

APOLLO II

Thermische Nutzung von Hühnermist Phase II

Projekt 36426 Vertrag77003

Ausgearbeitet durch

B. Salerno, J.L. Hersener, F. Dinkel

Im Auftrag des
Bundesamtes für Energie

Schlussbericht Dezember 2001

Auftraggeber:

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

Auftragnehmer:

Schneuwly Oskar
EngelBerg
3178 Böisingen

Autoren:

Basso Salerno	Salerno Engeler GmbH,	Schwengistrasse 12,	4438
Langenbruck	basso.salerno@sesolar.ch		
Jean Louis Hersener	Ing. Büro Hersener,	Untere Frohbergstrasse 1,	8542
Wiesendangen	hersener@pop.agri.ch		
Fredi Dinkel	Carbotech AG	Eulerstrasse 68,	4051 Basel
			f.dinkel@carbotech.ch

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

Bundesamt für Energie BFE

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

Vertrieb:

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

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
1. Ausgangslage	5
2. Ziel	6
3. Ergebnisse	7
3.1. Hühnermist als Brennstoff	7
3.2. Logistik	8
3.3. Feuerung und Verteilung	9
3.4. Energie	11
3.5. Emissionen	11
3.5.1 Emissionen 1. Prototyp	11
3.5.2 Erfahrung mit dem 2. Prototyp	13
3.6. Asche	15
4. Ökobilanz	16
4.1. Einleitung	16
4.2. Methodik und Vorgehen	16
4.2.1. Problemstellung und Rahmenbedingungen	16
4.2.2. Sachbilanz	18
4.2.3. Wirkbilanz	20
4.2.4. Bewertung	20
4.2.5. Aussagekraft und Darstellung	20
4.3. Ergebnisse	21
4.3.1. Prozesskette	21
4.3.2. Szenarien „Asche als Dünger“ und „Reduktion der Ammoniakemissionen“	25
4.3.3. Szenarienvergleich	26
4.4. Interpretation	29
5. Wirtschaftlichkeit	30
6. Schlussfolgerungen	33
6.1. Technik	33
6.2. Ökobilanz	33
6.3. Wirtschaftlichkeit	34
6.4. Rechtslage	34
7. Ausblick	35
8. Dank	35
Literaturverzeichnis	36

Zusammenfassung

Ziel

Ziel des Projektes APOLLO 2 (Fortsetzung von APOLLO 1) ist eine emissionsarme, übersichtliche und bedienungsfreundliche Pilot-Anlage zu planen, zu bauen und zu testen, die Hühnermist als Brennstoff verwendet. Weiter ist eine Ökobilanz und eine Wirtschaftlichkeitsanalyse vorgesehen.

Anlage

Die Pilotanlage ist in Böisingen (FR) installiert. Es handelt sich um ein automatisches Feuerungsaggregat mit rotierendem Rost der Firma Lopper Kesselbau AG. Im November 2000 wurde der erste Prototyp der Feuerung inbetrieb genommen. Dieser wurde weitgehend verbessert. Im November 2001 wurde der Feuerungsteil komplett erneuert.

Die gesamte Anlage (Leistungsbereich 250-350 kW) liefert durch eine Fernleitung Wärme an 2 Hühnerhallen sowie 2 Wohnungen. Im Sommer wird zusätzlich eine Trocknungsanlage mit Energie versorgt.

Resultate Emissionen

Auch wenn die gesetzten Ziele bezüglich Emissionen nicht vollständig erreicht sind, kann die Schadstoffbilanz als zufriedenstellend bezeichnet werden. Stickoxid-Werte konnten stark reduziert werden und Ammoniak war nicht nachweisbar. Ein Vergleich mit den LRV-Altholz-Grenzwerte zeigt, dass Staub und Chloride die Grenzwerte nicht unterschreiten. Die auf die ungünstige Primärluft-Verteilung zurückzuführende Rost-Instabilität wurde beim zweiten Prototyp beseitigt.

Resultate Ökobilanz

In der Bilanz wird die aktuelle landwirtschaftliche Verwendung von Hühnermist als Dünger mit der Möglichkeit der thermischen Nutzung und der Rückführung der Asche als Düngemittel verglichen. Für die Beurteilung spielen folgende Punkte eine wichtige Rolle:

- Lagerung des Mistes da hierbei Ammoniakemissionen entstehen
- Aschequalität bezüglich Schwermetallgehalt, welcher bei der Rückführung als Dünger massgebend ist.

