



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

**Kombinierter Einsatz von Wasserstofftechnologie
und regenerativen Energieträgern zur Energie-
und Verfahrensoptimierung von
Abwasserreinigungsanlagen**

**- Forschungs- und Entwicklungsvorhaben -
- KURZBERICHT -**

fiw

T&M

IBR



Klärwerk Vreden GmbH

Juli 2000



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



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

TUTTAHS & MEYER
INGENIEURGESELLSCHAFT



FÜR WASSER-, ABWASSER-
UND ABFALLWIRTSCHAFT MBH

Bismarckstraße 2 - 8 52066 Aachen

Kombinierter Einsatz von Wasserstofftechnologie und regenerativen Energieträgern zur Energie- und Verfahrensoptimierung von Abwasserreinigungsanlagen

Projektbearbeitung FiW:

Dipl.-Ing. Friedrich-Wilhelm Bolle

Dipl.-Ing. Tim Boudewins

Dipl.-Ing. Peter Brautlecht

Dipl.-Ing. Sylvia Gredigk

Dipl.-Ing. Natalie Rindler

Projektbearbeitung IBR:

Dipl.-Ing. Richard Wagner

Dipl.-Ing. Armin Breitstadt

Dipl.-Ing. Frank Illing

Dipl.-Ing. Stefan Schmuck

Projektbearbeitung Tuttahs & Meyer:

Dr.-Ing. Markus Schröder

Dipl.-Ing. Dietmar Loch

Dipl.-Ing. Arnold Schäfer

Dipl.-Ing. Bernhard Wöffen

Juli 2000

INHALTSVERZEICHNIS

1	VERANLASSUNG UND ZIELSETZUNG	1
2	MARKTANALYSE	2
3	RECHTLICHE UND VERTRAGLICHE GRUNDLAGEN	2
4	DATENANALYSE UND DATENAUFBEREITUNG	2
	Elektrischer Energieverbrauch	2
	Thermischer Energieverbrauch	4
	Luft- und Sauerstoffbedarf der Belebungsstufe	4
	Windkraftanlage	4
5	SYSTEMKONFIGURATION DER ENERGIE- UND VERFAHRENSTECHNIK ...	5
	Auslegung des Gesamtsystems für die Kläranlage Vreden: Reales System - Eigenversorgung mit Bezug elektrischer Energie.....	7
6	INTEGRATION DES ENERGIEKONZEPTS IN DIE VERFAHRENS- UND ENERGIETECHNIK DER KLÄRANLAGE	8
7	INVESTITIONS- UND BETRIEBSKOSTENSCHÄTZUNG	9
8	ENERGIESPEZIFISCHE CO₂-ANALYSE FÜR DEN BETRIEB	9
9	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	10

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 4-1:	Bilanz elektrischer Energie des Klärwerks Vreden.....	3
Tabelle 4-2:	Zusammenstellung des Wärmeverbrauchs.....	4
Tabelle 7-1:	Investitionen und Betriebskosten der Energieanlage	9

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1-1:	Verfahrensschema des Gesamtprozesses	1
Abbildung 4-1:	Eigenenergieversorgungsgrad Kläranlage Vreden /4/.....	3
Abbildung 4-2:	Durchschnittlicher monatlicher Windanfall am Standort Vreden im Jahr 1995	5
Abbildung 5-1:	Systemkonfiguration der Energie- und Verfahrenstechnik	6
Abbildung 5-2:	Relative Beiträge zur Deckung des monatlichen Verbrauchs elektrischer Energie des Klärwerks Vreden, normiert auf das entsprechende Monatsmaximum	8
Abbildung 8-1:	Energiespezifische CO ₂ -Bilanz des Klärwerks Vreden bei Umsetzung des neuen Energiebereitstellungskonzepts.....	10

1 Veranlassung und Zielsetzung

Der Betrieb von Kläranlagen ist durch einen hohen Energieverbrauch gekennzeichnet; sie beanspruchen in Deutschland rund ein Fünftel des gesamten Elektrizitätsverbrauchs öffentlicher Gebäude und Anlagen. Im Durchschnitt können Kläranlagen durch eine effiziente Faulgasnutzung den Elektrizitätsbedarf lediglich rund zur Hälfte decken [3], das Defizit wird i.d.R. durch elektrischer Energie aus dem öffentlichen Netz gedeckt. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens war für das Klärwerk Vreden ein Konzept zu entwickeln, das weitgehend unabhängig von der Energieversorgung durch das Energieversorgungsunternehmen (EVU) die Deckung des elektrischen und thermischen Energieverbrauchs der Kläranlage über die Nutzung regenerativer Energien sicherstellt. Die Substitution des EVU-Stroms durch erneuerbare Energien hat unmittelbar eine Verminderung der energiespezifischen CO₂-Emissionen zur Folge und kann damit einen wichtigen Beitrag zur Umsetzung der nationalen Ziele der Klimaschutzpolitik liefern.

