

Kompakt-Biogasanlagen 1, 2, 3 und 4

Zusammenfassung und Betriebsauswertung der Anlagen:

J. Schmid, R. Grossenbacher, F. Grass und G. Martin

Projekt 30 383/ 32 763 Vertrag 70 260/ 72 620

Ausgearbeitet durch

T. Böhni; Böhni Energie und Umwelt GmbH

8500 Frauenfeld

Im Auftrag des

Bundesamtes für Energie

Schlussbericht Dezember 2001

Auftraggeber:

Forschungs- und P+D Programm Biomasse des
Bundesamtes für Energie

Auftragnehmer:

Thomas Böhni
Böhni Energie und Umwelt GmbH
Industriestrasse 23
8500 Frauenfeld

Dieses Dokument ist im Auftrag des Bundesamtes für Energie erarbeitet worden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist alleine der/die Autor/in/en verantwortlich.

Bundesamt für Energie BFE

Worblentalstrasse 32, CH-3063 Ittigen • Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00 • office@bfe.admin.ch • www.admin.ch/bfe

Vertrieb:

ENET
Egnacherstrasse 69 · CH-9320 Arbon
Tel. 071 440 02 55 · Tel. 021 312 05 55 · Fax 071 440 02 56
enet@temas.ch · www.energieforschung.ch · www.energie-schweiz.ch

Inhalt:	Seite
Ausgangslage	4
Ziele	
Projektbegrenzung / Systemgrenzen	4
Zusammenfassung	5
- Überlegungen aus gesamtwirtschaftlicher Sicht einer Kompakt-Biogasanlage	
- Kostenoptimierungsmöglichkeiten	
- Erfahrungen beim Bau der Anlagen	
- Erhebliche Störungen und daraus resultierende Erfahrungen beim Betrieb der Anlagen	
- Empfehlungen für Neuanlagen	7
- Ideales Betreiberprofil	
- Aufgrund unserer Erfahrungen möchte die Böhni Energie und Umwelt GmbH in Zukunft folgende Dienstleistungen anbieten	
Stamm- und relevante Betriebsdaten der Kompakt-Biogasanlage	8
- Übersicht Biogasproduktion während den Messperioden	9
 Grundlagen zur Wirtschaftlichkeit	 11

Anhang:

Fotos der Anlagen 1 - 4

Anlage 1: G. und J. Schmid; Goldach

Übersicht Jahreswerte Stoff- und Energieflussdiagramm

Anlage 2: F. und R. Grossenbacher; Reidermoos

- Stoff- und Energieflussdiagramm "Planungswerte"
- Stoff- und Energieflussdiagramm "Istwerte"

Anlage 3: F. Grass; Zerneß

- Stoff- und Energieflussdiagramm "Planungswerte"
- Stoff- und Energieflussdiagramm "Istwerte"

Anlage 4: G. Martin; Chexbres

- Stoff- und Energieflussdiagramm "Planungswerte"
- Stoff- und Energieflussdiagramm "Istwerte"

Verweis:

Detaillierte grafische Auswertungen der Anlagen 1, 2, 3 und 4 sind zu beziehen bei:

Böhni Energie und Umwelt GmbH

Thomas Böhni

Industriest. 23, 8500 Frauenfeld, Tel. 052 728 89 97

Kompaktbiogasanlagen in der Landwirtschaft (Betriebsauswertung während 6 Monaten)

Ausgangslage:

Während einem halben Jahr soll für vier Kompakt-Biogasanlagen in der Schweiz eine Betriebsauswertung gemacht werden. In dieser Auswertung sollen sämtliche Eckdaten, welche zum Betrieb einer Biogasanlage gehören, erfasst werden.

Der vorliegende Bericht soll eine Zusammenfassung aus vier einzelnen Detailauswertungen darstellen. Für nähere Informationen möchten wir auf die Detailauswertungen verweisen. Für weitere Fotos dieser Anlagen verweisen wir auf folgende Internetadressen:

www.energieundumwelt.ch

www.ines-energy.ch

www.grossenbacher-gruengut.ch

www.loorenhof.ch

Ziele:

Die Erfassung der Bereiche

- Biogasproduktion monatlich
- Stromproduktion monatlich
- Abschätzung Wärmeproduktion
- Service- und Unterhaltskosten für ein Biogas-BHKW
- Jährlicher Betreuungsaufwand der Gesamtanlage
- Reparaturkosten
- Wirkungsgrad

sollen erste Kennzahlen für die Planung von weiteren Kompakt-Biogasanlagen liefern.

Die Kennzahlen sollen eine verbesserte Grundlage zur Erfassung der Gesamtwirtschaftlichkeit einer Biogasanlage bilden.

Projektabgrenzung / Systemgrenzen:

Das Projekt beinhaltet eine komplette Kompakt-Biogasanlage gemäss der näheren Beschreibung im Selbstbauhandbuch (siehe Quelle 1; Kap. Stammdaten). Der Gasertrag aus hofeigenen sowie fremden Substraten wird in der Wirtschaftlichkeitsrechnung der Kompakt-Biogasanlage gesamthaft berücksichtigt, weil die Anlage zur Verwertung von Co-Substraten entsprechend grösser gebaut wurde und diese Mehrinvestitionen nun durch den Mehrgasertrag aus Co-Substraten finanziert werden soll.

Bauseits, ausserhalb der Systemgrenzen sind folgende Bereiche:

- Ein evtl. zusätzliches Endlager zur Stapelung von Co-Fermentationsmaterial oder zusätzlich benötigter Güllenraum wird bauseits erstellt. Die daraus entstehenden Amortisations-, Kapital- und Betriebskosten werden über die Entsorgungsgebühren von Co-Fermentationsmaterial finanziert.
- Eine Wärmeleitung sowie ein Wärmespeicher zur Versorgung vom Wohnhaus und anderen Verbrauchern mit Wärme und Warmwasser wird bauseits erstellt. Die entstehenden Amortisations-, Kapital- und Betriebskosten werden finanziert, indem bei der Wirtschaftlichkeit der Kompakt-Biogasanlage die Wärme betriebsintern "gratis" abgegeben wird.
- Die Annahme, Aufarbeitung und Nachbehandlung von Co-Fermentationsmaterial erfolgt bauseits. Entstehende Amortisations-, Kapital- und Betriebskosten werden über die Entsorgungsgebühren von Co-Fermentationsmaterial finanziert.

Zusammenfassung:

Überlegungen aus gesamtwirtschaftlicher Sicht einer Kompakt-Biogasanlage:

Die Wirtschaftlichkeit der Anlagen 2, 3 und 4 wird bei einer durchschnittlichen Biogasproduktion von 156, 166 und 209 m³ /Tag während der Messperiode (6 Mt.) nicht erreicht. Die Anlagen müssten mit 420 m³/Tag Biogas betrieben werden, damit ein kostendeckender Betrieb erreicht werden kann. Die Amortisationszeit wurde auf 10 Jahre festgelegt. Dabei ist man sich bewusst, dass einige Komponenten durchaus eine längere Lebensdauer haben. Die Abschreibungszeit wurde auf 10 Jahre festgelegt, damit der Betreiber auch eine evtl. Neuausrichtung (Flexibilität) früher planen kann. Für den zukünftigen Betrieb wird eine durchschnittliche Biogasproduktion von 300 - 600 m³ / Tag angestrebt. Zudem soll versucht werden den Stromüberschuss (Rückliefermenge ins Netz) als Ökostrom zu vermarkten.

Können all diese Massnahmen erfolgreich realisiert werden, bietet der Betrieb dieser Biogasanlagen eine Möglichkeit für einen Nebenerwerb.

Kostenoptimierungsmöglichkeiten:

Im Laufe der Entstehung der ersten 4 Kompakt-Biogasanlagen konnten die Investitionen pro Anlage nicht gesenkt werden, da der Bedienungskomfort (neue BHKW-Steuerung, verbesserte Überdrucksicherung etc.) gesteigert wurde und weil das Dienstleistungsangebot vom Grubenbauer zu Gunsten reduzierter Eigenleistungsmöglichkeiten erhöht wurde. Werden zukünftig keine wesentlichen Änderungen (z.B. Brennstoffzelle etc.) an der Biogasanlage vorgenommen, wird eine weitere Kostensenkung kaum möglich sein.

