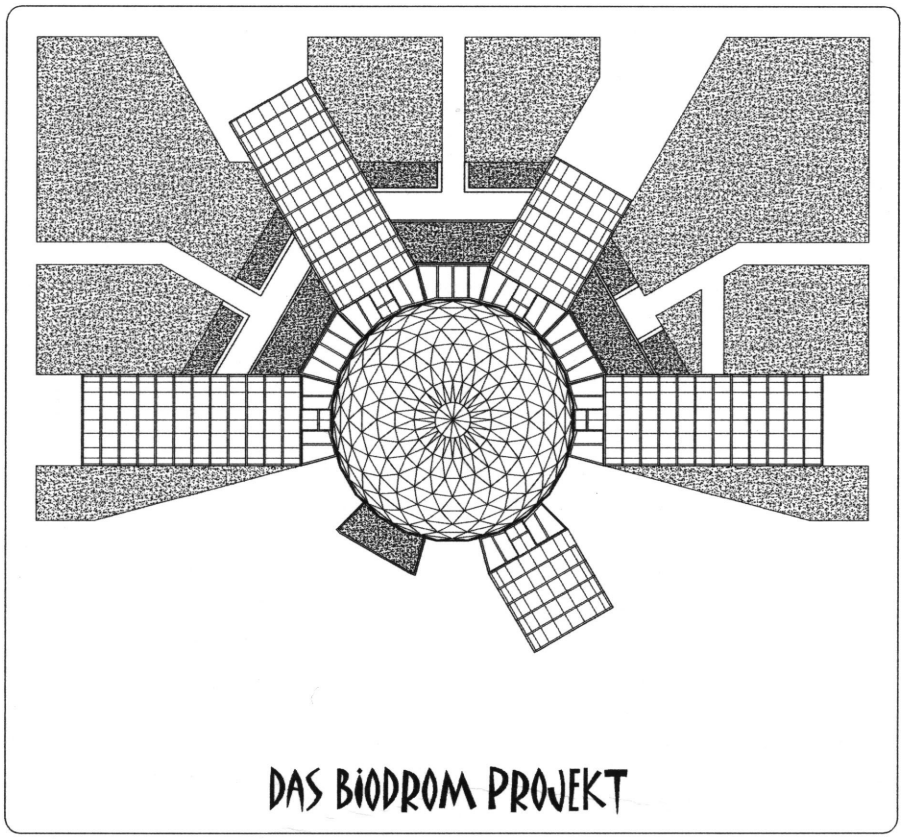
Integratives Energie-, Wasser- und Stoffstrommanagement für dezentrale, autarke Ver- und Entsorgungsstrukturen

-BIODROM-

Machbarkeitsstudie



Berlin, den 15. Februar 2002

Arbeitsgemeinschaft:

Prof. Dr. W. Ripl	TU-Berlin, Systeminstitut Aqua Terra
Dipl. Ing. H. Petersen	Naturschutzhof Brodowin
Dipl. Ing. I. Gerlach	TU-Berlin, Systeminstitut Aqua Terra
Dipl. Ing. Arch. U. Peickert	NaturhausArchitekten Berlin
Dipl. Ing. F. Schmalstieg	IGEA – Ingenieurgesellschaft für Erschließungs- und Anlagen- Planung mbH

Gliederung

Seite

1	**Zusammenfassung**	7
2	**Einleitung**	12
3	**Flächenfunktion der Energie- und Stoffflüsse**	16
4	**Landwirtschaft heute**	19
4.1	**Klimatische Bedingungen und Stoffausträge**	20
4.2	**Zusammenfassende Analyse des Betriebes Brodowin**	21
4.2.1	Pflanzenproduktion, Anbau und Erträge auf der Fläche	21
4.2.2	Leistungen der tierischen Produktion	22
4.2.3	Stoff- und Energieströme im Landwirtschaftsbetrieb	22
4.3	**Inhaltliche Ziele zur Veränderung der Bewirtschaftungsstrategie des Landwirtschaftsbetriebes auf der Fläche**	25
4.3.1	Grundlagen für veränderte Bewirtschaftungsstrategien	25
4.3.2	Bewirtschaftungsoptimum von Energiefeldern zwischen Feuchte, Bodenaufbau und Produktion bei minimiertem Arbeits- und Energieeinsatz	27
4.3.3	Monitoring und Landschaftsanalyse der Stoffausträge und der Temperaturdämpfung	34
4.4	**Inhaltliche Ziele im Hofbereich**	39
4.4.1	Stoff- und Energieströme	39
4.4.1.1	Ansatz zur Lösung der Energiefrage	42
4.4.1.1.1	Erzeugung und Nutzung von Biogas	42
4.4.1.1.2	Erzeugung / Bereitstellung von fester Biomasse und deren Nutzung	45
4.4.1.2	Ansatz zur Lösung des Abwasserproblems – Strohfilterverfahren	46
4.4.2	Voraussetzungen für ein geschlossenes Stoff- und Energiestrom-management und weitere Arbeiten	49
4.5	**Das BIODROM – Inhaltliche Ziele**	51
4.5.1	Kreislaufgeführte Ver- und Entsorgungstechnologien als funktionale Prämisse für die Entwicklung quasi-autarker Gebäudestrukturen	51
4.5.1.1	Kopplung der Energie- und Wasserversorgung unter Nutzung der Dampfphase des Wassers durch Einsatz innovativer Techniken	54
4.5.1.2	Ressourcennutzung und Optimierung der Stoffströme	57
4.5.1.3	Versuchsbioreaktor zur Konvertierung niederwertiger Biomasse	61

		Seite
5	**Von der ver-/entsorgten Klimahülle zum quasi-autarken Lebensraum - das Gebäude BIODROM -**	64
5.1	Nature supported design – design supports natur	64
5.2	Typologie	65
5.3	Der Faktor "Standort"	66
5.4	Komponenten und Materialien	66
5.5	BIODROM-Entwürfe in fünf Prototypen	68
6	**Kostenschätzung, Kooperationen, Organisationsform für Modellprojekt**	73
7	**Aufgabenstellung für die Ermittlung der Wirtschaftlichkeit**	79
8	**Literatur/ Verweise**	80
9	**Anhang**	

Verzeichnis der Anlagen

Anlagen 1	**Multifunktionale Landwirtschaft**
Anlagen 2	**Analyse der Wasser- und Stofflüsse, der Erträge sowie der möglichen Stoffausträge des Landwirtschaftsbetriebes**
Anlagen 3	**Produktivität und Flächenmanagement**
Anlage 3.1	Flächen und Energieproduktivität des Landwirtschaftsbetriebes
Anlage 3.2	Kurzfassung Projekt „Naturschutzhof Brodowin“
Anlage 3.3	Bruttoprimärproduktion (BPP) nach verschiedenen Quellen
Anlagen 4	**Verfahren und Technologien für ein geschlossenes Stoff- und Energiestrommanagement**
Anlage 4.1	Strohfilterverfahren
Anlage 4.2	Diplomarbeit (Verfasser: Marco Eckerland, TFH Berlin, Fachbereich Versorgungs- und Energietechnik, Fachliche Betreuung: IGEA mbH, Dipl.-Ing. Schmalstieg)
Anlage 4.3	Mikro-Gasturbinenanlage (Beispiel Fa. GAS)
Anlage 4.4	Hochtemperaturbrennstoffzelle (Beispiel Fa. Sulzer Hexis)
Anlage 4.5	Erfahrungen aus dem Dauerbetrieb des Xylowatt-Vergasers
Anlage 4.6	Stirling 161 BHKW-Modul (Beispiel Fa. SOLO)
Anlage 4.7	enginion-machine
Anlagen 5	**Prototypen - Entwürfe**
Anlage 5.1	Architektur der „Moderne“
Anlage 5.2	Ver- und Entsorgung von Städten im 20. Jahrhundert
Anlage 5.3	Quasi-autarke Architekturansätze
Anlage 5.4	Die Gartenstädte des 20. Jahrhunderts
Anlage 5.5	Solararchitektur im 20. Jahrhundert
Anlage 5.6	Solarer Städtebau
Anlage 5.7	Simple Constructions
Anlage 5.8	Geeignete Bauteile: Wände/Decken
Anlage 5.9	Geeignete Bauteile: Dächer
Anlage 5.10	Das Vorbild „Stensund“
Anlage 5.11	Der „Intelligente Misthaufen“
Anlage 5.12	Das BIODROM „Brodowin“
Anlage 5.13	Das BIODROM „WISTA“
Anlage 5.14	Das BIODROM im Müggelturmkomplex
Anlage 5.15	Das BIODROM „Neue Gartenstadt“

Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

Abbildungen

Abb. 1 Jahreszeitliches Muster der Niederschlagsverteilung 1910-1989 in Berlin Dahlem

Abb. 2 Schlagübersichtskarte des Landwirtschaftsbetriebes Brodowin. März 1997.(Landesanstalt für Großschutzgebiete)

Abb. 3 RGB-Composit Brodowin und Umgebung. 07.Juli 1989.

Abb. 4 Thermalbild Brodowin und Umgebung. 07. Juli 1989.

Abb. 5 Derzeitige Stoff- und Energieströme des Landwirtschaftsbetriebes Brodowin

Abb. 6 Zukünftige Stoff- und Energieströme des Landwirtschaftsbetriebes Brodowin

Abb. 7 Verfahrensschema zur Kopplung von Energiefluss und Wasserkreislauf sowie Stoffströme im BIODROM

Tabellen

Tab. 1 Input-Output-Relationen Landwirtschaftsbetrieb Brodowin in kWh (Angaben zum Fremdenergieeinsatz siehe **Anlage 4.2**, Ertragszahlen siehe **Anlage 3.1**)

Tab. 2 Vergleich nachwachsender Energieträger

Tab. 3 Vergleich der Kosten/ha für Hackschnitzel und Pellets

Tab. 4 Kraft-Wärme-Kopplungstechniken im Hofbereich auf Basis Biogas

Tab. 5 Kraft-Wärme-Kopplungstechniken im BIODROM auf Basis Biomasse und Biogas

Tab. 6 Mengen und Eigenschaften von häuslichem Schmutzwasser (Diem, et al 1975, Lange, J., Otterpohl, R. 1997)

Tab. 7 Nährstoffeinträge in das häusliche Schmutzwasser (Diem, et al 1975, Jönsson, et al, 1999, Larsen et al 1996 &, Pöpel et al, 1993)

Tab. 8 Abschätzung der Mengenteilströme des Abwassers im BIODROM

Tab. 9 Ressourceneigenschaften der Abwasserteilströme im BIODROM

Tab. 10 Menge und Fracht von Urin und Grauwasser im BIODROM

Tab. 11 Betriebsfläche des Landwirtschaftsbetriebes Brodowin

Tab. 12 Produktion und Flächenutzung des Landwirtschaftsbetriebes Brodowin

Tab. 13 Verteilung der Tiere in GVE des Landwirtschaftsbetriebes Brodowin

Tab. 14 Güllemengen und -güte des Landwirtschaftsbetriebes Brodowin

Tab. 15 Strohmenge (22 dt/ha/a) und Zusammensetzung

Tab. 16 Jährliche Nährstoffeinträge durch Stallmistdüngung sowie Bearbeitungsaufwand des Landwirtschaftsbetriebes Brodowin

Tab. 17 Entzüge von Winterroggen in Langzeitversuchen bei Halle (s. o.)

Tab. 18 Abschätzung der Nährstoffeinträge sowie Beispiele für Ernteentzüge des Landwirtschaftsbetriebes Brodowin

Tab. 19 Jahresdepositionsraten mit dem Freilandniederschlag in Schleswig-Holstein (S.-H.) 1993 und 94 (Ripl et al 1996) sowie Schätzwerte für das Gebiet Brodowin

Tab. 20 Stoffausträge aus kleinen Einzugsgebieten der Stör, minimale und maximale Gesamtmittelwerte einzelner Parameter 1992-1994 (*Salze NaCl bereinigt) (Ripl et al 1996)

Tab. 21 Modell möglicher Stoffausträge (*Salze NaCl bereinigt) des Landwirtschaftsbetriebes Brodowin

Tab. 22 Menge und Zusammensetzung von Molkereiabwasser des Landwirtschaftsbetriebes Brodowin

Tab. 23 Abschätzung des Nährstoffbindevermögens von Stroh im Biofilm

Tab. 24 Abwassermenge und Strohbedarf des Landwirtschaftsbetriebes Brodowin

Tab. 25 Abschätzung der Kosten für Strohfilteranlage und Betrieb

1 Zusammenfassung

Nach einer ersten Phase der Globalisierung, wird die Krisenanfälligkeit unserer von Wachstum abhängigen Volkswirtschaften deutlich. Gesellschaftliche wie auch physische Rückkopplungseffekte ergeben sich aus der zunehmenden Begrenztheit der Ressourcen.
Dies trifft in besonders hohem Masse auf Wasser und Energie sowie auf Vegetation, Atmosphäre und Bodenfruchtbarkeit zu. Diese Güter bilden die unverzichtbare Basis für die Subsistenz der Gesellschaften. Erst ihre integrierte Betrachtung im funktionalen Zusammenhang lässt uns die Notwendigkeit erkennen, Wasser- und Stoffkreisläufe verlustarm an den Energiefluss zu koppeln und präzise zu steuern, um in lokalen, zellularen Bewirtschaftungsstrukturen die nachhaltige Existenz der Gesellschaften zu sichern.

Die vorliegende Studie ist ein Versuch aus einem interdisziplinären Ansatz heraus, Optimierungsstrategien zu entwickeln. Eine Arbeitsgruppe mit der fachlichen Ausrichtung Landschaftsökologie und Systemökologie, ökologische Landwirtschaft, alternative Energietechnik, Verfahrenstechnik, ökologisch orientierte Architektur sowie Betriebswirtschaft hat die Machbarkeit für ein integratives Energie-,Wasser-und Stoffstrommanagement für dezentrale, autarke Ver- und Entsorgungsstrukturen untersucht.

Der Landwirtschaftsbetrieb Brodowin dient dabei in der vorliegenden Studie als Beispiel für die Entwicklung einer systemaren Methodik zur Flächenbewirtschaftung durch die Integration von Wasser mit der Nahrungsmittel- und Energieproduktion. Ein solches Vorgehen bietet die Möglichkeit einer kürzergeschlossenen Kreislaufführung von Wasser und der daran gekoppelten Mineral- und Nährstoffflüsse auf der bewirtschafteten Fläche und reduziert die Stoffverluste. In der Konsequenz wird die anthropogen beschleunigte Alterung des Bodens wieder verlangsamt und die Effizienz einer nachhaltigen Produktion verbessert.
Schlüssel für diese Art der Bewirtschaftung sind eine bessere Nutzung der durch die Photosynthese produzierten Kohlenstoffquellen unter Einbindung der direkten und indirekten Nutzung der Solarenergie und des Regenwassers. Wesentliche Punkte einer dazu notwendigen Veränderung der üblichen Rotationen und auch des Anbausystems zu noch weniger Betriebsmittelzufuhr (in Anlehnung an Strategien der Permakultur), konnten und sollten in dieser Studie nicht abschliessend bearbeitet werden.

Die wichtigsten physischen Prozesse werden internalisiert, wobei sich die daran beteiligten Menschen im „BIODROM“ – in einer neuen Dorf- und Wirtschaftsform – vergesellschaften können. So können sie stoffliche Kreisläufe schliessen, eine hohe kommunikative und diverse Lebensqualität erreichen, die Flächenproduktivität bei nachhaltiger Erhaltung der Standorte steigern und in regionalen zellularen Strukturen durch eine erhebliche Steigerung der Ressourceneffizienz eine nachhaltige Zukunft produzieren.

Eine solche Restrukturierung böte eine zukunftsweisende Alternative zur heutigen im Hinblick auf die Ressourcen stark ineffizienten gesellschaftlichen Situation.

Die Analyse des Landwirtschaftsbetriebes in Brodowin ergab trotz eines relativ hohen Primärenergieeinsatzes nur geringe Erträge der Pflanzen- und Tierproduktion. Wassermangel,

leichte, mineralstoffarme Böden (Bodenzahlen 15-48 (im Mittel 33)) und hohe Respirationsverluste bei der Tierproduktion sind wichtige Faktoren für die mässige Effizienz.

Vier Ansätze für die Steigerung der Effizienz wurden in der vorliegenden Studie untersucht:

1. Die sukzessive Verbesserung des Wasserhaushalts, des Temperaturausgleichs und des Stoffrückhalts auf den Böden durch die Anlage von nachhaltig bewirtschafteten Energiefeldern für eine weitgehend autarke Energieproduktion des Landwirtschaftsbetriebes Brodowin auf einer Fläche von etwa 100 - 150 ha.

2. Die verlustärmere Stoffrezirkulation auf den Böden durch Aufarbeitung landwirtschaftlicher Abwässer (hier Molkereiabwässer) zu stichfestem Dünger. Damit soll neben dem Wasserhaushalt auch die Flächenproduktivität erhöht werden.

3. Die Steigerung der Effizienz durch Produktion von Nährtieren auf bakterieller Basis für die Tierproduktion, insbesondere für Fisch und Geflügel, um die Respirationsverluste und damit den „ökologischen Fussabdruck“ (Wackernagel 1997) zu verringern. Die Steigerung der Effizienz auf der Fläche, wenn die Ausdehnung des ökologischen Landbaus nicht zur Externalisierung der gesellschaftlichen Subsistenz in Drittländer führen soll. Die autarke Erzeugung von Energie in Form von Biogas oder Biomasse verbunden mit der Umwandlung in elektrische Energie und Wärme mittels Kraft-Wärme-Kopplung zur nachhaltigen Verbesserung der ökologischen Bilanz (C-Bilanz) und des Betriebsergebnisses. Die kritische Betrachtung von Art und Umfang der heutigen Tierhaltung/Tierproduktion und des Primärenergieeinsatzes bei der Pflanzenproduktion.

4. Das BIODROM als Kern der Hoffläche, intensivste Steuerungszentrale sowie Innovations-, Wohn- und Entwicklungskomplex zur Schaffung quasi-autarker Strukturen durch die Kopplung von Energieversorgung und internen Wasser- und Nährstoffkreisläufen.

Ergebnisse

Die Stoffbilanz von Brodowin zeigt für die landwirtschaftlichen Produkte, dass nur etwa 10 % des geernteten Kohlenstoffs zum Ertrag beiträgt, während etwa 90 % der auf der Fläche als Nettoprimärproduktion produzierten Trockenmasse als Respirationsverluste ohne Nutzen an die Atmosphäre in Form von CO_2 und N_2 bzw. Oxidationsprodukte des Stickstoffs verloren gehen.

Als Ergebnis der energetischen Analyse des Landwirtschaftsbetriebes konnte ermittelt werden, dass der jährliche Energieverbrauch von Endenergieträgern (Dieseltreibstoff, Elektroenergie und Erdgas) in Höhe von ca. 2.600 MWh durch den regenerativen Energieträger Biogas im Umfang von 1.340 MWh abgelöst werden kann. Entscheidende Voraussetzung dafür ist die Bereitstellung von Kleegras auf einer Anbaufläche von ca. 100 – 150 ha und spezifischen Kosten von maximal 170,- €/ha (ohne Investitionsförderung, aber unter Inanspruchnahme aller Flächenförderungen).

Als kurzfristig umsetzbare Ergebnisse stellen sich die Einsparmöglichkeiten durch maximale Nutzung von Abwasser und organischen Abfällen aus dem landwirtschaftlichen Betrieb, durch die eigene Produktion von Energie bei gleichzeitigem Aufbau der Böden durch Verbesserung des Wasser- und Stoffrückhaltes dar.

Der zu erprobende Ansatz der Veredelung von niederwertiger Biomasse in hochwertige Fleischproduktion (Geflügel und Fischproduktion) auf Basis einer Nährtierproduktion (Krebstierchen und Insektenlarven) unter Nutzung der energieeffizienten Bakterien und Pilzproduktion stellt einen Effizienzsprung dar, auf den zur Erreichung einer nachhaltigen Wirtschaftsweise in Zukunft kaum verzichtet werden kann. Eine Steigerung der Effizienz ist vorrangig durch die bessere Nutzung der C-Quelle für die Energieerzeugung, das Wasserrecycling und die Nahrungsmittelproduktion erfolgversprechend.

Am Beispiel des Landwirtschaftsbetriebes Brodowin wird dieses Kreislaufmanagement zwischen landwirtschaftlicher Fläche, Hof- und Haushaltsfläche - das BIODROM - aufgezeigt.

Es wurden Entwürfe für verschiedene BIODROM-Gebäudestrukturen, die über den Landwirtschaftsbereich hinausgehen, erarbeitet.

Ansätze und Vorschläge

Für eine Verbesserung der landwirtschaftlichen Struktur müssen die Produktionsprozesse für Energie, Wasser und Nahrungsmittel auf der Fläche gekoppelt werden. Ein verlustarmes Stoffrecycling ist die Voraussetzung für eine nachhaltige Wirtschaftsweise. Die Transporte müssen durch die Wiedereinführung regionaler Märkte bei hohem Veredelungsgrad durch die einzelnen Betriebe minimiert und verlustarme Kopplungen zwischen Stadt und Land entwickelt werden. BIODROM – Strukturen sind die physischen Knotenpunkte des gesellschaftlichen Trägernetzwerkes, die eine präzise Kreislaufführung des Wassers sowie der Energie- und Stoffströme bei minimierten Verlusten ermöglichen. Eine optimale Nutzung der Solarenergie gekoppelt mit Kohlenstoff bzw. organische Substanz als Energieträger kann die „ökologischen Fussabdrücke“ der in solche Strukturen integrierten Menschen stark reduzieren.
Ländliche Standorte mit schwachen Böden und wenig Wasser, Braunkohletagebau, Stadtbrache, semiaride und aride Gebiete können auf diese Weise bewirtschaftet und bezüglich ihrer Bodenfruchtbarkeit und ihrer Wasser- und Stoffrückhalteeigenschaften sukzessive verbessert werden.
Natürliche Prozesse in Fläche, Hof und Wohnbereichen werden so verknüpft, dass die Lebensmöglichkeit für Menschen auf kleiner Fläche ermöglicht werden kann.
Dem Zusammenbruch zentraler Versorgungsstrukturen bei Verknappung nichterneuerbarer Energiequellen sowie Transportproblemen wird durch die Entwicklung dezentraler, autarker Ver- und Entsorgungsstrukturen begegnet, in denen Menschen in Subsistenz leben können. Die Risiken werden lokal begrenzt.
Wasserdefizite bei der Produktion werden nicht durch das Bohren neuer Brunnen, sondern durch effizientere Wassernutzung und Neugestaltung der Landschaft mit dem Ziel des verbesserten Wasserrückhaltes, einer höheren Verdunstung (Kühlung) und damit einer gestei-

gerten Wahrscheinlichkeit des Niederschlags sowie eines kurzgeschlosseneren Wasserkreislaufs vermieden.

Innovative Ansätze für die Bewirtschaftung sind:

- Der Einsatz von lageoptimierten **Energiefeldern** (Einbau in die Fruchtfolge bis zur Agroforstwirtschaft) für die lokale Energiegewinnung, den Temperaturausgleich und den Bodenaufbau.

- Die Rezirkulation von Mineral- und Nährstoffen als stichfesten Dünger aus der Wasserreinigung (**Strohfilter**) von Molkereiwässern und der Nahrungsmittelverarbeitung oder Schlämmen aus Biogasanlagen. Dabei wird die Stoffrückhaltefähigkeit verbessert. Auch Aschen aus Biomasseverbrennung können direkt auf die Fläche rezirkuliert werden.

- Die **Konvertierung von niederwertiger Biomasse** (Bioreaktor) zur Produktion von Nährtieren für die Fisch- und Geflügelzucht

- Das **BHKW unter Rezirkulation des Wassers aus der Dampfphase** in Verbindung mit der **Grau- und Regenwasserreinigung** und Nutzung der **Latentwärme** im Heizsystem einer **BIODROM-Gebäudestruktur**

- Nahrungsmittelproduktion in **klimagesteuerten BIODROM-Gebäudestrukturen** in Kombination mit Wohn- und Arbeitsräumen

- **Abwasser- und abfallfreie Gestaltung der BIODROM-Gebäudestruktur** durch den Einsatz von Vakuumtrenntoiletten, Aufarbeitung des Urins zu Nährlösungen, Einsatz von Hydrokulturen.

Zielstellung ist die **Steigerung der Effizienz** bzgl. der Tragfähigkeit der Wasser- Energie- und Nahrungsmittelproduktion auf der landeseigenen Bewirtschaftungsfläche (Verringerung des ökologischen „Fußabdrucks“ bis hin zu **quasi-autarken Strukturen**). Ein an der **Landschaftsanalyse** rückgekoppelter Kriterienkatalog für die Veränderung der Bewirtschaftungsstrategie des Landwirtschaftsbetriebes auf der Fläche wurde erstellt. Für die angeführten Ansätze wurden in den einzelnen Kapiteln Forschungsfragen formuliert und Überlegungen zur Wirtschaftlichkeit angestellt.

Das Projekt gliedert sich in 3 Arbeitsphasen:

In der **Phase 1** erfolgt die **wissenschaftlich-technische Untersetzung** und Schnittstellenbearbeitung durch Untersuchungen und Betrieb von Pilotanlagen.

In der **Phase 2** erfolgt die standortkonkrete Vorbereitung der Bewirtschaftungsstruktur und die Vorbereitung der Errichtung einer BIODROM - Gebäudestruktur bis zur **Entwurfs- und Genehmigungsplanung.**

In der **Phase 3** sollen die Ergebnisse der Forschungs- und Entwicklungsarbeit verteidigt werden, um begründet die **Investitionen** durchzuführen.

Der ermittelte Kostenrahmen für die **Phase 1 der Erforschung und Erprobung**

einschließlich der dafür erforderlichen Pilotanlagen werden auf **890.392,- €**,

die Kosten für die **Phase 2 Planung für Umsetzung** werden auf **298.688,- €**
und

die **Investitionen für die Phase 3** werden auf **1,0 - 1,5 Mio €**

geschätzt.

In der vorliegenden Studie wurde beispielhaft der Landwirtschaftsbetrieb Brodowin untersucht. Während der Erarbeitung dieser Studie haben sich aber einige Rahmenbedingungen des Landwirtschaftsbetriebes so verändert, dass eine kurzfristige Umsetzung dort nicht möglich erscheint.
Deshalb wird die Realisierung des Projektes z. Z. am Standort Diedersdorf im Süden Berlins präferiert. Partner ist die Fa. A. Dohrn & A. Timm von der Stiftung Sozialökologische Kreislaufwirtschaft. Eine entsprechende Absichtserklärung wird im März nach Abschluß der Kauf- bzw. Pachtverträge zwischen den Stadtgütern Berlin und der Fa. A. Dohrn & A. Timm eingereicht. Die fachliche Begleitung des Gesamtprojektes wird durch eine bereits gebildete Expertengruppe des An-Institutes Aqua Terra der Technischen Universität Berlin wahrgenommen. Zur Koordinierung des Projektes wird eine Projektleitung eingesetzt. Für die Arbeiten bis zur Entwurfs- und Genehmigungsphase wird ein Bearbeitungszeitraum von 2 Jahren eingeschätzt.

2 Einleitung

Global wachsender Verbrauch von nicht erneuerbaren Energieträgern und ein Zuviel an zentralistischer Steuerung verstärkt nach wie vor vorhandene Ineffizienz der landwirtschaftlichen Produktions-, Verarbeitungs- und Verteilungssysteme, so dass sich die „ökologischen Fußabdrücke“ (Wackernagel 1997) der Bundesrepublik Deutschland weit in die dritte Welt hinein erstrecken. Deutschland als Geberland exportiert Kapital und bedient sich in zunehmenden Ausmaß der Produkte, die die Subsistenz dieser Länder gewährleisten. Gleichzeitig wird der Oberboden im eigenen Land durch den wasserwirtschaftlich beschleunigten Wasserabfluss etwa seit 150 Jahren relativ rasch mineralisiert, so dass sich die Stoffausträge gegenüber der unbeinflussten Natur bis um das hundertfache gesteigert haben und derzeit Nähr- und Mineralstoffe von bis zu 1 t/ha/a in die Gewässer bzw. das Meer ausgetragen werden. Die in Südeuropa flächendeckend bereits weitgehend abgeschlossene Bodendegradation zeichnet sich zunehmend auch für Mitteleuropa ab. Der Bedarf nach regional optimierter Effizienz durch angepaßtes Handeln wird offenbar.

Um der Herausforderung zu begegnen, erscheint es deshalb vordringlich zu sein,

- stärker auf Autarkie[1] orientierte Strukturen durch die Entwicklung zellularer, dezentraler Ver- und Entsorgungsstrukturen in Stadt und Land aufzubauen,
- damit technische und wirtschaftlich-soziale Subsistenz im eigenen Land zu erzeugen,
- auf sämtlichen bewirtschafteten Flächen bis auf Haushaltsebene hinunter als wichtigstes Prinzip verstärkt lokale Kreislaufwirtschaft einzuführen,
- die Produktivität ökologisch nachhaltig auf kleiner Fläche zu steigern, d.h. stärker an der Funktionalität der Flächenprozesse zu orientieren.

Die physische Basis unserer Gesellschaft kann durch wasser- und stoffverlustärmere lokale Ver- und Entsorgungsstrukturen gesichert und zukunftsfähig entwickelt werden. Unter Anwendung von Systemstrategien können heute zellulare, autarke Strukturen mit hoher Effizienz entwickelt werden. Diese können in ihrer Effizienz dadurch optimiert werden, dass internalisierte, lokale Wasser- und Stoffströme auf der Basis erneuerbarer Energiequellen (Solarenergie und Biomasse) gekoppelt eingesetzt werden.

Autarke Strukturen, d.h. die Internalisierung von Ver- und Entsorgungsprozessen wird durch die Kopplung von Energieversorgung und internen Wasser- und Nährstoffkreisläufen ermöglicht. Dies soll am Beispiel der Flächen und des **BIODROM´s** unter Nutzung der heutigen technischen Möglichkeiten bei geringstmöglichem Flächenverbrauch demonstriert werden.

Neuere Technikentwicklungen haben Voraussetzungen geschaffen, die Effizienz von Produktion und Konsumption durch lokal gesteuerte Stoffkreislaufwirtschaft zu steigern. Die Optimierung technischer Subsistenz in zellularen Strukturen ist eine Schnittstellenaufgabe und

[1] Autarkie im engeren Sinn ist zwar nicht vollständig erzielbar, soll jedoch im vorliegenden Kontext als erstrebenswerte Zielfunktion dienen. Die räumliche Offenheit des dynamischen Systems soll vermindert werden, räumliche Irreversibilität von Stoffflüssen vermieden und damit die Alterung der Landschaft minimiert werden.

bewirkt erhebliche Verbesserungen in der Wirtschaftsweise sowie der Ressourceneffizienz und wird darüber hinaus neue technische Lösungen hervorbringen.