Das Energiebereitstellungskonzept sieht den Einsatz einer Windkraftanlage (WKA) in Kombination mit der Wasserelektrolyse samt Wasserstoffspeicherung sowie der anschließenden Nutzung des Wasserstoffs in einer Brennstoffzelle vor (s. Abbildung 1-1). Die zweite bei der Wasserelektrolyse anfallende Komponente, der Sauerstoff, wird im Abwasserreinigungsprozess für die Begasung der Belebungsstufe genutzt. Die Verknüpfung zwischen der Energiebereitstellung, dem Abwasserreinigungsprozess und der Faulgasnutzung stellt eine bislang einzigartige Synthese dieser drei Prozesse dar. In diesem Forschungsvorhaben wurde die Machbarkeit des Konzepts geprüft sowie die Auslegung und die Bemessung der Einzelkomponenten konkret am Beispiel der Kläranlage Vreden durchgeführt.

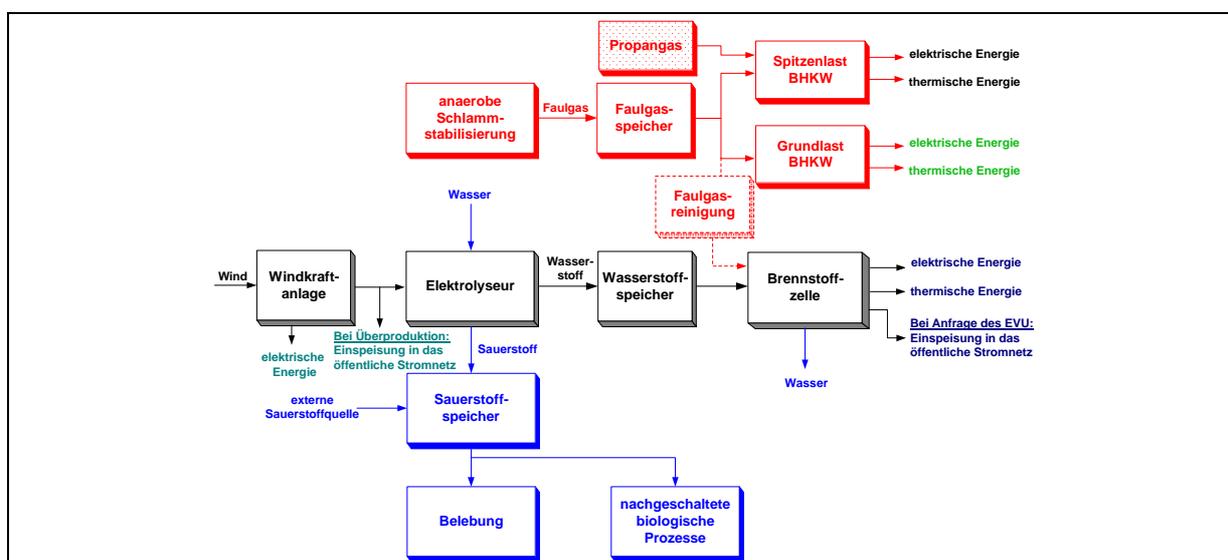


Abbildung 1-1: Verfahrensschema des Gesamtprozesses

2 Marktanalyse

Die Marktstudie hat gezeigt, daß alle erforderlichen Anlagenkomponenten (Windkraftanlage, Elektrolyseur, Wasserstoff- und Sauerstoffspeicher, Brennstoffzelle, Faulgasaufbereitung) heute in Serie produziert werden und lieferbar sind. Zum überwiegenden Teil liegen nennenswerte Betriebserfahrungen vor. Da es sich z.T. um eine Auswahl von Aggregaten handelt, die erst in neuerer Zeit für den großtechnischen Einsatz in Frage kommen, eröffnen sich für einige der Anlagenkomponenten durch die derzeitigen Entwicklungsanstrengungen noch zahlreiche Perspektiven. Die meisten Brennstoffzellentechnologien befinden sich noch in der Entwicklung oder stehen kurz vor der Kommerzialisierung, so daß sich langfristig für die Bemessung einer entsprechenden Anlagenkonfiguration positive Einflüsse hinsichtlich der verfügbaren Technologie und der Wirtschaftlichkeit abzeichnen.

3 Rechtliche und vertragliche Grundlagen

Die Optimierung des Energiebereitstellungskonzepts einer Kläranlage erfordert eine umfangreiche Betrachtung der rechtlichen und vertraglichen Rahmenbedingungen. Hinsichtlich ‚Genehmigungs- und Betriebsrecht‘, ‚Abwasserabgabe‘ und ‚Vertragswesen Energiewirtschaft‘ erfolgt im Bericht zum Vorhaben eine ausführliche Darstellung der zu berücksichtigenden Anforderungen und Vorgaben (Stand: Oktober 1999). Als zentrales Ergebnis ist festzuhalten, daß die gewählte Anlagenkonfiguration heute rechtlich und vertraglich ohne Probleme realisierbar ist.