Unsere Erfahrungen zeigen auch, dass zukünftig erhöhte Anforderungen an eine einwandfreie, weitgehend hygienische Verarbeitung der Substrate gestellt werden. Diese Anforderungen werden auch das Baubewilligungsverfahren (Klärung der Stoffflüsse, Festlegung von Kontrollmöglichkeiten etc.) beeinflussen und dementsprechend muss dafür der Aufwand erhöht werden. Ebenfalls wird sich der Betreuungsaufwand vom Betreiber erhöhen. Aus diesem Grunde rechnen wir nicht mit einer Kostensenkungsmöglichkeit für zukünftige Anlagen.

Betrachtet man die Investitionen pro m³ Biogas, welches pro Tag bei maximaler Auslastung verarbeitet werden kann, so konnte eine Reduktion von 18 % bei der Anlage 2 bezogen auf die Anlage 1 erreicht werden. Dies ist aber nur wesentlich, wenn beide Anlage voll ausgelastet werden.

Die Investitionskosten aus der Planungsphase konnte nach Bauabschluss bei den Anlagen 1, 2, und 3 eingehalten werden. D.h. die standardisierte Bauweise ermöglicht eine gute Kostenplanung.

Die Anlage 4 verursachte erhebliche Mehrkosten, da das "Langstroh" welches im Mist ist, nicht mit der Standardpumpe verarbeitet werden konnte. Die Standardpumpe wurde durch ein erheblich teureres Beschickungssystem ersetzt indem eine Drehkolbenpumpe kombiniert mit einer hydraulischen Feststoffbeschickungsmöglichkeit installiert wurde.

Erfahrungen beim Bau der Anlagen:

Der Bau der Kompakt-Biogasanlage konnte ohne wesentliche Schwierigkeiten innerhalb von 3 Monaten realisiert werden. Die Bauherrschaft konnte wesentliche Eigenleistungen einbringen (siehe Auflistung Quelle 1). Die Mitarbeit der Bauherrschaft während der Bauzeit hatte zudem den grossen Vorteil, dass der Bauherrschaft die prinzipielle Funktionsweise der Kompakt-Biogasanlage bereits vor der Inbetriebnahme im Detail bekannt war.

Dementsprechend einfach erwies sich die Inbetriebnahme der Anlage sowie der generelle Betrieb.

Die Kompakt-Biogasanlage erwies sich als ausserordentlich benutzerfreundlich. Sämtliche Überwachungseinheiten (BHKW-Schaltschrank, Schaltschrank Rührwerk, Fermenter-temperaturanzeige, Entschwefelungseinrichtung, Gas Unter- und Überdrucksicherung etc.) sind an einem Ort installiert, sodass eine einfache Überwachung der Anlage möglich ist.

Erhebliche Störungen und daraus resultierende Erfahrungen beim Betrieb der Anlagen

Anlage 1, 2 und 3:

Die Anlagen 1,2 und 3 konnten ohne wesentliche Störungen betrieben werden.

Anlage 4:

Die Bauphase der Anlage 4 konnte ohne grössere Schwierigkeiten abgeschlossen. Da die Anlage 4 zu einem grösseren Teil mit Mist beschickt wurde und dieser Mist zudem sehr viel "Langstroh" enthielt, traten bald erhebliche Störungen bei der Beschickungspumpe auf. Im Laufe der Zeit setzte zudem eine starke Schwimmdeckenbildung im Fermenter ein. Die Rührintervalle mussten stark erhöht werden. Die Schwimmdecke konnte zeitweise aber trotzdem nicht vollständig zerstört werden. Dies führte dazu, dass der Rührwerksmotor diesen Belastungen nicht standhalten konnte und durch einen grösseren ersetzt werden musste. Im Laufe der Zeit lösten sich unglücklicherweise die Schrauben der Rührschaufeln, so dass die Rührschaufeln sich axial gegen die Wand verschieben konnten und die Rührflügel Teile der Fermenterheizung (ca. 40%) beschädigten. Glücklicherweise konnten die entsprechenden Heizkreise ausgeschaltet werden, so dass nach dem Einbau von einem Notrührwerk der Betrieb weitergeführt werden konnte. Diese Situation hat uns gezeigt, dass die Auslegung der Fermenterheizung sehr gut ist und Notsituationen problemlos überbrückt werden konnten.

Nach diesen Zwischenfällen wurden umfassende Sanierungsmassnahmen eingeleitet. So wurde die Beschickungspumpe durch eine Drehkolbenpumpe mit Zerkleinerungsfunktion ersetzt. Auf Initiative vom Betreiber (Landwirt) wurde zusätzlich eine hydraulische Feststoffbeschickungseinheit installiert. Dadurch kann der Landwirt nun seinen Mist und andere Stoffe direkt ohne Verflüssigung in den Fermenter einbringen. Diese neue Situation erforderte dann auch eine neue Rührtechnik. Der Landwirt entschied sich für drei Tauchrührwerke (Schiffsschrauben) unterschiedlicher Leistungsklassen. Diese können dann abwechseln und interwallweise betrieben werden.

Diese unangenehme Situation führen wir auch darauf zurück, dass unser Partnerbüro in Bern erstmals zum Einsatz kam. Diese Situation und die Tatsache, dass ich als erfahrener Biogasanlagenbauer nicht gut französisch spreche, führten dazu, dass sich der Anlagenbetreiber stark auf unseren Fermenterbauer und Rührwerkslieferant, welcher gut französisch spricht, abgestützt hatte. Diese Situation blieb sehr lange bestehen. Erst nachdem ein Grossteil der Störungen eingetreten war und ich als erfahrener Biogasanlagenbauer trotz aller Sprachschwierigkeiten zum Einsatz kam, konnten wir das Vertrauen (mangels Verständigungsmöglichkeit) allmählich aufbauen. Der Landwirt merkte, dass wir ihm zusammen mit unserem Partnerbüro in Bern echte Hilfe geben konnten.

Ende Juli 01 konnten wir uns dann auf folgende Arbeitsteilung einigen:

1. Partnerbüro (INES, Bruno Liesch) in Bern:
 - Zuständig für Fernüberwachung per Modem und evtl. Störungen im BHKW-Schaltschrank
2. Böhni Energie und Umwelt GmbH:
 - Zuständig für Prozessoptimierung und Prozessführung
3. Fermenterbauer (Arnold AG):
 - Zuständig für Rührwerkoptimierung, Beschickung

Wenn man nun die Graphik auf Seite 10 betrachtet ist klar ersichtlich, dass eine Verbesse-

rung erreicht werden konnte. Auch der Betreiber hat aus diesen Schwierigkeiten gelernt, dass man mit einer Biogasanlage sehr strukturiert arbeiten muss, so dass evtl. Prozessveränderungen rasch erkannt werden und eine Ursachenanalyse noch möglich ist. Bei diesem Projekt hat sich die Überwachungsmöglichkeit vom BHKW per Modem als sehr nützlich erwiesen. Wir werden zukünftig versuchen, jede Anlage mit dieser Überwachungstechnik auszurüsten.

Empfehlungen für Neuanlagen:

Technisch sind die Kompakt-Biogasanlagen auf einem sehr hohen Niveau. Der Bauablauf ist dank Standardkomponenten sehr einfach.

Das Baugesuch und andere Gesuche sollten frühzeitig, vollständig eingereicht werden, so dass dort keine unliebsamen Wartezeiten auftreten.

Damit eine gute Auslastung der Anlage möglich ist, sind folgende Punkte sehr wichtig und entscheidend für einen kostendeckenden Betrieb der Kompakt-Biogasanlage:

- Der Standort der Biogasanlage muss in einer Region sein, wo genügend biogenes Co-Substrat vorhanden ist.
- Der Betreiber muss genügend Fläche zur Verfügung haben, um das vergorene Material wieder in den Naturkreislauf zurückzuführen.
- Der Betreiber muss gewillt sein, betriebsfremdes Co-Substrat in seinen Betrieb zu integrieren.