Flächenmanagement

Die Funktionalität der gesamten Fläche als physische Basis der Gesellschaft ist vorrangig eine regionale Aufgabe und stärker als bisher zu sichern. Dazu zählt insbesondere, die Temperaturausgleichsfunktion der Vegetation zu verstärken, die uns ein gemäßigtes regenreiches Klima und ausreichend Trinkwasser aus Oberflächenwasser gewährleistet sowie eine ausreichende und ortsfeste stoffliche Ausstattung des Standortes mit in der organischen Matrix gebundenen Nähr- und Mineralstoffen, die den Anbau von Nahrungsmitteln und Biomasse als erneuerbarem Energieträger ermöglicht. Eine nachhaltige krisenfeste Volkswirtschaft kann auf der eigenen Landesfläche richtungssicher erzielt werden, wenn der kurzgeschlossene Wasser- und Stoffkreislauf auf der bewirtschafteten Fläche gefördert wird.

Dies erfordert eine unter der Verantwortlichkeit des Flächenbewirtschafters stärkere Integration der Wasserwirtschaft, der Energiewirtschaft, der Abfallwirtschaft, der lokalen Planung sowie des Naturschutzes in die Landwirtschaft (**Anlage 3.2**). Rahmenbedingungen müssen so geschaffen werden, dass sich optimales integriertes Wirtschaften auf der Fläche mehr lohnt, als eine über die Verwaltung implementierte zentral gesteuerte Landwirtschaft ohne Flächen- und Zeitbezug. Ansatzpunkt dazu ist der Landwirt als Ressourcenwirt (Wasser-, Klima-, Energie-, Flächenwirt, **Anlage 1** multifunktionale Landwirtschaft).

Die Funktionalität der natürlichen Flächenprozesse für den Menschen, wie die Bereitstellung von sauberer Luft und gemässigem Klima, trinkbarem Wasser und die Erzeugung von Nahrungsmitteln und Energie auf fruchtbaren Böden wird gewahrt, indem

- die stoffverlustärmere Produktion von Nahrungsmitteln auf kleinster Fläche maximiert wird.
- der Eigenenergiebedarf einschließlich notwendiger Transporte aus lokal und stoffrückhaltend erzeugten erneuerbaren Energiequellen gedeckt bzw. produziert werden.
- Wasserhaushalt, Energie- sowie Lebensmittelproduktion durch lokale Kopplung weitgehend unabhängig von Transporten werden; d. h. eine weitgehende Autarkie der Prozesse angestrebt werden.
- Kreislaufwirtschaft – insbesondere Verbesserung der Wasser- und Stoffrückhaltefähigkeit der Böden durch Rückführung von Nähr- und Mineralstoffen in möglichst fester organisch gebundener Form aus der Aufbereitung von Reststoffen der Land- und Wasserwirtschaft (Abwässer aus der Molkerei, aus Biogasanlagen, den Haushalten, der Obst- und Gemüseverarbeitung, , Stallmist) mit zellulosehaltigen Reststoffen, wie Stroh, Spänen umgesetzt wird.
- durch Vorhalten der Verdunstungsfähigkeit (Wasserhaltekapazität des Bodens) der landwirtschaftlichen Flächen - besonders auch während der Sommermonate die Veratmung und Mineralisierung sowie die anschliessende stoffverlustbehaftete Versickerung so gering wie möglich gehalten wird.

- Flächenfunktionen für kleinräumige Verdunstung und Kondensation, für einen über das Jahr vergleichmässigten Abfluss besonders auch im Sommer, für Stoffrückhalt bzw. Bodenaufbau (Fangstrukturen, nachhaltig bewirtschaftete Energiefelder, Obstbaumplantagen) durch Anreicherung des Bodens mit organischer Substanz und perenne Vegetation gezielt geschaffen werden.
- eine weitgehende lokale Erzeugung vertriebsfähiger Endprodukte gekoppelt mit einer Eigenvermarktung den Recyclinggrad für Mineralien und Nährstoffe durch Rückführung von Aschen, Abwasser aus Haushalten und organischem Abfall unterstützt wird.

Die Prüfung und Optimierung der Module und Verfahrensschritte erfolgt vor allem nach dem Kriterium, ob das Verfahren zu den anderen Modulen passt und den Gesamtwirkungsgrad (Implementierung von Wasser- und Stoffkreislaufprozessen, Minimierung der Wasser- und Stoffverluste, Minimierung des Energieeinsatzes) steigert. Diese Auswahl und Schnittstellenbearbeitung kann nach den lokalen Gegebenheiten und auch regionalen Besonderheiten zu verschiedenen Lösungen führen.

BIODROM - Gebäudemanagement

Das BIODROM ist ein Synonym für das neue Dorf und ist eine Analogie zum Kern einer Zelle, in der in Wechselwirkung mit dem Menschen Entwicklung und Steuerung der Subsistenzprozesse erfolgt. D. h. es ist vor allem Wohn- und Entwicklungszentrum, Versuchsträger und Wissentransferzentrum (Kombination Glashaus-Wohnhaus/-häuser). Zur Subsistenzfunktion gehören die solar betriebenen Flächenfunktionen Energie, Wasser, Lebensmittel und der Schutz der Natur in ihrer Funktionalität ebenso wie andere Flächennutzungsplanungen.

Für Städte mit vielfältigeren Funktionen als die reine Subsistenz stellt das BIODROM eine Möglichkeit dar, den notwendigen Stadtumbau sukzessive mit parallel betreibbaren, dezentralen Ver- und Entsorgungsstrukturen voranzutreiben. Problemen wachsender Stadtbrachen und Zersiedelung wird durch Schaffung attraktiver Wohn- und Lebensmöglichkeiten, die in zunehmendem Maß die Subsistenz der Bewohner auf ihrer Landesfläche zurückgewinnen soll, begegnet. Insbesondere durch den gekoppelten Einsatz von Wasser, Energie und Pflanzenproduktion werden Einsparpotentiale geschaffen.

Das Prinzip des BIODROM´s ist weltweit übertragbar. Während aber in Nord- und Mitteleuropa die Energiegewinnung und der Erhalt der Bodenfruchtbarkeit zur Zeit noch vorrangiges Anliegen ist, steht bereits in Südeuropa der Wassermangel und damit verbunden der Wiederaufbau devastierter Böden im Vordergrund. Insbesondere in semiariden und ariden Gebieten stellt das BIODROM durch die Schaffung eines internen Wasserkreislaufes (z. B. solare Meerwasser- und Abwasserentsalzung), Nutzung der Photovoltaik und Stoffkreislaufwirtschaft eine Möglichkeit dar, als Basis für wachsende grüne Oasen, für die Erzeugung von Nahrung und allmählich auch für die Begrünung größerer Flächen zu dienen.

Im einzelnen soll

- der Eigenenergiebedarf (Strom und Wärme) aus erneuerbaren Energiequellen nachhaltig produziert werden,
- Wasser im Kreis geführt im BIODROM als Energiemedium eingesetzt werden, um die durch den möglichen Phasenwechsel des Wassers (flüssig – dampfförmig) entstehenden Synergieeffekte bei der Kraft-Wärme-Kopplung, der Wasserreinigung (Stoffseparation) und des Vorhaltens von warmem Wasser für die Belange im Haushalt wie auch in der Verarbeitung im landwirtschaftlichen Betrieb zu nutzen. Dazu soll auch der Einsatz der Solarenergie für den Sommerbetrieb und zur Einsparung der Wasseraufwärmung geprüft werden,
- Kreislaufwirtschaft – insbesondere Veredelung von land- und wasserwirtschaftlichen Reststoffen aus den Haushalten (Stroh, Urin) über die heterotroph geprägte Nahrungskette auf kleinster Fläche zur Erzeugung von Futtermitteln für die Fisch-, Geflügel- und Schweinezucht eingeführt werden,
- unter klimaoptimierten Bedingungen im BIODROM und effizienter Ressourcennutzung mit einer aufbereiteten Nährlösung aus Reststoffen der Haushalte versuchsweise eine Intensivproduktion auf kleinster Fläche mit Energiepflanzen (z. B. mit Eichhornia crassipes und Lemna spp.) sowie Gemüse und Obst durchgeführt werden.

3 Flächenfunktion der Energie- und Stoffflüsse

Die solare Energetik auf der Erdoberfläche setzt (gesehen als Wechselwirkung zwischen Sonne und unserem Planeten) primär Wassermoleküle in Bewegung, die zu einem Phasenwechsel (Verdunstung) des Wassers führen. Dem Verdunstungs- bzw. Temperaturausgleichsprozess nachgeordnet wird auch die Atmosphäre in Bewegung gesetzt. Wasser und Wind in enger Rückkopplung mit der Vegetation und den Lebensprozessen haben die Oberflächengestalt der Erde ständig überformt und strukturiert. Durch die dauernde Absenkung von Energieflussdichte [2] werden die Betriebspotentiale für sämtliche physischen Prozesse verteilt und flächige dissipative [3] Strukturmuster mit variablen Lebenszyklen, durch ständigen Stoffwechsel gekennzeichnet, entstehen.
Energiedissipative Systeme sind unter räumlicher bzw. stofflicher Begrenzung und zeitlich strukturiertem Energieangebot selbststrukturierend [4]. Dieses Streben nach maximaler energetischer Dissipation kann auch als Steigerung des ökosystemaren Wirkungsgrades [5] charakterisiert werden.

Die Analyse von weitgehend ungestörten Ökosystemen zeigt, dass sich diese einerseits durch einen hohen Grad an dynamischer Stabilität auszeichnen, während sie andererseits den lokalen Stoffwechsel, soweit es an einem Ort und zu einem Zeitpunkt der Energiefluss erlaubt, maximieren. Dies bedeutet, dass unter weitestgehender Nutzung der Energie die Stoffflüsse geschlossen betrieben und die stofflichen bzw. energetischen Standortverluste minimiert werden.

Nach diesen Kriterien müsste auch der Mensch wirtschaften, wenn er Nachhaltigkeit anstrebt.

Die auf der Erde zur Verfügung stehenden etwa 350 Watt/m^2 mittleren Energieflusses sollten über das Jahr gesehen in weitestgehend lokal gekoppelten Wasser- und Stoffkreislaufprozessen dissipiert (räumlich und zeitlich verteilt) werden. Die Systemgrenzen sind dabei so zu setzen, dass zeitlich zusammenhängende Phasen (Kreisprozesse) und räumlich zusammenhängende Gebiete (Domänen bzw. Einzugsgebiete) betrachtet werden.

---

[2] Energieflussdichteabsenkung oder Energiedissipation ist ein Prozess, bei dem Energie während eines energetischen Pulses aufgenommen und zeitlich sowie räumlich phasenverschoben wieder freigesetzt wird. Dabei wird der Energiepuls in Richtung des Mittelwertes eingelenkt (gedämpft) und das Potential durch den Phasenwechsel des Wassers (Verdunstung-Kondensation) und die Photosynthese räumlich und zeitlich so verteilt, dass keine oder nur geringe stoffliche Verluste entstehen. Als schwache Säure hat das Wasser darüber hinaus die energiedissipative Eigenschaft als Niederschlag Nähr- und Mineralstoffe an und im Oberboden zu lösen und in die Oberflächengewässer und Meere zu tranportieren. Es entstehen gemessen an menschlichen Zeitdimensionen irreversible Stoffverluste. Die Landschaft altert.

[3] Dissipatives oder energetische Pulse verteilendes System siehe Fussnote 1

[4] selbststrukturierend sind Systeme, die durch höhere Ressourceneffizienz eine höhere Dauerhaftigkeit (Stabilität) aufweisen. Diese Ressourcenreffizienz durch bessere Kreislaufführung und geringere Stoffverluste führt zu Wachstum, während offenere Strukturen schrumpfen und ausgesondert werden. Sie nähern sich dem Zustand geringster Energieflussdichte.

[5] Der Wirkungsgrad wird bestimmt durch den Anteil der Kreis- gegenüber den Verlustprozessen einer Struktur. Es erfordert die Betrachtung relativ geschlossener Systeme. In der Landschaft sind dies Einzugsgebiete von Flüssen. Über die Stofffrachten der Flüsse sind die Verluste (gelöste Basenkationen und Nährstoffe) und damit die Offenheit des Ökosystems abschätzbar.

Daraus leitet sich die Notwendigkeit des lokalen und in kurzgeschlossenen Kreisläufen parallelen Handelns bzw. Wirtschaftens ab. Erst ein Nebeneinander von solchen verlustarmen vom Menschen gesteuerten Stoffkreisläufen geprägter zellularer Strukturen kann als nachhaltig angesehen werden. Werden z. B. die lebensnotwendigen Nähr- und Mineralstoffe aus der Fläche mit den Fließgewässern in die Meere ausgetragen, oder sind die Störfrequenzen durch die Menschen höher als die natürlichen Anpassungsprozesse, bricht der vegetationsabhängige lokale Wasserkreislauf zusammen und Wüsten breiten sich aus. Die Fläche ist praktisch für lange Zeit nicht mehr für den Menschen oder als Tragwerk der Gesellschaft nutzbar.

Drei räumlich rekursiv gekoppelte Flächen sind als Prozessträgerfläche zu bearbeiten:

1. Die **Haushaltsfläche** der Menschen mit täglich anfallenden und auf die unmittelbare Subsistenz der Bewohner bezogene Wohn- und Prozessfläche
2. Die **Hoffläche** für die Energieerzeugung und Stoffspeicherung sowie die Aufarbeitung und Veredelung der auf der Bewirtschaftungsfläche erzeugten Produkte.
3. Die produktionsgeprägte **Bewirtschaftungsfläche**, auf der sowohl die gesellschaftsnotwendigen Funktionen der Natur (wie Wasserhaushalt, Kühlung, Bodenaufbau) sowie die aus einer Bewirtschaftungsspanne sich ergebende nachhaltige Energie- und Lebensmittelerzeugung stattfindet.

Als weitere funktional definierte Elemente sind Wasser-, Stoff- und Energiespeicherkapazitäten auf diesen Flächen zu berücksichtigen. In bestimmten Grenzen kann durch Erhöhung der Kreislauffrequenzen die Speichergröße variabel gestaltet werden.

Aus dem Nachhaltigkeitskriterium lässt sich ableiten, dass die zwangsläufigen Bewirtschaftungsverluste auf den Bewirtschaftungsflächen nur so gross sein dürfen, dass sie sich mit der aus der Bewirtschaftungsspanne erwirtschafteten lokal erneuerbaren Energie aus Stoffsenken kompensieren lassen.

Es zeigt sich bei näherer Betrachtung, dass nur relativ wenige Stoffe und Stoffflüsse in einer hierarchischen Ordnung für die Bearbeitung kreislaufbewirtschafteter Zellen in Betracht gezogen werden müssen. Für diese Stoffe sind die Verteilungsspannen bezüglich der Konzentrationen sowie der Zykluszeiten in den einzelnen Phasen auf der Fläche zu berücksichtigen. Dies gilt auch für die irreversiblen stofflichen Prozesse bzw. Transporte.

Von der Stoffdynamik ausgehend, sind die an die Organismen gebundenen Produktionsprozesse, die Atmungsprozesse, die daran gekoppelten Stoffwechselprozesse, die Verdunstungsprozesse und die damit gekoppelten Boden und Atmosphärenprozesse für die Optimierung und Steuerung der Flächenprozesse heranzuziehen und zu untersuchen.
Es ergeben sich daraus vorrangig Wasser als Transport-, Kühl-, und Reaktionsmittel und die folgenden Stoffklassen mit org. Kohlenstoff, org. Stickstoff NH_4, NO_3, Phosphor, die Gase (CO_2, O_2) und die bodenpuffernden Basen (Mg, Ca, K).

Die Bewirtschaftungsfläche, Fläche 3 stellt die extensivste Ebene im Landwirtschaftsbetrieb dar. Diese Ebene sollte durch ein direktes Rezirkulieren von Kohlenstoff und Nährstoffen durch optimierte Rückführung der Kohlenstoffquelle in den Boden charakterisiert sein.

Wasserrückhaltekapazität und Stoffretention werden durch Verortung der einzelnen Bewirtschaftungspraktiken bzgl. stofflicher Verluste, Verdunstung und Stoffausträge bestimmt. Die bewirtschaftete Fläche stellt auch die ultimative Senke für Reststoffe aus allen Ebenen dar. Auf der Fläche entscheidet sich die Nachhaltigkeit der ökologischen Bewirtschaftung sowie der stoffliche bzw. thermische Wirkungsgrad [6][7] und die Ressourceneffizienz. Eine genaue Analyse der Energie und Stoffströme ist erst aufgrund der Kenntnisse der Produktionsverteilung und Flächennutzung auf jährlicher Basis möglich.

In der **Hoffläche, Fläche 2,** werden die Produkte aus der Fläche über den Hof geführt. Teilweise können durch Molkerei, Gemüse- und Obstverarbeitung die Primärprodukte der Fläche veredelt werden. Landwirtschaftliche Reststoffe und häusliche Abwässer können einerseits zu stichfestem Dünger aufgearbeitet, andererseits über die heterotrophe Nahrungskette zu Fisch- und Geflügelfutter konvertiert werden. Auf dieser Ebene finden die Kopplungen einerseits zur bewirtschafteten Fläche (Ebene 3) statt, andererseits wird die Hofebene durch den BIODROM als Struktur intensivster Kreislaufführung unter Verwendung phasenoptimierter Regelkreise (**Haushaltsfläche, Fläche 1**) ergänzt.

[6] Der Wirkungsgrad wird bestimmt durch den Anteil der Kreis- gegenüber den Verlustprozessen einer Struktur. Es erfordert die Betrachtung relativ geschlossener Systeme. In der Landschaft sind dies Einzugsgebiete von Flüssen. Über die Stofffrachten der Flüsse sind die Verluste (gelöste Basenkationen und Nährstoffe) und damit die Offenheit des Ökosystems abschätzbar.

[7] Der chemische oder stoffliche Wirkungsgrad (W) kann anhand des Kohlenstoffumsatzes und der stofflichen Verluste (gelöste Mineralsalze oder Basenkationen) abgeschätzt werden. Er wird errechnet aus dem prozentualen Anteil der irreversiblen Verluste an gelösten Basenkationen mit dem Abfluss aus einem Einzugsgebiet (V) (ausgedrückt in verlorenen Ladungsäquivalenten oder Protonen) in Relation zur jährlichen Bruttoproduktion (P) (ausgedrückt in umgesetzten Protonen mit 2 Protonen/Kohlenstoffatom). Er ist ein Mass für die Intaktheit des Wasser- und Stoffhaushaltes in einem Einzugsgebiet. $W=(P-V)/P$

4 Landwirtschaft heute

Die heute in den Industrienationen vorherrschende Landbewirtschaftung ist das Ergebnis niedriger Primärenergiepreise und international existierender Abhängigkeitsverhältnisse. Nur so wird verständlich, dass heute durchaus gängige „Hoftorbilanzen“, dass heisst die Gegenüberstellung z. B. von N-Import und N-Produktion zu N-Export grosse Überschüsse aufweisen (Löloff, 2001). Diese Überschüsse besagen nichts weiter, als das Nährstoffe gasförmig oder durch Auswaschung in schädigender Weise an die Umwelt abgegeben werden. Da diese Schäden nach gängigem Muster (wie auch beim Strassenverkehr) sozialisiert wurden, gab und gibt es für den Produzenten kaum Handlungsbedarf. Der niedrige Energiepreis lässt die N-Nachlieferung aus der Düngerindustrie weit günstiger erscheinen als eine verbesserte Ausnutzung der betriebseigenen Ressourcen (Wirtschaftdünger/Mist). Auch heute noch kann das Kilogramm Mineral-N für etwa 0,51 € (1.- DM) eingekauft werden, ein Preis, mit dem auch schon vor 20 Jahren kalkuliert wurde.

Auch andere in den Betriebskreislauf eingeführte Düngemittel (Kali, Phosphor aber auch Calzium) sind in ihrem Preis hauptsächlich von den Transportkosten abhängig. Da ein grosses politisches Interesse besteht, den Preis für Öl und Gas niedrig zu halten, wird es eine Regulierung unnötiger Stoffverluste über den Markt in absehbarer Zeit nicht oder in nur zu kleinem Umfang geben.

Als ineffizient erweist sich die Erzeugung von tierischen Produkten mit Getreide und importierten Futtermitteln (s.a. Kap. 4.2.2). Durch Abtrennung der tierischen Produktion von der Fläche in den vergangenen Jahrzehnten, überdeutlich in den sogenannten Veredelungshochburgen wie z. B. der Region Vechta und Cloppenburg, ist teilweise eine Struktur entstanden, die sich nur langsam wieder zurückführen lässt. Langfristig gilt es aber auch für diese Gebiete „Veredlungsmodelle“ zu entwickeln, die wieder lokal auf der Fläche verankert sind.

Sehr viel Landwirtschaft in der EU wird in Zukunft auf relativ kargen Böden mit ungünstigen Klimabedingungen betrieben werden müssen. Der Einsatz von synthetischen Düngesalzen, gerade auch in niederschlagsärmeren Gebieten, hat nur kurzfristig zu nennenswerten Ertragssteigerungen geführt.

Erste Erfahrungen belegen, dass bei Umstellung auf ökologischen Landbau, der derzeit als Modell von der Bundesregierung favorisiert wird, eher mit 50 %igen Ertragsrückgängen zu rechnen ist als mit den oft angegebenen 20-30 %. Bei einer flächendeckenden Umstellung der Landwirtschaft ist dies eine Grössenordnung, die für die Ernährungssicherung der EU oder aber einer Region, beachtet werden muss. Wenn aber Ziel der Agrarpolitik der Erhalt der Agrarlandschaft, die Ernährungssicherung und die Umstellung auf ökologischen Landbau ist, muss in Zukunft in solchen Regionen die Effizienz der Produktion erhöht werden. Es sind in erster Linie die Wasser- und Stoffverluste in diesen Regionen, die der erforderlichen Leistungssteigerung im Wege stehen und nur kurzfristig durch hohen Fremdenergieeinsatz kompensiert werden können.

4.1 Klimatische Bedingungen und Stoffausträge

Der Zusammenhang zwischen der Vegetationsverteilung und den lokalen Klimabedingungen vermittelt über den kleinräumigen Wasserhaushalt und seine Bedeutung für das Regionalklima wird zunehmend auch von Klimaforschern wahrgenommen. Ganzjährig verdunstende Flächen vermögen den Wasserkreislauf im Tag-Nacht-Rhythmus kurzzuschliessen und so das Wasser am Ort vorzuhalten. Sie erhöhen als Kühlstrukturen der Fläche die Regenwahrscheinlichkeit und dämpfen die Temperaturschwankungen (gemässiges Klima). Nicht mehr verdunstungsfähige Flächen dagegen (versiegelte Siedlungs- und Verkehrsflächen und im Sommer austrocknende Ackerböden) erniedrigen als „hot spots“ je nach Größe und Verteilung in der Fläche die Regenwahrscheinlicheit, erhöhen die Temperaturschwankungen und erhalten zunehmend nur noch Regen aus dem globalen Wasserkreislauf. Diese Böden mit zunehmend geringerer Wasserhaltefähigkeit in den Sommermonaten werden verstärkten Oxidationsprozessen der organischen Bodenverbindungen ausgesetzt. Die Nähr- und Mineralstoffe werden in gelöster Form bei herbstlichen Regenereignissen verlagert und schliesslich in die Gewässer ausgetragen.

Die Datenanalyse der Niederschlagsdaten norddeutscher Klimastationen zeigt deutlich den Rückgang der Niederschläge während der Sommermonate Juni, Juli, August. Längere Trockenperioden in den Sommermonaten führen nicht nur zu Ernteeinbußen, sondern zu verstärkten Oxidationsprozessen und zu Nähr- und Mineralstoffverlusten aus den Oberböden.

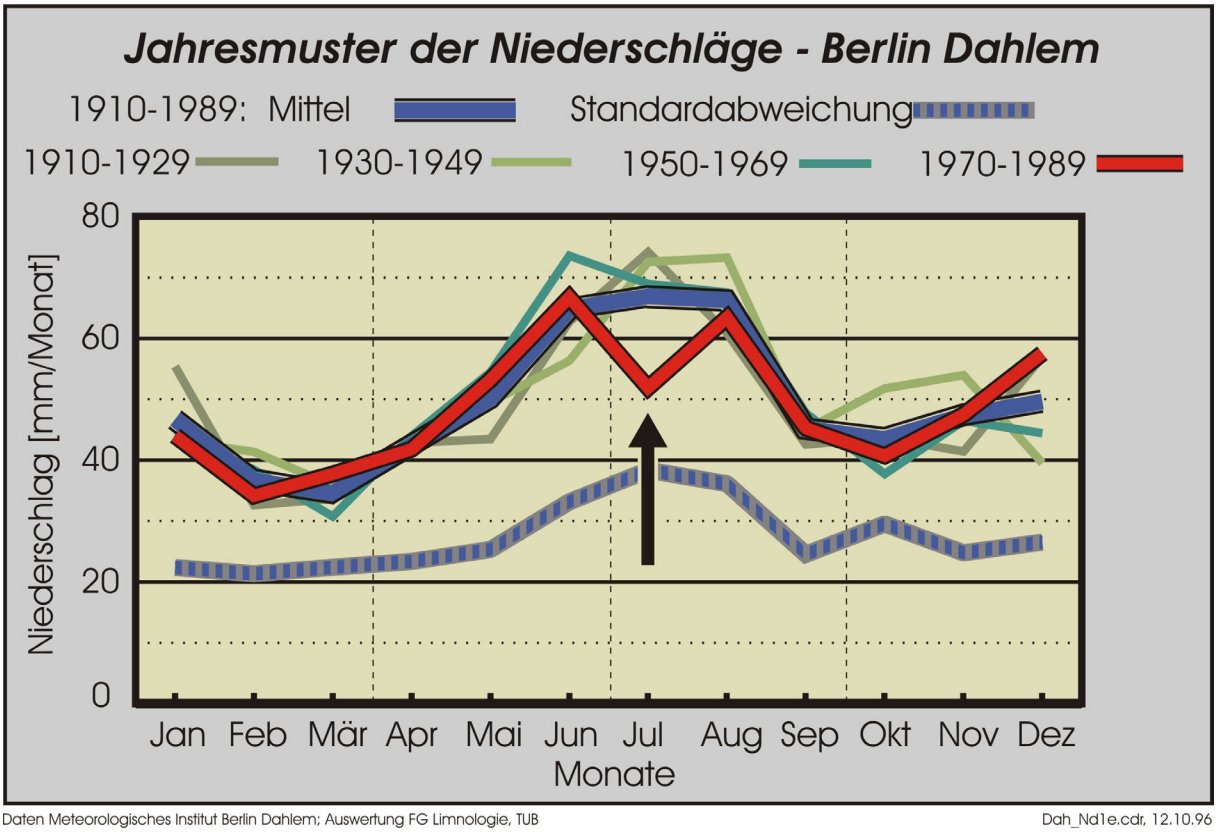


Abb.1: Jahreszeitliches Muster der Niederschlagsverteilung 1910 bis 1989 in Berlin Dahlem

4.2 Zusammenfassende Analyse des Betriebes Brodowin

Im nachfolgenden wird am Beispiel des vorliegenden Betriebes eine konkrete Betrachtung einzelner Produktionsbereiche vorgenommen (s. a. **Anlage 2** und **Anlage 3.1**). Schwerpunkt der Betrachtungen sind die Flächen- und Energieproduktivität.

Der Betrieb kann in seiner Ausrichtung und seiner Produktionstechnik als durchaus durchschnittlich unter den vorliegenden natürlichen Bedingungen angesehen werden. Allerdings zeigen verschiedene Parameter, das nach 10 Jahren Erfahrung eine Weiterentwicklung und teilweise Kurskorrektur notwendig ist. Die Betriebsgrösse von 1.200 ha ist zwar weit überdurchschnittlich aber auch bei ökologisch wirtschaftenden Betrieben nicht mehr ungewöhnlich (s. a. **Abb. 2**).

4.2.1 Pflanzenproduktion, Anbau und Erträge auf der Fläche

Auf etwa 870 ha der gesamten Betriebsfläche von Brodowin wird die folgende Fruchtfolge eingesetzt: Kleegras, Weizen/Roggen, Roggen/Triticale, Futterbau/Lupine, Mais, Sommergetreide, Wintergetreide mit Untersaat.

Es werden in etwa 430 ha Getreide geerntet. Diese setzen sich zusammen aus 336 ha für Verkaufs- und Futtergetreide und etwa 30 ha für die eigene Saatgutproduktion (**Anlage 3.1**). Der Rest wird als Ganzpflanzensilage an die Rinder verfüttert. Das Ertragsniveau pegelt sich unter den vorherrschenden Boden und Klimabedingungen auf eher knapp 25 dt/ha ein. In Trockenjahren ist der Abstand zum Durchschnitt des regionalen konventionellen Ertragsniveaus sehr hoch. Der häufig postulierte Ertragsrückgang bei der ökologischen Produktion von einem Drittel wird hier doch deutlich übertroffen. Und dieses ist nicht untypisch für die Situation vieler Betriebe in der Region.

Dennoch zeigen die Zahlen, dass die pflanzliche Produktion auf der heute genutzten Fläche, die Nahrungsmittelmenge produzieren könnte, um die Ernährung der Bevölkerung zu gewährleisten. Durch rein pflanzliche Produktion könnten für diesen Beispielbetrieb theoretisch 9 Menschen vom ha ernährt werden (**Anlage 3.1**). Auch der hier gar nicht so intensive Gemüsebau weist die Flächenproduktivität auf, die erforderlich wäre. Gleichzeitig schafft der Gemüsebau natürlich die wichtige qualitative Komponente einer ausgewogenen Nahrungsmittelproduktion und -versorgung.

Aber die Ertragsleistung reicht natürlich nicht mehr aus, wenn wir in Zukunft einen immer grösseren Teil der landwirtschaftlichen Fläche für die Energieproduktion verwenden müssen, und wenn wir einen relativ hohen Anteil an tierischen Produkten (s. u.) zu uns nehmen.

Bei der eingesetzten Primärenergie gehen die Zahlen zwischen dem Getreidebau und dem intensiven Gemüsebau erwartet weit auseinander. Leider konnte der geschützte Anbau nicht mit dem Freilandanbau in der gebotenen Schärfe verglichen werden. Es ist zu erwarten, dass der geschützte arbeitsintensive Anbau im Gewächshaus, in der Energieproduktivität dem extensiveren Freilandanbau überlegen ist.

4.2.2 Leistungen der tierischen Produktion

Der hohe Einsatz von Kraftfutter (Getreide, Leguminosen) sowohl bei der Schweinemast, wie auch bei der Milchproduktion, erweist sich als nahrungsmittelvernichtendes System. Auf dem Leistungsniveau, auf dem sich heute auch die ökologischen Betriebe befinden, wird mit einem Kilogramm zusätzlichen Kraftfutter nur noch etwa 1,3 kg zusätzliche Milch produziert. Über eine wirtschaftliche Grenzkosten/Grenznutzenbetrachtung errechnet sich zwar noch auf den ersten Blick ein zusätzlicher Gewinn. Sehen wir uns aber die reine Nahrungsmittelproduktion an, ergibt sich ein völlig anderes Bild.