4 Datenanalyse und Datenaufbereitung

Die Datenanalyse dient als Grundlage für die Auslegung des Energiebereitstellungskonzeptes und erfolgt im wesentlichen anhand der Betriebsberichte des Prozeßleitsystems sowie dem Genehmigungsentwurf der Kläranlage für den Zeitraum November 1998 bis September 1999. /4-8/

Elektrischer Energieverbrauch

Für die Bearbeitung des Vorhabens waren insbesondere folgende Daten von Interesse von Interesse:

- die Jahressumme des elektrischen Energieverbrauchs [MWh/a],
- die Verteilung des elektrischen Energieverbrauchs als Jahresganglinie [MWh/Monat],
- eine exemplarische Tagesganglinie der benötigten elektrischen Leistung bei Trockenwetter [kW],
- die maximal erforderliche elektrische Leistung [kW],

- die Jahressumme an elektrischer Energie [MWh/a], die durch das Blockheizkraftwerk (BHKW) mit Faulgas erzeugt wurde, und
- die Jahresganglinie der erzeugten elektrischen Energie [MWh/Monat], die durch das BHKW mit Faulgas erzeugt wurde.

Im Rahmen einer Feinanalyse für das Klärwerk Vreden wurden diese Daten ermittelt und einer Plausibilitätsprüfung unterzogen. Hier werden rund 60 % der elektrischen Energie für die biologische Reinigung, rund 20 % für die mechanische Reinigung, 15 % für die Schlammbehandlung und rund 5 % für Betriebsgebäude, Beleuchtung, Betriebswasser und Infrastruktur verbraucht (Gesamtverbrauch elektrische Energie s. Tabelle 4-1).

Bezug elektrischer Energie vom EVU	398 MWh/a
Erzeugung elektrischer Energie durch BHKW davon mittels Faulgas:265 MWh/a, mittels Propangas: 70 MWh/a	335 MWh/a
Summe Verbrauch elektrische Energie	733 MWh/a

Tabelle 4-1: Bilanz elektrischer Energie des Klärwerks Vreden

Der Eigenversorgungsgrad der Kläranlage Vreden lässt sich über den monatlichen elektrischen Energieverbrauch und die mittels Faulgas erzeugte elektrische Energie ermitteln (Abbildung 4-1).

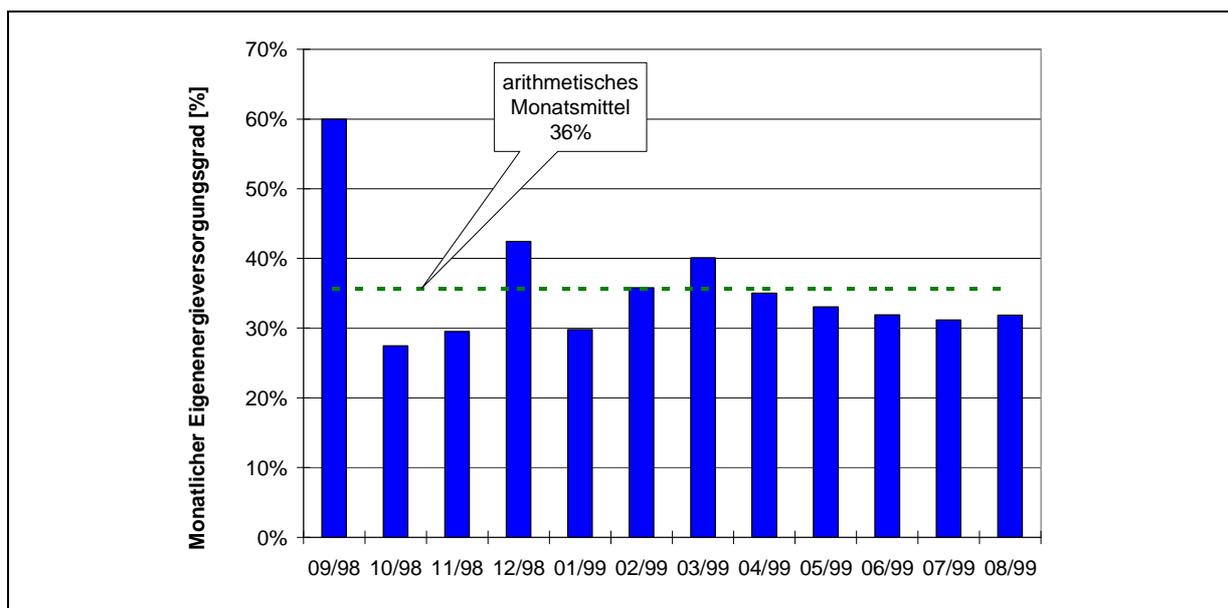


Abbildung 4-1: Eigenenergieversorgungsgrad Kläranlage Vreden /4/

Thermischer Energieverbrauch

Die Analyse der anfallenden Abwärme aus Faulgas zeigt, daß prinzipiell im Jahresmittel genügend Abwärme aus dem BHKW zur Verfügung steht (489.000 kWh/a), um den Jahreswärmebedarf der Kläranlage Vreden zu decken. Es wurde die Wärmeleistung und der Wärmeverbrauch für die Schlammaufheizung, die Gebäude- und die Faulbehälterbeheizung (= Transmissionsverluste) sowie der Warmwasserverbrauch für ein Jahr differenziert berechnet. Tabelle 4-2 zeigt die Kalkulation des erforderlichen Jahreswärmeverbrauchs und der mittlern Leistung.