Die Gesamtbeurteilung zeigt, dass die thermische Nutzung des Hofdüngerbrennstoffes gleich oder leicht besser abschneidet, als die konventionelle Verwendung in der Landwirtschaft. Werden alle Optimierungsmöglichkeiten bei der Verbrennung und Lagerung ausgeschöpft, lässt sich die thermische Nutzung als ökologisch klar besser einstufen als die konventionelle landwirtschaftliche Verwendung von Hofdünger.

Wirtschaftlichkeit

Ölpreis, Aschenentsorgung (oder Verwertung), Grösse einer Anlage und Energiedeckungsanteil sind die wichtigen Faktoren, welche die Wirtschaftlichkeit beeinflussen. Mit der Analyse der Sensitivität dieser Faktoren kann festgestellt werden, dass es ohne weiteres Bereiche mit realistischen Annahmen gibt, die für die Wirtschaftlichkeit von HMB-Anlagen sprechen.

Rechtslage

Bezüglich Luftreinhalteverordnung. Nach aktuellem Stand sind die betrachteten Hofdüngersortimente nicht als Brennstoff definiert, bezüglich LRV ist keine Gesetzeskonformität gegeben. Da jedoch im Verlauf verschiedener Forschungsprojekte ein Bedarf für einen spezifischen Artikel, welcher die übrigen Biomassesortimente umfasst, aufgezeigt wurde, kann davon ausgegangen werden, dass für die hier untersuchten Hofdüngerbrennstoffe eine Anpassung im Zuge der nächsten LRV-Revision durchgeführt wird.

Gewässerschutzgesetz. Das Gewässerschutzgesetz (Art.6) sieht vor, dass der in der Landwirtschaft anfallende Hofdünger ausschliesslich in der Landwirtschaft oder im Gartenbau wiederverwertet wird. Über die Interpretation des Gesetzestextes existieren zur Zeit sehr unterschiedliche Auffassungen. Nach Auffassung der Projektleitung wird das Ziel des Gesetzes erreicht. Mit der Wiederverwendung des anfallenden Düngers durch dessen energetische Nutzung in diesem Betrieb ist die ausschliesslich landwirtschaftliche Nutzung gegeben. Der Kreislauf bleibt geschlossen. Da sogar eine ökologische Verbesserung resultiert, ist eine Fortsetzung der Diskussion unter Einbezug aller betroffenen Parteien notwendig.

1. Ausgangslage

Mehr als 350 Betriebe in der Schweiz sind im Bereich Poulet-Mast tätig. Die Produktion erfolgt in standard-Hühnerhallen von 300 m² und 2.2 m Höhe. In einer Standard-Hühnerhalle (A1.1) dürfen in der Schweiz bis maximal 5'000 (in Deutschland bis 10'000) Küken untergebracht werden. Die Küken bleiben 43-48 Tage in der Halle. Die Temperatur wird am Anfang bei 32°C gehalten und sinkt in den 40 Tagen kontinuierlich bis auf 22 °C. Für die Heizung der Halle werden durchschnittlich pro Jahr (8 Produktionszyklen) 5'000 Liter Heizöl verbraucht.

Eines der bedeutendsten Probleme für viele dieser Betriebe, ist die Beseitigung des anfallenden Hühnermistes.

Nach bisheriger Gesetzgebung wird in der Schweiz Hühnermist ausschliesslich zu Dünge Zwecken zugelassen. Internationale Abklärungen ergeben, dass die Verwendung von Hühnermist als Brennstoff in zentralen Fernheizanlagen ökologisch interessante Resultate liefern.

Im Projekt APOLLO I wurden Lösungen für eine dezentrale energetische Nutzung von Hühnermist gesucht. Aufgrund der vielversprechenden Resultate in der Feuerungstechnik sowie dem positiven Fazit einer groben Ökobilanz wurde ein Pilot-Projekt gestartet, um weitere Erkenntnisse vor allem in bezug auf Lebensdauer, Betriebssicherheit, Logistik sowie die Umweltrelevanz einer Anlage zu eruieren



A 1.1 Standard Hühnerhalle à 5000 Hühner. Im vorderen Teil ist der Oelkessel untergebracht.