Nur 28 % der eingesetzten Nahrungsmittelenergie des Kraftfutters kommt als Nahrungsmittelenergie Milch wieder heraus. Der Rest wird als Wärme, Methan oder Ammoniak an die Umwelt abgegeben. Von der Produktivität nicht viel anders sieht es bei der Produktion von Schweinefleisch aus. Die Flächenproduktivität, d. h. die erzeugte Nahrungsmittelenergie je Hektar reicht bei der gesamten Rinderhaltung (wobei die Milchproduktion und die Aufzucht der Kühe 95 % des Futters aufnehmen) zur Ernährung von 1,4 Menschen/ha und bei der Schweineproduktion, bei gegebenem Ertragsniveau der Flächen, zur Ernährung von 1,33 Menschen/ha (**Anlage 3.1**). Diese beiden Zahlen machen deutlich, mit welcher geringen Effizienz die heutige „tierische Veredlung“ auch im ökologischen Landbau praktiziert wird. Zwar sind hier durch Optimierungsstrategien vielleicht 20 %ige Steigerungen auch unter den hier gegebenen Bedingungen möglich, das absolut niedrige Niveau bleibt aber und ist nicht betriebs- sondern systemtypisch.

4.2.3 Stoff- und Energieströme im Landwirtschaftsbetrieb

Insgesamt ergibt sich eine, im nachfolgenden stärker differenzierte, schwache Produktionsleistung der Flächen im Beispielbetrieb mit doch recht hohem technischen Aufwand. So reicht der gesamte Nahrungsmitteloutput dieses Betriebes im Durchschnitt nur für die Ernährung von etwa 2 Personen pro Hektar aus. Nimmt man die Flächen der Bundesrepublik Deutschland und setzt sie in Relation zur Einwohnerzahl, müssen aber fast 5 Menschen pro Hektar ernährt werden, wenn wir eine Autarkie anstreben.

Für eine weitgehende Regionalisierung der Nahrungsmittelproduktion (Autarkie) sprechen die von vielen Seiten geforderte Reduzierung der Transporte (LKW), wie auch die damit verbundene Regionalisierung der Stoffkreisläufe, die mit ihren dezentralen Strukturen eine weit grössere Sicherheit in Krisensituationen bieten. Ertragseinbußen durch Klimaschwankungen erfordern dabei entsprechende Speichermöglichkeiten für den regionalen Ausgleich. Der Betrieb Brodowin hat mit einer eigenen Meierei und einer Abokistenservice (frei Haus Lieferung) einen relativ hohen, für Biobetriebe aber nicht untypischen, Veredelungsgrad. Selbst nach Herausnahme der reinen Energiemenge für die Belieferung, schlägt sich dies immer noch in den hohen Energieverbrauchszahlen nieder. Die eingesetzten 0,227 kWh/m^2 (**Tab.1**) an Primärenergie müssen daher relativiert werden, wenn ein Vergleich mit anderen reinen Produktionsbetrieben stattfinden soll. Die im Anhang befindliche Diplomarbeit ergibt die genaue Aufschlüsselung, dass etwa 1/3 der eingesetzten Elektroenergie für Strom und 70 % des Erdgases in die Meierei geht (**Anlage 4.2**).

Wasser	mm/a	m^3/a	$KWh/m^2/a$
Niederschlag	550		
Verdunstung	300		
Abfluss	250		
Trinkwasser	0,3	4000	
Globalstrahlung			1000

Energie (Input)	**MWh**	**l/a**	**l/ha/a**	**Fläche ha**	**kWh/ha/a**	**$KWh/m^2/a$**	**%**
Strom und Gas	1533,5			1200	1277,9	0,128	56,3
DieselVertr./Transport	367.2	37000	30,8	1200	306,0	0,031	13,5
Diesel Flächenbew.*	724,5	73000	69	1200	684,8	0,068	30,2
SUMME	**2625,3**	**110000**				**0,227**	100,0
*flächengew.MW (**Anlage 1**)							
Ertrag (Output)	**t**	**KJ/kg**	**MJ/Gesamt**	**Fläche ha**	**kWh/ha/a**	**$kWh/m^2/a$**	**%**
Verkaufsgetreide	300	13860	4158000	120	9625,8	0,963	44,8
Milch und	1500	2940	4410000				
Rindfleisch lebend*	70	5460	191100	968	1320,4	0,132	49,6
Schweinefl. lebend*	30	7560	181440	36	1400,1	0,140	2,0
Gemüse	400	840	336000	16	5833,8	0,583	3,6
SUMME			**9276540**	**1140**	**MW**	**0,215**	100,0
* 50 bzw. 20% Schlachtverlust							
1 MJ=0,2778 kWh							
Nettoprimärprod.	**dt/ha/a**	**$Kg/m^2/a$**	**$KJ/m^2/a$**			**$kWh/m^2/a$**	
Aufwuchs TM	60,0	0,6	10200			**2,834**	
Stoffverluste	**dt/ha/a**	**Meq/l**	**H dt/ha/a**			**$kWh/m^2/a$**	
Flächenaustrag Salze	6	6	1,5			**0,050**	

Ernährung pro Fläche	**Erträge**	**MW**	**Getreide**	**Schwein**
	kWh/m2/a	0,215	0,963	0,140
	kWh/ha/a	2150,000	9630,000	1400,000
	Pers/ha/a	**2,0**	**9,1**	**1,3**

2500 kcal/Pers/d entspricht 2,9 kWh/Pers/d

Tab. 1: Input-Output-Relationen Landwirtschaftsbetrieb Brodowin in kWh (Angaben zum Fremdenergieeinsatz siehe **Anlage 4.2**, Ertragszahlen siehe **Anlage 3.1**)

Wird die Summe der vom Betrieb verkauften (aus dem Betriebskreislauf exportierten) Lebensmittel, umgerechnet in die gleichen Energieäquivalente, gegenübergestellt, ergibt sich ein überraschendes Bild: Es wird in etwa soviel Primärenergie eingesetzt wie Nahrungsmittelenergie verkauft. Dabei bleibt die Herstellungsenergie für die eingesetzten Maschinen und Geräte unberücksichtigt (graue Energie). Durch diese Zahlen wird deutlich, wie abhängig auch die Erzeugung ökologischer Nahrungsmittel von zugeführter (fossiler) Primärenergie ist.

Obwohl der bei konventioneller Produktion anfallende hohe Anteil an Energie für die Herstellung von synthetischem Stickstoff hier nicht anfällt, sorgt der geringe Energieoutput für diese ungünstige Relation und belastet mit Sicherheit auch das wirtschaftliche Ergebnis des Betriebes.

Eine, zumindest teilweise, Ablösung der hier eingesetzten fossilen Primärenergie durch erneuerbare Energieträger, wie in der angefügten Diplomarbeit (**Anlage 4.2**)realistisch dargestellt, mildert zwar die ökologisch ungünstige Situation, ändert aber nichts an der schlechten Energieinput/-output Relation.

Der ermittelte durchschnittliche Aufwuchs (Nettoprimärproduktion) von 60 dt Trockenmasse (TM)/ha (mit starken jährlichen Schwankungen) enthält etwa die zehnfache Energiemenge der exportierten Nahrungsmittelenergie. Das heisst, die Umsetzungsprozesse und daraus resultierenden Respirationsverluste machen 90% der Produktion in diesem Anbausystem aus. Der hohe Flächenanteil, den die Tierproduktion besetzt, in Verbindung mit den weiteren Veredelungsstufen, ist sicher die Hauptursache für diesen Quotienten. Die Umwandlung pflanzlicher Nährstoffe in tierisches Protein (Produkte) wurde bislang offensichtlich zu stark durch agrarpolitische Vorgaben und weniger durch ökologische Effizienzoptimierung geleitet. Das Problem ist zwar schon länger bekannt (die hohen Methan- und Ammoniakverluste bei der Rinderhaltung), Verbesserungen oder Alternativen werden aber bisher nicht systematisch untersucht.

Umgerechnet auf die Fläche können derzeit in Brodowin nur 2 Menschen vom Hektar ernährt werden. Selbst unter Berücksichtigung der Tatsache, dass es sich um einen sehr ertragsschwachen Standort handelt, ist dies sehr niedrig. 54,1 % der gesamten Landesfläche von 35.702.800 ha werden für die landwirtschaftliche Produktion genutzt; die Tendenz ist nach wie vor fallend.(http://www.umwelt-deutschland.de/y/db_11_11_y_j_00.html). Mit einer Bevölkerungszahl von 81.817.000 (229 E/km^2) müßten auf der eigenen Landesfläche derzeit in Deutschland fast 5 Menschen vom Hektar landwirtschaftlicher Nutzfläche ernährt werden.

Wenn wir den Anspruch einer nachhaltigen Nahrungsmittelversorgung auf der eigenen Landesfläche erheben, müssen wir schon jetzt die Energiefrage mit einbeziehen. Von der gesamten Betriebsfläche unseres Beispielbetriebes (1200 ha) müssten bei einem angenommenen gleichbleibenden Energiebedarf ohne mögliche Einsparpotentiale (z. B: Nutzung der Photovoltaik) mindestsens 100 ha für die Biomasseproduktion zur Verfügung gestellt werden und damit ist noch kein Überschuss für die nächste Ortschaft erzeugt (Kap. 4.3.2 Energiefelder). Das heisst, etwa 9 % der landwirtschaftlichen Fläche werden für den Beispielbetrieb benötigt, um die heute erforderliche Energie für Produktion und teilweise für Verarbeitung zu erzeugen.

Die landwirtschaftlichen Nutzflächen werden derzeit wasser- und stoffverlustreich bewirtschaftet. Unter der Maßgabe, dass ein Teil der Böden inzwischen an vegetationsnotwendigen Stoffen verarmt ist und für eine zukünftige Nutzung erst wieder aufgebaut werden muss, stehen für eine intensive Produktion von Lebensmitteln in Zukunft in der Realität mit Sicherheit weniger als 50 % der Landesfläche zur Verfügung. Ein Teil der Flächen müssen in Zukunft für die lokale Energieproduktion, für den Wiederaufbau des Bodens, und die lokale Klimaausgleichsfunktion (Verdunstung und Kondensation) zeitweise aus einer intensiven Bewirtschaftung herausgenommen werden. Sie können erst nach einer Phase der Bodenruhe wieder in die intensive Bewirtschaftung genommen werden.

Diese Rahmenbedingungen zeigen bereits, dass physische Nachhaltigkeit unter den heutigen von Beliebigkeit geprägten Bodennutzungsstrukturen nicht möglich ist und Strukturverbesserungen in der land- und forstwirtschaftlichen Bodennutzung wie auch im versiegelten Raum notwendig sind, um die Ineffizienz der heutigen Produktion aufzuheben.

Nur die Integration der wichtigsten flächengebundenen Subsistenzfunktionen für die Gesellschaft zeigt den Lösungsweg auf, der die Abhängigkeit von Wasser, Energie und Grundnah-

rungsmitteln zugunsten autarker landeseigener Bewirtschaftungsstrukturen aufhebt. Erst eine dezentrale und angepasste Realisierung dieser Grundfunktionen und der sie tragenden darunterliegenden Prozesse ermöglicht die Minimierung der irreversiblen stofflichen Verluste und damit eine nachhaltig gestaltete Umsetzung gesellschaftlicher Grundfunktionen.

Effizienz kann nur durch Intensivierung der flächengebundenen Produktion (Produktion verstärkt auch in geschlossenen Systemeinheiten, Nutzung sämtlicher natürlicher C- und N-Quellen) sowie einer stoffrezirkulierenden Bewirtschaftungstechnik (Konvertierung niederwertiger Biomasse in Futtermittel für Fisch- und Geflügelzucht) erzielt werden.

Die vordringliche Aufgabe besteht darin, den Wirkungsgrad auf der Fläche sukzessiv durch Kopplung von einzelnen Prozessen und Erhöhung der Rezirkulation von Wasser und Stoffen sowie der Prozesswärme anzuheben.

Konsequenzen für eine nachhaltige Landbewirtschaftung auf der eigenen Landesfläche:

1. Intensivierung flächengebundener Produktion und Erhöhung der Obst- und Gemüseproduktion in geschlossenen Systemeinheiten
2. Flächenaufwand für die Milch- und Fleischproduktion senken
3. Sukzessive Ablösung der Fremdenergie durch nachhaltigen Anbau erneuerbarer Energieträger z. B. auf Weideflächen
4. Verbesserung der Wasserhaltekapazität der Böden und gezielte Anlage von Stoffsenken, Senkung der Respirationsverluste auf der Fläche durch Nutzung sämtlicher verfügbarer Ressourcen, auch häusliches Abwasser (Bodenaufbau)
5. Respirationsverluste durch Konvertierung niederwertiger Biomasse zu Futtermittel für Fisch und Geflügel als Alternative zu Rindfleisch senken

4.3 Inhaltliche Ziele zur Veränderung der Bewirtschaftungsstrategie des Landwirtschaftsbetriebes auf der Fläche

4.3.1 Grundlagen für veränderte Bewirtschaftungsstrategien

Hauptproblem und gleichzeitig Ansatzpunkt für eine Strategie stoffrückhaltender Produktion auf der Fläche ist der mutuelle Zusammenhang zwischen dem beschleunigten Wasserabfluss im Oberboden und der wechselnden Bodenfeuchte. Belüftung und beschleunigt ablaufende Mineralisierung organischer Bodensubstanz mit nachfolgendem Transport gelöster Nähr- und Mineralstoffe sind die Konsequenzen.

Erhöhte Sulfat- und Nitratkonzentrationen in den Fliessgewässern deuten auf nicht mehr funktionierende Denitrifikations- und Schwefelfestlegungsmechanismen (Desulfurikation) in den Böden bzw. einen starken Oxidationsprozess organischer Substanz hin. Die Absenkung des Bodenwasserspiegels löst eine „biochemische Erosion“ ursprünglich akkumulativer reduzierender Bodenstrukturen aus. Die prozesshemmenden Redoxverhältnisse, die bei Wassersättigung und geringem Wasserfluss im Boden vorherrschen, werden aufgehoben. Organische Stickstoff- und Schwefelverbindungen oxidieren zu Starksäuren. Sie verwittern zu-

sätzlich anorganisches Bodenmaterial und Basen werden als Sulfate und Nitrate transportfähig gemacht. Zunächst werden bei spätherbstlichem Anstieg der Bodenwasserstände verstärkt Sulfate ausgetragen, später kommen die Nitrate hinzu, wenn die ursprünglich denitrifizierenden Bodenhorizonte stark durchlässig für Wasser werden. Ein zunehmender Basenaustrag ist die Folge. Diese Austräge müssen heute durch immer höhere Stickstoff- und Kalkgaben kompensiert werden.

Strategien, die diesen Verwüstungsprozess selbstverstärkend umkehren können und zur Kreislaufwirtschaft führen, bestehen darin, die Nähr- und Mineralstoffe über die Rückführung sämtlicher landwirtschaftlicher Reststoffe sowie häuslicher Abwässer nach Aufarbeitung zu stichfestem Dünger (organische Matrix) auf die Fläche zurückzubringen (vgl. Strohfilterverfahren) sowie die Funktion der Vegetation für den Wasserrückhalt, den Temperaturausgleich (Verdunstung-Kondensation) und den Stoffrückhalt gezielt einzusetzen.

- Die Wasser- und Stoffretention des Bodens wird durch Anreicherung mit organischer Substanz verbessert. Wasser und Stoffe werden in organischer Bodenmatrix gebunden.

- Die Verdunstungsfähigkeit des Bodens (Wasserhaltefähigkeit des Bodens) wird während der Sommermonate erhalten und ausgebaut.

- Die Behandlung von Abwasser aus Haushalten wie landwirtschaftliche Reststoffe als wertvolle Nutzstoffe und ihre Rückführung auf die bewirtschaftete Fläche schliesst so weit wie möglich die geöffneten Wasser- und Stoffkreisläufe.

- Die perenne Vegetation dämpft den Wasser- und Stofftransport und sorgt für die Vergleichmässigung des Wasserabflusses und die Dämpfung der Temperaturamplitude.

Die Verteilung der Flächenfunktionen und ihre Bewirtschaftung ist nicht beliebig und sollte sich so gut wie möglich an die durch die geomorphologischen Gegebenheiten vorgegebene Richtung des Wasser- und Stofftransportprozesses im Wassereinzugsgebiet orientieren. Modifiziert wird dieser im Einzugsgebiet primär durch perenne Vegetation, die den Abfluss vergleichmässigt, den Stofflösungs- und –fällungsprozess minimiert und die Varianz der Temperatur verringert.

Aus den morphologischen Gegebenheiten ergibt sich, dass sowohl Kuppenlagen, steile Hänge, Quellgebiete und Senken sowie die Gewässerränder und Auen in einem Einzugsgebiet insbesondere als wasser- und stoffrückhaltende sowie temperatur-ausgleichende Strukturen entwickelt werden sollten. Dies können in Kuppenlagen und an steilen Hängen z. B. Plenterwald, in den Talauen und Quellgebieten z. B. Niederwald und teilweise auch bewirtschaftete Feuchtgebiete sein.

Gezielt können darüber hinaus in der bewirtschafteten Fläche in Zukunft, umtriebig oder extensiv bewirtschaftet, Flächen mit Funktionen für den Temperaturausgleich, der Vergleichmässigung des Abflusses sowie für die Stoffrückhaltung bzw. den Bodenaufbau geschaffen werden.

Die mögliche Verteilung und Intensität der Bewirtschaftung ist lokal verschieden und richtet sich dabei danach, ob

1. der jahreszeitliche Stoffaustragsprozess mit dem abfliessenden Wasser aus dem Einzugsgebiet abnimmt (chemischer Wirkungsgrad[8]) und

2. die Verdunstungsfähigkeit der Flächen ganzjährig vorgehalten werden kann (thermischer Wirkungsgrad[9]).

Diese beiden Parameter werden für die Bewertung des ökosystemaren Wirkungsgrades in einer Landschaft herangezogen. In der Regel bestehen Zusammenhänge zwischen den beiden Massen. Flächen, die nicht mehr verdunsten, erwärmen sich stärker und bilden einen „hot spot“ in der Landschaft. Dies ist ein Hinweis dafür, dass die Bodenkapillaren das Wasser nicht mehr halten können, der Bodenwasserspiegel sinkt rasch ab, der Boden wird belüftet, organische Substanz veratmet und rasch mineralisiert. Der Niederschlag verlagert und transportiert die gelösten Basen in die Gewässer. Die Wahrscheinlichkeit von Winderosion nimmt zu.

Warme und gekühlte Flächen können parzellenscharf im Satellitenbild (Landsat, oder in Zukunft ENVISAT, Temperaturkanal) sichtbar gemacht werden. Massnahmen, leistungsbezogene Zuwendungen sowie Erfolgskontrolle können durch eine auf dieser Basis durchgeführte Landschaftsanalyse abgeleitet werden.

Die beiden wichtigsten Module für die Umsetzung eines solchen Konzeptes werden nachfolgend behandelt.

4.3.2 Bewirtschaftungsoptimum von Energiefeldern zwischen Feuchte, Bodenaufbau und Produktion bei minimiertem Arbeits- und Energieeinsatz

Ein kurzgeschlossener Wasser- und Stoffkreislauf auf der Fläche soll mit lokaler Energieproduktion so verknüpft werden, dass nachwachsende Energieträger nachhaltig angebaut, degradierte Böden allmählich für eine zukünftige Wiedernutzung aufgebaut sowie ein lokal gemäßigteres Klima durch Vorhalten ganzjährig verdunstender Flächen gefördert werden. Reststoffe aus der Landwirtschaft sowie Abwasser aus den Haushalten werden als Nutzstoffe zurück auf die Fläche gebracht. Der Einsatz von wiedererneuerbarer Biomasse führt zu einer ausgeglichenen CO_2-Bilanz. Man geht in der Regel davon aus, dass die Verbrennung von Biomasse ein klimaneutraler Prozess ist.

---

[8] Der chemische oder stoffliche Wirkungsgrad (W) kann anhand des Kohlenstoffumsatzes und der stofflichen Verluste (gelöste Mineralsalze oder Basenkationen) abgeschätzt werden. Er wird errechnet aus dem prozentualen Anteil der irreversiblen Verluste an gelösten Basenkationen mit dem Abfluss aus einem Einzugsgebiet (V) (ausgedrückt in verlorenen Ladungsäquivalenten oder Protonen) in Relation zur jährlichen Bruttoproduktion (P) (ausgedrückt in umgesetzten Protonen mit 2 Protonen/Kohlenstoffatom). Er ist ein Mass für die Intaktheit des Wasser- und Stoffhaushaltes in einem Einzugsgebiet. $W=(P-V)/P$

[9] Der thermische Wirkungsgrad von Landökosystemen kann aus dem Grad der Temperaturdämpfung des täglichen und jahreszeitlich modulierten Sonnenenergiepulses abgeleitet werden. In seiner räumlichen Verteilung kann er gut über den Thermalkanal von Satellitenbildern abgeschätzt werden. Er ist ein Mass für die Intaktheit des Kühlsystems auf der Erdoberfläche.

Energiefelder dienen gleichzeitig

- der lokalen und nachhaltigen Erzeugung nachwachsender Rohstoffe für eine autarke Energieversorgung
- der Verbesserung des Wasserhaushaltes und dem Aufbau ertragreicher Böden über die Rückführung von Kohlenstoff (sowie Nähr- und Mineralstoffen) in den Boden aus Konvertierungsanlagen (Strohfilter) für Reststoffe der Landwirtschaft sowie Abwasser der Haushalte.
- damit der Schaffung eines kürzergeschlossenen Wasser- und Stoffkreislaufes sowie
- der Verbesserung der Kühlfunktion (Temperaturausgleichsfunktion) der Fläche.

Leistungsanforderungen

- Aufbau ertragreicher Böden und Biomasseproduktion in der Kurzumtriebsplantage sollen in gleicher Weise optimiert werden.
- Die Plantage ist so anzulegen, dass maschinelles Befahren zur Beerntung wie zur Düngung nach Ernte ermöglicht wird.
- Die Fläche sollte nach etwa 15-20 Jahren wieder in die intensive Bewirtschaftung genommen werden können.
- Der Arbeits- und Energieaufwand ist zu minimieren.
- Versuche mit kombinierten Pflanzungen von Holzarten und Gräsern bei verschiedenen Düngegaben sollen auf einer Versuchsfläche durchgeführt werden. Ihre Kühleigenschaften (Temperaturausgleichsfunktion) sollen untersucht werden.
- Die Weiterverarbeitungsmöglichkeiten nach Vollernte (Fällen und Hacken) wie Trocknung, Lagerung oder Pelletierung, sowie Verbrennung mit Kraft-Wärme-Kopplung ist von entscheidender Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit.

Innovation, Forschungs- und/oder Optimierungsbedarf

Soll der Anbau von Energiepflanzen nachhaltig erfolgen, d.h. der Entzug durch Ernte mindestens ausgeglichen werden, muss ihr Anbau feuchter als heute üblich erfolgen, um Nähr- und Mineralstoffverluste mit dem Niederschlag aus dem Oberboden gering zu halten.
Durch Festdüngegaben (z. B. aus dem Strohfilter) sollen Kohlenstoffgehalt und Wasserhaltevermögen der Böden aufgebaut werden. Dabei ist darauf zu achten, dass bei Zugabe von organischer Substanz die notwendige Puffermenge vorhanden ist, um eine Absenkung des pH zu verhindern. In Brandenburg, wo bereits eine tiefgründige Versauerung eingetreten ist, sollte vor einer Düngung mit Festmist die Pufferung des Bodens festgestellt werden und eine entsprechende Düngekalkgabe erfolgen. Auch Aschen aus der Verbrennung können zurück auf die Fläche gebracht werden.

Die Auswirkungen der Düngung mit dem stichfesten Produkt aus dem Strohfilter auf bodenphysikalische Parameter, wie Wasserhaltekapazität soll untersucht werden. Trocknungskurven von Boden- und Biomasseproben sollen Auskunft über die Entwicklung der Wasserhaltekapazität geben.

Die Untersuchungen sollen den Wasser- und Stoffhaushalt im Boden besonders während der Zuwachsphasen (im Frühjahr) sowie die Entwicklung der Wurzelbiomasse betreffen. Die chemisch-physikalische Zusammensetzung der Feinfraktion des Bodens (< 0,5 mm) und der Wurzelbiomasse wird untersucht. Die Biomasse wird bzgl. der chemisch-physikalischen Zusammensetzung der oberirdischen Teile sowie ihrer Produktivität untersucht.

Es soll festgestellt werden

- welche Anbau- und Düngungsweise bei guten Biomasseerträgen am besten zum Bodenaufbau beitragen
- wie sich die Wasserhaltekapazität des Bodens unter den verschiedenen Anbau- und Düngevarianten verhält
- wie sich insbesondere die Wurzelbiomasse entwickelt

Mengengerüst, Recyclinggrad, Übertragbarkeit

Es gibt grundsätzlich zwei Möglichkeiten Energiefelder in einen ökologisch wirtschaftenden Betrieb einzubauen. Die erste ist der Einbau in die rotierende Fruchtfolge, wie z, B. Kleegras für Biogasgewinnung. Die zweite Möglichkeit der Energieversorgung ist der Aufbau einer Kurzumtriebsplantage**.**

Einbau in die rotierende Fruchtfolge

Im Gegensatz zu konventionellen Betrieben ist dabei die Berücksichtigung der N-Bilanz von entscheidender Bedeutung. Während ein konventioneller Betrieb die N-Zuführung über mineralischen Dünger steuern kann, muss der ökologische Betrieb über den Anbau von Leguminosen**,** unter Berücksichtigung aller fruchtfolgerelevanter Aspekte**,** die entsprechende Biomasse bereitstellen. Oberste Priorität hat dabei die Effizienz des Anbaus (Techn. Input/ Biomasse), die Minimierung der Stoffverluste durch mehrjährige Kulturen und die verlustarme Rückführung der Biogasgülle. Weiter ist die Ausdehnung dieser Flächen, vor dem Hintergrund einer politisch wie ökologisch immer mehr geforderten naturschutzfachlichen Optimierung der Anbausysteme (**Anlage 3.2**), zu überprüfen.

Konkret ergeben sich in dieser ersten Möglichkeit die folgenden Aufgaben:

- Wie hoch darf der Anteil dieser zusätzlichen Kleegrasflächen maximal sein, ohne sich negativ auf den Gesamtertrag des Betriebes auszuwirken - bei den jetzigen Erlösen für Energie auf der einen Seite und Milch, Fleisch (das Marktprodukt des Kleegrases) auf der anderen Seite?
- Welche Sorten und Gemenge erweisen sich für die Energiegewinnung unter Brandenburger Verhältnissen am günstigsten?
- Wie hoch ist bei Rückführung der Biogasgülle der maximal verträgliche Leguminosenanteil?

- Welche Anbaudauer ist die effizienteste (1, 2, oder 3 Jahre innerhalb der Fruchtfolge oder sogar als Dauerkultur?) unter Berücksichtung des Aufwandes für die Etablierung und des jährlichen Ertrages?
- Welche Technik erweist sich bei der Ernte am effizientesten (Ladewagen, Häcksler), gibt es Maximalentfernungen bei der Zulieferung, die nicht überschritten werden dürfen?
- Welche regional anfallenden (Landschaftspflege)abfälle eignen sich zur Beimischung und welches Verfahren, Biogas oder Kompostierung, ist die effizienteste Art der Kohlenstoffrückführung bzw. Kohlenstoffnutzung?

Kann das Management dieser Biogas-Energiefelder so ausgerichtet werden, dass naturschutzfachliche Belange (Reproduktionsmöglichkeiten für bedrohte Arten) hier, im Gegensatz zur Futtergewinnung, optimal gestaltet werden können. Dies bezieht sich insbesondere auf Mähtermine und die eingesetzte Technik (Petersen etal 2001).

Kurzumtriebsplantage

Kurzumtriebsplantagen sind relativ dicht bepflanzte Flächen mit Baumarten mit extrem schnellem Jugendwachstum, die sich nach Ernte durch erneute Stockausschläge regenerieren. Stecklinge von 5.000-10.000 Stck/ha (bis zu 1 mal 1 m^2) abnehmend mit zunehmender Länge der Umtriebszeit können gepflanzt werden. Nach 15-20 Jahren und maximal 10 Ernten ist das Austriebsvermögen der Wurzelstöcke erschöpft (Osterroth, 1996). Mehrtriebige Arten, wie die Weide sollten im Weitverband (3 mal 0,6 m) gepflanzt werden, während die maximal zweitriebige Pappel enger gepflanzt werden kann (Flaig et al, 1993).

Die Kurzumtriebsplantage wird zwar als Dauerkultur nicht in die Fruchtfolge integriert, kann aber in puncto Stoffkreisläufe, Landschaftsgestaltung sowie Natur- und Artenschutzaufgaben eine zentrale Rolle im Gesamtorganismus des Betriebes übernehmen. Darüber hinaus besteht bei diesem Verfahren mit einer langen Bodenruhe die beste Möglichkeit, degenerierte Böden nachhaltig aufzubauen. Dies auch deswegen, weil durch die Rückführung von Reststoffen aus der Hofebene eine laufende Nährstoffzufuhr gewährleistet ist, die den dauernden Export von Energie (z. B. in Form von Hackschnitzeln) überhaupt erst ermöglicht. Ohne diese Zufuhr wäre die Energieproduktion auf verarmten Böden unter der Prämisse einer nachhaltigen und effizienten Energieproduktion kaum möglich.
Ein weiterer Vorteil dieses Systems ist die lohnende Installation einer Bewässerungsinfrastruktur. Dabei werden die vorgereinigten Abwässer mit ihren Restnährstoffen aus einem Stapelbecken während der Vegetationszeit nach Bedarf in die Plantage gegeben. Dies kann passiv mittels eines Grabensystems oder aktiv über Verregnung geschehen. Unter den brandenburgischen Klima- und Bodenverhältnissen ist die Steigerung des Biomasseproduktion in erster Linie eine Frage des Wasserdargebotes in den Sommermonaten. Hier wäre also mit der Kopplung der Abwasserentsorgung und der Biomasseproduktion zur Energiegewinnung die synergistische Wirkung vorhanden, von der im Antrag mehrfach gesprochen wurde.

Folgende Fragen sind zum Energiefeld zu bearbeiten:

- Welche Wassermengen kann die Flächeneinheit tatsächlich aufnehmen, wie muss eine solche Plantage dimensioniert sein. Mit welchen einjährigen schnellwachsenden Pflanzen kann man im ersten Jahr die produktive Verdunstung steigern.
- Ist es ökologisch unbedenklich in feuchten Sommern, in denen die Fläche dann eigentlich unterdimensioniert wäre, auch zu einer Verrieselung überzugehen oder muss bei der Dimensionierung „vorgehalten“ werden (Zentralblatt für Geologie und Paläontologie 1999). Dies ist insbesondere bei der Übertragbarkeit auf Standorte mit knapper Flächenausstattung von Bedeutung.
- Wie muss die topographische Gestaltung des Geländes sein um einerseits eine passive Bewässerung zu ermöglichen, andererseits aber der technischen Aberntung nicht im Wege zu stehen
- In welchen Zeiträumen kann ein tatsächlicher Bodenaufbau stattfinden (C-Anreicherung) und macht es Sinn aus Gründen der Nährstoffanreicherung den Standort der Plantage regelmässig zu wechseln, um dann mit einer „zehrenden“ Fruchtfolge die angereicherten Nährstoffe wieder in den Betriebskreislauf zu führen. D. h. besteht bei diesem System überhaupt eine reale Gefahr, dass aus einer Senke eine Quelle wird.
- Wie schon bei der Anlage von Energiefeldern für die Biogasproduktion taucht auch hier die Frage nach der naturschutzfachlichen Ausrichtung einer solchen Plantage auf. Halbhohe Gebüschstrukturen sind für viele Heckenbrüter von hoher Attraktivität. Aber auch junge Säugetiere und Nestflüchter können in ausgeräumten Landschaften in einer solche Plantage Schutz gegen Greifvögel finden. Hier in Zusammenarbeit mit dem Naturschutz eine optimale Synthese zu finden, kann ein Ziel weiterer Untersuchungen sein. Bei der sich immer klarer abzeichnenden Vorgabe für die zukünftige Landwirtschaft auf den Betriebsflächen Vorrangflächen für den Naturschutz einzuräumen, könnten sich auch hier Synergismen ergeben.