Jahreswärmeverbrauch	Wärme	Leistung (i.M.)
A.) Heizung für den Faulbehälter-Zulaufschlamm	365.002 kWh/a	42 kW
B.) Gebäudebeheizungen	54.404 kWh/a	6 kW
C.) Heißwasserbedarf	8.760 kWh/a	1 kW
D.) Beheizung des Faulbehälters	35.040 kWh/a	4 kW
Summe:	463.206 kWh/a	53 kW

Tabelle 4-2: Zusammenstellung des Wärmeverbrauchs

Damit ergibt sich ein thermischer Eigenversorgungsgrad mit Wärme von 110 %. Der Wärmebedarf wird durch die Aufheizung des Primär- und Überschussschlammes bestimmt - insoweit bestimmen Schlammtemperatur und Schlammfallmengen im wesentlichen den täglichen Wärmebedarf.

Luft- und Sauerstoffbedarf der Belebungsstufe

Um einen mengenmäßigen Vergleich zwischen dem elektrolytisch erzeugten Reinsauerstoff und dem Sauerstoffbedarf der biologischen Reinigungsstufe herstellen zu können, sind die maßgeblichen Frachten im Zu- und Ablauf der Belebungsstufe zu bilanzieren sowie die maximal und minimal vorhandenen Sauerstofflasten zu untersuchen. Mit Hilfe einer detaillierten Frachtbilanzierung wurde der Sauerstoffbedarf OV der Kläranlage Vreden zu 882.000 kg O₂/a ermittelt. Die maximale stündliche Sauerstofflast OV wurde zu 126 kg O₂/h, die minimal stündliche Sauerstofflast zu 27 kg O₂/h berechnet. Der minimale Sauerstoffbedarf OV im Nachtminimum liegt bei ca. 14 kg O₂/h. Als potentieller Eintragsort des erzeugten Reinsauerstoffs wurde bei der in Vreden konzipierten Kaskade das Belebungsbecken 1 identifiziert.

Windkraftanlage

Mit Hilfe der Betreiber-Datenbasis vorhandener Vredener Windkraftanlagen für das Jahr 1995 /1/ konnten die in Abbildung 4-2 dargestellten, monatlichen Windindices ermittelt werden, die der weiteren Bemessung zugrunde liegen.

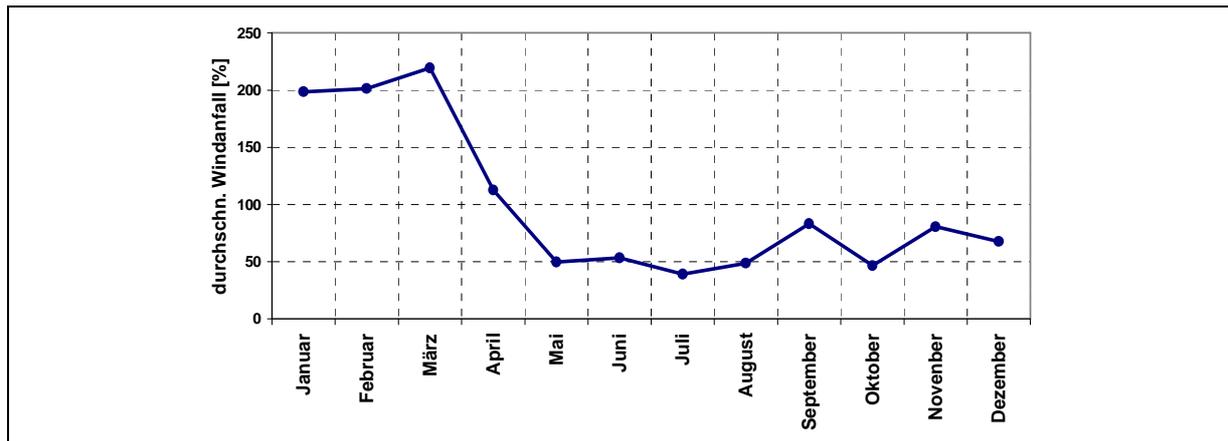


Abbildung 4-2: Durchschnittlicher monatlicher Windanfall am Standort Vreden im Jahr 1995

5 Systemkonfiguration der Energie- und Verfahrenstechnik

Vor der eigentlichen Auslegung des Energiebereitstellungssystems waren zu klären:

- der anzustrebende Grad der Eigenversorgung der Kläranlage mit elektrischer und thermischer Energie,
- die Verfahrensschritte für die Bemessung der Einzelkomponenten,
- die Struktur eines Managementkonzeptes für den gezielten Einsatz der Einzelkomponenten zur Energiespeicherung und zur Energieversorgung der Kläranlage,
- die Darstellung der komplexen und iterativen Rechenschritte zur Auslegung und der Bemessung der Einzelkomponenten.

Die Vorgehensweise zur Entwicklung des Vorhabens zeigt Abbildung 5-1.

1. Grundlage für die Auslegung der Energieanlage war eine detaillierte Datenerhebung, -aufbereitung und -analyse zur Charakterisierung des elektrischen und thermischen Energieverbrauchs der Kläranlage. Da nicht davon ausgegangen werden kann, daß der Verbrauch elektrischer und thermischer Energie stets dem zeitlichen und qualitativen Verlauf des Energieangebots aus den regenerativen Quellen Wind und Faulgas entspricht, wurde ein Energiemanagementkonzept entwickelt. Je nach zeitlichem Anfall von Wind und Faulgas, der Verfügbarkeit an gespeicherten Energien und dem Energieverbrauch der Kläranlage werden die Energiequellen derart verknüpft, daß der Verbrauch weitgehend ohne den Einsatz externer Energiequellen gedeckt wird.