2. Ziel

Projektziel Anlage

Das Ziel des Projektes APOLLO II (Fortsetzung von APOLLO I) ist eine emissionsarme, übersichtliche und bedienungssichere Pilot-Anlage zu planen, bauen und zu testen, welche Hühnermist als Brennstoff verwendet. Dabei soll es sich um ein automatisches Feuerungsaggregat handeln, das zukünftig in einer Standardhalle (Stall) eingebaut werden kann. So können die Betriebskosten (Heizöl und Entsorgung) gesenkt werden. Da in der Regel genügend Hühnermist vorhanden ist (nur 1/3 des Mistes wird zum Heizen der Halle benötigt), ist es denkbar mit einer Fernleitung Wohnungs- und Betriebsgebäude zu heizen. Um die optimalen Betriebsbedingungen zu eruieren, werden verschiedene Hühnermist-Mischungen mit unterschiedlichem Wassergehalt untersucht. Weiter soll die Lebensdauer und der eventuale Anteil an Ersatzteilen bestimmt werden.

Folgendes Ziel wird angestrebt:

Kosten	< 80'000 CHF pro installierter Anlage
Emissionen Grenzwerte	Schweizerische Luftreinhalteverordnung für Altholz
Wirkungsgrad	> 85 %

Projektziel Ökobilanz

Ein Vergleich der Umweltbelastung zwischen der aktuellen Lösung und der Verbrennung wird systematisch und im Detail durchgeführt. Damit sollen die relevanten Umweltauswirkungen eruiert und Optimierungspotentiale ermittelt werden. Es können wichtige Informationen für eine Ergänzung der gesetzlichen Bestimmung der Mist-Verbrennung (auch bei anderen Tierhaltungen und Mastbetrieben) geschaffen werden.

Wesentliche Punkte zur Beurteilung der energetischen Nutzung des Hühnermistes ist die Nutzung der Asche, die Auswirkungen auf die Umwelt, die Ascheverwertung und der technischen Machbarkeit. Die Umweltauswirkung und die Machbarkeit sollen auch eine Grundlage für eine Neubeurteilung der aktuellen rechtlichen Situation sein.

3. Ergebnisse

3.1. Hühnermist als Brennstoff

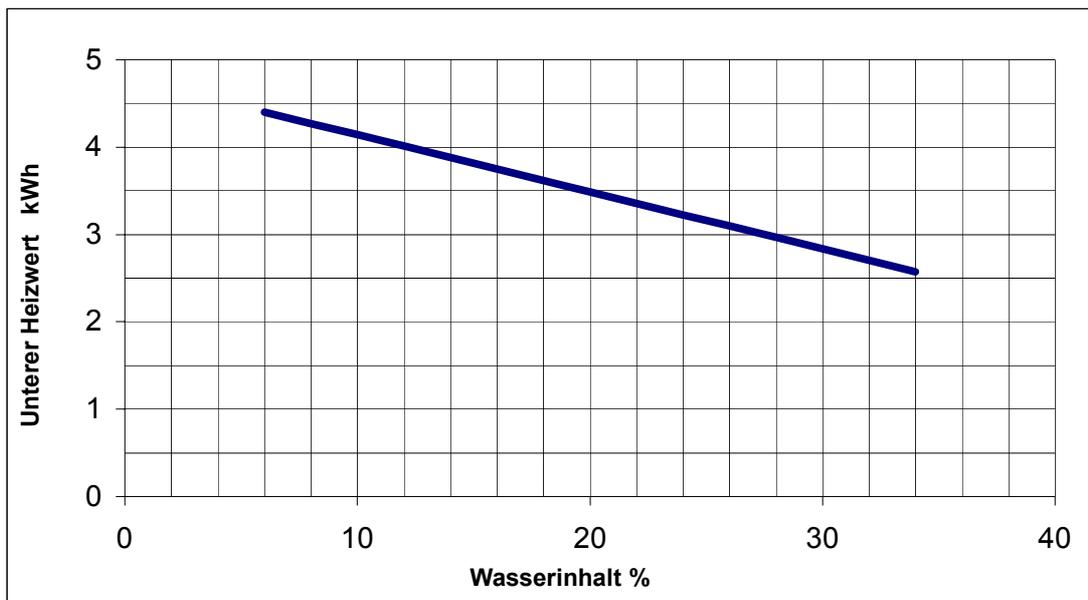
Hühnermist kann im Vergleich zu Holz aufgrund seiner Zusammensetzung als schwieriger Brennstoff eingestuft werden. Der Brennstoff ist zwar relativ trocken (16-25 % Wasserinhalt), weist aber einen tieferen Ascheschmelzpunkt auf und neigt ohne geeignete Gegenmassnahmen zur Verschlackung. Die Struktur des Materials, welche eine lose Mischung und keinen kompakten Körper darstellt, fördert zusätzlich die Staubbildung.