Mengengerüst, Recyclinggrad, Übertragbarkeit

Die Erträge von Weiden und Pappeln belaufen sich auf etwa 10-12 t TM/ha/a, könnten aber bei entsprechender Düngung sicherlich auf 15-20 t/ha/a gesteigert werden.
Mit Schilfgräsern werden in unseren Breiten etwa 10-15 t/ha/a oberirdisch erntbarer Biomasse erzeugt (Björk 1972, Björk, Graneli 1978). Die Schilfpflanze zählt zu den produktivsten der Jahrespflanzen. Daneben sind die Erträge von Gräsern, wie das „switchgrass“ aus Kanada (*Panicum virgatum L.*) durchaus dem von Holz vergleichbar. Gräser haben den Vorteil, das die Kosten ihrer Trocknung für eine nachfolgende Pelletierung geringer sind als bei Holz, so dass sie wirtschaftlich mit der Herstellung von Holzpellets konkurrieren können. (www.reap.ca/Reports/Pellet%201999%20report.htm). Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass es mit dem herkömmlichen landwirtschaftlichen Equipment geerntet werden kann (http://bioenergy.ornl.gov/misc/switgrs.html). Es wäre zu prüfen, inwieweit das in Nordamerika heimische Gras, das auch verfüttert werden kann, in Europa in Kurzumtriebsplantagen nachhaltig angebaut werden kann.

	TM t/ha/a	GJ/t	KWh/t	kg RÖE/t
Weide (salix alba)	12	19,2	5337,6	460,8
Switchgrass Pellets	10	18,4	5115,2	441,6
Holzpellets		19,8	5504,4	475,2
Sudangras (1jährig)	bis 27,5	16,3	4531,4	391,2
Piniennadeln Pellets		21,3	5921,4	511,2

Tab. 2: Vergleich nachwachsender Energieträger

Um den derzeitigen Jahresbedarf an Wärme und Strom sowie Diesel für die Flächenbewirtschaftung und den Vertrieb des Hofes Brodowin von 2625,3 MWh aus Biomasse zu decken, müssen bei einem Wirkungsgrad von 100 % etwa 530 t/a Biomasse, bzw. 1060 t/a Biomasse bei einem angenommenen Wirkungsgrad von 50 % produziert werden. Bei einem angenommenen Ertrag von 10 t/ha/a TM entspricht dies in etwa einer Fläche von 106 ha, d.h. etwa 9 % der gesamten Betriebsfläche. Nicht berücksichtigt sind hier Einsparpotentiale durch Hochtemperatur-Solarpaneele, wärmedämmende Maßnahmen etc..

Das Internationale Forschungszentrum für Erneuerbare Energien (IFEED) in Dedelsdorf bei Gifhorn rechnet in Nord- und Mitteleuropa mit 1/12 der Betriebsfläche, während in Südeuropa nur noch 4,8 % der Betriebsfläche zur Erzeugung von Biobrennstoffen für den Energiebedarf eines Betriebes nötig sind. Der Anteil, der potentiell solar abgedeckt werden könnte, steigt danach beim Strom von 7 auf 12.7 und bei der Wärme von 15 auf 40% (http://www.verbraucherministerium.de/welternaehrung/fao_aktuell-2001/fa2001-15-16.htm).
Diese durchschnittlichen Angaben sind sicher im Einzelfall zu überprüfen, da je nach Betriebsgröße und Grad der Produktveredelung die Energiebedarf schwanken kann.

Kosten

Die Kosten für die Begründung einer Kurzumtriebsplantage werden auf höchstens 2.000,- € geschätzt und die reinen Erntekosten liegen bei ca. 10 €/ t Trockenmasse (Burger et.al. 1996). Der Energieeinsatz ist mit 3 %/t/TM gering. Anbau, Umsetzbarkeit und Wirtschaftlichkeit hängen von der Schnittstelle zur weiteren Verarbeitung und Verwertung ab.

Variante 1:

Die Holzhackschnitzel können getrocknet werden, indem ihr Wassergehalt direkt nach Ernte von 50-60% auf 25-35% reduziert wird. Dies geschieht durch natürliche Trocknung unter Dach oder durch eine in die Feuerungsanlage integrierte Trockenzelle. Anschließend werden sie in der Hackschnitzelanlage (Unterschubfeuerung 75%, Wirbelschichtfeuerung 85%) verbrannt. Die Bereitstellungskosten für Hackschnitzel liegen derzeit über dem Ankaufpreis für Hackschnitzel (7-8 €/Sm3)(1 Schütt m3 = 170-240 kg TM Holz). Sie entsprechen nicht den Produktionskosten, sondern sind nur Transportkosten für Material, das sonst entsorgt werden muß. Hacker für Waldrestholz kosten etwa 400.000,- € oder für Altholz und Grünschnitt 175.000,- € (www.telesis.at/regio/biomasse/abbericht/abschlußbericht_biom.htm).
Das Holz hat zum Teil stark variierende Größen und Feuchtegehalte.

Variante 2:

Für die Pelletierung werden Sägespäne und Grünschnitt verarbeitet, d.h. stark verdichtet. Pelletsbrenner sind automatisch beschickbar und steuerbar. Platzsparende Lagerung der Holzpellets und gleichmäßige Wärmeleistung sind Vorteile gegenüber Holzhackschnitzeln. Der Ankaufspreis für Späne und Grünschnitt ist niedrig.

Eine Pelletierungsanlage mit einer Leistung von 1,5 t/h bzw. 2700 t/a kostet beispielsweise etwa 427.000,- €. Die Pelletierungskosten dieser Anlage liegen bei 62,- €/t. Der Marktpreis für Sägespanpellets (Kernholz und Rindenholz) liegt derzeit etwa bei 230,- DM/t TM bzw. der Hobelspanpellet (nur aus Kernholz) bei 270,- DM/t. Der Heizwert beider Pellets von ca. 5 kW soll gleich hoch sein. (www.telesis.at/regio/biomasse/abbericht/abschlußbericht_biom.htm).

Vergleicht man Holzpreise mit denen von Heizöl, stellt man fest, dass die Brennstoffkosten für ein Einfamilienhaus mit 100 m^2 Wohnfläche und einem Heizwärmebedarf von 200 kWh/m^2/a wesentlich niedriger sind, allerdings sind Hackschnitzelanlagen oder Pelletsbrenner teurer in der Anschaffung als Gas- oder Ölbrenner. 2000 l Heizöl kosten 650-800 €, 25 m^3 Holzhackschnitzel 200-275 € und 4,1 t Holzpellets 370-475 € (www.BEAPotsdam.de).

Kostenschätzung für Kurzumtriebsplantagen Hektar/15 Jahre mit Hackschnitzelherstellung	€/ha/a min	€/ha/a max
Begründung, Pflege Schutz 2.500-3.500,- DM/ha 15 Jahre	83	117
Ernte mit Hackschnitzelherst. (30,- DM/t atro) = 360,- DM/ha 3 Ernt/15 a	180	180
pro Umtrieb zusätzlich 1.000-2.000,- DM/ha 3 Umtriebe/15 Jahre	100	200
(Pflanzen 5.000-10.000 Stecklinge/ha)(1,- Steckl)	167	333
Summe	**530**	**830**
Kostenschätzung für Kurzumtriebsplantagen mit Pelletierung		
feedstock (34-85 $/t)1,- DM=2 $, 12 t/ha/a	408	1020
Trocknung 12-15 $/t, (Switchgrass 0 $/t)	144	180
Pelletierung 24-59 $/t	288	708
In Säcke füllen (20 $/t)	240	240
Summe	**1080**	**2148**

nach Angaben von Flaig et al, 1993 sowie
www.reap.ca/Reports/Pellet%201999%20report.htm

Tab. 3: Vergleich der Kosten/ha für Hackschnitzel und Pellets

Inwieweit bei Betrieb einer Dampfkesselanlage für den Phasenwechsel des Wassers eine Pelletierung notwendig ist, wäre noch zu klären. Bei Wegfall dieses Verfahrensschrittes entstehen im wesentlichen Kosten für einen Holz-Feldhächsler während die Trocknung durch überschüssige Energie in den Sommermonaten gewährleistet wäre (Kap. 4.4).

Übertragbarkeit

Energiefelder nachhaltig, d.h. kombiniert mit einem Erhalt der Bodenfruchtbarkeit bzw. Bodenaufbau anzulegen oder in die Fruchtfolge einzubauen, ist vor allem auf bereits schwachen Böden aller Regionen sowie auch in Regionen mit Wassermangel wichtig. Die geerntete Biomasse müßte jedoch in diesen Regionen primär für die Verbesserung der Böden und

der Wasser- und Stoffhaltekapazität eingesetzt werden, d.h. die Plantagen wären extensiver zu bewirtschaften, als in Regionen mit einem höheren Bedarf an Biomasse für die Energieerzeugung (z.B. Nord- und Mitteleuropa).

4.3.3 Monitoring und Landschaftsanalyse der Stoffausträge und der Temperaturdämpfung

Die Dynamik des Wasserkreislaufes als Grundlage der energiedissipativen Prozesse beschreibt die stofflichen Prozesse und ihre Verteilung in der Landschaft. Der Wirkungsgrad einer Fläche, resp. Einzugsgebietes kann einerseits durch die Austräge gelöster Mineral- und Nährstoffe mit dem Abfluss andererseits durch die Temperaturdämpfung der Landschaft, die in Beziehung zum energiedissipativen Prozess steht, indiziert werden. Eine Bewertung des Landschaftswasserhaushaltes wird durch Auswertung der thermischen Signatur der Fläche von Satellitenbildern (Landsat, ENVISAT) möglich und kann als Bewertungskriterium für nachhaltiges Wirtschaften auf der Fläche eingeführt werden.

Strategie und Methodik einer wasser- und stoffretentiven Bewirtschaftung lässt sich nur aus dem jahreszeitlich ablaufenden sowie täglichem Muster der Oberflächentemperatur und des Stoffaustragsprozesses mit seinen Abweichungen ableiten. Verortung und Verteilung intensiv bewirtschafteter Flächen zu Flächen mit wasser- und stoffretentiven und temperaturausgleichenden Funktionen können auf dieser Grundlage bestimmt werden.

Ziel ist die Bemessung, Verortung, Verteilung und Bewertung

- von lokalen Wald- und Feuchtgebieten zur Wasser- und Stoffrückhaltung sowie für den kurzgeschlossenen Wasserkreislauf und gedämpfte Temperaturamplituden im Sommer und Winter
- umtriebig angelegter Energiefelder für Biomasseproduktion und Bodenaufbau (Kreislaufwirtschaft)
- Optimierung bzgl. Verteilung und Intensität der intensiven Getreide- und Futtermittelproduktion sowie der Grünland- und Weidewirtschaft

Die Stoffverluste bei verschiedenen Abflussmustern können in Einzugsgebieten und Teileinzugsgebieten beobachtet werden, während die Temperaturverteilungen und ihre Änderungen mit hoher räumlicher Auflösung (120*120 m Landsat 5, 60*60 m Landsat 7) sowie jahreszeitlicher Auflösung durch multitemporale Auswertung von Satellitenbilddaten registriert werden (**Abb. 3 und 4**).

Die parallel erforderlichen Bodenmessungen erfolgen hauptsächlich mit zeitlich hochauflösenden Druckmesssonden für Bodenwasserstand und Abfluss, Leitfähigkeitssonden als grobes Mass für den Basenverlust und Temperatursonden (Temperatur unter, an und über der Bodenoberfläche). Zur Kalibrierung werden diese mit notwendigen hydrologischen und wasserchemischen Messungen zur Ermittlung der Stoffausträge ergänzt.

Leistungsanforderungen

- Grundlage der wasserhaushalts-basierten Landschaftsanalyse und der daran rückgekoppelten Bewirtschaftung ist ein einfach zu messendes Parameterset, vergleichbare Messmethodik und Auswertemethodik (heuristische Datenanalyse).
- Auf seiner Basis ist es möglich, die Nachhaltigkeit (d.h. Vorhalten der Flächenfunktionen für die Gesellschaft) der Bewirtschaftung zu bewerten und mit dem Flächenbewirtschafter Umsetzungssstrategien für definierte ökologische Dienstleistungen zu erarbeiten sowie ihre leistungsgerechte Bezahlung zu ermitteln.
- Die Eignung der Information zu einer rückgekoppelten Bewirtschaftung soll gezeigt werden.

Innovation, Forschungs- und/oder Optimierungsbedarf

Es ergeben sich die folgenden Aufgaben:

1. Multitemporale räumlich verteilte Mustererkennung durch Berechnung von Landsat- (ENVISAT) Satellitenszenen sowie
2. lokale thermische Zeitserien verschiedener Vegetationsräume
3. Zeitlich hochaufgelöste saisonale Abfluss- und Wasserstandsmuster und damit
4. verknüpftes Stoffaustragsmuster zur Beschreibung des Stoffverlustprozesses aus der Fläche

Die Auswertung der Temperaturdaten erfolgt mit dem Ziel, die Verteilung der räumlichen Temperaturpotentiale und ihre Änderung zu den Jahreszeiten zu bestimmen. Das Wasserretentionsvermögen sowie die Fähigkeit zur Verdunstung der genutzten Fläche hängen eng mit der Temperaturverteilung und –änderung zusammen.

Abgeleitet werden die Verteilung von funktionalen Landschaftsschäden, wie deren stoffliche Retention aufgrund der Vegetationsabdeckung und die dissipativen Eigenschaften des Wassers in der Landschaft. Der Vergleich der Schlagübersichtskarte (**Abb. 2**) mit dem Thermalbild (Kartenausschnitt der Übersichtskarte ist rot markiert) zeigt beispielhaft die Temperaturunterschiede zwischen den landwirtschaftlichen Flächen und Wald- bzw. Wasserflächen (**Abb. 4**).

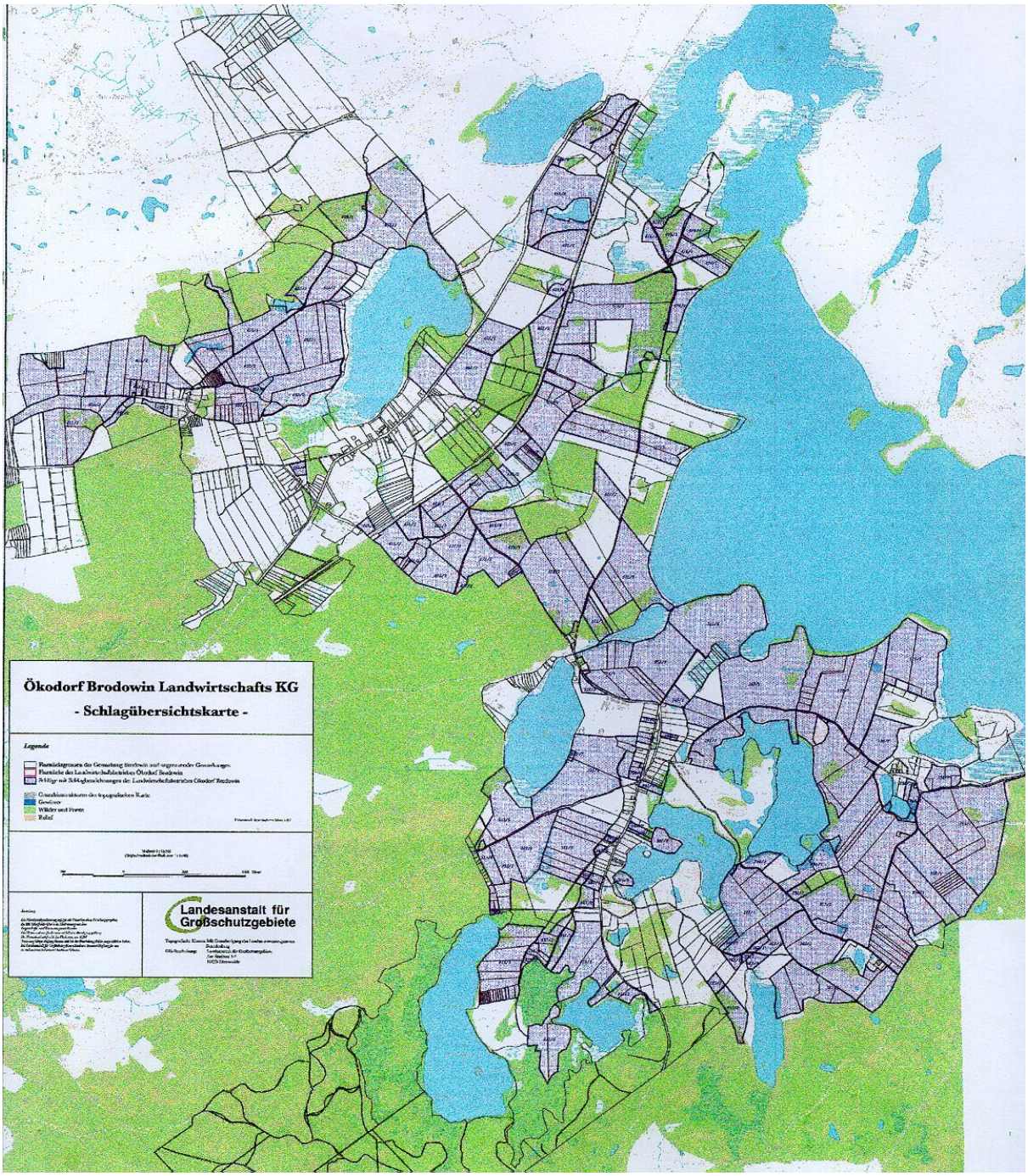
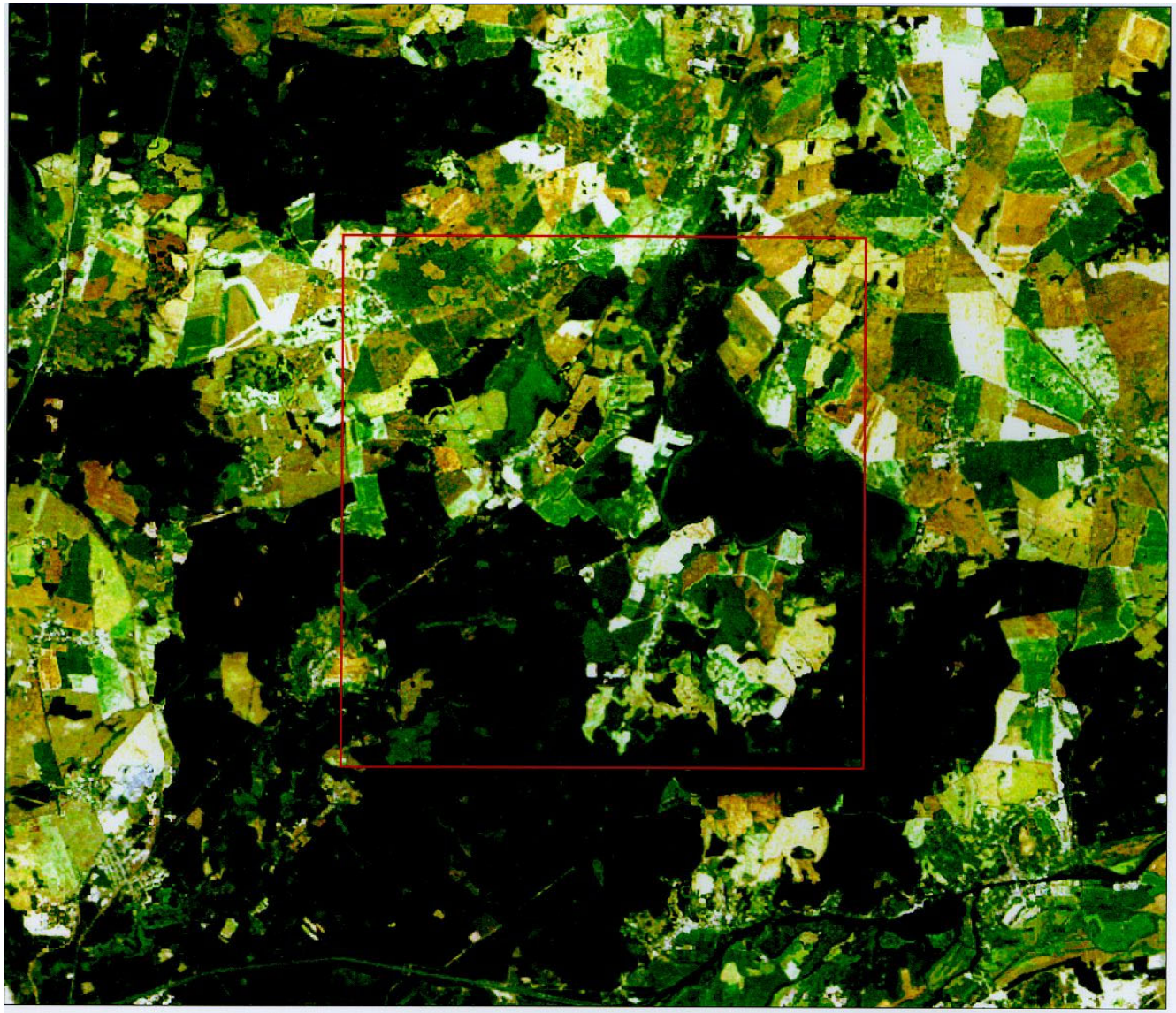


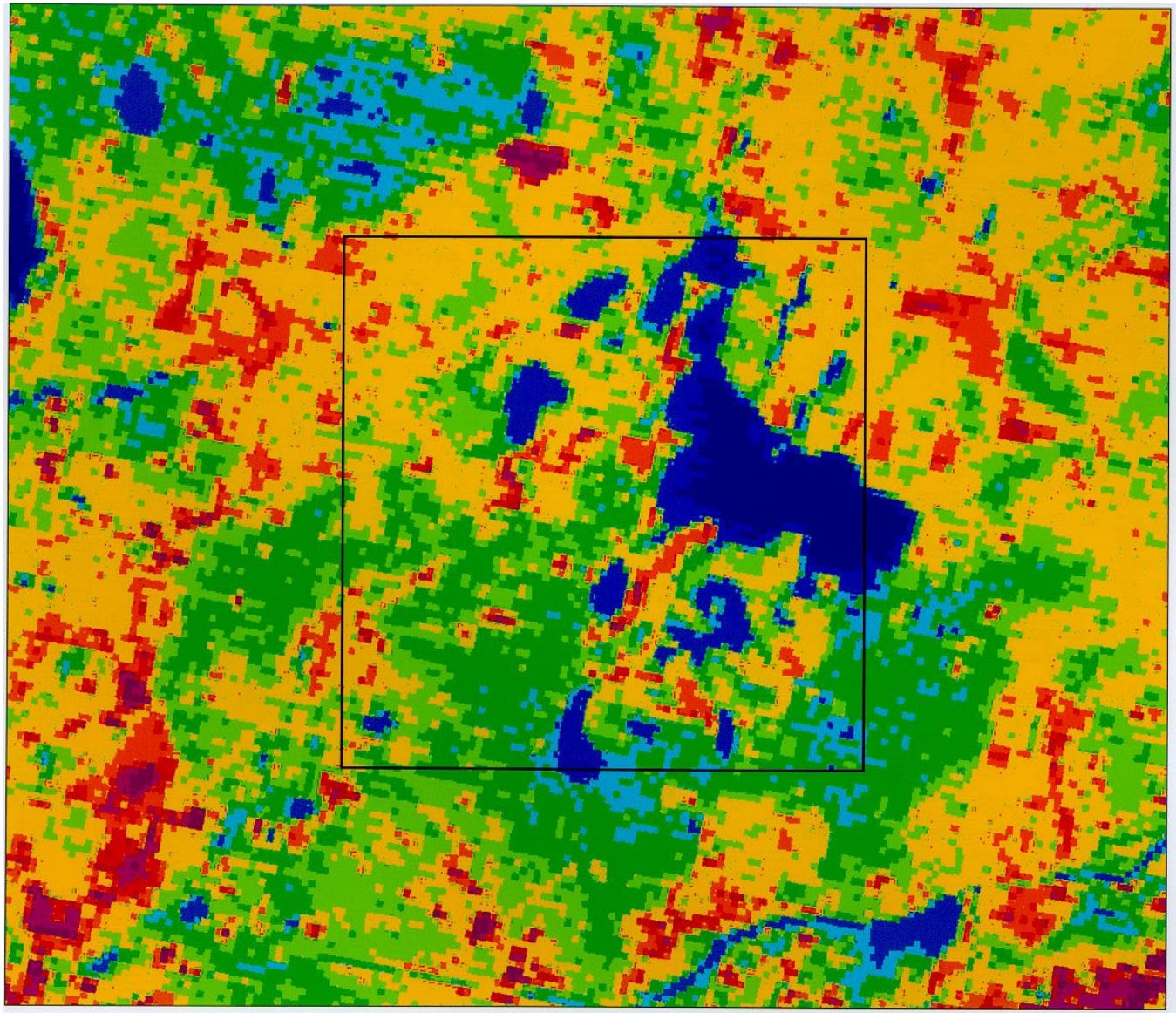
Abb. 2: Schlagübersichtskarte des Landwirtschaftsbetriebes Brodowin. März 1997. (Landesanstalt für Großschutzgebiete)



Ausschnitt der Schlagübersichtskarte (Abb. 1)

Abb. 3: RGB-Composit Brodowin und Umgebung. 07. Juli 1989. Landsat 5 Thematic Mapper, Kanal 1, 2, 3. Auflösung 30 m. Quelle: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum (DFD). Bearbeitung: K.-D. Wolter, TU-Berlin, Fachgebiet Limnologie

Brodowin_RGB_321.cdr, 07.02.02



Median →

- < 20 °C
- 20-23 °C
- 23-24 °C
- 24-25 °C
- 25-26 °C
- 26-27 °C
- 27-28 °C
- 28-29 °C
- 29-30 °C
- 30-31 °C
- 31-33 °C
- >= 33 °C

Ausschnitt der Schlagübersichtskarte (Abb. 1)

Abb. 4: Thermalbild Brodowin und Umgebung. 07. Juli 1989. Landsat 5 Thematic Mapper, Kanal 6. Auflösung 120 m.
Quelle: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum (DFD).
Bearbeitung: K.-D. Wolter, TU-Berlin, Fachgebiet Limnologie

Brodowin_RGB_321.cdr, 07.02.02

4.4 Inhaltliche Ziele im Hofbereich

Die Stoff- und Energieströme des Landwirtschaftsbetriebes Brodowin sollen zu kurzen, geschlossenen Wasser- und Stoffkreisläufen bei minimalen Energieflüssen gestaltet werden.

Der Hofbereich bildet die effektive Klammer zwischen der produktionsgeprägten Bewirtschaftungsfläche und der Wohn- und Haushaltsfläche für die Bewirtschafter .
Die Aufarbeitung und Veredlung der auf der Bewirtschaftungsfläche erzeugten pflanzlichen Produkte, die Tierhaltung und die Verarbeitung tierischer Produkte, die Gemüse- und Obstverarbeitung sowie die Energieerzeugung und Stoffspeicherung sollen im Hofbereich stattfinden und bei optimaler Nutzung der C-Quelle in weitestgehend im Recycling der Mineral- und Nährstoffe geschlossenen kurzen Kreisläufen stattfinden.

Das Ziel ist eine effizientere verlustärmere Bewirtschaftung des Hofbereiches.

4.4.1 Stoff- und Energieströme

Die **Abbildungen 5 und 6** zeigen die derzeitigen und zukünftigen Stoff- und Energieströme des Landwirtschaftsbetriebes Brodowin. Der gegenwärtige Betrieb ist dadurch gekennzeichnet, dass

- er sämtliche Produkte zur Gänze mit nicht erneuerbarer Energie herstellt,
- offene Stoffströme nur unzureichend eine Nutzung des Meiereiabwassers, der Gülle, des Stallmistes und des häuslichen Abwassers ermöglichen.