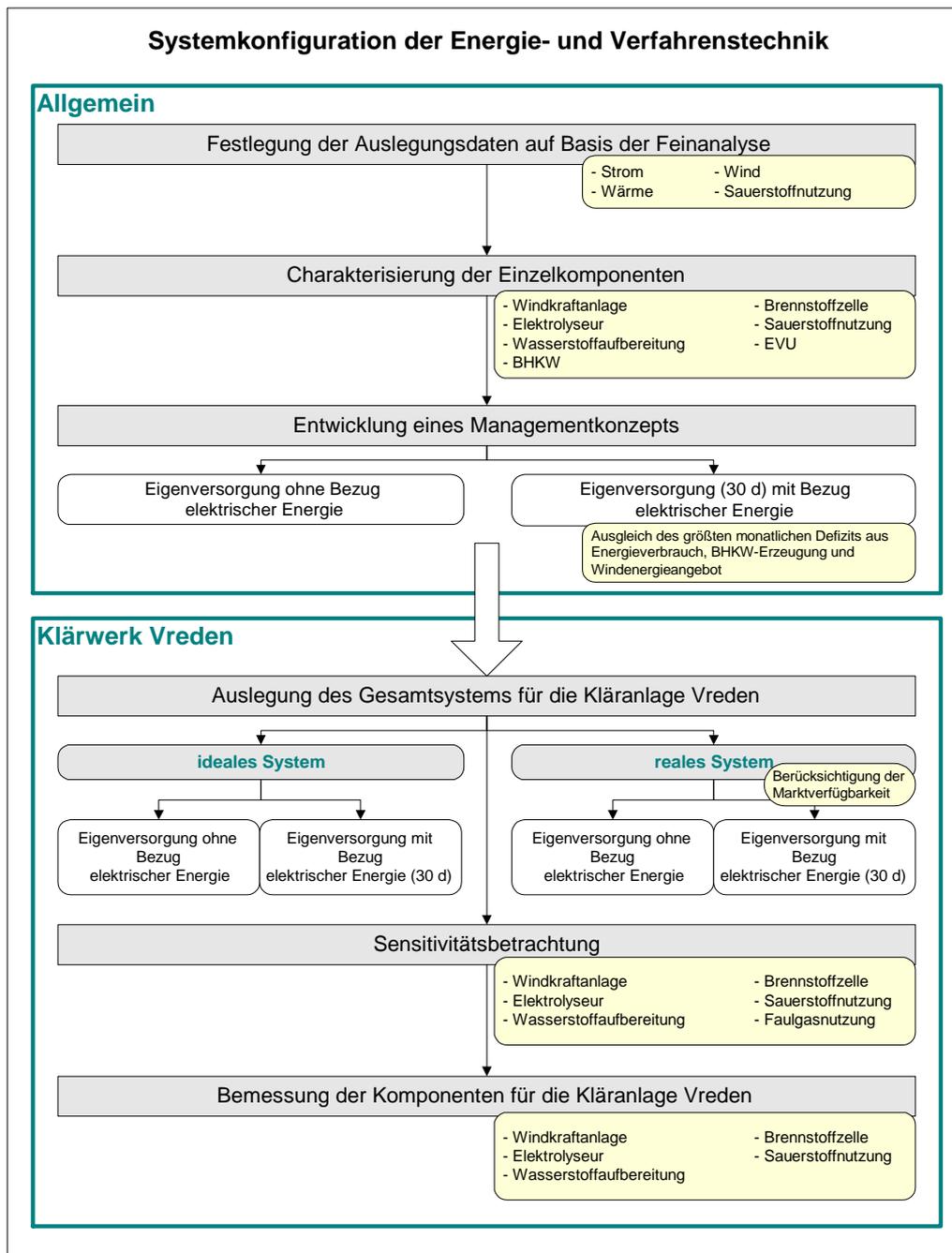


Abbildung 5-1: Systemkonfiguration der Energie- und Verfahrenstechnik

Die Betrachtung des realen Systems bezieht gegenüber dem idealen System die Erkenntnisse der Marktanalyse über die Verfügbarkeit der einzelnen Modulgrößen der Bauteile mit ein. Die „Eigenversorgung ohne Bezug elektrischer Energie“ beinhaltet eine Maximalwertbetrachtung, die im Vorhaben sowohl für das reale wie für das ideale System erfolgt. An dieser Stelle wird lediglich die Systemkonfiguration für den Fall „reales System – Eigenversorgung über 30 Tage“ dargestellt.

Für die Auslegung werden folgende Anforderungen an den externen Energieaustausch und den Grad der Eigenversorgung definiert:

1. Der Strombezug aus dem öffentlichen Netz erfolgt ausschließlich in den Zeiträumen, in denen dieses nicht zu stark belastet ist. Die Einspeisung regenerativ erzeugter Energie wird zu den Spitzenlastzeiten im öffentlichen Netz stattfinden.
2. Die Energieanlage wird so konzipiert, daß über den Zeitraum von einem Monat mit defizitärer Energiebilanz und zeitgleich hoher Auslastung des EVU-Netzes der Energiebedarf der Kläranlage durch Energiespeicherung gedeckt werden kann. Eine defizitäre Energiebilanz liegt vor, wenn durch die Windkraftanlage zuzüglich der Eigenversorgung durch das BHKW die benötigte Energie zur Versorgung der Kläranlage nicht bereitgestellt werden kann.