Ideales Betreiberprofil:

Damit die Anlage ohne wesentliche Störungen betrieben werden kann, ist eine saubere Betriebsführung (regelmässige Servicearbeiten, Kontrolle, laufende Optimierungen etc.) notwendig. Dazu ist ein technisches Verständnis und grundlegende Kenntnisse vom Vergärungsprozess notwendig.

Der Betreiber sollte sich mit dem erneuerbaren Energieträger Biogas klar identifizieren können und den Betrieb seiner Anlage als weitere Erwerbsmöglichkeit betrachten.

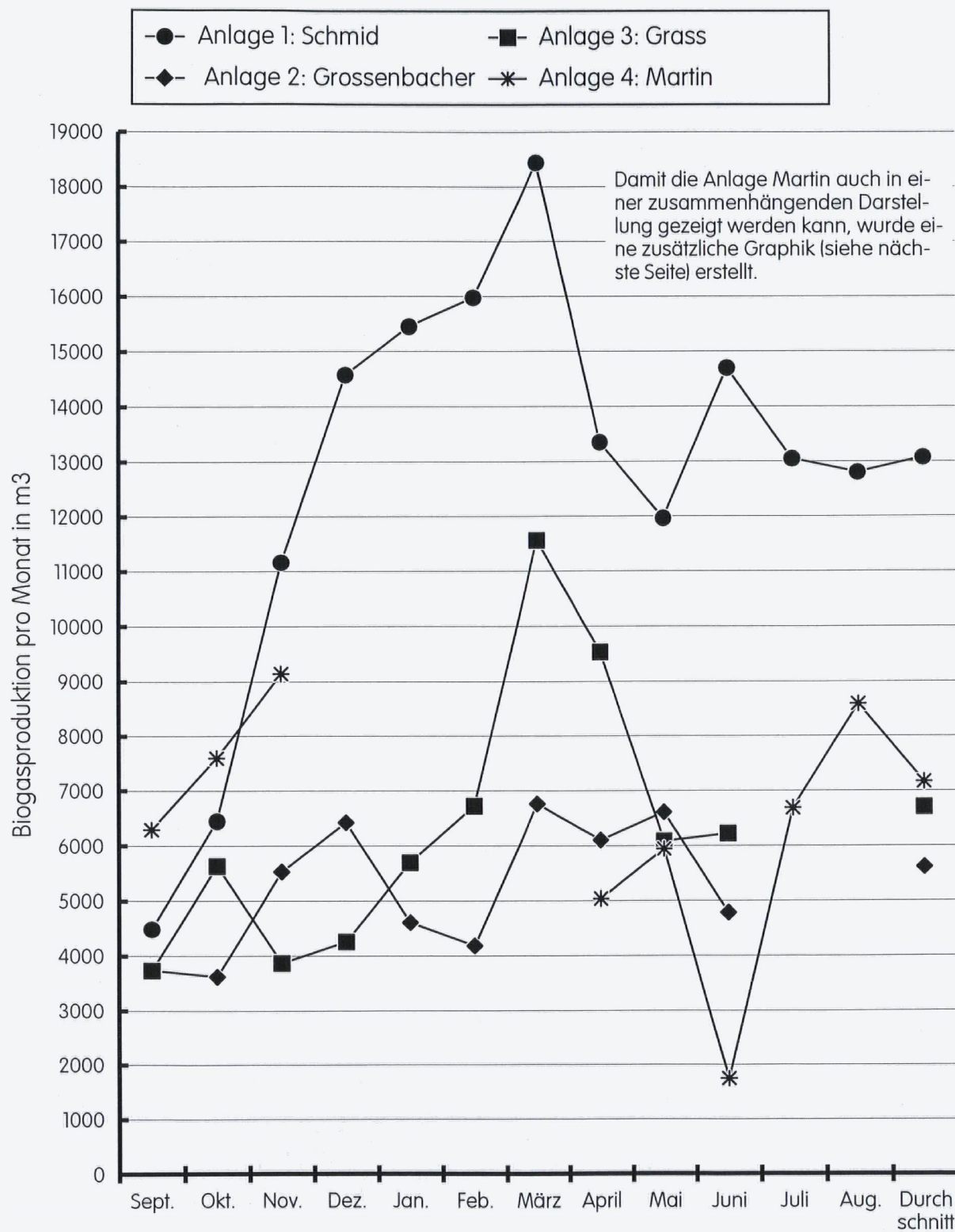
Aufgrund unserer Erfahrungen möchte die Böhni Energie und Umwelt GmbH in Zukunft folgende Dienstleistungen anbieten:

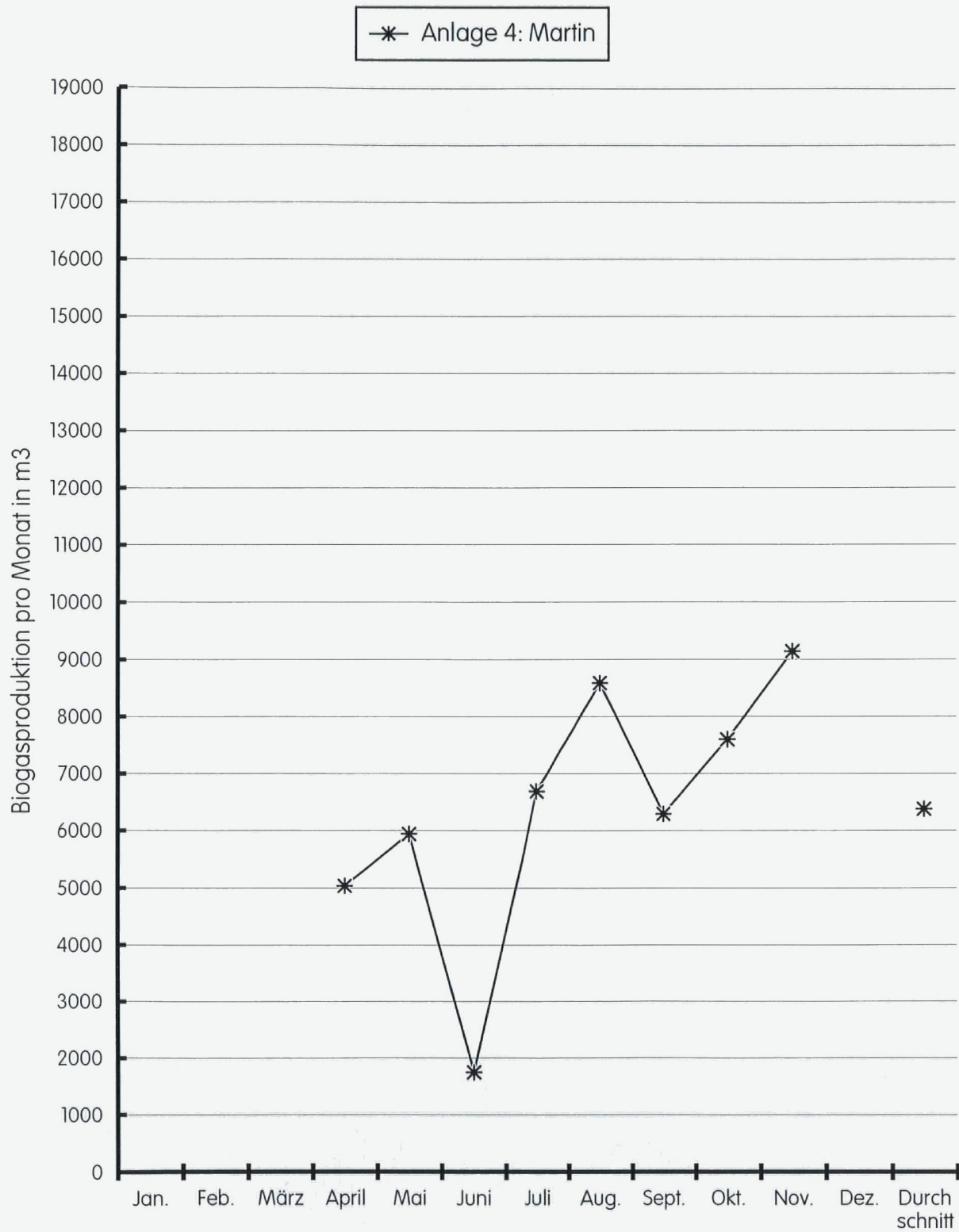
1. Planung und Lieferung der gesamten Biogasanlage
2. Überwachung der BHKW's per Modem
3. Lieferung von sämtlichem Service- und Verschleissmaterial jeweils für ein Jahr
4. Gülleanalysen (innerhalb 36 Std.) speziell für den Biogasbetrieb (spezielle Betreuung der Anfahrphase - Fit for Biogas)
5. Ökostrom-Vermarktung
6. Erfahrungsaustausch, Studienreisen für Anlagenbetreiber