Abb. 5: Derzeitige Stoff- und Energieströme des Landwirtschaftsbetriebes Brodowin

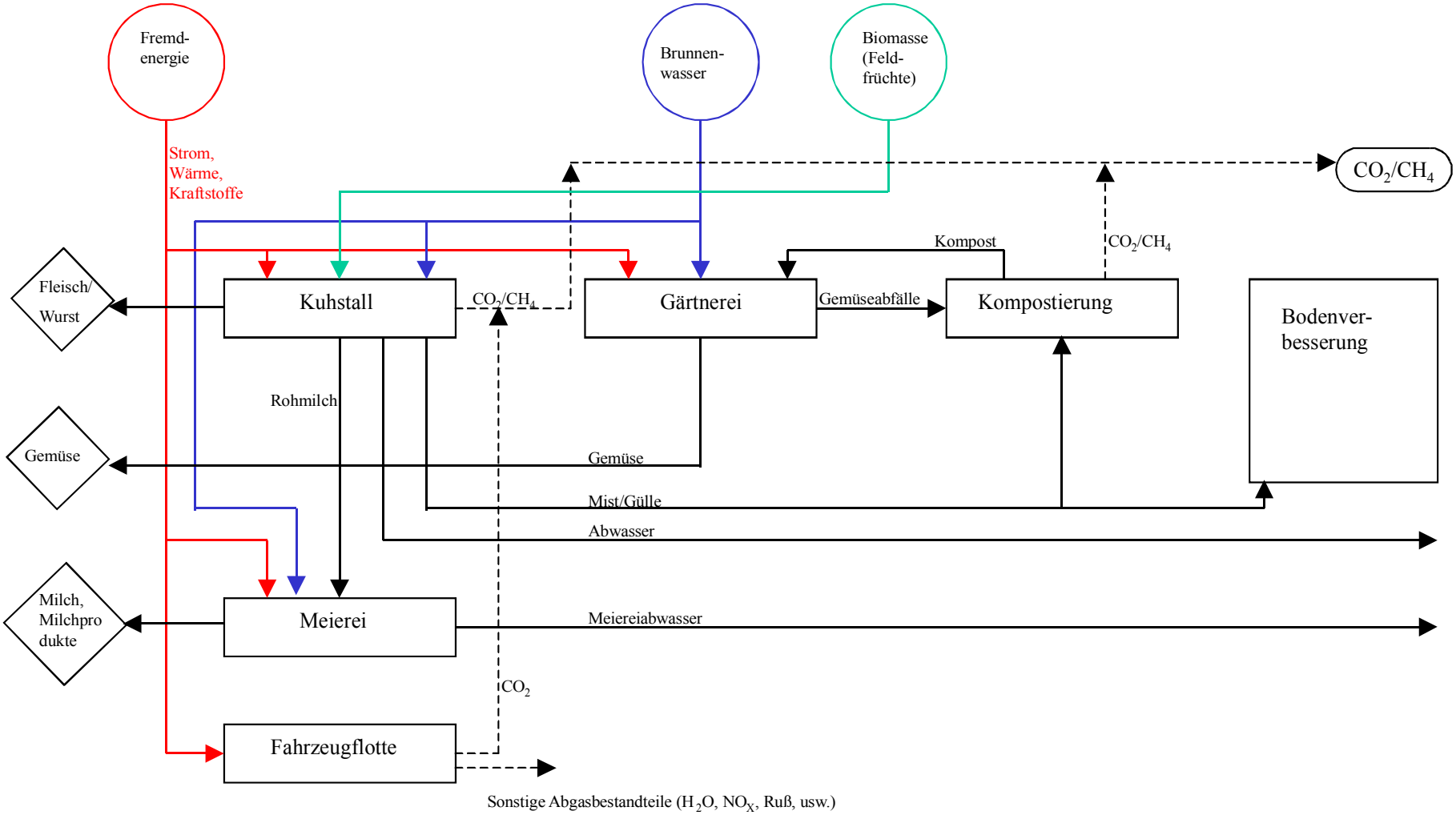
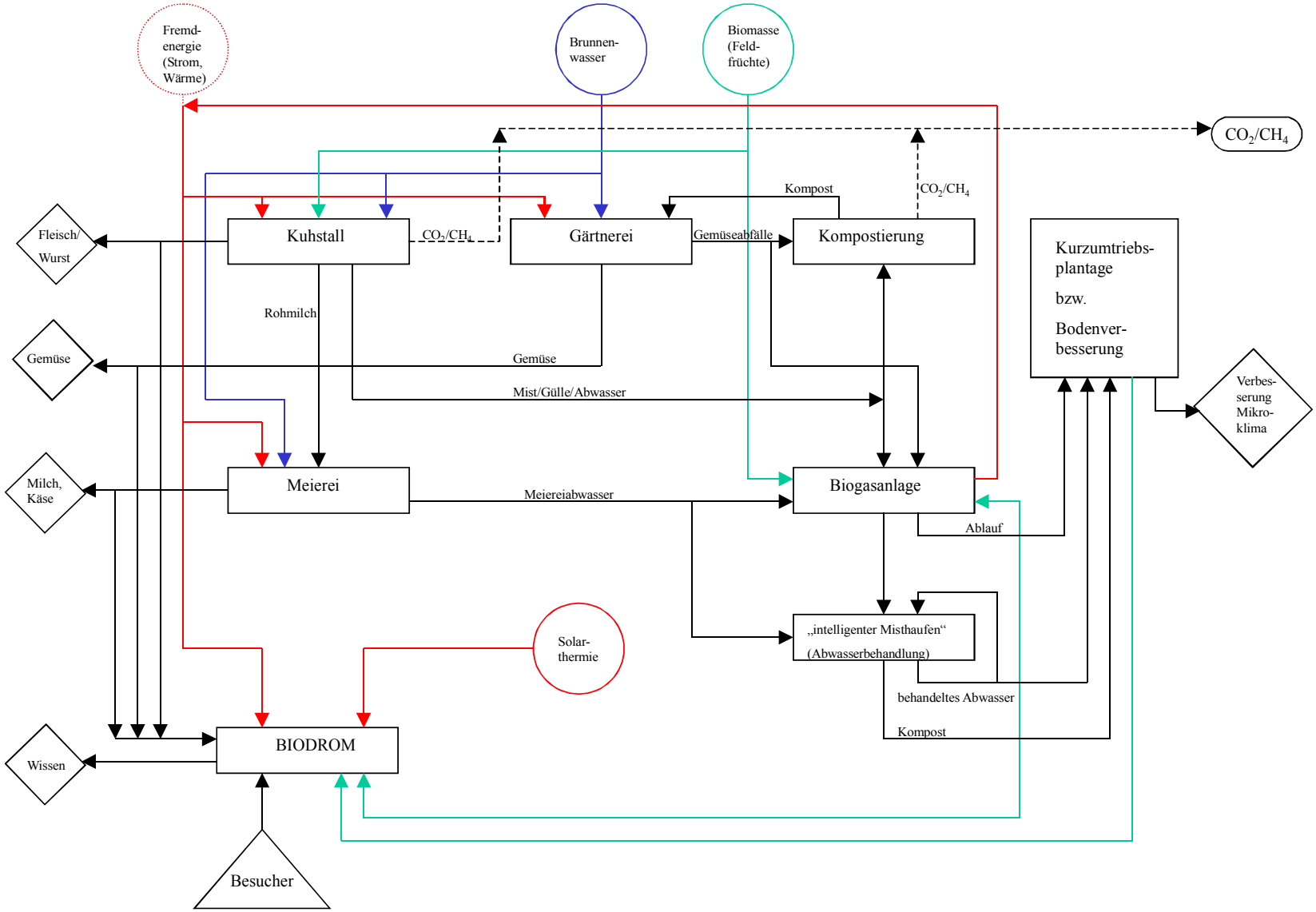


Abb. 6: Zukünftige Stoff- und Energieströme des Landwirtschaftsbetriebes Brodowin



4.4.1.1 Ansatz zur Lösung der Energiefrage

4.4.1.1.1 Erzeugung und Nutzung von Biogas

Als Ergebnis der energetischen Analyse des Landwirtschaftsbetriebes Brodowin (Anlage 4.2) konnte ermittelt werden:

Energieverbrauch als jährliche Wärmemenge der verbrauchten Endenergieträger	**Mögliche regenerative Energiemenge auf Basis Biogas**
ca. 2.600 MWh	**1.340 MWh**

Als Substratbasis für die **Vergärungsanlage zur Biogasgewinnung** wurde hauptsächlich Rindergülle, Stallmist und Kleegras zugrundegelegt.
Es wurde nachgewiesen, dass bei spezifischen Anbaukosten für das Kleegras von ≤ 170 €/ha (ohne Investitionsförderung aber unter Inanspruchnahme aller Flächenförderungen) eine Biogasanlage inklusive einer motorischen Kraft-Wärme-Kopplungstechnik (hier: Zündstrahlmotor) für den Landwirtschaftsbetrieb Brodowin wirtschaftlich ist. Es müssen mindestens ca. 100 ha Anbaufläche für die sowieso in der Fruchtfolge enthaltene „Energiepflanze“ -Kleegras- in Anspruch genommen werden.
Damit kann der Bedarf des Landwirtschaftsbetriebes an elektrischer Energie vollständig gedeckt werden und unter Einbeziehung der thermischen Verbrauchsebene 80°C bis 90°C ergeben sich Gesamtnutzungsgrade der Anlage zwischen 76 % und 85 %.

Der Nachteil der motorischen Kraft-Wärme-Kopplung bei Leistungen unter 100 kW_{el} ist, dass die thermische Verbrauchsebene ≥ 100 °C nicht wirtschaftlich genug verfügbar gemacht werden kann.

Um den gesamten Wärmebedarf des Landwirtschaftsbetriebes und insbesondere den Dampfbedarf der Meierei und des BIODROM´s über regenerative Energie nachhaltig befriedigen zu können, sind zwei Arbeitsrichtungen weiter zu untersuchen:

a) Zusätzliche Bereitstellung von ca. 45 ha Anbaufläche für Kleegras und Nutzung des zusätzlichen Biogaspotentials für den Betrieb der vorhandenen Kesselanlage inklusive Dampferzeuger in der Meierei. Der Dampfbedarf des BIODROM´s (s.a. Kap. 4.5) wird über eine Dampfleitung ebenfalls abgesichert.

b) Der Einsatz anderer innovativer Kraft-Wärme-Kopplungstechnik zur Nutzung des Biogases, mit der die Bereitstellung von Elektroenergie, Dampf und Heißwasser für den Hofbereich sowie dem BIODROM gewährleistet wird.
Dafür kommen die nachfolgenden Techniken infrage und sind in Abhängigkeit von den Standortbedingungen auf ihre technische Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit zu untersuchen, z. B.:

- Mikrogasturbine (Typ Capstone) als 30 kW und 60 kW
  Kraft-Wärme-Kopplungsmodul der G.A.S. Energietechnik GmbH, Krefeld
  (die technischen Details enthält **Anlage 4.3**.
  ABB Energiesysteme GmbH, Essen will 2002 einen Prototyp für Biogas
  mit einer elektrischen Leistung von 100 kW entwickeln.
- Hochtemperaturbrennstoffzelle (Typ Sulzer Hexis-SOFC-System)
  der Fa. Sulzer Hexis AG, Winterthur, Schweiz (die technischen Details
  enthält **Anlage 4.4**). Hochtemperaturbrennstoffzellen stellen geringere
  Anforderungen an die Biogasqualität und besitzen gegenüber den
  anderen Brennstoffzelltypen einen vergleichsweise einfachen Aufbau.

Beide Techniken benötigen eine Aufbereitung (Reinigung) des Biogases.
Es kann die aus der konventionellen Gastechnik bekannte Reinigung mittels Absorption (Gaswäsche), Adsorption (Aktivkohle) oder Membranverfahren zum Einsatz kommen. Ggf. ist für die Brennstoffzelle auch eine katalytische/sorptive Heißgasreinigung erforderlich.
Während die Mikrogasturbine bereits in Serienproduktion hergestellt wird und die Kraft-Wärme-Module verfügbar sind, befindet sich die Hochtemperaturbrennstoffzelle für Erdgas in der Markteinführungsphase. Für reales Biogas wird 2002 die 2. Phase eines Systemtests durchgeführt (Biogasanlage in Lully - Kanton Waadt, Schweiz). Die Anlage hat eine Leistung von 1 kW el.
Die Gasreinigung erfolgt über ein 3-stufiges Aktivkohlefilter. Die Ergebnisse in bezug auf den elektrischen Wirkungsgrad und den erforderlichen Reinheitsgrad des Biogases sind ermutigend (**Anlage 4.4**). Die Erprobung einer Hochtemperatur – Brennstoffzelle unter realen Bedingungen ist aufgrund der technischen und wirtschaftlichen Zukunftsfähigkeit dieses Systems sinnvoll.

Die nachfolgende Tabelle enthält eine Zusammenfassung der wesentlichen Systemdaten der für Biogas infrage kommenden innovativen Kraft-Wärme-Kopplungstechniken.

Tabelle zu Pkt. 4.3.1.1.1

		Zündstrahlmotor	Gas-Otto-Motor	Gas-Mikroturbine	Hochtemperatur Brennstoffzelle SOFC
el. Leistung	kW	30-80	30-75	30-75	bis 100
el. Wirkungsgrad	%	30-36	28-40	15-25	25-40
th.Wirkungsgrad	%	48-50	52-57		
Gesamtwirkungsgrad	%	80-90	80-88	70-90	bis 90
spez. Modulpreis	€/kW_{el}	1.090-1.054	1.272-1.780	654-1.090	3.052
spez. Wartungskosten	€/kWh_{el}	0,0109-0,0182	0,0145-0,0218	0,0051-0,0073	niedrig
Schadstoffemission NO_x	mg/Nm³	950	100-250	20	ca.5
Brennstoff	Rauchgas	Biogas	Biogas	Biogas	Biogas
Bemerkung		keine Dampf-erzeugung	keine Dampf-erzeugung	mit Dampf-erzeugung	mit Dampf-erzeugung

Tab. 4: Kraft-Wärme-Kopplungstechniken im Hofbereich auf Basis Biogas

Die **Aufbereitung des Biogases und dessen Nutzung als Treibstoff** für die Fahrzeugflotte des Landwirtschaftsbetriebes ist technisch z. B. durch Druckgaswäsche und anschließender Trocknung bis auf einen Taupunkt von- 80 °C in einer PSA-Anlage mit Molekularsieben möglich. Das Methan kann dann bis auf 250 bar komprimiert und als optimaler Motorentreibstoff genutzt werden. Die Kosten für die Aufbereitung von Biogas zu Erdgasqualität betragen ca. 0,4-0,6 €/m³ Reingas [4.2]. Im Analogieschluß zu einem großen Pilotprojekt im Kommunalverband Lille (Frankreich) wird ebenfalls bestätigt, dass keine Wirtschaftlichkeit für diese Nutzung des Biogases erreicht werden kann (www.energie-cites.org/PDF/berlin).

Auch die **Vergasung von fester Biomasse** in Verbindung **mit der** wie oben beschriebenen **energetischen Nutzung des Biogases** kann eine sinnvolle Variante sein. Die zur Biomassevergasung derzeit zur Verfügung stehenden Techniken sind allerdings noch in der Entwicklung. Einige Pilotprojekte befinden sich in der Erprobung. Generell ist zu konstatieren, dass Kraft-Wärme-Kopplungstechnologien auf Basis der Biomassevergasung noch nicht technisch ausgereift sind.
Die Vergasung hat aber gegenüber den konventionellen Verbrennungstechniken die folgenden, wesentlichen Vorteile (www.tab.fzk.de/projekt/zusammenfassung/AB49.htm):
In Verbindung mit Gasmotoren oder Gasturbinen können durch die Biomassevergasung bei Kraft-Wärme-Kopplung deutlich höhere elektrische Wirkungsgrade von etwa 22 – 37 % erzielt werden, als dies bei der Biomasseverbrennung mit nachgeschalteter Dampferzeugung und Dampfturbine (15 - 18 %) möglich ist.

Durch die Gasnutzung in Brennstoffzellen können auch in kleinen Einheiten und im Teillastbetrieb hohe elektrische Gesamtwirkungsgrade von 25 - 50 % erreicht werden. Aufgrund der besseren energetischen Nutzung pro eingesetzter Biomasseeinheit sind die CO_2-Einsparungspotentiale größer als bei der Verbrennung. Bei der Gasnutzung in Brennstoffzellen ist mit erheblich geringeren Emissionen an NO_X, CO und Kohlenwasserstoffen zu rechnen als bei den thermomechanischen Verfahren der Gasnutzung.

Eine gründliche Gasreinigung und eine optimale Anpassung des Gases aus der Biomassevergasung an die jeweiligen Anforderungen der Anlagen zur Gasnutzung sind die Voraussetzungen zum Einsatz in Gasmotoren, Gasturbinen oder Brennstoffzellen. Durch Erhöhung der Gastemperatur oder durch Katalysatoren können die Teerverbindungen inzwischen relativ wirksam gespalten werden. Eine Lösung des vor allem bei Biobrennstoffen bestehenden Teerproblems mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand gibt es jedoch für die Vergasung in kleineren Festbettvergasern noch nicht. Von den auf dem Markt angebotenen Vergasertypen sind bislang keine in Verbindung mit motorischer Gasnutzung in Blockheizkraftwerken (BHKW) im Dauerbetrieb erfolgreich getestet worden.
Neuere Verfahrensentwicklungen könnten die Vergasung auch im kleineren Maßstab interessant werden lassen. Dazu gehört z. B. das Verfahren der Fa. Xylowatt Sa, Schweiz (die technischen Details enthält **Anlage 4.5**).
Die weiteren Betriebsergebnisse des Xylowatt-Vergasers sollten verfolgt werden und ggf. den technischen Entscheidungen für ein geschlossenes Energiemanagement im Hofbereich und für den BIODROM zugrundegelegt werden.

4.4.1.1.2 Erzeugung / Bereitstellung von fester Biomasse und deren Nutzung

Wenn die Nutzung des energetischen Potentials der Gülle und des Stallmistes aus der Tierhaltung nicht berücksichtigt wird und diese Stoffe direkt in den C-Kreislauf für die Flächenbewirtschaftung eingesetzt werden, so ist die Verfeuerung von Biomasse aus Kurzumtriebsplantagen und aus der regionalen Forstwirtschaft die Variante zur energetischen Versorgung des Landwirtschaftsbetriebes eine sinnvolle Variante.

Zur thermischen Nutzung fester biogener Brennstoffe hat Obernberger (2000) die Möglichkeiten, Strom aus Biomasse im kleinen Leistungsbereich wirtschaftlich zu erzeugen, zusammenfassend dargestellt. Demnach sind wesentliche technische Kriterien für dezentrale Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen

- die Robustheit (hohe Betriebssicherheit, geringe Wartungs- und Instandhaltungskosten),
- geringe Personalkosten durch einen hohen Automatisierungsgrad,
- ein sehr gutes Teillastverhalten (wärmegeführten Fahrweise, mindestens 4.000 Betriebsstunden pro Jahr).

Der erreichbare elektrische Wirkungsgrad liegt zwischen 10 und 25 % (Nettostrom / zugeführte Brennstoffenergie als H_u, der Gesamtwirkungsgrad (Nettostrom+Nutzwärme / zugeführte Brennstoffenergie als H_u) zwischen 65 und 85 %.

Für elektrische Nennleistungen kleiner 500 kW kommen folgende Technologien zur dezentralen Stromerzeugung in Betracht:

- die Dampfturbine mit Rauchrohrkessel zur Dampfbereitstellung (marktreife Technologie),
- der Dampkolbenmotorprozeß (marktreife Technologie),
- der Dampfschraubenmotorprozeß,
- der Stirlingmotorprozeß und
- der ORC-Prozeß.

Die letzteren drei Technologien befinden sich vor der Markteinführung.
Körting (1999) hat für ein Biomasseheizwerk (ca. 2.000 kW) mit KWK nachgewiesen, dass der Einsatz der Dampfschraubenmotortechnik mit dem Brennstoff Waldhackschnitzel zur Dampferzeugung wirtschaftlich ist.
Die technischen Erläuterungen zu einer Weiterentwicklung des Stirlingmotors enthält **Anlage 4.6**.

Nach Obernberger sind für o. a. Prozesse bei ≥ 4.000 Betriebsstunden und mittleren Brennstoffpreisen spezifische Stromerzeugungskosten zwischen 0,05 € und 0,10 € zu erwarten. Wenn für Leistungen zwischen 100 kW und 150 kW die ORC-Technologie verfügbar gemacht werden kann, so hätte diese Technik den Vorteil, dass sie aufgrund des unter atmosphärischen Bedingungen betriebenen Thermoölkessels nicht unter die Dampfkesselverordnung fällt.
Eine Zusammenfassung der Daten für die o. a. Technologien enthält auch die **Tabelle 5** (siehe Kap. 4.5.1.1).

4.4.1.2 Ansatz zur Lösung des Abwasserproblems - Strohfilterverfahren

Strohfilterverfahren für Abwasser aus der landwirtschaftlichen Produktion und Nahrungsmittelverarbeitung sowie häuslichen Abwässern zur Erzeugung von stichfestem organischem Dünger am Beispiel von Molkereiabwasser

Die im landwirtschaftlichen Betrieb anfallenden Spülwässer aus der Molkereianlage, evtl. der Biogasanlage sowie Spülwasser von der Molkereiplatte und aus den Ställen enthalten überwiegend rezirkulierbare Nährlösungen und organische Reststoffe und sind weitgehend Nutzstoffe, die eine Nähr- und Mineralstoffressource in der Landbewirtschaftung darstellen. Alternativ zu einer aufwendigen und kostenintensiven Abwasserreinigung soll das „Abwasser“ direkt am Hof mit einfachen Mitteln wieder als Ressource der Flächenbewirtschaftung verfügbar gemacht werden.

Ziele

Das Strohfilter ist eine Rückhalteanlage für Nutzstoffe aus in der landwirtschaftlichen Produktion entstehenden Wässern und reichert auf zellulosehaltigem Material wie Stroh bzw. Holzspänen die in den Wässern enthaltenen Nutzstoffe an. Auf dem Trägermaterial (Stroh, Holzspäne) bildet sich rasch ein Biofilm aus Bakterien- und Pilzbiomasse aus. Es entsteht ein Bodendüngemittel aus Strohresten, Bakterien- und Pilzbiomasse, das sich insbesondere zur Verbesserung der Wasserrückhaltefähigkeit und Stoffretention der bewirtschafteten Flächen eignet und durch sein Wasserrückhaltevermögen einer raschen Mineralisierung organischer Substanz im Boden entgegenwirkt. Es trägt dazu bei, die Stoffkreisläufe zu schließen und einen Nähr- und Mineralstoffpuffer im Boden aufzubauen, indem die in den Wässern enthaltenen Nutzstoffe in möglichst stabiler Form wieder auf die bewirtschaftete Fläche gebracht werden.

Leistungsanforderungen des Moduls

- Das feste Produkt (bestehend aus Bakterien- und Pilzbiomasse auf Stroh) wirkt als Dünger und zur Verbesserung der Wasser- bzw. Nährstoffrückhaltefähigkeit des Bodens. Es soll weitgehend rückstandsfrei bzgl. organisch resistenter Schadstoffe sein. Die Düngeeigenschaften sollen durch die erhöhte Wasserrückhaltefähigkeit nachhaltiger Mineral- und Nährstoffe im Oberboden halten und eine übermäßige Mineralisierung der organischen Substanz verhindern. Dies geschieht im feuchten Medium durch abgesenktes Redoxpotential und Mangel an Elektronenakzeptoren (Oxidationsmittel).
- Das Ablaufwasser des Strohfilters ist zur Bewässerung von Anbauflächen zur Biomasseerzeugung sowie bei Feststellung der Rückstandsfreiheit zur Futtermittelerzeugung geeignet.
- Die Anlage ist mit relativ geringen Investitionen und Betriebskosten verbunden und stellt für den Betrieb eine kostengünstige Alternative zum Abwassertransport und zur Reinigung in einem Klärwerk dar.

- Das Strohfilter ist eine einfach zu realisierende Vorstufe zum Bioreaktor im unbelichteten Teil des Gewächshausmodules, der die heterotrophe Biomassekonvertierung zu rückstandsfreien Nährtieren für die Fisch- bzw. Geflügelzucht beinhaltet.

Innovation, Forschungs- und/oder Optimierungsbedarf

Das Strohfilter funktioniert für Mikroorganismen ähnlich wie der Reinigungsprozess im Tropfkörper mit dem Unterschied, das zusätzlich durch Stroh oder Späne die Aufwuchsfläche um ein vielfaches vergrößert wird. Genutzt werden soll die bessere Effizienz der Bakterien auf einem Trägermaterial. Der Wachstumsprozess der Bakterien soll durch Wärme maximiert und gesteuert werden.

Stroh ist nährstoffarm, zellulosereich und besitzt ein großes Oberflächen-Volumen-Verhältnis. Es besitzt die Eigenschaft, aus nährstoffreichen, schadstoffarmen Lösungen die Nährstoffe in den darauf rasch wachsenden Bakterienfilmen zu binden. Durch die hohe biologische Aktivität werden nicht angepaßte Bakterien ausgesondert sowie organische Reststoffe abgebaut. Der Biofilm besteht aus einer rasch wachsenden Biomasse von Bakterien und Pilzen, die ihrerseits wieder von Ciliaten (Protozoa) bewirtschaftet werden. Dabei werden Phosphor und Stickstoff sowie Mineralstoffanteile aus dem Abwasser in der Biomasse fixiert. Stroh enthält außer einigen Mineralstoffen, Kieselsäure und Kalium wenig Nährstoffe. Bei weitgehend mikroaeroben (feuchtem) Betrieb des Filters sind die Stickstoffverluste durch gleichzeitige Nitrifikations- und Denitrifikationsprozesse eher als gering einzuschätzen. Gleichzeitig wird Kohlenstoff aus Stroh teilweise in die Biomasse eingebaut. Aus diesen Gründen ist die Filterwirkung von Stroh bezüglich der Nährstoffe Phosphor und Stickstoff als noch günstiger einzuschätzen, als der Betrieb eines belüfteten Tauchtropfkörpers. Bei geeignetem Umsatz des Strohs kann die Leistungsfähigkeit des Strohfilters bezüglich der Nährstoffbindung weiter optimiert werden. Dazu muss jedoch diese Anlage wissenschaftlich begleitet, bzgl. seiner Effizienz optimiert und dokumentiert werden.

Angelehnt an Erfahrungen aus der Kompostierung von Stallmist soll der Betrieb des Strohfilters, mikroaerob - anaerob erfolgen, um Stickstoffverluste weitgehend zu minimieren. Auf den Schutz vor Austrocknung sollte größte Aufmerksamkeit gelegt werden. Durch mehrmaliges Beschicken mit dem austretenden Filterwasser kann dies gesteuert werden kann. Die Steuerung geschieht durch Beschickung mit Wasser, optimale Einstellung von Wärme, Menge des Strukturmaterials (Strohs) sowie Umsetzintervall. Um die maximale Leistung des Strohfilters zu bestimmen, sollen diese Einflussgrössen in Versuchen aufeinander abgestimmt und optimiert werden.

Das entstehende Düngeprodukt wird dazu verwendet, in bereits abgewirtschafteten, ausgelaugten Böden die Wasser- und Stoffhaltefähigkeit des Oberbodens anzuheben. Der zellulosehaltige Dünger hat eine hohe Wasserhaltekapazität und enthält Stickstoff in reduzierter Form. Ein solches in den Boden eingearbeitetes Substrat speichert Wasser im Boden und hält die Nährstoffe pflanzenverfügbar vor. Der Dünger liegt in organischer Form vor und stellt einen Nähr- und Mineralstoffpuffer dar. Besonders die Kationen Kalzium, Natrium, Magnesium und Kalium sind dazu vielfach an die organische Matrix gebunden.

Es soll gezeigt werden,

- wie die Leistung des Strohfilters zur Nährstoffbindung durch das Beschickungsmuster mit Wasser, durch Wärme sowie Menge und Umsetzintervall des Strohes abhängt und in welchem Bereich die Stoffkonzentrationen des Zulaufwassers gesteuert werden können.
- wie durch Vergrößerung der Aufwuchsfläche in Form einer natürlichen Kohlenstoffquelle die Funktionsweise eines Tropfkörpers um ein vielfaches gesteigert werden kann.
- wie durch den biologischen Prozess leicht abbaubare organische Reststoffe in Bakterienbiomasse transformiert werden.
- wie schwerer abbaubare organische Reststoffe, wie geringe Mengen an z.B. Desinfektionsmitteln im Molkereiabwasser durch hohen Überschuss an Substrat teilweise dem Abbau zugeführt werden. (Cosubstratfunktion)
- wie die Düngeeigenschaften des Produktes geeignet sind, Nähr- und Mineralstoffe im Oberboden durch die erhöhte Wasserrückhaltefähigkeit besser zu halten und eine rasche Mineralisierung organischer Substanz zu vermeiden.

Aus den gewonnenen Erkenntnissen soll die Biomasseveredelung über die heterotrophe Nahrungskette (Bakterien, Pilze, Einzeller, Kleinkrebse und Insekten) weiterentwickelt werden, mit dem Ziel, auch Futtermittel (z.B. Krebstiere und Insektenlarven) für die Fisch und Geflügelzucht erzeugen zu können.

Um den Prozess zu optimieren, ist in der Pilotphase daran gedacht, in einer Halle mehrere verbundene Wannen mit Stroh zu füllen und zu berieseln. Um den baulichen Aufwand zu minimieren und den Betrieb mit dem Radlader oder Gabelstapler zu erleichtern, könnten die Ballen evtl. auch einfach gestapelt und berieselt werden. In der Entwicklungsphase soll der entstehende stichfeste Dünger zur Düngung und Bewässerung auf Flächen zum Anbau nachwachsender Rohstoffe (Kurzumtriebsplantagen) genutzt werden. Beispielhaft wurde für das Molkereiabwasser des Betriebes Brodowin der Betrieb einer solchen Pilotanlage bemessen (s. a. **Anlage 4.1**).

Ermittelt und optimiert werden soll

- die optimale Prozesstemperatur
- Strohmenge, -anordnung und Austauschhäufigkeit
- die Beschickung, die Aufenthaltszeit und die Strömungsgeschwindigkeit des Wassers,
- die stoffliche Retention (z.B. des Stickstoffs) im Biofilm sowie der
- optimale Entnahmezeitpunkt des besiedelten Substrates
- die Düngeeigenschaften, resp. Wasserhaltekapazität.

Kosten

Die Kosten für die Versuchsanlage belaufen sich schätzungsweise auf 15.000,- €. Mit Betriebskosten von etwa 10.000,- € ergibt sich ein Abwasserpreis für 4000 m^3/a von 2,30 €/m^3. Die Strohkosten stellen mit den angenommenen 10,- € Ballen den größten Kostenfaktor dar. Diese Kosten sollten im Betrieb internalisiert werden. Damit würden sich die Kosten pro m^3 Abwasser auf etwa 1,- € belaufen. Die Abwasserpreise in Brandenburg liegen im Mittel etwa bei 3,50 €/m^3.

Investitionen ges.		**15.000,00 €**
Betriebskosten ges.		**9.200,00 €**
Abschreibung	**10 Jahre**	**1.500,00 €**
Wartung, Pflege 4%	**4 %**	**600,00 €**
Betriebsstd.Radlader	**60 Std a 10,- €**	**600,00 €**
Stroh	**500 Ballen a 10,- €**	**5.000,00 €**
Arbeit	**150 Std/a a 10,-**	**1.500,00 €**
pro m^3 Abwasser	**Ohne Wert Dünger**	**2,30 €**

Tab. 25: Abschätzung der Kosten für Strohfilteranlage und Betrieb

Übertragbarkeit

Konvertierungsanlagen zum Nutzstoffrecycling für den Aufbau abgewirtschafteter Böden können auch aus Haushaltsabwässern, Abwässern der Nahrungsmittelindustrie oder Restaurantbetrieben etc. entwickelt werden, d.h. auch mit Feststoffen befrachtete Abwässer. Die im Strohfilter in der Bakterienbiomasse gebundenen Nähr- und Mineralstoffe werden zurück auf die bewirtschaftete Fläche gebracht. Das Verfahren ist technisch wenig aufwendig und einfach steuerbar. Es sollte relativ einfach in den Betrieb unter Berücksichtigung von Transport und Ausbringungstechnik integriert werden können, Es ist einsetzbar, um Nähr- und Mineralstoffe zu recyclen und als Düngemittel einzusetzen.

4.4.2 Voraussetzungen für ein geschlossenes Stoff- und Energiestrommanagement und weitere Arbeiten

I. Die energetische Basis des Landwirtschaftsbetriebes wird auf regenerative Energieträger umgestellt

a) Biogas aus der Vergärung von Gülle, Stallmist, Grünschnitt (Kleegras),
b) Biomasse als Hackschnitzel oder Holzpellets aus Kurzumtriebsplantagen und aus einem regionalen Forst- oder Holzverarbeitungsbetrieb,
c) Vergasung von fester Biomasse zu Biogas (Option).

II. Errichtung einer Kraft-Wärme-Kopplung

für a) und c)	als motorisches BHKW für den Landwirtschaftsbetrieb Brodowin als motorisches BHKW, Mikrogasturbine oder Brennstoffzelle mit Dampf- und Heißwasserauskopplung für einen neuen Standort,
für b)	als Dampfmotor oder Mikro-Dampfturbine mit ORC-Prozeß für einen neuen Standort.

Aufgabe:
Für I. und II. sind standortbezogen die technisch und wirtschaftlich optimale Sofortlösung (Entwurfs- und Genehmigungsplanung) herauszuarbeiten. Die Bedingungen für die Testung der Brennstoffzelle oder des ORC-Prozesses sind zu klären.

III. Nutzung der Solarenergie, Einsatz eines Kombikollektors als ergänzende regenerative Energiequelle in den Sommermonaten.

Aufgabe:
Für III. ist standortbezogen in Abstimmung mit der Planung des BIODROM´s die technisch und wirtschaftlich optimale Sofortlösung herauszuarbeiten.