Das Zusammenwirken der Einzelkomponenten zur Energieversorgung und die Aus- und Rückwirkungen des Energieverbrauchs der Kläranlage lassen es nicht zu, eine mathematisch-logische Beziehung zur Ermittlung der erforderlichen Modulgrößen aus den (bekannten) Verbrauchsdaten der Kläranlage zu ermitteln. Vielmehr ist es erforderlich, durch geeignete Variation der einzelnen Systemkomponenten, unter Berücksichtigung festgelegter Steuerstrategien, iterativ die optimale Gesamtauslegung zu ermitteln.

Auslegung des Gesamtsystems für die Kläranlage Vreden: Reales System - Eigenversorgung mit Bezug elektrischer Energie

Bei dem Übergang vom idealen zum realen System (vgl. Abbildung 5-1) unter Berücksichtigung der Marktverfügbarkeit der Einzelkomponenten zeigt sich, daß die erforderlichen Module größer angesetzt werden müssen, um den Zielsetzungen des Versorgungskonzeptes gerecht zu werden. Die Auslegung ergibt aufgrund größerer Nennleistungen des Elektrolyseurs und der Brennstoffzelle keine wesentlichen Änderungen in den Stoffbilanzen und der Auslegung des Wasserstoffspeichers. Das Defizit zwischen dem Verbrauch der Kläranlage und der eigenerzeugten Energie durch die Windkraftanlage und das Blockheizkraftwerk kann während der Zeiten geringer Belastungen des öffentlichen Netzes durch Strombezug ausgeglichen werden. Als Ergebnis umfangreicher Iterationen bei der Bemessung haben sich folgende Festlegungen für die Einzelkomponenten ergeben:

- Windkraftanlage: 600 kW_{el}
- Elektrolyseur: 150 kW_{el}
- Speicherinhalt Wasserstoffspeicher: 47 MWh_{el}
- Brennstoffzelle: 220 kW_{el}
- Maximal anfallendes Sauerstoffvolumen: $V_{\max} = 25,5 \text{ m}_N^3 \text{ O}_2/\text{h}$
- Jährlich anfallendes Sauerstoffvolumen: $V_{\text{ges}} = 18.787 \text{ m}_N^3 \text{ O}_2/\text{a}$
 $\cong 2,1 \text{ m}_N^3 \text{ O}_2/\text{h}$

In einem Jahr wird durch den Eintrag des im Elektrolyseur erzeugten Sauerstoffs in die belüfteten Zonen der Belebung eine Reduzierung des Verbrauchs an elektrischer Energie von ca. 6 MWh/a erreicht. Die Jahresbilanz des Austauschs elektrischer Energie mit den öffentlichen Versorgungsnetzen zeigt eine Einspeisung von 270 MWh/a gegenüber einem Bezug von 40 MWh/a, das heißt ca. 15 % der in das öffentliche Netz eingespeisten elektrischen Energie werden wieder bezogen. Abbildung 5-2 zeigt die monatlichen Anteile der Einzelkomponenten am Gesamtverbrauch elektrischer Energie der Kläranlage.