Stamm- und relevante Betriebsdaten der Kompakt-Biogasanlagen:

		Einheit	Kompakt-Biogasanlage auf dem Betrieb G + J. Schmid; Goll-dach; Kt. SG	Kompakt-Biogasanlage auf dem Betrieb R. Grossenbacher; Reidermoos; Kt. LU	Kompakt-Biogasanlage auf dem Betrieb F. Grass; Zerne; Kt. GR	Kompakt-Biogasanlage auf dem Betrieb G. Martin; Chex-bres; Kt. VD	Lieferant / Hersteller
	Dimensionen		Anlage 1	Anlage 2	Anlage 3	Anlage 4	
1.	Fermenter	m3	300	400	300	400	Ar
2.	Gasspeicher	m3	0 -100	0 -100	0 -100	0 -100	W
3.	Rührwerk Fermenter	kW	4	2	4	15	Ar
4.	Beschickungspumpe	kW	2.2	2.2	11	7	St / U
5.	BHKW	kWel.	75	75	45	55	E + U
6.	Investitionen	Fr.	219'000	238'000	215'500	250'000	
6.1.	Investitionen pro kWel.	Fr./kWel.	2'920	3'173	4'789	4'545	
6.2.	Investitionen pro m3 Biogas pro Tag bei maximaler Auslastung	Fr./m3*d.	332	270	374	400	
	Betriebsdaten						
	Messperiode	Mt. ; Jahr	1.3.99-31.8.99	1.9.99-29.2.00	1.9.99-29.2.00	1.4.01-30.11.01	
7.	Wirkungsgrad el.	%	33	29-33	29-33	29-33	M
7.1.	Stromausbeute	kWh/m3	2.07	1.83	1.77	2.03	M
8.	Wirkungsgrad th.	%	42	61	40	45	R
9.	Gülleinput	m3/6Mt	767	1170	756	1100	E
10.	Input biogenes Mat.	to/6Mt	493	173	81	150	E
	Biogas						
11.1.	Verbrauch bei Volllast (65 % CH4)	m3/h	30.5	30.5	20	24	M
11.2.	Biogasproduktion	m3/6Mt.	76'211	28100	29600	38325	M
11.2.1	Biogasproduktion	m3/d	418	156	166	210	M
11.3.	Methangehalt	%	56	48	45-55	45-55	M
11.4.	Schwefelgehalt	ppm	246	<50	10-200	50-250	M
	Produktion						
12.	Stromproduktion	kWh/6 Mt.	157'473	51542	54486	86232	M
13.	Wärmeproduktion	kWh/6 Mt.	200500	101000	70000	148210	R
	Abweichungen zur Standard - Kompaktbiogas-Anlage						
14.			keine Anpassung an	Lawinen	siehe Text		
15.			Kompostierung	verstärkt			
Messwert: (M) / Rechenwert: (R) / Erfahrungswert: (E) / Annahme (A)					Frost angepasst		
Böhni Energie und Umwelt GmbH (E+U); Arnold AG (Ar); Streicher (St); Walser (W); UTS (U)							

Quelle1: "Selbstbauhandbuch zum Bau einer landwirtschaftlichen Kompakt-Biogasanlage für 60 -225 GVE"; 1999; siehe Kapitel B; Bezugsmöglichkeit: Böhni Energie und Umwelt GmbH; Frauenfeld; 052 728 89 97

Übersicht Biogasproduktion während den Messperioden:

Übersicht Biogasproduktion während den Messperioden:

Grundlagen zur Wirtschaftlichkeit:

Abschreibungsdauer ganze Anlage	10 Jahre
Verzinsung	5 % (0.13)

Wartung der Biogasanlage im Allgemeinen ohne BHKW:	pauschal 2500.-- / J ;
Betreuungsaufwand der Biogasanlage ohne BHKW:	0.5 Std. /Tag zu 28.-- Fr.

BHKW:

Service- und Unterhaltskosten am BHKW

55 kWel.	0.7 -1.0 Rp./kWhel.
80 kWel.	0.65 -0.9 Rp./kWhel.

Reparaturkosten am BHKW: (Erfahrungswert)

55 kWel.	2.2 Rp./kWhel.
80 kWel.	1.8 Rp./kWhel.

Stromrückliefertarife: (Werte für die Schweiz 2001 durchschnittlich 15 Rp. / kWh)

Wirkungsgrad BHKW entsprechend der Messresultate

Fotos: Kompakt-Biogasanlage 1: Fam. J. Schmid; Goldach; Kt. SG



Bild links:
Kompakt-Biogasanlage mit Fermenter, Gasspeicher und Technikraum



Bild unten:
Fermenterinnenraum mit Rührwerk und Holzdeckenkonstruktion



Bild links:
Grünabfälle zur Co-fermentation.

Jauchefass mit
Breitreifen zur Senkung der Bodenbelastung

Fotos: Kompakt-Biogasanlage 2: Fam. R. Grossenbacher; Reidermoos; Kt. LU



Bild oben:
Kompakt-Biogasanlage mit Fermenter, Gasspeicher
und Technikraum
Im Vordergrund Beladung eines Anhängers mit Fertig-
kompost

Bild mitte:
Schaltschrank vom BHKW. Eine übersichtliche Glieder-
ung erleichtert eine evtl. Fehlersuche. Jede Kompo-
nente hat eine eigene Absicherung.



Bild unten:
Fermenter mit Durchführung der benötigten Heizkreise



Fotos: Kompakt-Biogasanlage 3: F. Grass; Zerne; Kt. GR



Bild links:
Kompakt-Biogasanlage mit Fermenter, Gasspeicher und Technikraum.

Da die Anlage 1400 M.ü.M liegt, wurde der Fermenter mit 15 cm Isolation bestückt.

In der Bildmitte ist der Motor vom Rührwerk zu sehen.



Bild links:
Kompakt-Biogasanlage im Hintergrund (Gasspeicher)

Im Vordergrund ist das Endlager mit dem Überlauf vom Fermenter zu sehen.

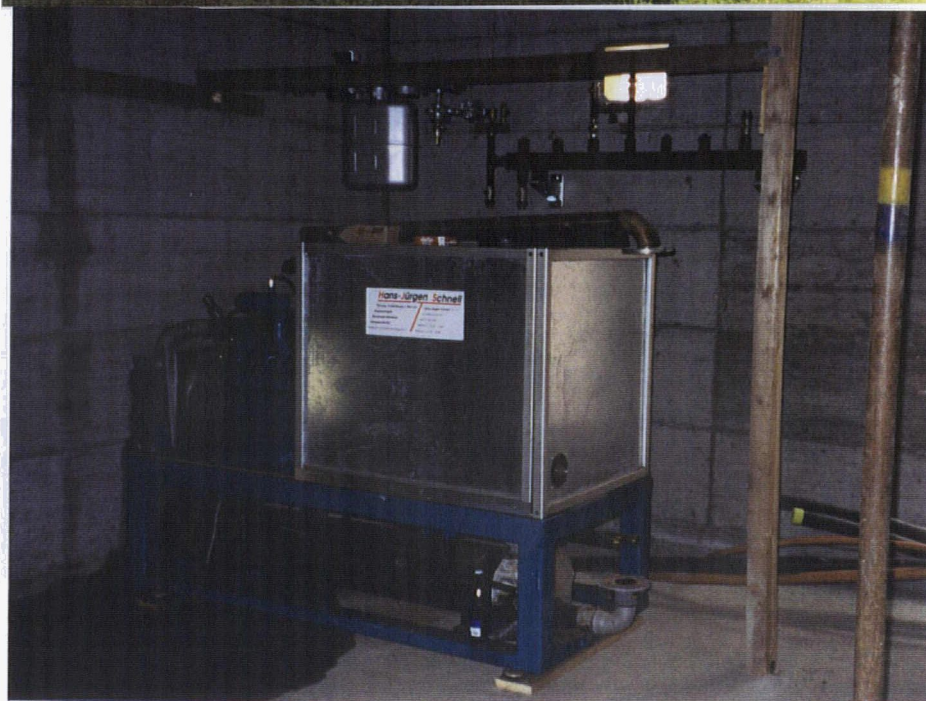


Bild links:
Technikraum in massiver Bauweise ("Lawinensicher")