IV. Errichtung einer sogenannten „Strohfilteranlage“ zur Nutzung der im Landwirtschaftsbetrieb „Brodowin“ anfallenden Spülwässer aus der Molkerei und den Ställen und ggf. des häuslichen Abwassers zur Erzeugung eines stichfesten organischen Düngers.

V. Konvertierung der niederwertigen Biomasse über die heterotrophe Nahrungskette zu Fisch- und Geflügelfutter

Aufgabe:
Für IV. und V. ist standortbezogen in Abstimmung mit der Planung des BIODROM´s die technisch und wirtschaftlich optimale Sofortlösung herauszuarbeiten.

4.5 Das BIODROM – Inhaltliche Ziele

Ein notwendiger und innovativer Schritt zur Verbesserung einer nachhaltigen und zukunftsfähigen Flächenbewirtschaftung ist die Kopplung der bisherigen extensiven und intensiven Lebensmittelproduktion mit den Aufgaben der Ver- und Entsorgung von Wasser bzw. die Rezirkulation von biologischem Abfall. Dies trifft auch für die Gewinnung erneuerbarer Energie, den Klimaschutz sowie den funktionalen Naturschutz zu. Alle diese Schritte müssten auf der bewirtschafteten Fläche erfolgen. Die peripher liegende bewirtschaftete Fläche würde dann um die Hoffläche gelagert sein, auf der sämtliche Speicher sowie die technische Infrastruktur für diese innovative Bewirtschaftungsstruktur verortet sein könnte. Kern der Hoffläche – analog einem Zellkern – ist das BIODROM. Das BIODROM stellt damit die intensivste Steuerungszentrale dar und weist als Innovations- Wohn- und Entwicklungskomplex die höchste Strukturdichte auf. Dem hohen Stellenwert der zukünftigen Flächenbewirtschaftung für eine nachhaltige Gesellschaft entsprechend stellen BIODROM-Strukturen in vielfältiger Form die verorteten physischen Knotenpunkte des gesellschaftlichen Trägernetzwerkes dar, die im Gegensatz zu heutiger Bewirtschaftung eine präzise Kreislaufführung der Stoffe mit minimierten Verlusten ermöglichen. Als solches ist es zwar modular gestaltet, muss sich jedoch an die lokalen Gegebenheiten orientieren. Beispielhaft wurde in der vorliegenden Studie ein BIODROM für den Hof Brodowin bewertet und verschiedene Prototypen für eine Gebäudestruktur BIODROM (s. a. Kap. 5) entworfen.

Die Architektur des Wohn- und Gewächshauses ist den Strukturen intensivster Kreislaufführung angepaßt. Bereits entwickelte Techniken sollen in einer wasser-, klima- und energieoptimierten Kombination zum Einsatz kommen und als modulares System entwickelt werden. Die Anforderungen an die energetische Versorgungseinheit, die extern oder intern im BIODROM aufgestellt, den Energiebedarf den gesamten Hofes decken soll, ergeben sich dabei einerseits aus den für die Fläche definierten Zielen einer nachhaltigen Produktion und andererseits aus den Anforderungen des BIODROM´s als wasser- und energieoptimierter Struktur (s. a. Kap. 4.4).

Generell wird abhängig von den klimatischen Gegebenheiten der mögliche Energiemix aus Biomasse, Solarenergie, Windenergie variieren. Während in Nord- und Mitteleuropa die nachhaltige Biomasseproduktion bei intensivierter Nahrungsmittelproduktion in den Vordergrund rückt, ist es in Südeuropa die mangelnde Wasserversorgung und die Notwendigkeit seiner Reinigung und Mehrfachnutzung.

Es soll gezeigt werden, dass (quasi)autarke Strukturen, d.h. die Internalisierung von Ver- und Entsorgungsprozessen durch die Kopplung von Energieversorgung und internen Wasser- und Nährstoffkreisläufen hier auf hohem technischen Niveau ermöglicht werden können.

4.5.1 Kreislaufgeführte Ver- und Entsorgungstechnologien als funktionale Prämisse für die Entwicklung quasi-autarker Gebäudestrukturen

Das BIODROM stellt damit einen Versuchsträger für quasi-autarke Gebäudestrukturen dar, die sich durch eine abwasser- und abfalllose Funktion auszeichnen. Der angestrebte hohe Recyclinggrad für Nähr- und Mineralstoffe sowie die erwartete Effizienzsteigerung durch den

Einsatz der bakteriellen Nahrungskette für die Produktion von Fleisch gekoppelt mit der Wohn- und Demonstrationsstruktur ist sicherlich eine Herausforderung an den Architekten und stellt hohe Anforderungen an Klimatisierung, Hygiene und Funktion der technischen Einrichtungen.

Das BIODROM ist in drei funktionale Systeme aufgeteilt, die über die Energie- und Stoffströme sowie das Wasserhaushaltssystem s. Abb. 7 auf Seite 53 miteinander verbunden sind bzw. dieselben ermöglichen:

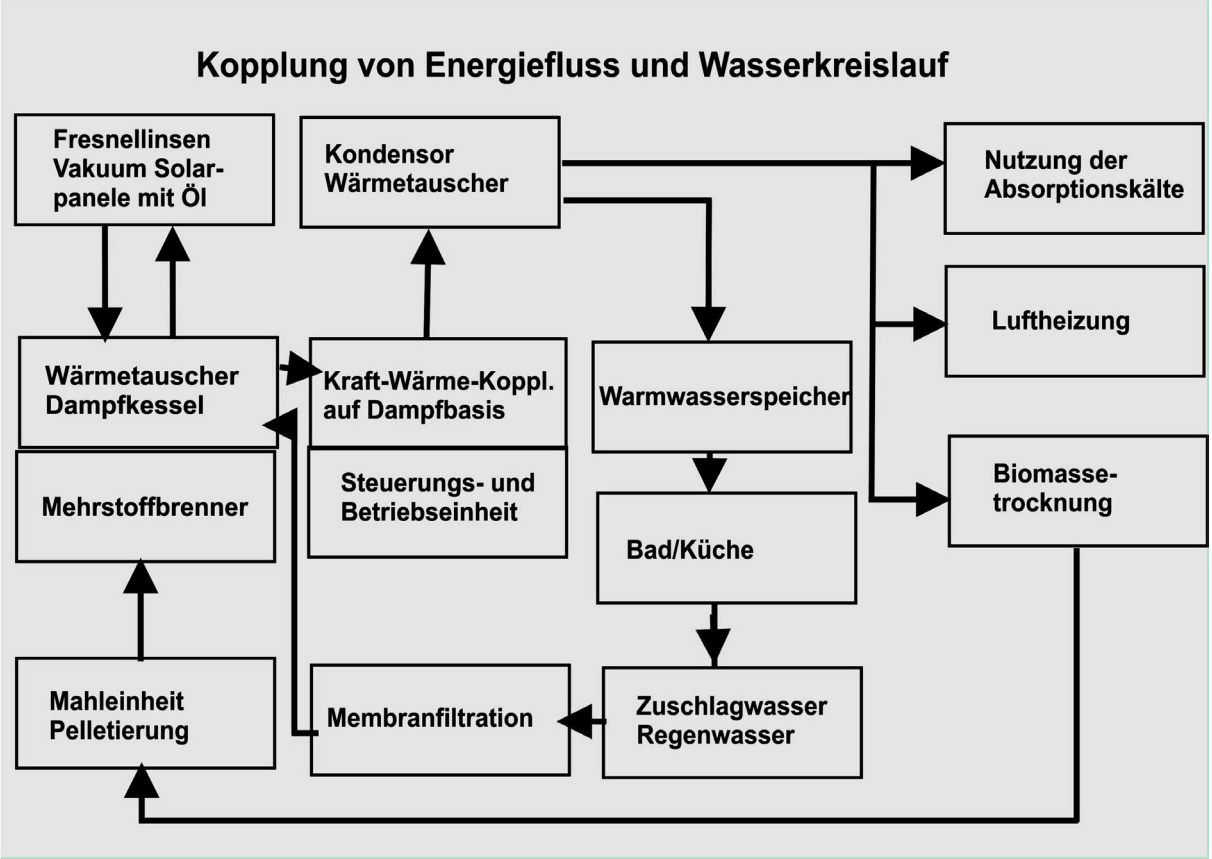
- den Lichtreaktor als Glashaus oder als mit einer transparenten Klimamembrane „umhüllter“ Wohn- und Lebensraum, der mittels geeigneter Sonnenkollektoren (z.B. mit Fresnelllinsenstruktur) im Sommer Strom und Wärme sowie Biomasse als Energieträger bzw. Obst und Gemüse zur Eigenversorgung liefert;

- den Dunkelreaktor, der über entsprechende Module zur Konversion von Kraft und Wärme sowie zur Konvertierung niederwertiger Biomasse in Bakterien, Ciliaten und Nährtiere für Fisch und Geflügel verfügt, die zu einer dem jeweiligen Gebäudecharakter angepassten Maschineneinheit bzw. Reaktoreinheit zusammengesetzt werden können;

- das Wasserhaushaltssystem zur Nutzung des Wassers (Regen- und Grauwasser, Kondensat, Frischwasser) als Transport-, Wärme- und Klimamedium. Bestandteil des Systems sind technische Module zur Abwassertrennung in Fäkalien und Grauwasser, zur Reinigung des Grauwassers. Die Fäkalien werden im Dunkelreaktor konvertiert, das gefilterte Grauwasser (Membran- und /oder Mikrofiltrationsmodul) wird im Gebäude bzw. im Freiraum zur Bewässerung genutzt. Die Hygenisierung des Wasserkreislaufes erfolgt über einen Phasenwechsel in die Dampfphase und anschließender Kondensation. Die Klimatisierung des Gebäudes erfolgt durch eine gezielte Anordnung der Bepflanzung im Lichtreaktor, der Kondensation des von den Pflanzen verdunsteten Wassers an aktiv gekühlten Flächen mittels natürlicher Konvektion in Verbindung mit einer Hypocaustenebene der Gebäudearchitektur. Die Heizung erfolgt über ein Belüftungssystem, das die Kondensationswärme (latente Wärme) des Dampfkreislaufes nutzt.

Das BIODROM am Standort Brodowin ist eine Kombination von Wohn-, Gewächshaus und Entwicklungszentrum und architektonisch an seine Funktionen orientiert. Es dient als Wohn- und Arbeitskomplex für die Betreiber (für Brodowin wären dies etwa 4 Personen) sowie für Besucher und Schulungszentrum (etwa 5.000 Personen/a).

Dieses Konzept ist auch auf andere ähnlich strukturierte landwirtschaftliche Standorte übertragbar. So z. B. für Diedersdorf, weil der Standort Brodowin für die geplante Investition zur Zeit eventuell nicht zur Verfügung steht.



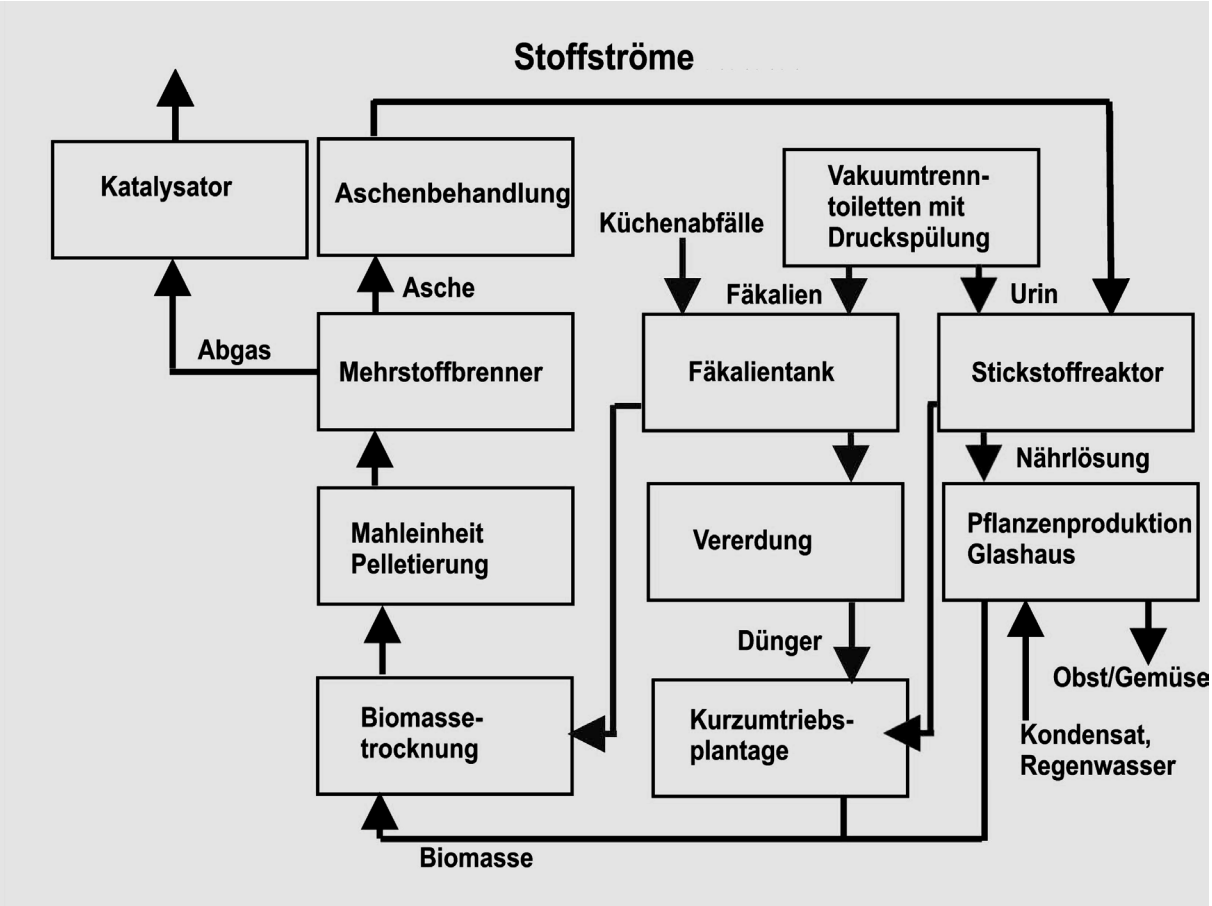


Abb. 7: Verfahrensschema zur Kopplung von Energiefluß und Wasserkreislauf sowie Stoffströme im BIODROM

4.5.1.1 Kopplung der Energie- und Wasserversorgung unter Nutzung der Dampfphase des Wassers durch Einsatz innovativer Techniken

Generell soll das BIODROM standortabhängig über eine externe oder interne energetische Versorgungseinheit seinen Energiebedarf decken.
Kraft-Wärme-Wasser- und klimaoptimierte Pflanzenproduktion sollen gekoppelt werden.
Die energetische Versorgung des BIODROM´s erfolgt über einen Energiemix aus Solarenergie (Fresnelllinsen, Hochtemperatur-Vakuumsolarpanele), Biomasse- und/oder Biogasverbrennung (evtl. auch Pflanzenabfall, Fäkalien) mit Kraft-Wärme-Kopplung auf Dampfbasis.

Im Sommerhalbjahr soll über die solarthermische Energiegewinnung mittels Fresnellinsenstrukturen der Klimamembran des „Lichtreaktors“ und Hochtemperatursolarpanelen mit Wärmeträgerölkreislauf der Hauptanteil an Wärmeenergie als Dampf und Warmwasser erzeugt werden. Strom wird über Photovoltaikflächen erzeugt.

Im Winterhalbjahr sind Biomasse und /oder Biogas die Energieträger und werden mittels geeigneter Techniken in Strom und Wärme konvertiert.

Dafür kommen neben der klassischen Dampfturbine als Mikroturbine noch die in der nachfolgenden Tabelle aufgeführten KWK-Techniken infrage:

		Dampfkolben motor	ORC Prozeß	Stirling Motor	Dampfschrauben motor	enginion machine
el. Leistung	kW	500	200-500	10-40	500-700	6 kW **1)**
el. Wirkungsgrad	%	6-20	10-20	21-28	10-20	
th.Wirkungsgrad	%					
Gesamtwirkungsgrad	%	80-90	85	63-86	90	
spez. Modulpreis	€/kW_{el}	1.453	2.325	2.398	1.599	
spez. Wartungskosten	€/kWh_{el}	0,0073-0,0109	0,0073	0,0036-0,0109	0,0036-0,0073	
Schadstoffemission NO_x	mg/Nm³ Rauchgas	50-500	250-400	42278	50-500	0
Brennstoff	Brennstoff	Biomasse	Biomasse	Biomasse	Biomasse	Biogas
Bemerkung	Betrieb	mit Dampferzeugung; gutes Teilverhalten	mit Dampferzeugung; gutes Teilverhalten	mit Dampferzeugung; im Feldtest	mit Dampferzeugung;	mit Dampferzeugung; im Feldtest

1) 25 kW th.
Leistungsbereich:
1 kW_{el}- 9 kW_{el}

Tab. 5: Kraft-Wärme-Kopplungstechniken (KWK) im BIODROM auf Basis Biomasse und Biogas

Die Mikroturbine mit und ohne ORC-Prozeß, der weiterentwickelte Storlingmotor und die enginion-machine scheinen für die quasiautarke Energieversorgung des BIODROM´s technisch die besten Voraussetzungen mitzubringen.

Für das BIODROM am Standort Brodowin erfolgt die Strom- und Wärmeversorgung extern über die auf der Hoffläche vorgesehene Biogasanlage.
Das Biogas wird motorisch genutzt für die Strom- und Warmwassererzeugung und für die Dampferzeugung mittels der vorhandenen Kesselanlage in der hofeigenen Meierei.

Generell dient im BIODROM das Wasser als Energiemedium, wobei die Kondensationswärme (Latentwärme) für Wärmung, Trocknung und Kühlung genutzt werden soll.

Eine Grau- und Regenwasseraufbereitung (Membranfiltration und/oder Mikrofiltration) für die Verdampfung schließen den internen teilgeschlossenen Wasserkreislauf des BIODROM´s.

Grauwasser- und Regenwassernutzung

Neben dem eher gering verschmutzten Bade- und Duschwasser, wird unter Grauwasser auch das stärker verschmutzte Küchen- und Waschmaschinenwasser gefasst.
Das Regenwasser liegt im allgemeinen unter den chemischen Grenzwerten der Trinkwasserverordnung und ist bei den bakteriell-hygienischen Parametern vergleichbar der EG-Richtlinie für Badegewässer. Es hat einen geringeren pH-Wert und weist häufiger erhöhte Schwermetallbelastungen (z.B. Kupfer und Zink) auch abhängig vom Dachmaterial auf. Kalkbehandeltes Regenwasser kann auch zusammen mit Grauwasser nach Entsäuerung zu Betriebswasser für das Gewächshaus in einem Membranfilter aufbereitet werden.

Bei Niederschlägen von 500 mm/a kann Regenwasser von etwa 250 m^3/a bzw. 200 m^3/a bei einer angenommenen Verdunstung von 20 % von 500 m^2 Dachfläche (z. B. Ställe) gesammelt werden.

Das warme, mineralstoffarme Grauwasser (etwa 460 l/d) wird mittels Mikro- bzw. Membranfiltration hygienisiert und vorgereinigt und mit dem Energieversorgungssystem gekoppelt. Es wird weiter vorgewärmt (Solarthermie) und im Dampfgenerator verdampft. Der Dampf wird über ein KWK-Modul gegebenenfalls mit gekoppeltem ORC Prozess zur Energieerzeugung verwendet.

Bei der nachfolgenden Kondensation (Brüdenverdichtungsprozess) entsteht heisses destilliertes Wasser für Brauchwasser- und Betriebswasserzwecke und Wärme, die als Warmluft, erzeugt im Wärmetauscher zur Heizung des BIODROM´s verwendet wird. Feuchte Luft kondensiert im Kühlkondensor mit Wärmetauscher. Es entsteht kaltes Kondensat zur Bewässerung und Verdünnung der Nährlösungen für die Pflanzenproduktion.

In erster Näherung wird davon ausgegangen, das ein Speicher von etwa 1-4 m^3 warmem destillierten Wasser sowie ein Vorratsspeicher von weiteren 2-6 m^3 Wasser ausreichend ist, das Gewächshaus mit den angesprochenen Funktionen zu versorgen. Der tägliche Verlust beträgt schätzungsweise weniger als 200 l/d und kann leicht über eine Regenwassernutzung ausgeglichen werden.

Im Sommer sollte - soweit möglich - der Energie- und Warmwasserbedarf über Solarpanele, die Silikonöl mittels Fresnellinsen auf über 100 ^{o}C erwärmen und Wasser über einen Wärmetauscher verdampfen können, gedeckt werden.

Innovation, Forschungs- und/oder Optimierungsbedarf für die Energie- und Wasserversorgung

Es ergeben sich folgende zu lösende Fragen:

- Welcher Flächenbedarf (Klimamembran- und Nutzflächen) des BIODROM ist je nach Zielfunktion und klimatischem Standort zur Versorgung mit erneuerbaren Energieträgern erforderlich, um

  - den Energiebedarf für das BIODROM

  - die Produktion von Energie- und/oder Nutzpflanzen im BIODROM zur Bereitstellung der Biomasse in brennbarer Form (Trocknung durch Überschussenergie im Sommer, Mahlung, ev. Pelletierung)

  zu gewährleisten?

- Welche energetischen, stofflichen und wirtschaftlichen Vorteile werden durch die Kopplung Wasser-Energie und Produktion im Glashaus erzielt?

- Kann der Energie- und Dampf, bzw. Warmwasserbedarf im Sommer weitgehend komplett über die Solarpanele und solarthermisches Wasserleitungssystem bewerkstelligt werden?

- Welche KWK-Module kommen für welche Zielstellung und Prototyp des BIODROM´s zum Einsatz?

- Muss das KWK-Modul das ganze Jahr in Betrieb sein?

- Entspricht die Qualität eines mit Membranfiltration und /oder Mikrofiltration vorgereinigten Grauwassers den Anforderungen an Wasser für Verdampfungsanlagen und müssen Vorverdampfer mit Schlammabführung oder Ionentauscher vorgeschaltet werden?

- Ist die Klimasteuerung im BIODROM durch technische Optimierung der Verdunstungs- und Kondensorstrukturen sowie aktive Luftumwälzung möglich (Vorbild japanische Glashäuser)?.

4.5.1.2 Ressourcennutzung und Optimierung der Stoffströme

Das BIODROM soll sich durch eine abwasser- und abfalllose Funktion auszeichnen. Der zu entwickelnde hohe Recyclinggrad für Nähr- und Mineralstoffe sowie die erwartete Effizienzsteigerung durch den Einsatz der bakteriellen Nahrungskette für die Produktion von Fleisch gekoppelt mit der Wohn- und Demonstrationsstruktur ist sicherlich eine Herausforderung an den Architekten und stellt hohe Anforderungen an Klimatisierung, Hygiene und Funktion der technischen Einrichtungen.

Der Innovations, Forschungs- und/oder Optimierungsbedarf wird für die nachfolgenden Themenstellungen dargestellt bzw. hinterfragt:

Maximierung der Nutzpflanzenproduktion im belichteten Teil des BIODROM´s

Fragen:

- Ist die Nutzpflanzenproduktion im Gewächshaus mittels:

  - Aufarbeitung von Urin, Fäkalien und organischen Restwässern aus der Nahrungsmittelverarbeitung zu Nährlösung,
  - Vorziehen von empfindlichen Gemüsepflanzen (auch Zierpflanzen) bei künstlichem Licht auf kleinster Fläche unter klimapotimierten Bedingungen,
  - Produktion von raschwachsenden Kohlenstoffträgern in Hydrokulturen mit gezielten Gaben an aufgearbeiteten Nährlösungen (z. B. Versuche mit *Eichhornia crassipes* mit einer Produktionsleistung von (NPP 8,2 kg C m^2/a),
  - Produktion von Gemüse- und Topfpflanzen sowie von Früchten (z. B. Kiwi).

technisch und wirtschaftlich sinnvoll?

- Kann durch Erhöhung der Prozessdichte und Frequenz der Ressourcennutzung (Recycling) die Effizienz bei der Pflanzenproduktion gesteigert werden?.

Konvertierung niederwertiger Biomasse im dunklen Teil des BIODROM´s

Fragen:

Ist die

  - Maximierung der Bakterien und Pilzbiomasse, Bewirtschaftung der Bakterienkulturen durch Ciliaten,
  - Optimierung heterotropher Nahrungsketten wie Züchtung von Insektenlarven bzw. aquatischer Kleinkrebse als Futter (Pelletierung) für Geflügel und Fisch. Fischzucht wie Tilapia, Forellen und Zandern in Behältern,

- Messtechnik im BIODROM zur Kontrolle der Wasser und Nahrungsmittel und Sicherstellung der Qualität,
- Automatische Messtechnik zur Rückkopplung kennfeldgesteuerter Prozesse, Weitgehend automatisiertes Monitoring der Produkte sowie der Steuerungstechnik

technisch und wirtschaftlich sinnvoll?

- Kann durch Erhöhung der Prozessdichte und Frequenz der Ressourcennutzung (Recycling) die Effizienz bei der Nährtierproduktion gesteigert werden?.

Abwasser als Ressource im BIODROM

Einen Überblick über Mengen und Ressourceneigenschaften von Fäkalien und Urin in häuslichen Schmutzwasser geben die nachfolgenden Tabellen. Die Angaben beziehen sich auf gesunde Erwachsene bei ausgewogener mitteleuropäischer Kost.

	täglich	jährlich
Fäkalien		
Frischsubstanz	125 g/E*d (100-250)	45 kg/E*a
Trockensubstanz	30 g/E*d	11 kg/E*a
Wassergehalt	75 Gew %	
org.TS	25 Gew %	
Brennwert	17-25 kJ/g TS	
Urin		
Menge	1500 ml/E*d	550 l/E*a

Tab. 6: Mengen und Eigenschaften von häuslichem Schmutzwasser (Diem, et al 1975, Lange, J., Otterpohl, R. 1997)

Abwasser	N g/E*d	P g/E*d	K mg/E*d	Ca mg/E*d	Mg mg/E*d
Fäkalien	1,5	0,5	700	800	300
Urin	11,5	1	2600	220	110
Sonstige	0,5	0,5			
Gesamt	13,5	2	4300		

Tab. 7: Nährstoffeinträge in das häusliche Schmutzwasser (Diem, et al 1975, Jönsson, et al 1999, Larsen et al 1996 &, Pöpel et al, 1993)

Ausgehend von der Zahl der nutzenden Personen des Biodroms, wie Bewohner (4-6 Pers.), Beschäftigte und Besucher (ca. 5.000 Pers./a), sollen die Schnittstellen für eine Nährstoffwiedergewinnung aus den Abwasserteilströmen definiert und bemessen werden. Da die Trennung der Teilströme für eine weitere Nutzung sinnvoll ist, werden Vakuumtrenntoiletten eingesetzt und die Schnittstelle zur Wiedernutzung bearbeitet. Es ergeben sich für 4 Personen, die im BIODROM wohnen, sowie ca. 5.000 Besuchern im Jahr etwa die folgenden Teilströme für eine Nährstoffrückgewinnung.

Gewächshaus	Bewohner	Besucher	Menge/a
Grauwasser	80 l/E/d	10 l/B/d	167 m3/a
Fäkalien frisch	125 g/E/d	30 g/B/d	333 kg/a
Urin	1500 ml/E/d	375 ml/B/d	4065 l/a
org. Abfall*	30 g/E/d	15 g/B/d	86 kg/a

Bewohner=E 5000 Besucher (incl.20 Beschäft. Im Jahr)=B
* hier Gemüse- und Obstabfall im Haushalt bei der Zubereitung von Speisen und Pflanzenabfälle

Tab. 8: Abschätzung der Mengenteilströme des Abwassers im BIODROM

Auf die Nährstoffwiedergewinnung werden sich vorrangig die beiden Teilströme Gelbwasser (Urin) und Braunwasser (Fäkalien) beziehen, während das Grauwasser gereinigt zusammen mit gesammeltem Regenwasser zur Wiedernutzung je nach Bedarf in den internen Wasserkreislauf eingeschleust wird.

Gewächshaus	N kg/a	P kg/a	K g/a	Ca g/a	Mg g/a
Fäkalien	4,1	1,4	1897	2168	813
Urin	31,2	2,7	7046	596,2	298,1
Grauwasser	1,4	1,4		*	*
Gesamt	36,6	5,4	8943		

* abhängig vom Trinkwassergehalt, -verbrauch

Tab. 9: Ressourceneigenschaften der Abwasserteilströme im BIODROM

Aufarbeitung von Urin zu rezirkulierbarer Nährlösung für Pflanzen und Nährtiere:

Im Urin liegen die Nährstoffe konzentriert und überwiegend in mineralischer Form vor. Etwa 80 % des Stickstoffs, 45 % des Phosphors und etwa 70 % des Kaliums im Vergleich zu den beiden anderen Teilströmen sind im Urin enthalten. Die hohe Pflanzenverfügbarkeit, insbesondere des Stickstoffs bewirkt eine Düngewirkung des Urins vergleichbar mit mineralischen Handelsdüngern.
Als Nährlösung aufgearbeitet könnte es z. B. als gezielte Düngegabe für die Pflanzen im BIODROM eingesetzt werden.

Ansatz für die dezentrale Lagerung und Aufarbeitung des Urins nach Larsen & Gujer (1996) und Hellström & Johansson (1999):
Urin wird in unterirdische geschlossene Tanks geleitet, um Stickstoffverluste durch Frischluft (Ausgasung von NH_3) und Korrosion zu vermeiden. Die NH_3-Bildung verläuft bei unverdünnt gelagertem Urin und geringen Umgebungstemperaturen nur langsam und kann durch Ansäuern gehemmt werden. Ist der erste Tank voll, wird ein paralleler Zweittank beschickt. Das Urin im gefüllten Tank kann mehr als 6 Monate gelagert werden.

Für die Aufarbeitung des Urins sind die folgenden Verfahren zu erproben bzw. zu kombinieren:

1. vollständige P-Abtrennung durch MgO-Dosierung zum Urin. Phosphor wird als $MgNH_4PO_4$ gefällt. Stickstoff wird dabei nur in geringem Umfang abgeschieden.
2. durch Luft- oder Dampf-Strippung kann Stickstoff als NH_3 ausgetrieben werden und als NH_4OH oder mit H_2SO_4 als $(NH_4)_2SO_4$ ausgewaschen werden.
3. Gefrier- und Auftau-Konzentrationsverfahren nach Hellström & Johansson (1999), in dem 80 % N und P in 25 % des Volumens konzentrierbar sind,
4. oder eine entwässernde Versauerung ohne N-Verluste. Dieser Verfahrensschritt ist als eigenes Projekt zu behandeln und bezüglich seiner Kosten gesondert darzustellen.

Es ist zu prüfen, inwieweit die Aufarbeitung der im BIODROM zu erwartenden Stoffströmen wirtschaftlich-technisch sinnvoll ist.