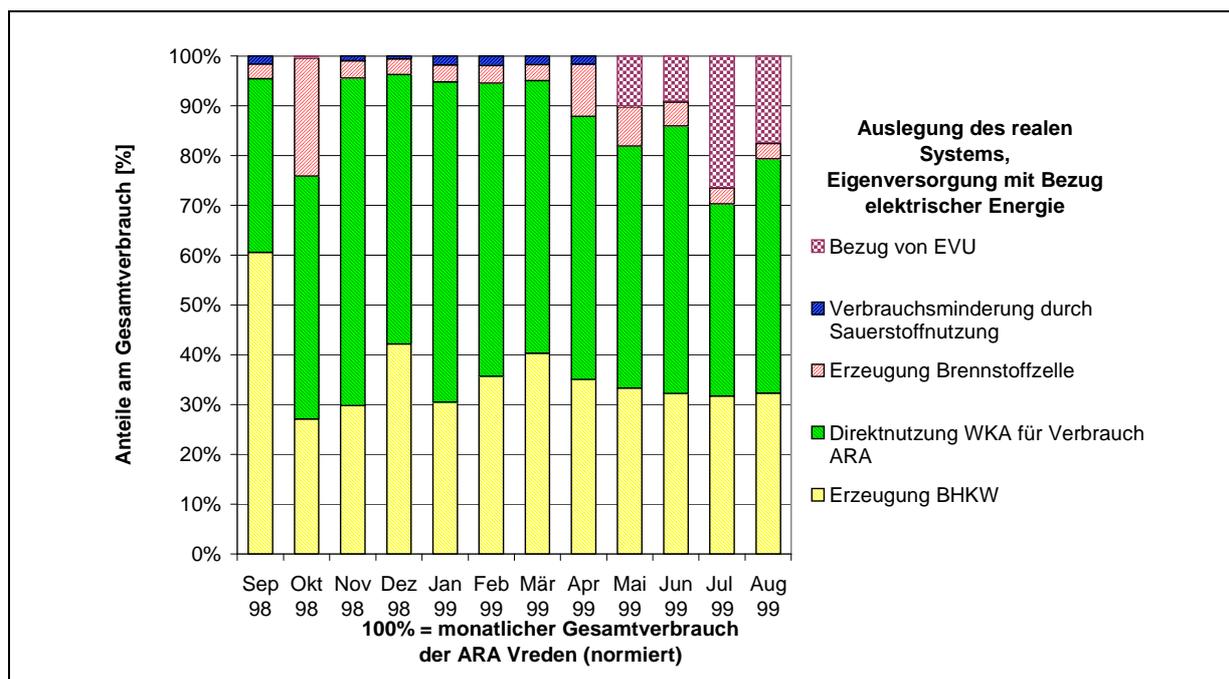


Abbildung 5-2: Relative Beiträge zur Deckung des monatlichen Verbrauchs elektrischer Energie des Klärwerks Vreden, normiert auf das entsprechende Monatsmaximum

Die Realisierung der Energieanlage auf der Kläranlage Vreden und deren Integration in die vorhandene Anlagentechnik wurde so detailtief geprüft, daß sowohl ein Lageplan erstellt als auch ein R & I-Schema entwickelt wurde, das die wesentlichen Stoff- und Energieströme sowie die einzelnen Anlagenkomponenten abbildet.

6 Integration des Energiekonzepts in die Verfahrens- und Energietechnik der Kläranlage

Auf einer Kläranlage werden i.d.R. keine entsprechenden Möglichkeiten für die Integration und Ankopplung der elektrischen Energien der Windkraftanlage, des Elektrolyseurs und der Brennstoffzelle vorhanden sein. Um die Übertragbarkeit der Ergebnisse dieses Projektes auch auf andere Kläranlagen zu vereinfachen, wurden im

Vorhaben die allgemeinen Anforderungen an die Automatisierungstechnik zwischen den vorhandenen und den Einzelkomponenten des Energieversorgungskonzepts für eine Kläranlage formuliert. Für die Betriebsführung, Beobachtung, Überwachung, Dokumentation und Archivierung ist das Prozeßleitsystem i.d.R. zu erweitern und anzubinden.

7 Investitions- und Betriebskostenschätzung

Für alle erforderlichen Komponenten zur Umsetzung der Energieanlage auf der Kläranlage Vreden werden die Investitionen und Betriebskosten ermittelt. Eine Übersicht der aufsummierten Positionen gibt Tabelle 7-1 (Stand: Oktober 1999; Zinssatz zur Berechnung der Annuitäten: 5,0 %).

Titel	Gesamtpreis [DM]	Summe Betriebskosten [DM/a]	Summe Jahreskosten [DM/a]
Windkraftanlage	1.340.000	7.800	126.657
Wasserstoffspeicher und Verdichter	1.684.000	9.500	173.730
Brennstoffzelle	1.750.000	7.700	275.778
Elektrolyseur	741.000	22.200	117.166
Automatisierung und Prozeßleittechnik	90.000	2.700	12.866
Installationstechnik für E-Technik	147.000	1.700	16.500
Armaturen und Rohrleitungen	71.000	128	5.148
Bautechnik	155.000	0	8.837
Gesamtsumme	5.978.000	51.728	736.683
Honorare und Genehmigungen 10 %	598.000		68.495
Gesamt	6.576.000		805.178
Gesamtsumme ohne WKA	4.505.000	43.928	600.500
Honorare und Genehmigungen 10 %	451.000		55.657
Gesamt ohne WKA	4.956.000		656.157

Tabelle 7-1: Investitionen und Betriebskosten der Energieanlage

8 Energiespezifische CO₂-Analyse für den Betrieb

Im Falle der Auslegung „Eigenversorgung (30 Tage) mit Bezug elektrischer Energie“ führt der Einsatz der regenerativen Energien zu einer Reduktion der energiespezifischen CO₂-Emissionen um ca. 270 t CO₂/a; dies entspricht einem Anteil von rund 72 % der gesamten energiespezifischen Emissionen des Klärwerks. Bei vollständiger Eigenversorgung ohne externen Energiebezug wird eine Verminderung von ca. 298 t CO₂/a bzw. 79 % ermöglicht (Annahme: Substitution Strom EVU: 0,688 kg CO₂/kWh /2/).

