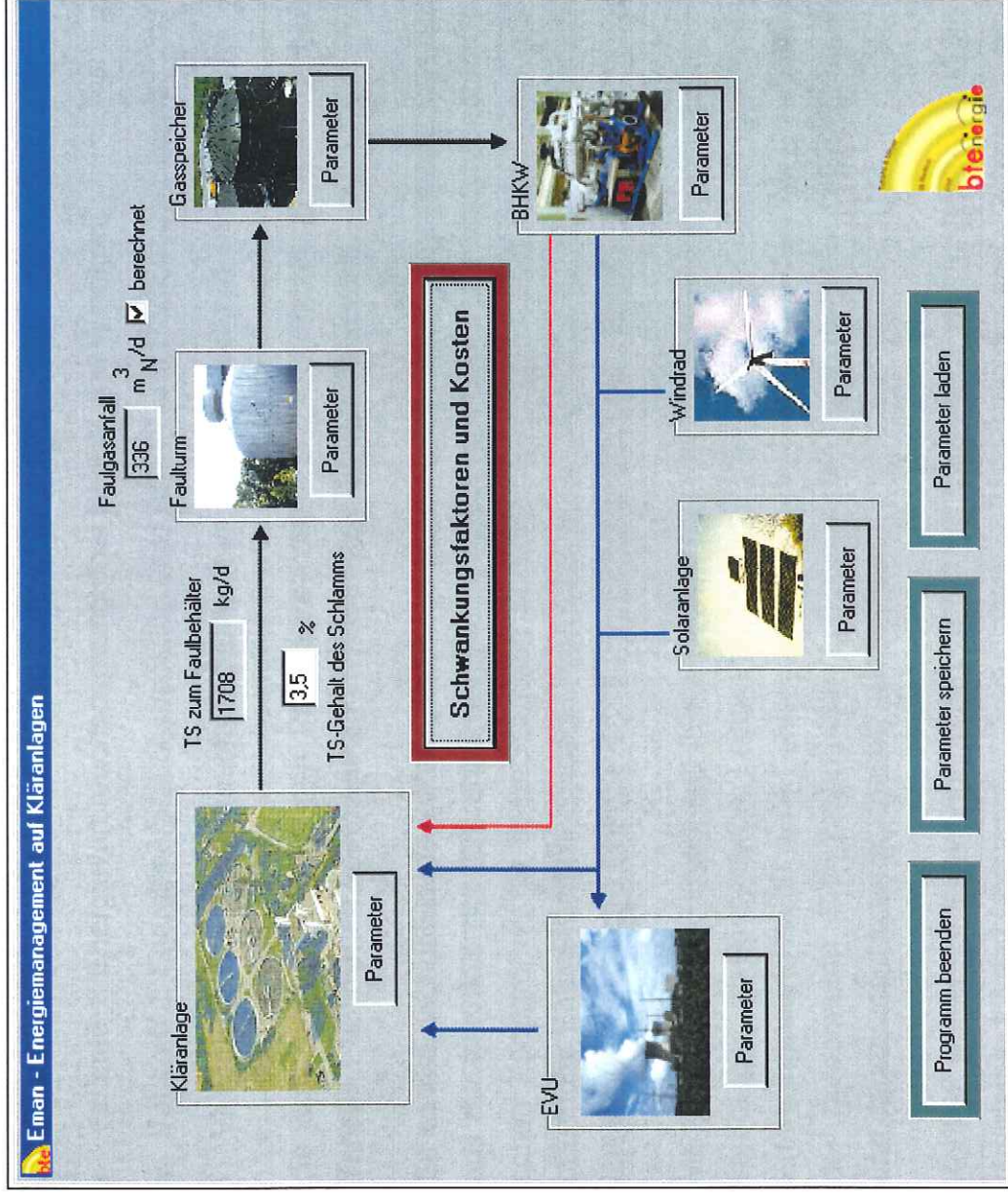


Darauf aufbauend kann die Einbindung zusätzlich zu installierender Energieträger untersucht werden.

Für sämtliche dafür einsetzbare Energieträger wurden Entscheidungsbäume entwickelt. Die wesentlichen Randbedingungen, die einer Nutzung der einzelnen Energieträger auf Kläranlagen zugrunde liegen, werden damit abgefragt. Die Entscheidungsbäume bieten dem Betreiber eine Entscheidungshilfe, welcher Energieträger ihm grundsätzlich zur Deckung des Energieverbrauchs zur Verfügung steht. Sie er setzen zwar keine nachfolgende Untersuchung, zeigen jedoch tendenzielle Möglichkeiten auf.