Die untenstehende Analyse (T 3.1.1.) zeigt die Zusammensetzung sowie die wichtigsten physikalischen Parameter des Hühnermistes:

in kg / Tonne (trocken)	Mist frisch	Pellet	Bricket feucht	Bricket trocken
Organische Substanz	773	823	839	841
Gesamtstickstoff	50	45	51	45
Ammoniumstickstoff	14	5	7	6
Wirksamer Stickstoff	22	14	17	15
Phosphat (P2O5)	53	50	43	43
Kali (K2O2)	34	32	30	29
Magnesium (Mg)	10	8	8	8
rel Feuchtigkeit (atro) in %	75	15	33	22

T 3.1.1. Zusammensetzung von Hühnermist in unterschiedlicher Aufbereitung

Der untere Heizwert hängt von der Feuchtigkeit ab und liegt zwischen 2.5 und 4 kWh/kg (bezogen auf die feuchte Masse). In A 3.1.1 ist der untere Heizwert in Funktion des Wasserinhaltes (kg Wasser pro kg Brennstoff feucht) dargestellt.



A 3.1.1. Der Untere Heizwert von Brennstoff Hühnermist.

Rund 350 Pouletmast-Betriebe produzieren in der Schweiz. Teilweise weisen diese einen Nährstoffüberschuss auf d.h. die Nutzung des Hühnermistes als Dünger muss ausserbetrieblich gelöst werden. Somit stellt dieser Brennstoff auch bezüglich Energiepotential einen wichtigen Faktor dar. Die Tatsache, dass oftmals zu viele Nährstoffe auf den Betrieben vorhanden sind und dass Hühnermist vor allem im Frühjahr auf den Feldern eingesetzt wird, bedingt zusätzlich einen nicht zu vernachlässigenden Lagerbedarf. Dies hat einerseits höhere Kosten pro Dängereinheit zur Folge, andererseits ist mit grösseren Stickstoffverlusten während der Lagerung zu rechnen. Solche Stickstoffverluste bedeuten aber auch immer eine erhöhte Umweltbelastung (Ammoniakemissionen).

Für Hühnermist werden speziell modifizierte Feuerungsanlagen gebraucht. Die Zumischung von Holz oder anderen „einfacheren“ Biomassesortimenten ist jedoch kein Problem. Hierdurch lässt sich das Abbrandverhalten verbessern und durch den grösseren Materialanfall lassen sich grössere bzw. günstigere Anlagen konzipieren, deren Überwachung und Prozesskontinuität sichergestellt ist.

3.2. Logistik

Der grösste Teil des Brennstoffes fällt lokal beim Produzenten an. Im Falle einer dezentralen Lösung ist ein Transport oder eine spezielle Aufbereitung nicht notwendig. Eine Pelletierung kann allenfalls bei einem überbetrieblichen Einsatz bzw. bei grösseren Transportdistanzen von Vorteil sein. In der Regel wird aber durch die energetische Nutzung des Hühnermistes mehr als der Wärmebedarf der Stallungen gedeckt, was für den Betrieb sogar Wärme-Energieautonomie bedeuten kann.

Ein wesentlicher Punkt der Logistik ist die Lagerung des Hühnermistes. Der konventionell verwendete ungedeckte Miststock, welcher während rund acht Monaten ansteigt, emittiert konstant Ammoniak. Durch eine gedeckte Lagerung und insbesondere durch das Ansaugen von Verbrennungsluft über den Miststock, lassen sich die Ammoniakemissionen stark senken. Da während des ganzen Jahres durch das alle 45 Tage wiederkehrende Einstellen von Jungtieren Brennstoff für die Hallenheizung notwendig ist, reicht eine geringere Lagerkapazität aus. Hierdurch werden weitere Ammoniak-Emissionen vermieden. Neben Ammoniak kann auch mit einer Reduktion der immer bedeutender werdenden Geruchsemissionen gerechnet werden.

Neben der Brennstofflogistik ist auch die Ascheausbringung wichtiger Bestandteil des geschlossenen Kreislaufes. Asche, welche nur noch ca. 10% des Brennstoffes ausmacht enthält vor allem die Nährstoffe Phosphor, Kali und Magnesium und sie kann einerseits leicht transportiert und andererseits mit in der Landwirtschaft bekannten Maschinen ausgebracht werden.