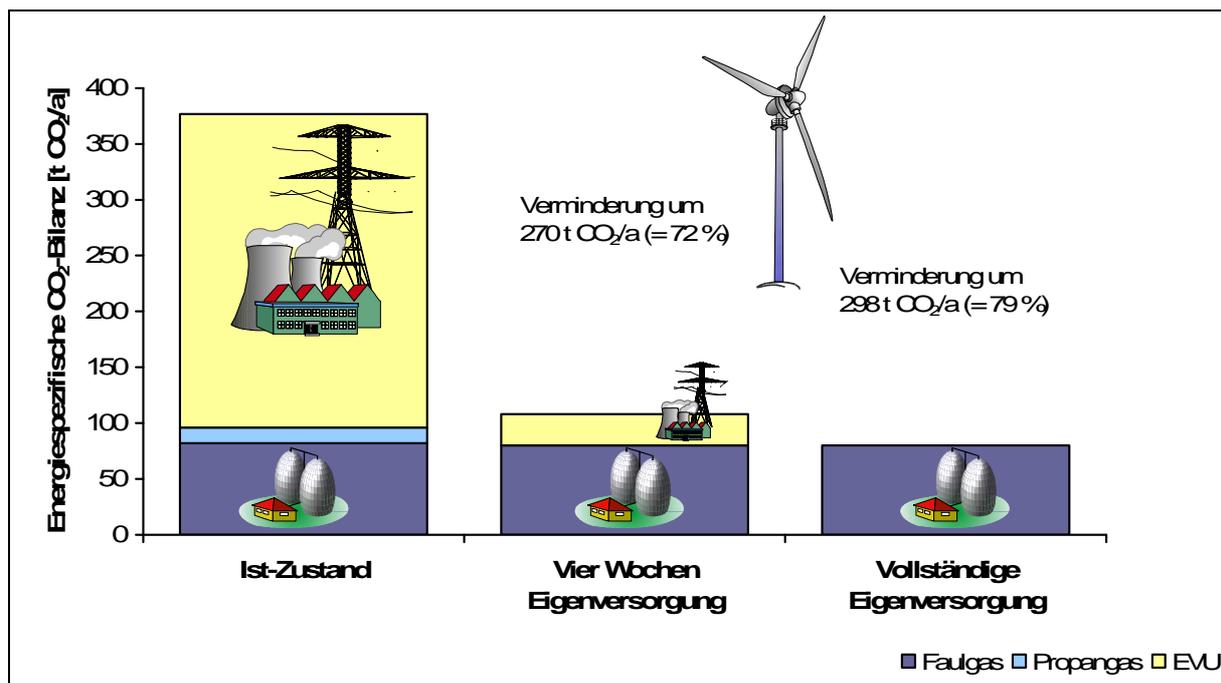


Abbildung 8-1: Energiespezifische CO₂-Bilanz des Klärwerks Vreden bei Umsetzung des neuen Energiebereitstellungskonzepts

9 Zusammenfassung und Ausblick

Ergebnis des Forschungsvorhabens ist ein Konzept einer weitgehend dezentralen Energiebereitstellung zur Deckung des elektrischen und thermischen Energieverbrauchs einer Kläranlage. Die konkrete Auslegung der Systemkomponenten erfolgte für das Klärwerk Vreden und unter Berücksichtigung der dort vorherrschenden spezifischen Rahmenbedingungen. Die Bemessung der Systemkomponenten zur Sicherstellung der Energieversorgung des Klärwerks Vreden über einen Zeitraum von vier Wochen läßt vor den genannten Zielsetzungen eine Verminderung des externen Energiebezugs vom EVU im Jahresmittel um rund 90 % und eine Reduzierung der CO₂-Emissionen um 72 % zu. Die Marktstudie hat gezeigt, daß hinsichtlich der Verfügbarkeit der einzelnen Anlagenkomponenten die derzeitigen Entwicklungsanstrengungen noch zahlreiche Perspektiven eröffnen.

Die Ergebnisse zeigen, daß die Nutzung regenerativer Energien und deren Speicherung in Form von Wasserstoff sowie die Verknüpfung dieser Technologie mit dem Abwasserreinigungsprozeß über die Sauerstoffnutzung für die Kläranlage eine energetisch und ökologisch positiv zu bewertende Alternative zur konventionellen Energiebereitstellung darstellt. Die Möglichkeiten zur Umsetzung des Konzepts wurden hier für das Klärwerk Vreden bereits bis ins Detail betrachtet, so daß ein entsprechendes Demonstrationsvorhaben zu begrüßen wäre und viel Erfolg verspricht.

LITERATURVERZEICHNIS

- /1/ Interessenverband Windkraft Binnenland e.V. (IWB) (1996): Windkraftanlagen 1996, Marktübersicht vom April
- /2/ Ministerium für Wirtschaft und Mittelstand, Technologie und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen (1999): Umsetzungsbericht 1999 zum Klimabericht Nordrhein-Westfalen; Düsseldorf
- /3/ MURL NRW (1999)
Handbuch Energie in Kläranlagen
Herausgeber: Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf, September 1999
- /4/ N.N. (2000): Energetische Feinanalyse des Klärwerks Vreden (in Vorbereitung)
- /5/ Tuttahs & Meyer Ing. GmbH (1995): Genehmigungsentwurf nach § 58 Abs. 2 LWG für die Kläranlage Vreden, Aachen, Januar 1995
- /6/ Tuttahs & Meyer Ing. GmbH (1997): Gutachterliche Stellungnahme zur Wirtschaftlichkeit einer Windkraftanlage an der Kläranlage Vreden, Aachen
- /7/ Tuttahs & Meyer Ing. GmbH (1998): Wärmeschutznachweis nach Wärmeschutzverordnung 1995 (Energiebilanzverfahren), Aachen, September 1998
- /8/ Tuttahs & Meyer Ing. GmbH (2000): Betriebsbericht für die Kläranlage Vreden für das Jahr 1999, Aachen, im April 2000, ergänzt im Juni 2000