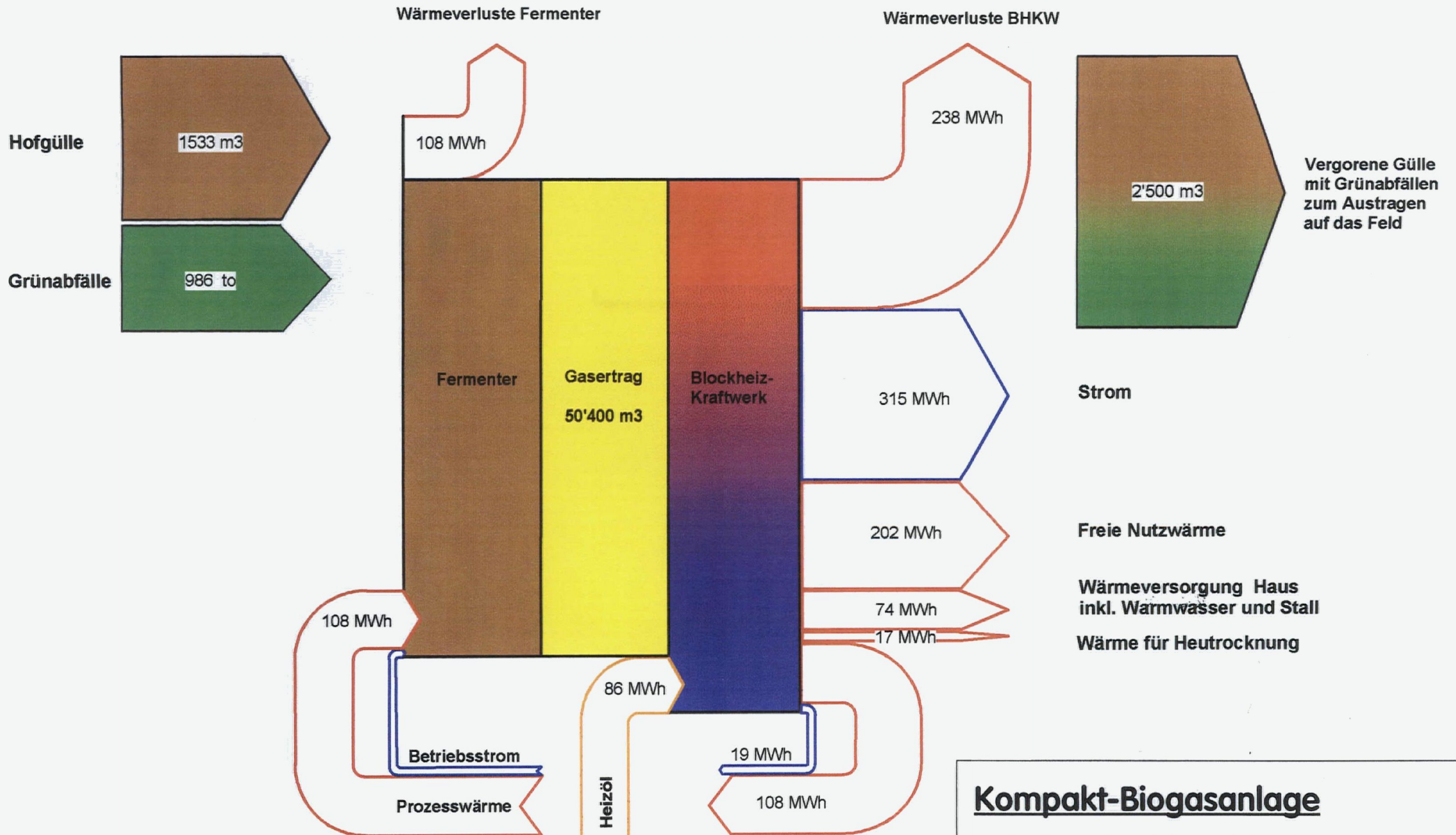
BHKW mit Gasregelstrecke und Heizverteiler an der Wand

Fotos: Kompakt-Biogasanlage 4: G. Martin; Chexbres; Kt. VD

Bild oben:
Gesamtansicht der Kompakt-Biogasanlage im Rohbau. Direkt links vom Fermenter ist der Technikraum angegliedert. Daneben wurde ein zusätzlicher Gebäudeteil erstellt.

Bild unten:
Gesamtansicht der Kompakt-Biogasanlage kurz nach der Inbetriebnahme. Umgebungsarbeiten müssen noch verrichtet werden.