Aufarbeitung fester Fäkalien

In den Fäkalien liegen die Nährstoffe gebunden in organischen Verbindungen und in partikulärer Form als organische Substanz vor. Fast die Hälfte der Kohlenstofffracht herkömmlichen Abwassers gelangt über die Fäkalien ins Abwasser. Während beim Stickstoff und beim Phosphor die Fracht in vergleichbarer Größenordnung wie beim Grauwasser liegt, sind die Frachten an Calzium und Magnesium (auch abhängig von den Gehalten im Trinkwasser) erheblich.

Der nachhaltige Umgang mit Fäkalien -Mineral-, und Nährstoffnutzung sowie Nutzung des Energieinhaltes der organischen Subtanz sind zu prüfen:

1. Fäkalien können aerob wie Stallmist kompostiert werden. Durch längere Lagerung oder gezielte Erhitzung mittels Dampf wird das Kompostmaterial sicher hygienisiert.
2. Sie können aerob-thermophil zusammen mit Küchenabfällen behandelt werden (Skjelhaugen (1999). In einem unterirdischen Lagertank werden die Fäkalien etwa 2 Jahre gelagert. In einem isolierten Reaktor erwärmen sich die Fäkalien ohne Heizenergiezufuhr auf 55-60 C°. Der Reaktor hat eine Kapazität von 4,5 m^3/d bzw. eine Verweilzeit von 7 Tagen. Die behandelten Fäkalien können mit einer Ausbringungstechnologie unter Druck direkt in die Wurzelzone des Bodens injiziert werden, so das die Ausbringungsverluste des Stickstoffs 10-15% nicht übersteigen.
3. Fäkalien aus Vakuumtrenntoiletten können solar auf Wassergehalte unter 15-20 % getrocknet werden und sind damit stabilisiert bzw. lagerfähig. Gegebenenfalls müssen sie zur Nutzung als Brennstoff zerkleinert und homogenisiert werden. Die Asche verbrannter Fäkalien besteht überwiegend aus anorganischen Mineral- und Nährstoffverbindungen und kann auf feuchtem Boden aufgebracht werden.

Es ist zu prüfen, inwieweit die Aufarbeitung der im BIODROM zu erwartenden Stoffströme wirtschaftlich-technisch sinnvoll ist.

4.5.1.3 Versuchsbioreaktor zur Konvertierung niederwertiger Biomasse

Die Konvertierung von niederwertiger Biomasse in höherwertige unter Bildung von bakterieller bzw. Pilzbiomasse, zur Ernährung von bakteriophagen Protozoen, Crustaceen sowie von Insektenlarven ermöglicht eine Geflügel bzw. Fischzucht, die auf kleinstem Raum hochwertige Nahrungsmittel für den Menschen herstellt.

Ziele

Um den geöffneten Wasser- und Stoffkreislauf auf der Fläche kürzer zu schliessen, muss die Effizienz der Produktion auf minimiertem Raum in vertikalen Reaktorstrukturen bei optimierter Temperatur (in kürzerer Zeit) erhöht werden. Nach diesem Prinzip der Produktion auf kleinstem Raum in kürzester Zeit wird der bakterienbasierte Bioreaktor als Veredelungsprozess organischer Verbindungen - zur Nährtierzüchtung entwickelt.

Die Effizienz der Produktion von Nutzpflanzen, Futterpflanzen (s. a. **Anlage 3.3**) und Tieren pro Fläche ist weitgehend bekannt und nicht beliebig steigerbar. Fleisch- bzw. Proteinproduktion über die bakterienbasierte Nahrungskette ist eine Alternative zur herkömmlichen flächenintensiven Fleischproduktion bei geringstmöglichem Flächenverbrauch. Durch Optimierung der Produktion auf kleinster Fläche werden Flächen für Stoffrückhalt und Kühlfunktion zurückgewonnen und die Flächeneffizienz wieder gesteigert. Auf der Fläche werden in höherem Maße wieder Nahrungsmittel für den Menschen und erneuerbare Energieträger angebaut.

Um die Effizienz der Produktivität zu erhöhen, kann nur die räumliche Dichte und die Frequenz von Produktionsprozessen bzw. der Ressourcennutzung gesteigert werden. Dazu muss die Ressourceneffizienz verbessert, d. h. die Stoffe müssen verlustarm im Kreislauf geführt werden. Der Bioreaktor wird ausschliesslich mit aufzuarbeitenden Abfällen bzw. Abwässern unter Nutzung des Kohlenstoffes als Energiequelle im dunklen Teil aber durchgehend warmen Teil des BIODROM´s betrieben.

- Zerkleinerte anteilig umgewandelte Zellulose und die darauf gewachsene Bakterienbiomasse wird mit hohem Wirkungsgrad in fressbare – höherwertige Nährtiere (Ciliaten, Krebstierchen bzw. Insektenlarven und Würmer) umgewandelt. (Veredelungsprozess)
- Die Produktion von Nährtieren soll über die bakterienbasierte (heterotrophe) Nahrungskette (Bakterien, Pilze, Protozoen etc.) gesteigert und optimiert werden.
- Die rasch wachsenden Bakterienkulturen und darauf aufbauend Kleinkrebse und Insektenlarven sollen gezielt gezüchtet werden, um zusammen mit Kartoffeln Futtermittel für Fisch, Geflügel und auch Schweine herzustellen.
- Das Futter kann in pelletierter Form oder als Lebendfutter hergestellt werden.
- Der Einsatz von Wässern aus der Gemüseverarbeitung sowie aus Urin hergestellten Nährlösungen soll erprobt werden.

- Die darauf basierende Geflügel- und Fischproduktion stellt eine wichtige Alternative zur derzeitigen Fleischproduktion über eine flächenintensive Futtermittelproduktion dar.

Leistungsanforderungen

- Gezeigt werden soll, das mit Nährstoffen befrachtete Wässer z.B. aus der Gemüseverarbeitung und/oder Urin – zu sterilen Nährlösungen aufgearbeitet – zur Züchtung und optimierten Produktion von Kleinkrebsen und Insektenlarven geeignet ist.
- Es soll gezeigt werden, dass Gemüseabfälle oder zerkleinertes Stroh als Aufwuchsträgermaterial und als Kohlenstoffquelle leistungsfähiger ist als herkömmliche mit künstlichem Substrat gefüllte Tropfkörperverfahren.
- Der heterotrophe Teil der Nahrungskette über die gezielte Vermehrung von Bakterien- und Pilzbiomasse sowie Ciliaten soll genutzt werden.
- Diese Biomasse bildet die Nahrungsbasis für die Wasserflöhe (Cladocera) und Hüpferlinge (Copepoda) und schliesslich die Fische.
- Insektenlarven (Engerlinge) und Würmer sollen als Geflügelfutter gezüchtet werden.
- Durch Trennung der einzelnen Prozessstufen (separater Wasserzufluss in den Fischbecken, gezielte Futtergabe, optimierte Besatzdichten) sollen Unbedenklichkeit und Qualität des Endproduktes gewährleistet werden.
- Die Nährstoffverluste und Respirationsverluste sollen durch den kurzfristigen maximalen Einbau in Biomasse minimiert werden. Hierzu eignen sich insbesondere Bakterien.
- Der Energie- und Flächeneinsatz sollte minimiert und die notwendige Technik bzw. die Gestaltung der Bioreaktoren sollten so einfach wie möglich sein.

Innovations-/Forschungs- und/oder Optimierungsbedarf

Die Nutzung von Prozesswasser aus einer Biogasanlage für die Produktion von Biomasse wird in einer Pilotanlage in Otelfingen, Schweiz seit Mai 1998 beforscht. Hauptziel der Anlage ist es, die Nährstoffe des Prozesswassers so vollständig wie möglich zu rezirkulieren und wertvolle Produkte (Futter- und Zierpflanzen, Speisefische) aus der Aquakultur-Anlage zu gewinnen. Die Aquakultur besteht aus 5 kaskadenförmig arrangierten Modulen mit verschiedenen ökologischen Funktionen entlang des Nährstoffgradienten. Als Schlüsselfaktor für die Nährstoffrückgewinnung wird hier der Prozess über die Photosynthese angesehen. Makrophyten in Modul 1 (bes. *Eichhornia crassipes, Lemna spp., Pistia stratiotes* und *Pomoea aquatica*) denitrifizieren im submersen Filterbett, nehmen Nährstoffe auf und können als Futterpflanzen dienen. In Modul 2 nehmen Algen Nährstoffe auf und bilden Futter für Zooplankton und Silberkarpfen. In Modul 3 mit Daphnia magna und Astacus astacus als Konsumentenmodul wird Algenbiomasse in Zooplanktonbiomasse umgewandelt. Konsumentenmodul 4 ist mit Fischen (Karpfen, Schleie und Tilapia u.a.) besetzt, die mit Lemna, Algen und Daphnien gefüttert werden. Modul 5 enthält Makrophyten, Plankton und Crustaceen, um weitere Nährstoffe von Modul 3 und 4 in Biomasse einzubauen. (Staudenmann, J. & Junge-Berberovic, R., 2000)).

Im Unterschied dazu soll in dem hier vorgestellten Modul ausschliesslich der heterotrophe Teil der Nahrungskette (Bakterien – Ciliaten – Krebstiere und Insektenlarven – Fische), der mit den Bakterien beginnend Stroh als Energiequelle nutzt, für die Fisch- und Geflügelzucht optimiert werden. Stroh wird mittels Bakterien durch Oxidation und Wasserspaltung in höherwertige organische Verbindungen und Kohlendioxid umgearbeitet.
Im unteren Teil des Bioreaktors – ähnlich wie im Strohfilter (**Anlage 4.1**) – wird Stroh als Aufwuchsträger und Kohlenstoffquelle für das Bakterien- und Ciliatenwachstum eingesetzt. Die Biomasse wird vom Substrat durch Belüftung des Reaktors separiert und gelangt über ein Filter in den oberen Teil als Nahrungsbasis für Daphnien etc.. Die Vermehrung der Daphnien wird durch Jungfernzeugung bei bestimmten Umweltbedingungen maximiert.

Ermittelt und optimiert werden sollen

- die einzelnen Prozessschritte bzgl. ihrer maximalen Produktionsraten,
- die Effizienz der Produktion auf kleinstem Raum mit maximaler Frequenz,
- der Einsatz von Stroh als Kohlenstoffquelle und Aufwuchsträgermaterial,
- die optimale Nährlösung für maximale Bakterien-, Ciliaten- und Daphnienbiomasse,
- Optimierung durch Variation des luftgesteuerten Wasserdurchflusses durch Verengung und Aufweitung der Filterkolonne,
- optimale Besatzdichten der Krebstiere und Fische,
- Weiterverwendung des Prozesswassers in der Pflanzenproduktion,
- der notwendige Energieeinsatz,
- die Verbesserung der Flächeneffizienz (Gewinn an Kühlflächen und Flächen mit Stoffrückhaltefunktion).

Mengengerüst Recyclinggrad Übertragbarkeit

Ausgehend von 4-6 Bewohnern und 5.000 Besuchern im Jahr (Kap.2) wären theoretisch am Tag 25 kg Bakterienfrischbiomasse (1,3 kg TM) nötig, um die Nährstoffe im Urin am Beispiel des BIODROM´s (4 Bewohner, 5.000 Besucher/a) komplett in Biomasse umzuwandeln.

BIODROM	N g/d	P g/d	Menge l/d
Ausgangsfracht	90	11	469

Tab. 10: Menge und Fracht von Urin und Grauwasser im BIODROM

Das entspricht einem Strohbedarf von etwa 10 kg TM (siehe Erläuterungen in **Anlage 4.1** Strohfilterverfahren). Dabei ist der Umsatz nicht berücksichtigt, wodurch sich der Bedarf nennenswert verringern dürfte.

Eine Abschätzung der Konvertierungseffizienz ist aus einschlägiger Literatur bei geringer Übertragbarkeit kaum gegeben. Aus Klärwerken kann jedoch bei Schlämmen folgendes festgestellt werden: Einer jährlichen Abgabe von etwa 40 kg Trockenmasse in Form von Faeces steht ein Klärschlammanfall von etwa 30 kg Klärschlamm TM gegenüber. Diese Trockenmasse besteht etwa zu 80 % aus Bakterienbiomasse.

5 Von der ver-/entsorgten Klimahülle zum quasi-autarken Lebensraum - das Gebäude BIODROM -

5.1 Nature supported design – design supports natur

Neben der funktionalen Sicherung von Grundbedürfnissen – z.B. nach Schutz, des Arbeitens und Wohnens, der Kommunikation usw. – waren Baukörper auch immer eine Klimamembrane für Mensch, Tier, aber auch Pflanzen, die die tägliche oder jahreszeitliche vorherrschende Witterung milderte und die deren Komponenten im Laufe der Baugeschichte immer besser auszunutzen verstand – die Sonnenstrahlung beispielsweise oder die natürliche Luftbewegung. Dies änderte sich erst mit dem Beginn der "Moderne" im 21. Jahrhundert: Die weitgehend zentralisierten Ver- und Entsorgungssysteme hatten sich soweit entwickelt, dass zumindest in den Industriestaaten z.B. die Verfügbarkeit von Elektro- und Wärmeenergie auf klassisch fossiler, später auch atomarer Basis zeitweilig bis zu sinnloser Verschwendung unproblematisch schien. Die Architekturgeschichte benennt diese, bis in die Gegenwart reichende Epoche völlig zutreffend als den "International Stile" - zumeist großvolumige Stahl-Glas-Konstruktionen, die nur mit einem gewaltigen klimatechnischen Aufwand überhaupt zu beherrschen waren (**Anlage 5.1**). Die Städte wuchsen weit über ihren natürlich bestimmten Ressourcenbereich hinaus, Metropolen entstanden, Verflechtungsräume und damit ein letztlich nur noch überregional, teils global zu befriedigendes Ver- und Entsorgungsbedürfnis.

Das damit zwangsläufig verbundene Verkehrsaufkommen und dessen Betrieb (wiederum über das Verbrennen fossiler Rohstoffe) ruft bereits landstrichweise regelmäßig Verkehrsinfarkte hervor, die Versorgung mit trinkbarem Trinkwasser ist vielenorts bereits mehr als problematisch, die Abwasserentsorgung zumeist nichts weiter als der Transport wertvoller Sekundärrohrstoffe auf Nimmer-Wiedersehen in die Meere oder auf Deponien (**Anlage 5.2**). Die Versorgung mit Nahrungsmitteln ist regional schon lange nicht mehr zu bewältigen und über die Verkehrssubventionierung bereits globalisiert: von je weiter her, zumeist um so billiger. Große Teile der national verfügbaren Flächen der Land- und Forstwirtschaft sind hochgradig ruiniert, ebenso die lokalen Klimata – in der Stadt schon länger als im Raum: Alexander Mitscherlich diagnostizierte bereits in den 60er Jahren des vorigen Jahrhunderts "die Unwirtlichkeit unserer Städte". Die " Charta von Athen" hatte offensichtlich keines der industriellen Urbanisierungsprobleme lösen können, sondern diese (mit Hilfe des Kraftfahrzeugverkehrs) nur in die Fläche verlagert. Zu Lasten der für den Menschen primären Funktionalstruktur "Landschaft", wie sich in nur wenigen Jahrzehnten u.a. in und um Athen selbst in erschreckendem Ausmaß bewies.

Erst mit der globalen Verknappung lebensnotwendiger Ressourcen, nicht mehr kaschierbaren Umweltschäden, der (Grundlagen-) Erforschung natürlicher Kreislaufprozesse, der damit einhergehenden Entwicklung dezentraler Versorgungstechnologien und der Verfügbarkeit entsprechend angepasster Materialien, aber auch der Aufarbeitung des zwangsläufig sehr viel komplexeren Wissens der Baumeister vergangener Epochen, "sich die Elemente nutzbar zu machen", könnte und muss sich vielleicht sogar ein immer wieder gehegter Architektentraum durchsetzen: die Entwicklung von quasi – autarken Gebäudestrukturen auf Basis extrem kurzgeschlossener Kreisläufe zur Sicherung der primär-funktionalen menschlichen Lebensbedürfnisse – eine Art "Arche der Neuzeit" (**Anlage 5.3**).

5.2 Typologie

Die Zweckbestimmungen von Gebäuden waren in der Vergangenheit – u.a. bedingt durch technisch-entwurfseitig nicht beherrschbare Unverträglichkeiten – zumeist separiert: Wohnen z.B. vertrug sich nicht mit (städtischem) Arbeiten, die Nahrungsmittelproduktion und Ver- und Entsorgungsprozesse darüber hinaus mit beidem nicht.
Die Gartenstadtbewegung der Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert führte für einige Zeit zumindest Wohnen, Versorgen, urbane Infrastruktur und Erholen wieder zusammen: die damalige ökonomische Schieflage "erfand" die lebensgestaltenden Qualitäten einer frühen Subsistenzwirtschaft, die in vielem bis heute als zukunftsfähig anzusehen sind (**Anlage 5.4**). Allerdings damals noch ohne tatsächlich "innovative" Gebäudestrukturen auskommen müssend: die zentralen Versorgungssysteme waren gerade erst in der Entwicklung und ließen ihrerseits dann die "Moderne" folgen, die zwar durch die Erdölkrisen in Erschütterung geriet, ohne jedoch tatsächlich abgelöst zu werden.

Bis zur "European Charter for Solar Energie in Architecture and Urban Planning" verging noch einmal ein Vierteljahrhundert und deren Breitenwirkung ist (weil immer noch zu partiell gedacht und strukturiert) auch heute noch nicht abzusehen. Jedoch weisen wesentliche Elemente der entsprechend dieser Programmatik errichteten Baukörper und Stadtteile bereits eindeutig auf die Entwicklungserfordernisse quasi - autarker Lebensräume hin (**Anlage 5.5**).
Trotz noch generell unterschiedlicher Entwurfsstrategien – wie Minimierung energetischer Verluste versus Maximierung solarer Gewinne - setzen sich bereits "standards" wie passive und aktive Solarsysteme, Glasan- und aufbauten, integrierte Lüftungs-Heizungs-Syteme, Wärmepumpen, höchste Dämmqualität, zielgerichteter Einsatz von Pflanzen in/an Gebäuden, Trinkwassersparanlagen, gebäudeinterne Abwasserreinigungsgeräte, nachwachsende Baustoffe usw. schrittweise durch. Im solaren Städtebau ist eine möglichst exakte Südorientierung faktisch ohnehin "Naturgesetz" (**Anlage 5.6**) – nur, wo findet der schon statt?

Was allerdings gänzlich fehlt, ist ein auf die primären gesellschaftlichen Problemstellungen - wie ständige Arbeitslosigkeit, reale und potentielle Armut, deutlicher Bevölkerungsrückgang, generelle Ressourcenverknappung, maßloses Verkehrsaufkommen usw., aber auch die sich entwickelnden Möglichkeiten - wie (punktgenaue) Globalisierung der Informationssysteme (software), Dezentralisierung der Ver- und Entsorgungssysteme, Schließung regionaler Stoffkreisläufe, Nutzung "sekundärer" Ressourcen, Ausbau gesellschaftlicher Partnerschaften, ausgeprägte Naturbezogenheit usw., ausgelegtes städtebauliches und architektonisches Integrationskonzept, das vor allem an der "hardware" – also an den primären menschlichen Lebensbedürfnissen – orientiert ist. Eine künftig problemadäquate und damit zukunftsfähige Städtebau- und Baukörpertypologie wird somit zweifelsfrei aus den jeweils lokalen Ver- und Entsorgungserfordernissen abgeleitet werden <u>müssen</u>, während sich die traditionellen Nutzungsmuster wie Arbeiten und Wohnen entsprechend sinnvoll zu integrieren haben.

5.3 Der Faktor "Standort"

Entsprechend der generell funktionalen Bestimmung der zu entwickelnden Gebäudetypologie sind sowohl der Mikro- (Dorf, Stadt) als auch der Makrostandort (Region, Klimazone) maßgeblich für deren Ausprägung. Soll z.B. eine bauliche Anlage im ländlichen Raum ausschließlich der Produktion von Naturdüngern, Futtermitteln und Gießwasser dienen, wird lediglich eine prozessstabilisierende Hülle für den "intelligenten Misthaufen" benötigt (**Anlage 5.11**).

In einem dörflichen oder (rand-) urbanen Solitär unserer Breiten kommen die Energie- und Nahrungsmittel-, ggf. die Trinkwasserproduktion sowie klassische Nutzungsansprüche wie Wohn-, Verkaufs-, Büro- und Kommunikationsflächen (mit vergleichsweise unkomplizierten internen Ansprüchen, aber) mit hohem Integrationsbedarf hinzu.

In dichter besiedelten urbanen Beständen wird bei ähnlichen Funktionsprinzipien eine Anpassung an die vorhandenen Infrastrukturen und Gebäude durch Um-, An- und Aufbauten erforderlich sein - vermutlich der komplizierteste Teil der Typologie integrativer Gebäudelösungen. In seinen Möglichkeiten bisher kaum erkannt ist der massive Schrumpfungsprozess in den mittel- und westeuropäischen Städten und Industrieansiedlungen, der nur nach km² zu bemessende (Dauer-) Stadtbrachen zu erzeugen beginnt. In der Landeshauptstadt Magdeburg (SA) z. B. sind bereits heute 30.000 Wohnungen "überzählig"/in Summe ca. 700 ha Stadtbrachen "im Entstehen" (5.13): Die (nachindustrielle) Stadt erhält damit die vermutlich in ihrer Geschichte einmalige Chance, einen Großteil des Primärbedarfes an Energie, Wasser und Nahrungsmitteln in kürzestmöglich geschlossenen Kreisläufen hochintensiv und auf eigenem Territorium selbst zu erzeugen – Subsistenzwirtschaft nun auf denkbar anspruchsvollem Niveau. Im Gegenzug dazu könnte die über Jahrzehnte landwirtschaftlich ausgepowerte "Kulturlandschaft" einer zielgerichteten Regenerierung zugeführt werden.

Für Klimazonen mit hohem Solarenergieaufkommen, aber ständigem Wasser-, Dünger- und Nahrungsmangel wäre ein funktional Vorgenanntem vergleichbares Ver-/Entsorgungs- und Baukörpersystem vor allem auf die kreislaufgeführte Produktion von Trink- und Brauchwasser, Nahrungsmitteln und Bodenverbesserern (bei vergleichbarer Normalnutzung) auszulegen und übernähme so eine Art "Oasenfunktion" mit stetiger Ausbreitungsmöglichkeit in die Fläche.

5.4 Komponenten und Materialien

Baukörper

Das z. B. über die Integration von möglichst wartungsfreien Kompaktanlagen für die Ver- und Entsorgungsstruktur auf die zum Teil z. T. archaische Baumaterialiensituation in vielen Entwicklungsländern eingegangen werden kann, wird prinzipiell für möglich gehalten (**Anlage 5.7**), müsste aber an anderer Stelle näher ausgelotet werden.

Als Entwurfs- und Konstruktionsprämisse für quasi-autarke Gebäude in Industrieländern sollen jedenfalls die generelle und preiswerte Verfügbarkeit, aber auch die Langlebigkeit und ein innovatives Systemdesign der Materialien gelten.

Wände/Decken (s. a. Anlage 5.8)

Eine energieeffiziente Klimaregulierung zwischen dem Außenraum und den verschiedenen Innenraumstrukturen setzt eine gebäudeintegriertes Lüftungssystem voraus, in dem die Massivbauteile (über ihre "Normalfunktionen" hinaus), Wasserbehälter und –flächen und ggf. der Baugrund Membran- und Speicherfunktionen übernehmen: bereits die griechische Hypokaustenheizung verfolgte diesen Bauplanungsgrundsatz. Wenn auch so bisher nicht eingesetzt, bietet der Baumaterialienmarkt doch entsprechend ausrüstbare Grundsysteme. Holzbeton-Präzisions-Formsteine z.B. bieten (neben diversen anderen Vorteilen) die unkomplizierte Möglichkeit innerhalb ihres Betonvergußinlettes über den gesamten Außen- und Innenwandaufbau "Tubuli" zu führen, die ihre Entsprechung in vorgefertigten Spannbeton – Langloch-Deckenelementen finden und (betrieben durch ein einfaches Lüftungssystem) die Klimatisierung der Gesamtstruktur ermöglichen: zur Kühlung wird ggf. ein flächiger Erdkollektor herangezogen, der gleichzeitig für die gewünschte Temperierung der Pflanzenproduktionsböden sorgt und (Langzeit-) Wärme speichert. Vor allem ökonomisch hochinteressante Möglichkeiten dürften sich demnächst aus der Verfügbarkeit von Millionen von Wandplatten-, Decken- und Treppenelementen aus nicht mehr benötigten (und damit zu demontierenden) Plattenbauwohnungen in Ostdeutschland ergeben: wie erste Pilotvorhaben zeigen, lässt sich der Montagebau aus der DDR-Zeit problemlos „recyclen“ und in vorgenanntem Sinne neu und rohbauseitig nahezu neuwertig strukturieren (siehe auch **Anlage 5.13** und **5.15**).

Dächer (s.a. Anlage 5.9)

Spätestens mit dem Einsatz von TEXLON im "Eden-Cornwall-Projekt" wurden die Systemeigenschaften von Foliendächern weltweit bekannt. Ob hinsichtlich von Lichtdurchlässigkeit, Wärmedämmung, Verarbeitbarkeit, Dauerstabilität usw. und nicht zuletzt der Kosten sind sie seit Jahren vergleichbaren Stahl-Glas-Konstruktionen bei weitem überlegen. Verbesserungen insbesondere im Falle einfacher Geometrien und mäßiger Spannweiten erscheinen lediglich noch im Tragwerk möglich. Obwohl für derartige Belastungsfälle bisher nicht eingesetzt, sollten Endlos-Glasfiberstangen zu Verbundträgern kombiniert diese Aufgabe kostengünstig und zuverlässig übernehmen können – ähnliche Verwendungsbeispiele unter freiem Himmel weisen darauf hin.

5.5 BIODROM-Entwürfe* in fünf Prototypen

Vorbild (s. a. Anlage 5.10)

Mit der Errichtung der „Stensund Wastewater Aquaculture“ ab 1987 in Trosa/Södermanland - Schweden entstand erstmals eine Architektur, die nahezu ausschließlich einem Zweck diente: der biologischen Reinigung von täglich 25 m³ häuslicher Abwässer einer Internatsvolkshochschule (Biologie: Björn Guterstam, Architektur: Bengt Warne). Das Grundkonzept für dieses „Laborgebäude“ war denkbar einfach: Abwasser wurde nicht als ein unangenehmer Entsorgungsgegenstand begriffen, sondern als Nahrungsquelle für Lebewesen (Mikroorganismen, Pflanzen, Tiere), die man entsprechend ihrer „Neigungen“ nur in Kaskade zu einer vorgegebenen Fließrichtung zu schalten brauchte. Das Endprodukt sollte trinkwasserähnlich und auf jeden Fall unproblematisch in die Ostsee einleitbar sein. Die notwendige Betriebstemperatur des Systems war dabei durch die Eigenwärme des Abwassers und das passive Solarkonzept des Gebäudes zu gewährleisten. Der sonstige technische Aufwand beschränkte sich auf die Aneinanderreihung geeigneter Behälter in Fließrichtung, künstliche Gewässerbelüftung und z. T. Belichtung.
Als „Nebenprodukte“ sollten Futterpflanzen wie Wasserhyazinthen , aber auch Gemüse z. B. Tomaten, Edelfische und Flusskrebse anfallen – wegen der Hygienevorschriften natürlich nur zu Demonstrationszwecken . Resultat: Die Reinigungswirkung der Lebewesengemeinschaft übertraf die Erwartungen bei weitem und nicht nur die Futtermittel (für die Schweinezucht), auch das Gemüse und die Fische erwiesen sich als durchaus genießbar. Das System funktionierte mehr als 10 Jahre störfallfrei bis es kürzlich außer Betrieb ging: Als Versuchsanlage zur biologischen Klärung häuslicher Abwässer – an eine biotechnologische Produktionsstätte (oder die durchaus mögliche Integration von Wohnen und Arbeiten) war nie gedacht.

* Die Begrifflichkeit entspricht nicht dem dafür in der Honorarverordnung für Architekten und Ingenieure beschriebenen Leistungsumfang.

<u>Prototyp 1</u> (Anlage 5.11): Der „intelligente Misthaufen“

Zielgruppe: verarmte Landwirtschaftsböden, Gärtnereien, Stadtbrachen, Steppen, Wüsten, Bergbauhalden
Option: Futtermittelproduktion

Die Erkenntnis, dass nichttoxische Abwässer insbesondere für Mikroorganismen und für einfachere Pflanzen- und Tiergesellschaften eine ideale Nahrungsgrundlage sein können, macht den Gedanken naheliegend, mit Hilfe von pflanzlichen Trägermaterialien einen Veredelungprozess in Gang zu setzen, der ein vor allem kohlenstoffhaltiges Substrat zur Verbesserung der Fruchtbarkeit und des Wasserhaltevermögens humusarmer Böden verfügbar macht.

Ausgangsstoffe könnten dabei sowohl Gülle, ausgegorene Biomasse aber auch häusliche und betriebliche Abwässer sein. Als Trägermaterial kommen übereinandergeschichtete Strohballen infrage, die mit geeigneten Lebewesen (etwa Pilzkulturen) „geimpft“ werden und

sich aus den zu verrieselnden Nutzwässern ernähren. Nach abgeschlossenem Veredelungsprozess wird der so erzeugte Bodenverbesserer eingepflügt oder kompostiert – ähnlich dem Misthaufen. Denkbar wäre auch, auf diese Weise proteinhaltige Kleintiere zu züchten und als Futtermittel z.B. für Geflügel oder Fische einzusetzen. Die dabei gereinigten Abwässer könnten verregnet oder als Gießwasser in Gewächshäusern verwendet werden.
Eine „Gebäudehülle“ ist (wenn überhaupt) nur zur Gewährleistung des notwendigen Betriebsklimas (im Winter) erforderlich: z. B. als leichte Stahlkonstruktion mit „solarfähigen“ Foliendach und -wänden.

Geeignete Standorte:
- Diedersdorf, Stadtgüter, Fa. A. Dohrn & A. Timm, Stiftung sozialökologische Kreislaufwirtschaft
- Internationale Bauausstellung (IBA) „Fürst-Pückler-Land“ Lausitz/Brandenburg
- Gut Groß Beuthen
- Agrargenossenschaft Groß Machnow

Prototyp 2 (Anlage 5.12): Das „BIODROM“ als Zentralbaukörper im Landwirtschaftsbetrieb Brodowin

Zielgruppe: Gehöfte, Gartenbaubetriebe, Botanische Gärten, künstliche Oasen
Option: Gartenschauen, Betriebsgebäude

In dem bisher baukörperlich nicht belegten Zentralbereich des Landschaftsbetriebes Brodowin sollte ein Funktionsbaukörper mit gleichzeitig großer Ausstrahlungskraft in Bezug auf die ökologischen Ambitionen des Unternehmens entstehen. Ein Hofladen, zwei Konferenz- und Seminarräume, zwei Kleinwohnungen für Lehrlinge/Studenten, Büro- und Lagerflächen und ein Technikteil wurden terminalartig an einen zentralen Kuppelbau „gedockt“, der sich wiederum auf die Folienhausdächer der Funktionalgebäude erstreckt. Die jeweilige Ver- und Entsorgungsstruktur, aber auch die Produktionserfordernisse von Kuppelbau und Folienhäusern können problemlos dem Aufkommen an „Betriebsmitteln“ und dem wirtschaftlichen Profil des Unternehmens angepasst werden. Generell sinnfällig erscheint z.B. die Kombination mit einer Biogasanlage, deren Endprodukte Gas, ausgegorene Feststoffe und Nutzwasser die Basis für die Produktion z. B. von Jungpflanzen, hochwertigem Obst- und Gemüse, Heilpflanzen aber auch für die Fischzucht bieten. Kraftwärmekopplung auf Biogasbasis, Gebäudekonstruktion und Baustoffauswahl (siehe **Anlagen 5.7, 5.8, 5.9**) gewährleisten einen voll funktionsfähigen Ganzjahresbetrieb der Gesamtanlage.
Die Funktionalbauten sind dabei klimatisch wahlweise in den Folienkomplex oder den Außenbereich ein- und auskoppelbar. Die thermische und gebäudetechnische Grundver- und entsorgung erfolgt über eine Hypokaustendecke unter der Anlage.