Nach dieser technischen Prüfung der ortsspezifischen Möglichkeiten zur Energieverbrauchsdeckung können durch das entwickelte Simulationsprogramm Eman die technisch-wirtschaftlichen Auswirkungen von bis zu 3 Energiebereitstellungsvarianten im Vergleich zum Status Quo berechnet und deren Ergebnisse tabellarisch und graphisch vergleichend gegenübergestellt werden.

Hierzu können, wie in Abbildung 6 dargestellt, die spezifischen Eingangsdaten für die Schlammbehandlung, für das BHKW und die Gasspeicherung sowie für die Windkraft- und Solaranlage eingegeben werden. Die für die Energieverbrauchssimulation benötigten Daten werden im Feld „Kläranlage“ eingegeben, während das Feld „EVU“ die erforderlichen Daten für die Wirtschaftlichkeitsberechnung enthält.



**Abbildung 6: Eingabematrix des Programmes Eman zur Simulation der Energiebereitstellung verschiedener Varianten**

Das Programm Eman simuliert den elektrischen und thermischen Energieverbrauch der Kläranlage im gesamten Jahresverlauf zu jeder Viertelstunde des Jahres (jeweils 35.040 Daten). Sind keine konkreten Betriebsdaten vorhanden, wird der Schwankungsverlauf mit Hilfe des spezifischen Energieverbrauches, typischer Tages-, Wochen- und Monatsganglinien sowie Zufallsfaktoren simuliert. Gleiches gilt für die Abschätzung des Beitrages verschiedener Energieträger. Es können konkrete Daten (z.B. Faulgasanfall, Prognosen des Windanfalls oder der Solarstrahlung, etc.) eingegeben werden; ist dies nicht möglich, wird auf typische Dargebotganglinien der Energieträger zurückgegriffen. Die Genauigkeit der Berechnungen steigt entsprechend mit den zur Verfügung stehenden anlagenspezifischen Angaben.

Für die Kläranlage Vreden wurde diese Simulation mit zwei unterschiedlichen Genauigkeitsstufen beispielhaft durchgeführt. Mit Hilfe von Eman konnten für die 4 Varianten



- Status Quo: Energieverbrauchsdeckung über BHKW,
- Variante 1: Energieverbrauchsdeckung über BHKW und Windkraft,
- Variante 2: Energieverbrauchsdeckung über BHKW und Photovoltaik sowie
- Variante 3: Energieverbrauchsdeckung über BHKW, Windkraft und Photovoltaik

die notwendigen Investitionen und Jahreskosten zur Sicherstellung einer gemäß Tabelle 1 definierten energieautarken Kläranlage berechnet werden.

Es konnte nachgewiesen werden, daß eine Abschätzung des Energieverbrauchs nur aus der Kenntnis der Einwohnerwerte einer Kläranlage sowie der verfahrenstechnischen Kenngrößen für überschlägliche Berechnungen möglich ist. Ein darauf aufbauendes Energieverbrauchsdeckungsmodell kann allerdings nur einen groben Anhaltswert für mögliche Energieverbrauchsdeckungsvarianten liefern.

Mit zunehmender Genauigkeit (Kenntnis des thermischen und elektrischen Energieverbrauchs sowie typische Leistungsbedarfsganglinien) können die eingesetzten Erfahrungswerte durch reale Zahlen ersetzt werden; dadurch werden die Ergebnisse der berechneten Energiebedarfsdeckungsvarianten (erforderliche Leistungsdaten und daraus resultierende Kosten) verlässlicher.

Konkret wurde am Berechnungsbeispiel Vreden aufgezeigt, daß unter Berücksichtigung einer für den Notstromfall dimensionierten BHKW-Anlage sogar eine nach Jahreskosten geringfügig günstigere Energieverbrauchsdeckungsvariante mit Energieautarkie möglich ist.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß das angestrebte Ziel einer energieautarken Kläranlage im Sinne der getroffenen Definition durchaus erreichbar ist.

Mit den im Rahmen des vorliegenden Vorhabens erzielten Erkenntnissen und dem entwickelten Simulationsprogramm Eman konnte somit ein praxisnahes Instrument zur technischen und wirtschaftlichen Beurteilung der Energiebereitstellung und eine Entscheidungshilfe für eine sich anschließende Planung einer Kläranlage mit weitgehender Eigenenergieversorgung geschaffen werden.