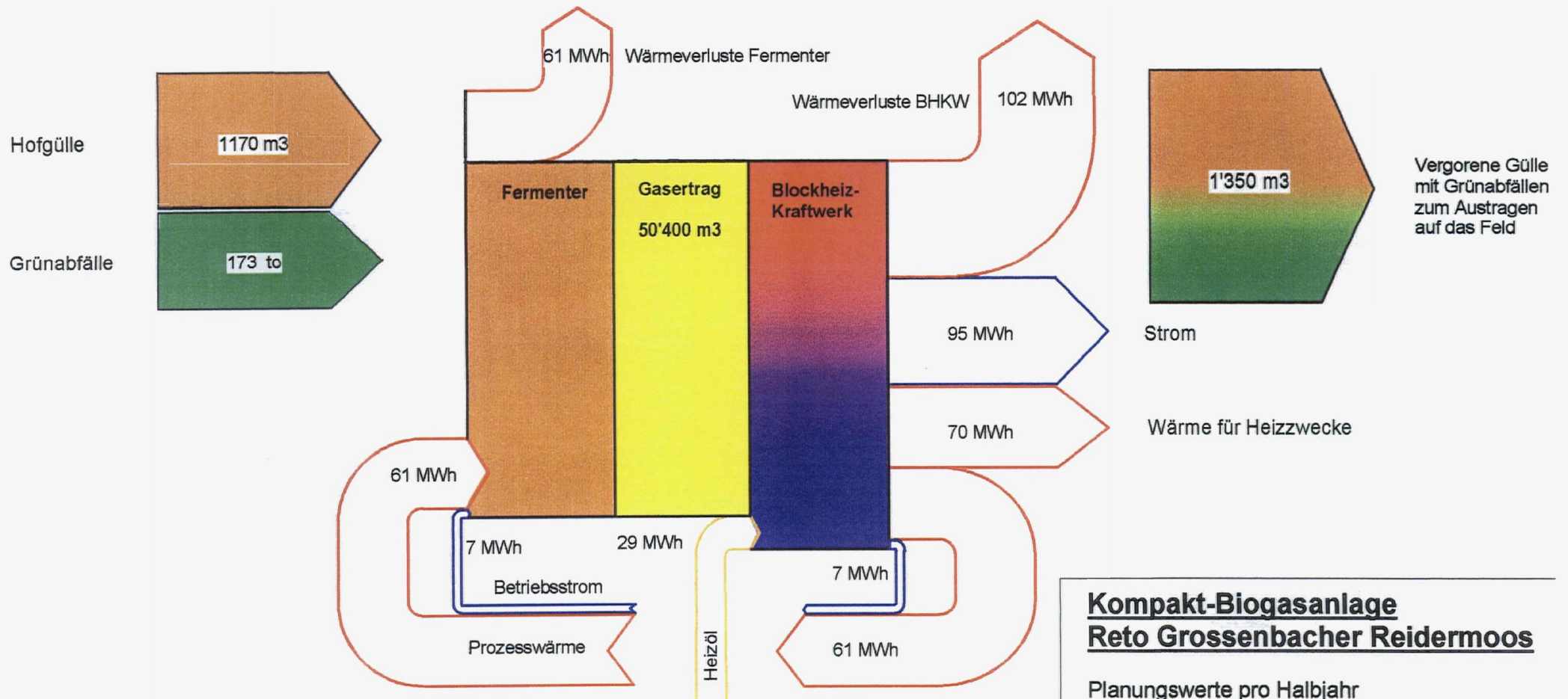
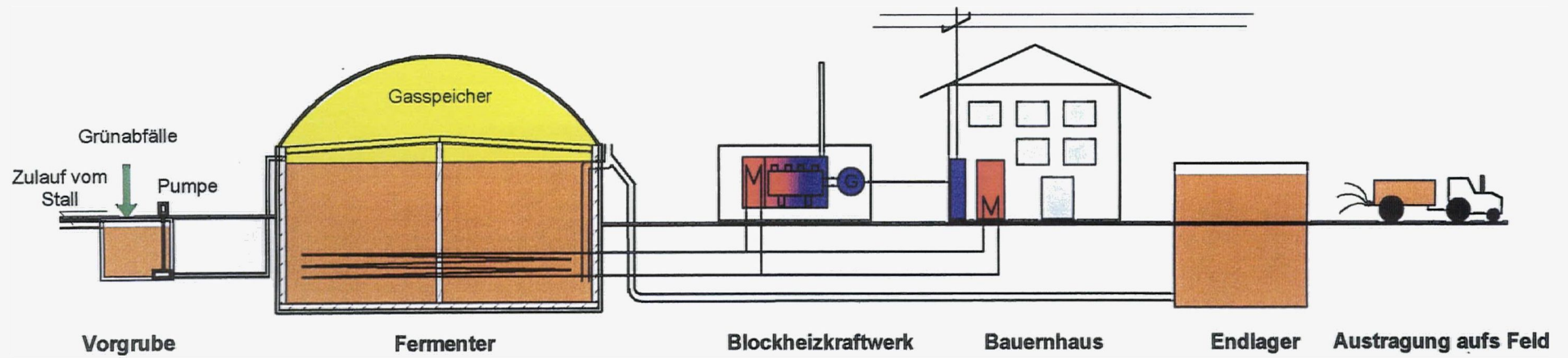


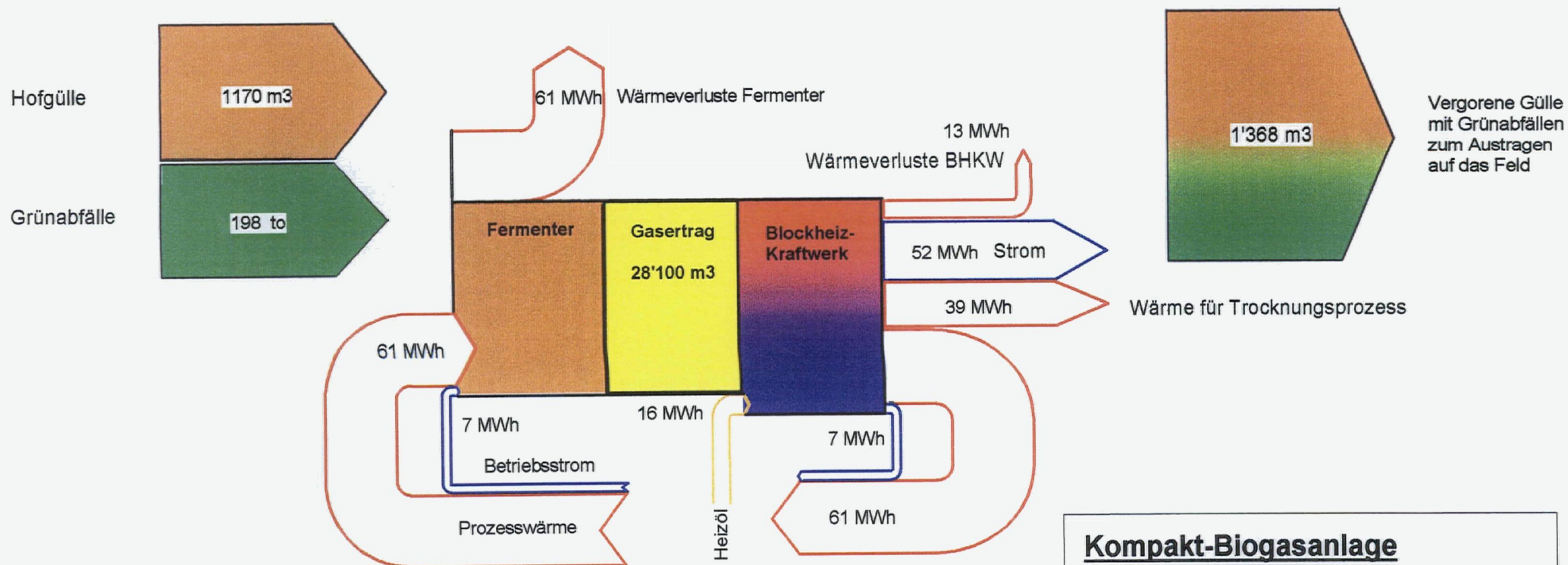
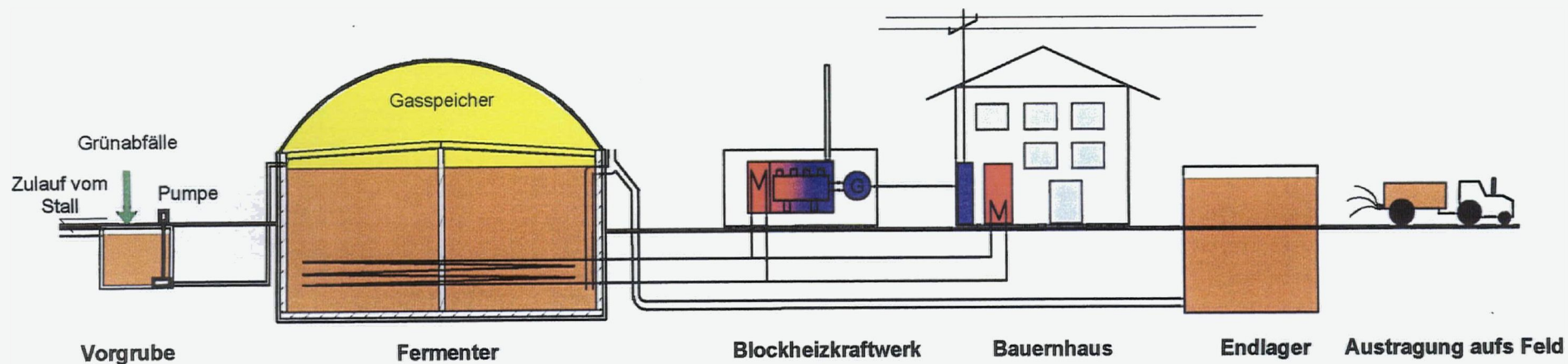