Geeignete Standorte:
- Diedersdorf, Stadtgüter, Fa. A. Dohrn & A. Timm, Stiftung sozialökologische Kreislaufwirtschaft
- Landwirtschaftsbetrieb Brodowin, 3 weitere interessierte Landwirtschaftsbetriebe
- Gut Groß Beuthen

<u>Prototyp 3</u> (Anlagen 5.13): Das „BIODROM“ als solitärer Multifunktionsbaukörper für einen (sub-)urbanen Standort auf dem WISTA-Gelände in Berlin - Adlershof

Zielgruppe: wie Prototyp 2, Stadtbrachen, Baulücken
Option: integrierte Gemeinschaftsanlagen

Auf einem noch näher zu bestimmenden Baugrundstück auf dem Areal des Wissenschaftsstandortes (WISTA) in Berlin – Adlershof beabsichtigt ein in der Umwelttechnik tätiges Ingenieurbüro die Errichtung eines quasi-autarken Multifunktionsgebäudes (Büros, Labore, Wohnen, Anzuchtflächen) nach dem Grundkonzept von Prototyp 2 – nur eben urbanen Erfordernissen und Rahmenbedingungen angepasst und mit Ausstrahlung auf die angrenzenden (Brach-) Flächen und die angesiedelten Forschungsunternehmen/Lehranstalten. Der Baukörpergrundriss entspricht bereits dem vorliegenden Erschließungsraster des Standortes. Die geplante Ver- und Entsorgungstechnologie basiert auf dem gebietlichen Aufkommen an nachwachsenden Rohstoffen, häuslichen Fäkalien, Abwässern und Abfällen. Die Anzucht- und Anbauebenen sollten sowohl der Produktion hochwertiger Jungpflanzen, von Obst und Gemüse, Fischen und Geflügel sowie Energiepflanzen dienen können, um einen möglichst hohen Eigenversorgungsgrad zu erreichen (siehe Subsistenzwirtschaft). Gleichzeitig wird ein möglichst hoher Autarkiestandard in Energie-, Wärme-, Wasserver- und Abwasserentsorgung angestrebt, der je nach Bedarf und Außenklima flexibel steuerbar ist und letztendlich Erkenntnisse über Funktionsansprüche/-lösungen für künstliche Oasen liefern soll, die z.B. im arabischen Raum einsetzbar sind. Die Gesamtanlage soll dabei über hohe Gestalt-, Aufenthalts- und Erlebnisqualitäten verfügen.

<u>Geeignete Standorte:</u>
- WISTA - Gelände in Berlin-Adlershof
- Internationale Bauausstellung (IBA) „Fürst-Pückler-Land“ Lausitz/Brandenburg

<u>Prototyp 4</u> (Anlagen 5.14): Das „BIODROM“ als Herzstück eines marktfähigen Gastronomie-, Hotellerie-, Kultur- und Ökologiekomplexes auf dem Kleinen Müggelberg in Berlin – Köpenick (Müggelturmareal)

Zielgruppe: vergleichbare Anlagen und komplexere Neubauten generell
Option: marktfähige Systemlösungen

Im Bebauungsplan-/ Entwurfsstadium befindet sich ein ehrgeiziges und sicherlich bald weit über die Stadtgrenzen von Berlin hinaus Aufsehen erregendes Projekt: Im Spannungsfeld von kulturellem Stellenwert, touristischer Anziehung und quasi-autarker Ver- und Entsorgungserfordernisse wird ab Ende 2002 die Neugestaltung des Müggelturmareals inmitten von Bergen, Wald und Wasser nach investiven Grundsätzen erfolgen. Die geplante Burganlage mit Restaurants, Hotel, Theater, Fernsehstudio, Landtherme usw. soll (und muss aufgrund ihrer naturräumlich hochsensiblen Lage) über nahezu alles an sicher einsetzbarer, dezentraler Umwelttechnologie verfügen, was derartige Komplexe ansonsten netzgebunden beziehen: quasi-autarke Stromversorgung über eine Brennstoffzelle (BEWAG), eine Groß-

Photovaltaikanlage (Hülle des fast 30 m hohen Aussichtsturmes) und ggf. ein Windrad (auf dem Nachbarhügel), solare Brauchwasserversorgung/Raumwärmeeinspeisung (neben der Abwärme der Brennstoffzelle), eine Wasserrecycling-Anlage nach weiterentwickeltem Stensund-Prinzip, Holzbeton als Hauptwandbaustoff usw. Zu untersuchen ist, in wieweit das Betriebsmittel für die Brennstoffzelle auf lokaler Rohstoffbasis (Fäkalien, Gastronomieabfälle, Pflanzenschnitt, Resthölzer u.a.) wirtschaftlich herzustellen wäre. Die anfallenden Nebenprodukte (Naturdünger, Aschen) würden zur Anreicherung der extrem nährstoffarmen Waldkuppen, für den Hotelgarten und die gebäudeintegrierte Gewächshausproduktion wiederum vor Ort benötigt. Überschüssiges Recyclingwasser käme den Freianlagen aber auch der stark vom Trockenfall betroffenen Südwestflanke des Kleinen Müggelberges zu gute. Entwurflich soll erstmals der Versuch unternommen werden, für eine derart komplexe Gebäudestruktur auf Basis einer kombinierten Lüftung/Heizung Passivhaus-Niveau zu erreichen. Über die systematische Begrünung der Außenhaut hinaus wird ein Kletterpflanzenarboretum angelegt, der Publikumsverkehr soll weitgehend über Solar-shuttles (auf Straße und Wasser) abgewickelt werden. Ein Betreiberverein für die Umwelttechnologie sorgt gleichzeitig für deren allgemeine Öffentlichkeit.
Das zu erstellende „BIODROM“ müßte dafür sorgen, dass Umwelttechnik und Gebäudestruktur letztlich nicht „nebeneinander“ stehen, sondern optimal integriert und damit von höchster Effizienz sind.

Geeignete Standorte:
- Müggelturmareal in Berlin-Köpenick und weitere Tourismusbetriebe in der näheren Umgebung

Prototyp 5 (Anlage 5.15): Das „BIODROM“ als Foliengeschoss auf/an bestehenden Baukörpern mit Kellergeschoss- und Freiflächenumnutzung - Die neue Gartenstadt

Zielgruppe: bestehende Gebäude und Siedlungen aller Art
Option: Internationale Bauausstellung (IBA) in Sachsen-Anhalt (in Planung)

Der vermutlich höchste Effekt in der Organisation kurzgeschlossener Stoff-, Energie- und Wasserkreisläufe lässt sich im Lebensumfeld des Menschen, also direkt in den bestehenden Siedlungen und Städten erzielen. Häufig sicher nicht unproblematisch, aber dann von hoher Akzeptanz (siehe die Wintergartennachfrage).
Insbesondere im Osten Deutschlands mit seinem Überhang von etwa 1 Million Wohnungen könnten sich ganze Siedlungsbereiche, wie die vielgeschmähten Plattenbaugebiete zu einer in der Architekturgeschichte bewährtesten städtebaulichen Grundstruktur, der Gartenstadt transformieren - nur auf dem heute verfügbaren biotechnologischen Niveau. Der im „Stadtumbauprogramm Ost“ des BMVBW vorgesehene Rückbau von mehreren hunderttausend Plattenwohnungen böte dafür eine nahezu ideale Grundlage (zumal ein komplexeres Umbauleitbild ohnehin noch aussteht). Das städtebauliche Grundmuster, die soziale und technische Infrastruktur sowie die Verkehrswege könnten dabei sogar (kostensparend) erhalten werden – lediglich die nicht mehr benötigten Wohngeschosse würden (bis auf den Keller, das Erd- und ggf. das 1. Obergeschoss) demontiert. Es entstünden extrem preiswerte Reihenhaussiedlungen mit den dazugehörigen erstmals vernünftig nutzbaren Freiflächen: den

Gartenanlagen. Das notwendige neue Dach wird als Gewächshaus (**Anlage 5.9**) konzipiert, ein modifiziertes BIODROM-Konzept findet zudem im Kellergeschoss problemlos Platz und könnte schrittweise die (schon zu ihrer Bauzeit) ineffizienten Ver- und Entsorgungssysteme ablösen.

Geeignete Standorte:

- Stendal - Süd, - Stadtsee, Wolfen-Nord, Magdeburg-Olvenstedt, Halle-Neustadt usw.

6 Kostenschätzung, Kooperationen, Organisationsform für Modellprojekt

Die konkreten Untersuchungen und Kostenschätzungen wurden für den Standort Brodowin durchgeführt. Die Verortung wird voraussichtlich in Diedersdorf erfolgen:

Standort:

- Diedersdorf/Brandenburg, A.Dohrn & A.Timm, Stiftung für Sozialökologische Kreislaufwirtschaft

Mögliche weitere Standorte:

- Landwirtschaftsbetrieb Brodowin
- IBA „Fürst-Pückler-Land Lausitz/Brandenburg
- WISTA – Gelände in Berlin – Adlershof
- Kleiner Müggelberg Berlin/Köpenick (Müggelturmareal)
- Gartenstadtmodell Stendal-Süd, -Stadtsee, Wolfen-Nord, Magdeburg-Olvenstedt, Halle-Neustadt

1. Phase: Forschung und Erprobung

Kostenrahmen für Versuchsanlagen

Die flächenbezogenen Versuchsanlagen (Energiefeld, Strohfilter, Bioreaktor) werden am für den BIODROM vorgesehenen Standort voraussichtlich in Diedersdorf errichtet. Die gebäudetechnisch orientierten Versuchsanlagen (Pilotanlage IRMA – Integrierte Recycling Maschine) sollen in vorhandenen Räumlichkeiten der Technischen Universität Berlin aufgestellt und erprobt werden.

Energiefeld		
Hackschnitzelherstellung	**530,- - 830,- €/ha/a**	
Pelletsherstellung	**1.080,- - 2.148,- €/ha/a**	
Angesetzte Kosten für 2 ha		**2.000,- €**
Pilotanlage Strohfilter		
Investitionen		**15.000,- €**
Betriebskosten (ohne externe Strohkosten s. a. **Anlage 4.1**)		**4.200,- €**
Pilotanlage Bioreaktor		
Investitionen		**30.000,- €**
Betriebskosten		**10.000,- €**

Pilotanlage IRMA

Mikro-/Membranfilteranlage für Ab- und Grauwasser, KWK-Modul, WW-Speichersystem, verbindende Rohrleitungen, MSR

Investitionen	**120.000,- €**
Betriebskosten	**41.000,- €**
(1 Mannjahr-36.000 €; Wartung/Service/Material-5.000)	
Zwischensumme Pilotanlagen	**222.200,- €**

Kostenrahmen für Forschungsaufgaben

Projektleitung und Koordination 2 Jahre

½ Stelle Projektleitung	59 713,- €
½ Stelle Verwaltung	36 584,- €
Zwischensumme	**96 297,- €**

Landschaftsanalyse 9 Monate

4 MM Wissenschaftlicher Mitarbeiter/in BAT IIa	18.550,- €
1 Monat CTA	3.203,- €
4 Monate stud. Hilfskraft	4.178,- €
Satellitenbilder 8 Miniszenen	5.600,- €
4 Drucksonden, 1 Leitfähigkeitssonde, 4 Temperatursonden	9.000,- €
Zwischensumme	**40.531,- €**

Energiefeld 3 Jahre

12 MM Wissenschaftlicher Mitarbeiter/in BAT IIa	55.649,- €
6 Monate CTA	19.217,- €
6 Monate stud. Hilfskraft	6.276,- €
4 Temperatursonden	4.000,- €
Honorare	12.000,- €
Zwischensumme	**97.142,- €**

Strohfilterverfahren 8 Monate

8 MM Wissenschaftlicher Mitarbeiter/in BAT IIa	37.096,- €
4 Monate CTA	12.812,- €
4 Monate stud. Hilfskraft	4.184,- €
Zwischensumme	**54.092,- €**

Konversion niederwertige Biomasse zu Nährtieren, Aufarbeitung von Abwässern zu Nährlösung 4 Monate

12 MM Wissenschaftlicher Mitarbeiter/in BAT IIa	55.649,- €
6 Monate CTA	19.217,- €
6 Monate stud. Hilfskraft	6.276,- €
Zwischensumme	**81.142,- €**

Konversion von Biomasse und/oder Biogas in Kraft und Wärme, Abwasser- und Grauwasserbehandlung, Hygienisierung durch Phasenwechsel (Dampfphase), Thermische Integration des Klimatisierungssystems (IRMA) 18 Monate

12 MM Wissenschaftlicher Mitarbeiter/in BAT IIa	55.649,- €
6 Monate CTA	19.217,- €
Honorare	16.000,- €
Zwischensumme	**90.866,- €**

Modellierung und Steuerung des Klimatisierungssystems des BIODROM – Winter- und Sommerbetrieb, Schnittstellenoptimierung zwischen Energierohr / Erdwärmetauscher als innovative Hypocaustenebene, Solarheizung, Biogas- und/oder Biomasseverbrennung, klimaoptimierte Pflanzenproduktion, Kondensationsflächen, Wärmerückgewinnung

12 MM Wissenschaftlicher Mitarbeiter/in BAT IIa	55.649,- €
6 Monate CTA	19.217,- €
6 Monate stud. Hilfskraft	6.276,- €
Honorare	12.000,- €
Zwischensumme	**93.142,- €**

Wirtschaftlichkeitsberechnung, volkswirtschaftliche Bewertungsmethodik, Umsetzbarkeit

6 MM Wissenschaftlicher Mitarbeiter BAT IIa	**27.824,50 €**
Zwischensumme	**581.036,50 €**
Gemeinkosten 15 %	**87.155,50 €**
Summe ohne Kosten für Versuchanlagen	**668.192,00 €**
Summe Kostenrahmen Phase 1	**890.392,00 €**

Organisationsform

Das Projekt wird durch eine ständige Projektleitung koordiniert. Für die Arbeiten bis zur Entwurfs- und Genehmigungsphase wird ein Bearbeitungszeitraum von 2 Jahren vorgesehen. Die oben genannten Arbeitsschwerpunkte werden durch externe Spezialisten und unter Einbeziehung von Praktikanden und Doktoranden abgearbeitet. Die fachliche Begleitung des Gesamtprojektes erfolgt durch eine Expertengruppe des An-Institutes Aqua Terra, Technische Universität Berlin.

Angestrebte Kooperationen

Prof. M. Narodoslawsky, TU-Graz, Institut für Verfahrenstechnik
Dr. J. Pokorny, ENVI, Fresnelltechnik und Gewächshaustechnik, Trebon
Prof. Dr. Schmidt, HU Berlin, Steuerung Gewächshausklimatisierung
Prof. Dr. E. Herzog, Technische Fachhochschule Berlin

und Industriepartner, u.a.

Solo Kleinmotoren GmbH, Sindelfingen
enginion AG, Berlin
Sulzer Hexis, Schweiz

2. Phase: Planung für Umsetzung und Realisierung

Vorplanung, Entwurfs- und Genehmigungsplanung

Umstellung des Betriebes auf regenerative Energieträger
Errichtung einer Kraft-Wärme-Kopplung
Entwurf und Genehmigungsplanung
0,5 Mannjahre 160 h/Monat x 52 €/h x 6 Monate **49.920,- €**

Anlagenplanung Strohfilter und Bioreaktor
Entwurf und Genehmigungsplanung für die
technische und wirtschaftliche Sofortlösung
0,25 Mannjahre 160 h/Monat x 52 €/h x 3 Monate **24.960,- €**

Nutzung der Solarenergie, Einsatz eines Kombikollektors
Entwurf und Genehmigungsplanung für die
technische und wirtschaftliche Sofortlösung
0,25 Mannjahre 160 h/Monat x 52 €/h x 3 Monate **24.960,- €**

Grau- und Regenwasserbehandlungsanlage
Entwurf und Genehmigungsplanung für die
technische und wirtschaftliche Sofortlösung
0,25 Mannjahre 160 h/Monat x 52 €/h x 3 Monate **24.960,- €**

Integrierte Recycling Machine (IRMA) inkl. KWK-Modul
Modulauswahl, Entwurf der technischen Lösung
0,5 Mannjahre 160 h/Monat x 52 €/h x 6 Monate **49.920,- €**

Klimatisierungstechnik
Konstruktion und Testung selbstreinigender Filtertechnik
0,5 Mannjahre 160 h/Monat x 52 €/h x 6 Monate **49.920,- €**

Grundlagenermittlung, Vorentwurf, Bauantragsreife
Prototyp BIODROM analog Standort Brodowin **74.048,- €**

Summe Kosten Phase 2 **298.688,- €**

<u>Phase 3:</u> **Umsetzung**

Kosten der Realisierung in Abhängigkeit vom Standort des BIODROM´s:

Kostenansätze (€ netto)Prototypen 1 - 5
reine Baukosten (A), Planung (B,C,D)

	A Anrechen-bare Kosten 3) Mio €	B Gesamtplaner-kosten HOAI (geschätzt ca. 17% von A) Tsd €	C Grundlagen-ermittlung/Vorentwurf HOAI (10% von B) Tsd €	D Grundlagen Ermittlung/Vorentwurf Entwurf HOAI (21% von B Bauantragsreife) Tsd €
Prototyp 1	0,08	12,78	1,28	2,80
Prototyp 2	0,86	142,40	14,30	29,90
Prototyp 3	2,30	390,60	39,10	82,10
Prototyp 4	1) 1,07	182,50	18,20	38,40
Prototyp 5	2) 0,64	109,40	11,00	23,00

1) BIODROM - bedingte Mehraufwendungen (geschätzt)
2) BIODROM - bedingte Mehraufwendungen (geschätzt)
für 6 Reihenhäuser, 12 Wohnungen einer Wohngruppe in Stendal-Süd
3) ermittelt über Kostenindex BRIa

Gesamte **technische Konfiguration** für die **dezentrale**
Ver- und Entsorgung des BIODROM-Gebäudes
(IRMA-Integrierte Recycling Maschine) **ca. 80.000,- €**

Biogasanlage zur Produktion von ca. 35 Nm³/h Biogas inkl.
KWK-Anlage und Wärmeauskopplung zur kompletten Versorgung
eines Landw.betriebes analog Brodowin mit E-Energie,
Dampf und Warmwasser **270.000,- €**

Anschaffungskosten für einen **Häksler** **175,000,- €**

7 Aufgabenstellung für die Ermittlung der Wirtschaftlichkeit

Auf der Grundlage der unter Kapitel 6 ermittelten Kosten und eine Mischfinanzierung aus klassischer Projektfinanzierung über einen Investor und Fördermittel wird im Zuge der ersten Bearbeitungsphase die Wirtschaftlichkeit ermittelt. Dies erfolgt im wesentlichen parallel zur Projektbearbeitung, da wichtige Faktoren der Wirtschaftlichkeit noch nicht abschließend definiert werden können.

Das betrifft:

Energiebedarf und -kosten, Inputbezugsbedingungen, Laufzeit der Anlage bzw. von Teilen der Anlage, Gesamtdimensionierung und Dimensionierung der einzelnen Module (Subsistenz durch Integration bzw. Variation), Investitionskosten, Raumbedarf einzelner Inputfaktoren, Umtriebszeit einzelner Inputfaktoren, räumliche Anordnung der Produktionsfaktoren zueinander, Personalbedarf, Wartungskosten, Lebenszyklus (Nutzungsdauer) der technischen Einzelkomplexe, Abschreibungsmöglichkeiten.

Unter Wirtschaftlichkeitsgesichtspunkten ist festzuhalten, dass generell bei der energetischen Nutzung von Biomasse ein zusätzlicher Aufwand in Form von höheren Investitionskosten, Lagerkosten, Transportkosten und ein erhöhter Wartungs- und Bedienungsaufwand anfällt. Höhere Kosten dieser Art sind nur über geringere Rohstoffkosten auszugleichen. Die Vorteilhaftigkeit des BIODROM´s im Vergleich zu klassischen „Biomasseanlagen“ soll aufgezeigt werden und damit auch die wirtschaftlichen Vorteile der dezentralen Nutzung nachwachsender Rohstoffe im Systemverbund „BIODROM“.
Wird die Wirtschaftlichkeit des BIODROM´s durch eine realitätsnahe prozentuale Variation der einzelnen Parameter unwesentlich beeinträchtigt, kann das Ergebnis als verlässlich betrachtet werden. Das Ergebnis kann allerdings nur eine Näherungsbetrachtung sein, da für eine Vielzahl von Parametern bestimmte Annahmen unterstellt werden. Die Verifizierung muss durch das Pilotprojekt erbracht werden.

8 Literatur / Verweise

Björk, S. & Graneli, W., 1978: Energy Reeds and the Environment. Ambio, Vol.7, No. 4

Burger, F., Remler, N., Schirmer & R., Sinner, H.-U. (1996): Schnellwachsende Baumarten, ihr Anbau und ihre Verwertung – Beiträge eines Fachgespräches. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (Hg.). – Freising

FISCHER, S. (im Druck): Corn Bunting *Miliaria calandra* (Linnaeus 1758). In: FLADE, M., H. PLACHTER, R. SCHMIDT & A. WERNER (Hrsg.) 2001 (im Druck): Nature Conservation in agricultural ecosystems. Results of the Schorfheide-Chorin Research Project. Quelle & Meyer, Wiebelsheim.

FLADE, M. in Vorber.: Die Brutvögel der biologisch-dynamisch bewirtschafteten Gemarkung Brodowin, Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin. Erscheint voraussichtlich in „Die Vogelwelt“, 2001.

Flaig, H. & Mohr, H. (Hrsg), 1993: Energie aus Biomasse. Berlin

FUCHS, S. & B. SAACKE im Druck: Skylark *Alauda arvensis*. In: FLADE, M., H. PLACHTER, R. SCHMIDT & A. WERNER (Hrsg.) 2001 (im Druck): Nature Conservation in agricultural ecosystems. Results of the Schorfheide-Chorin Research Project. Quelle & Meyer, Wiebelsheim.

GOTTSCHALL, R., C. SCHÜLER, C. RICHTER & H. VOGTMANN 1992: Untersuchungen zu Qualität, Düngewert und Bodenverbesserungseigenschaften von Festmistkomposten bei unterschiedlicher Rottesteuerung. F & E-Bericht “Langfristige Landwirtschaft”, FÖL d. Universität GH Kassel (unveröffentlicht).

Hellström, D.; Johansson, E. 1999: Swedish experiences with urine separating systems. In: Wasser&Boden 51 (11), S. 26-29

Hildmann, C., 1999: Temperaturen in Zönosen als Indikatoren zur Prozeßanalyse und zur Bestimmung des Wirkungsgrades. Dissertation am Fachbereich 7 der Technischen Universität Berlin. Mensch-und-Buch-Verlag, 1999

Jedicke 1990: zitiert aus: van Elsen, Daniel: Naturschutz praktisch, SÖL Bad Dürckheim 2000

Kaltschmidt, M., Reinhardt G.A., Radtke, J. u.a. 1997): Nachwachsende Energieträger – Grundlagen, Verfahren, ökologische Bilanzierung. Kaltschmidt, Reinhardt (Hg.). – Braunschweig, Wiesbaden

Körting, J.,1999: Strom aus fester Biomasse-Der neue Dampfschraubenmotor, klein und wirtschaftlich, Vortrag: BENO Bioenergie Niedersachsen, 1999, Göttingen

KRETSCHMER, H., H. PFEFFER, J. HOFFMANN, G. SCHRÖDL, I. FUX 1995: Strukturelemente in den Agarlandschaften Ostdeutschlands - Bedeutung für den Biotop- und Artenschutz. ZALF-Bericht Nr. 19. Müncheberg.

Lange, J., Otterpohl, R., 1997: Abwasser: Handbuch zu einer zukunftsfähigen Wasserwirtschaft. Donaueschingen-Pfohren: Mall-Beton-Verl.

Larsen, T.A.; Gujer, W. 1996: Separate management of anthropogenic nutrient solutions (human urine). In: Water Science & Technology 34 (3-4, pp. 87-94

Löloff, 2001: Niedersächs. Umweltministerium, Vortrag Naturschutz und Landwirtschaft im Dialog, Vilm Nov. 200

Obernberger, I., 2000: Thermische Nutzung fester biogener Brennstoffe, VDI Schriftenreihe “Regenerative Energien in Ungarn und Deutschland""ISBN 3-931384-32-2,VDI-Verlag GmbH 2000

Osterroth, D., 1996: Biomasse – Rückkehr zum ökologischen Gleichgewicht. Heidelberg

Petersen,H., Bachinger,K., Fuchs,S., 2001: Projektskizze E.u.E. Vorhaben des Bundesamtes für Naturschutz: Naturschutzhof Brodowin (2001)

Pontenagel, 2000:Landwirt als Energiewirt, Eurosolarkonferenz Tagungsband,GrüneWoche 2000 Berlin, Eurosolar-Verlag Bonn 2000

Renger, M. & Wessolek, G., 1991: Vorlesungsskript für das Wahlpflichtfach Bodenökologie WS 1991/92. Institut für Ökologie, Fachgebiet Bodenkunde, TU-Berlin

Ripl, W. Backhaus, R., Blume, H.-P. Trillitzsch, F., Widmoser, P., 1996: Entwicklung eines Land-Gewässer Bewirtschaftungskonzeptes zur Senkung von Stoffverlusten an Gewässer (Stör-Projekt I und II). Endbericht. Im Auftrag des Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) und des Landesamtes für Wasserhaushalt und Küsten Schleswig-Holstein, Förderkennzeichen 0339310A und 0339538.

Skjelhaugen, O.J. 1999: Closed systems for local reuse of blackwater and food waste, integrated with agriculture. In: Water sience and technology 39 (%), pp.161-168

Staudenmann, J. & Junge-Berberovic, R., 2000: Treating Biogas Plant Effluent through Aquaculture: First Results and Experiences from the Otelfingen Pilot Plant Switzerland

STEIN-BACHINGER, K. 1998: Leistungen und Potentiale des Ökologischen Landbaus für den biotischen und abiotischen Ressourcenschutz. In: NABU-Landesverband Brandenburg e.V., Potsdam, Tagungsband Arten- und Ressourcenschutz in der Landwirtschaft: 27-40

STEIN-BACHINGER, S. FUCHS UND H. PETERSEN 2001: Integration von Naturschutzzielen in Produktionssysteme des Ökologischen Landbaus – Möglichkeiten und Konfliktfelder (im Druck)

Stumm, W., 1985: Chemical Processes in Lakes. Environmental Science & Technology. A Wiley Intersience Series of Texts and Monographs, 1985

VOGTMANN, H. 2000: Vortrag am 13.2. 2000 auf der Umweltkonferenz “Neue Allianzen”

Wackernagel, M. & Rees, W. 1997: Unser ökologischer Fußabdruck – Wie der mensch Einfluß auf die Umwelt nimmt. Basel, Berlin, Boston 1997

Zentralblatt für Geologie und Paläontologie, Jahrgang 1999, Heft 1/2, Schweizerbart`sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart 1999

Abwasser: Nährstoffquellen und –einträge aus Literaturangaben

Diem, K., Lentner, C. (Red.), 1975: Documenta Geigy: Wissenschaftliche Tabellen. 7. Ausgabe, Stuttgart, Thieme

Jönsson, H., Vinneras, B., Höglund, C. Stenström, T.-A., 1999: Source separation of urine. Wasser & Boden 51 (11), S. 21-25

Larsen, T. A., Gujer, W., 1996: Separate management of anthropogenic nutrient solutions (humane urine). Water science and Tevhnology 34 (3-4), pp. 87-94

Pöpel, F., 1993: Lehrbuch für Abwassertechnik und Gewässerschutz. Wiesbaden Dt. Fachschriften Verl.

Internet

Biomasse – Hackschnitzellogistik (BioM1) Endbericht zum LeaderII Projekt (2000):
www.telesis.at/regio/biomasse/abbericht/abschlußbericht_biom.htm

Düngung und Ertrag - Langzeitstudien
www.Landw.uni-halle.de/Ifak/inst./boku/gesamt.htm

„switchgrass“
http://bioenergy.ornl.gov/misc/switgrs.html)

Pelletierung – Kosten:

www.reap.ca/Reports/Pellet%201999%20report.htm

Wärme aus Holz im Haushalt:
www.BEAPotsdam.de
Energiefelder und Photovoltaik im Landwirtschaftsbetrieb
(http://www.verbraucherministerium.de/welternaehrung/fao_aktuell-2001/fa2001-15-16.htm).

Flächennutzung in Deutschland
http://www.umwelt-deutschland.de/y/db_11_11_y_j_00.html

Einwohnerzahl in Deutschland
http://www.laender.purespace.de/laender/deutsch.htm

Aufbereitung und Nutzung von Biogas als Treibstoff
http://www.energie-cites.org/PDF/berlin

Vergasung fester Biomasse
http://www.tab.fzk.de/projekt/zusammenfassung/AB49.htm

Weiter verwendete Literatur

Daniels, K., 1995: Technologie des ökologischen Bauens. Birkhäuser Verlag, Basel • Boston • Berlin, 1995

Haefele, G., Oed, W., Sambeth, B.M., 1996: Baustoffe und Ökologie, Wasmuth, 1996

Herzog, Th., (Herausgeber), 1996: Solar Energy in Architecture and Urban Planning. Prestel Munich • New York, 1996

Hillmann, G., Nagel, J., Schreck, H., 1983:Klimagerechte und energiesparende Architektur , 3. Aufl., Verlag C.F. Müller, Karlsruhe, 1983

Klingele, M., 1994: Architektur und Energie.Verlag C.F. Müller, Karlsruhe, 1994

Krusche, P. und M, Althaus, D., Gabriel, I.1982: Ökologisches Bauen, Bauverlag Wiesbaden und Berlin, 1982

Neddens, M. C., 1986: Ökologisch orientierte Stadt- und Raumentwicklung, Bauverlag Wiesbaden und Berlin, 1986

Niche, W., 1988: Glashäuser im Geschosswohnungsbau, Bauverlag Wiesbaden und Berlin, 1988

Treberspurg, M., 1999: Neues Bauen mit der Sonne. Ansätze zu einer klimagerechten Architektur, 2. Aufl., Springer Wien • New York, 1999

Umweltstiftung World Wide Fund (Herausgeber), 1996: Die Statik der Träume. Architektur und Ökologie, Pro Futura München, 1996

Vale, B. und R., 1991: Ökologische Architektur. Entwürfe für eine bewohnbare Zukunft. Campus Verlag Frankfurt • New York, 1991