Kompakt-Biogasanlage

Jakob Schmid Goldach

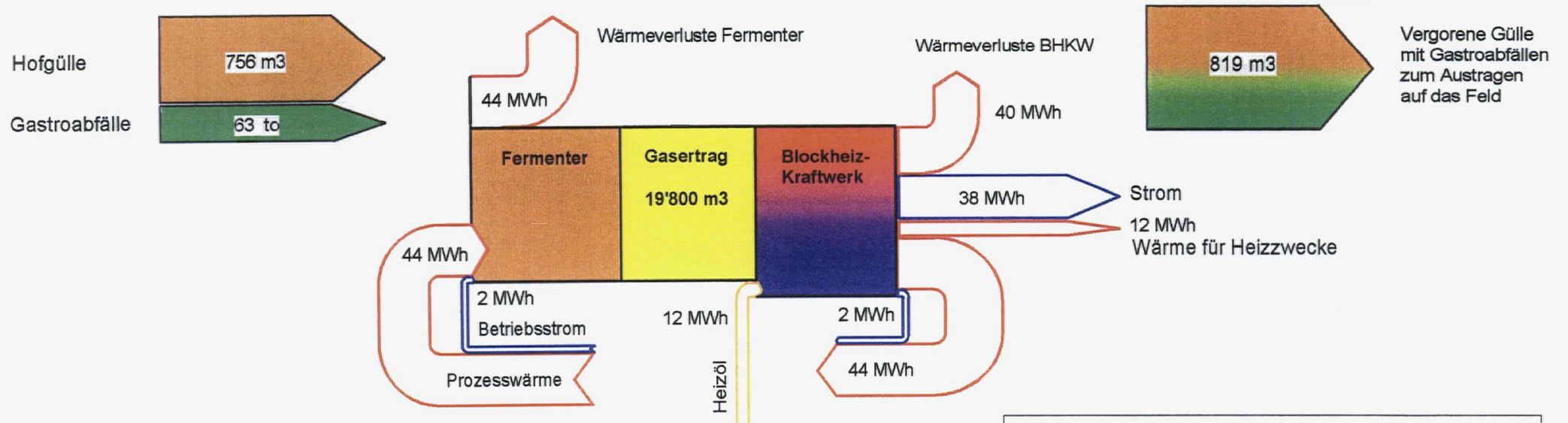
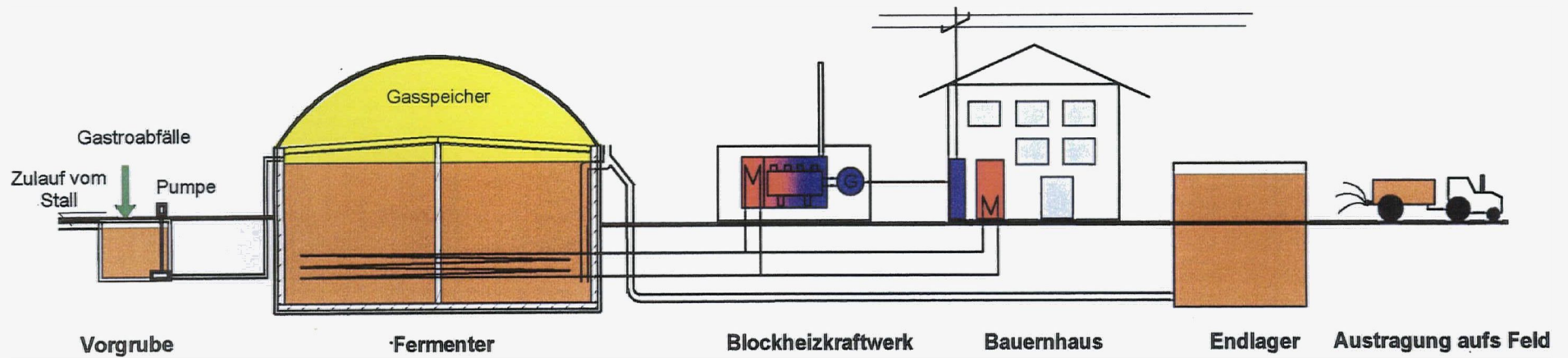
Ist-Werte pro Jahr



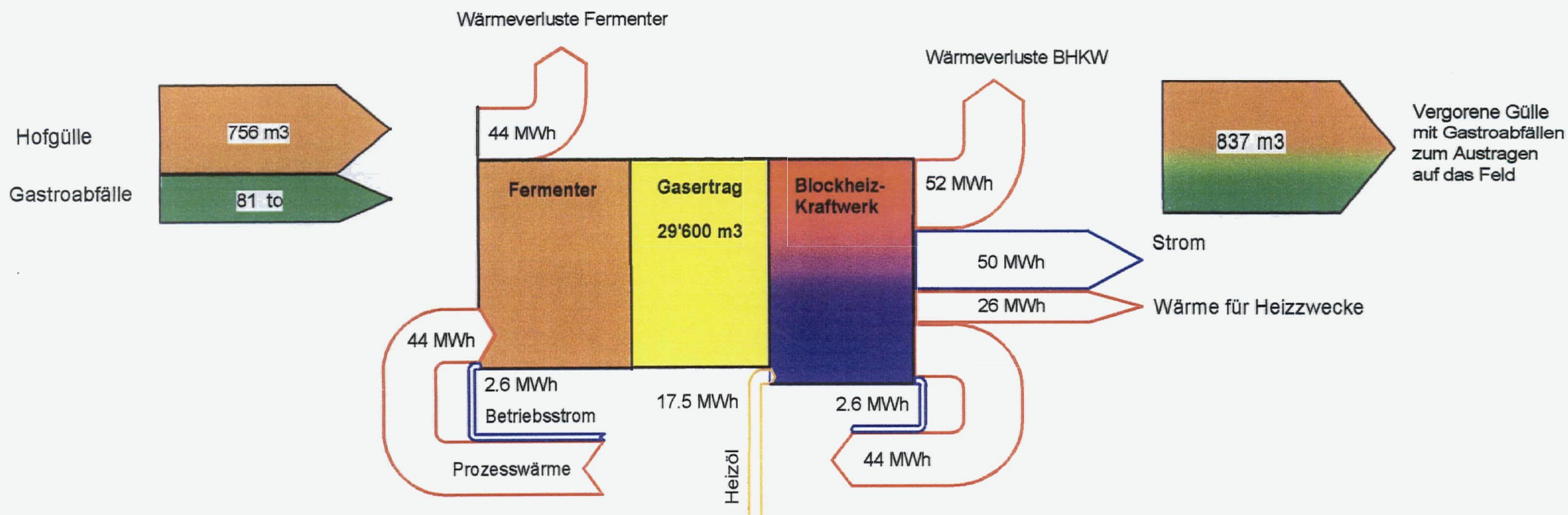
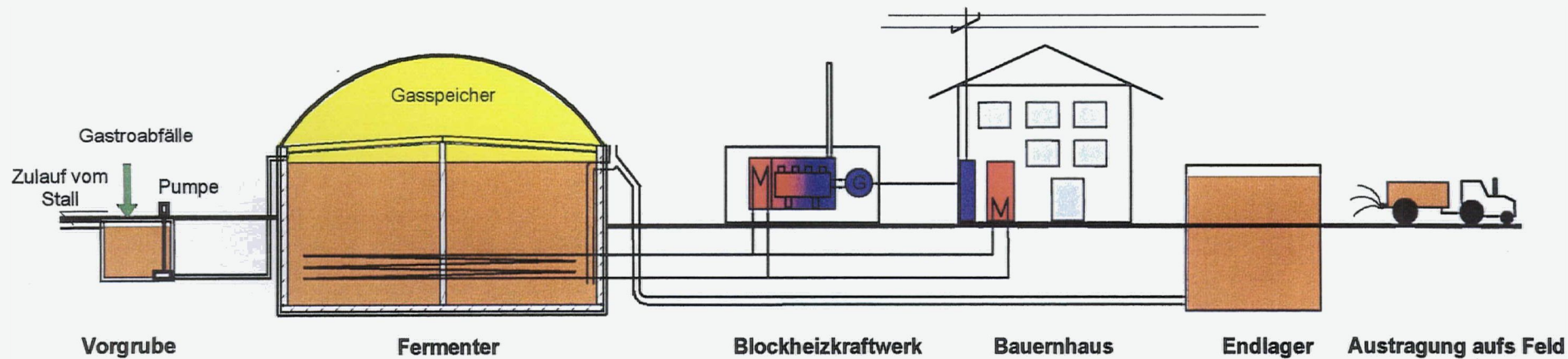


Kompakt-Biogasanlage Reto Grossenbacher Reidermoos

Ist-Werte pro Halbjahr

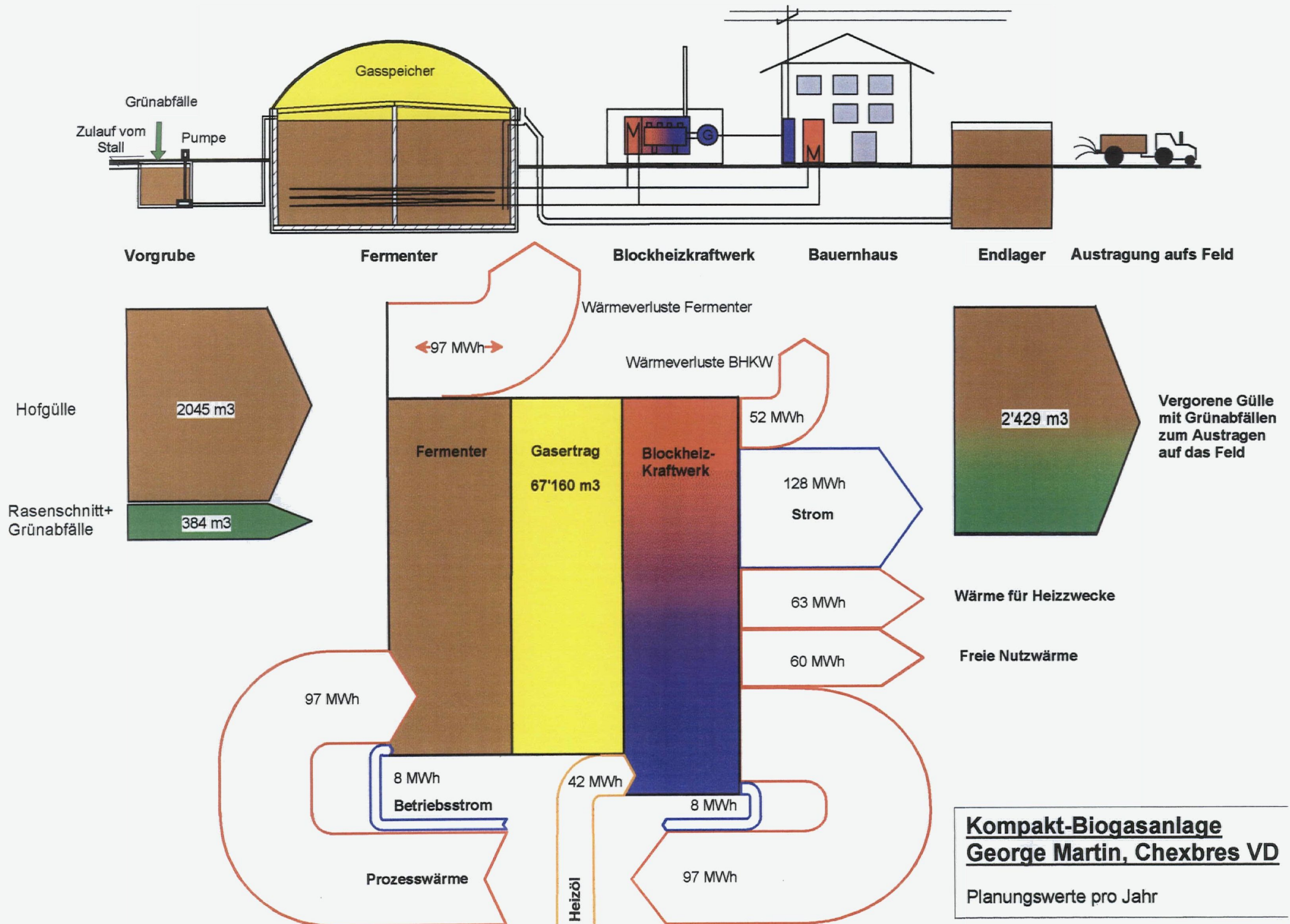


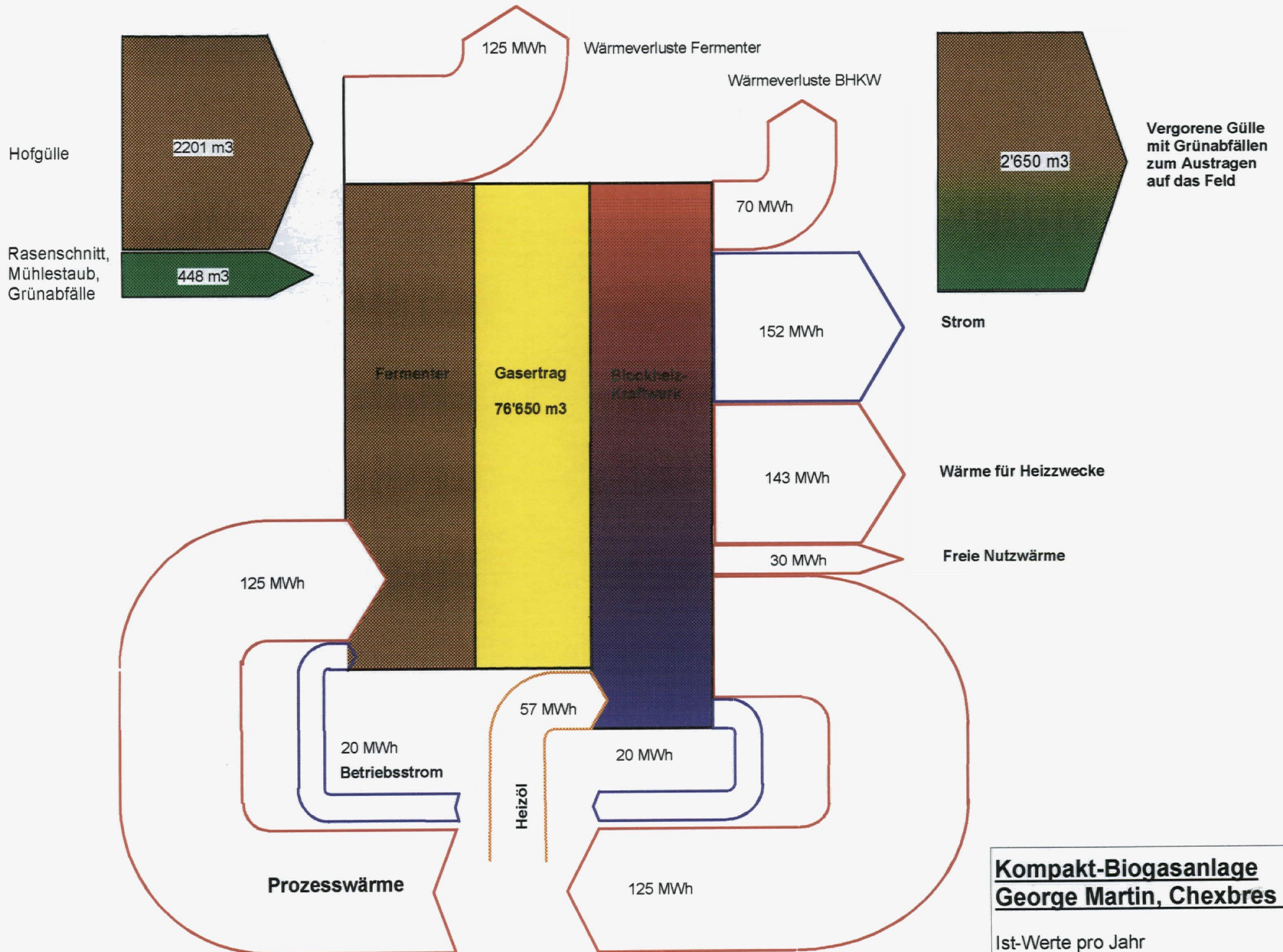
Kompakt-Biogasanlage Grass, Zerne
Planungswerte pro Halbjahr



Kompakt-Biogasanlage Grass, Zerne

Ist-Werte pro Halbjahr





**Kompakt-Biogasanlage
George Martin, Chexbres VD**

Ist-Werte pro Jahr