3.3. Feuerung und Verteilung

Die Energieanlage bei Hof Schneuwly besteht aus den folgenden Komponenten:

Energieerzeugung	Silo, Feuerung, Speicher
Verwendung	Hühnerställe, Wohnhäuser, Trocknungsanlage, Warmwasser Kuhstall. Die Komponenten sind mit einer Fernleitung verbunden (siehe Schema).

Die Freisetzung der Energie erfolgt in drei Schritten (ABB. 3.3.1.):

- Primäre Verbrennung (I) Sie findet in einem wassergekühlten Brennraum statt. Der Hühnermistbrennstoff (HMB) fällt von oben auf einen rotierenden Rost. Mittels zwei rotierender Roste wird die Asche aus dem Brennraum in den Aschenfall geführt und von dort mit zwei Schnecken abtransportiert. Die Zündung erfolgt mittels Heissluftgebläse.
- Sekundäre Verbrennung (II) In der Nachbrennkammer werden hohe Temperaturen, lange Verweilzeiten und eine sanfte Sauerstoffdurchmischung sichergestellt.
- Wärmeaustausch (III) Die Abgase werden in einem Abgas-Wasser-Wärmetauscher abgekühlt.

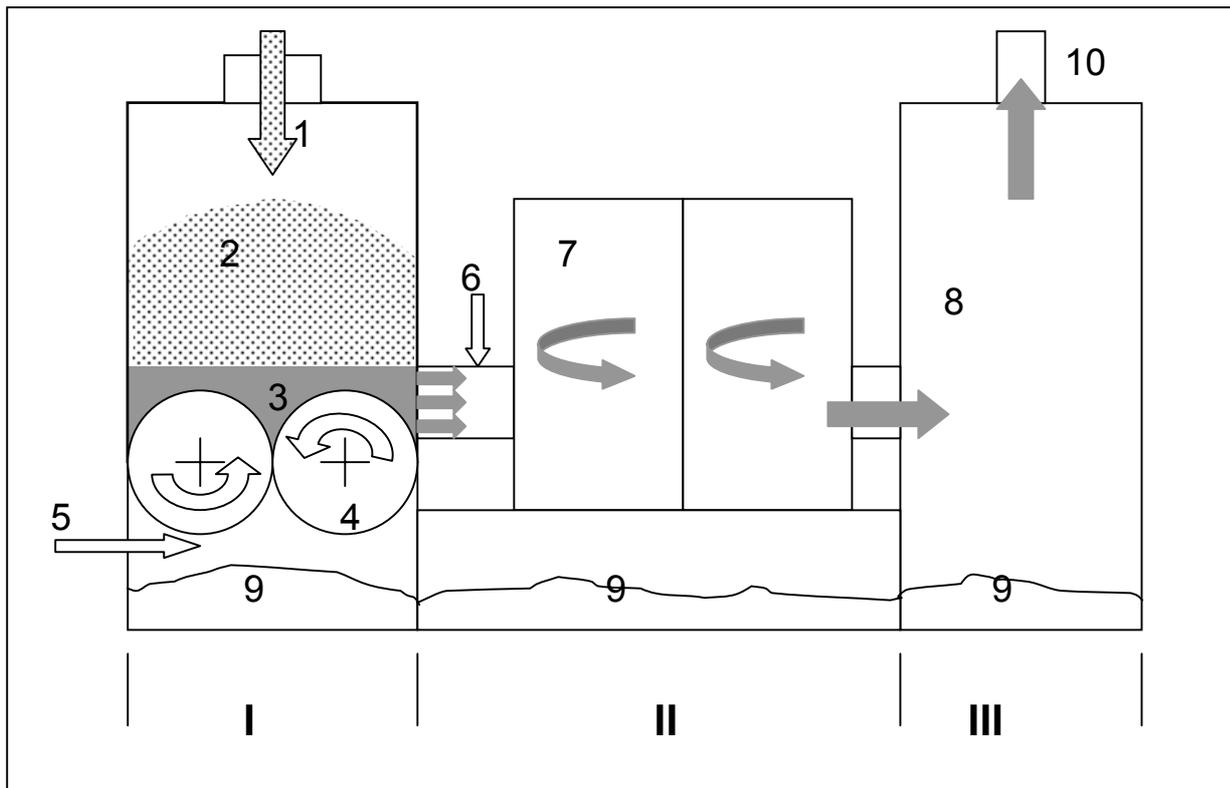
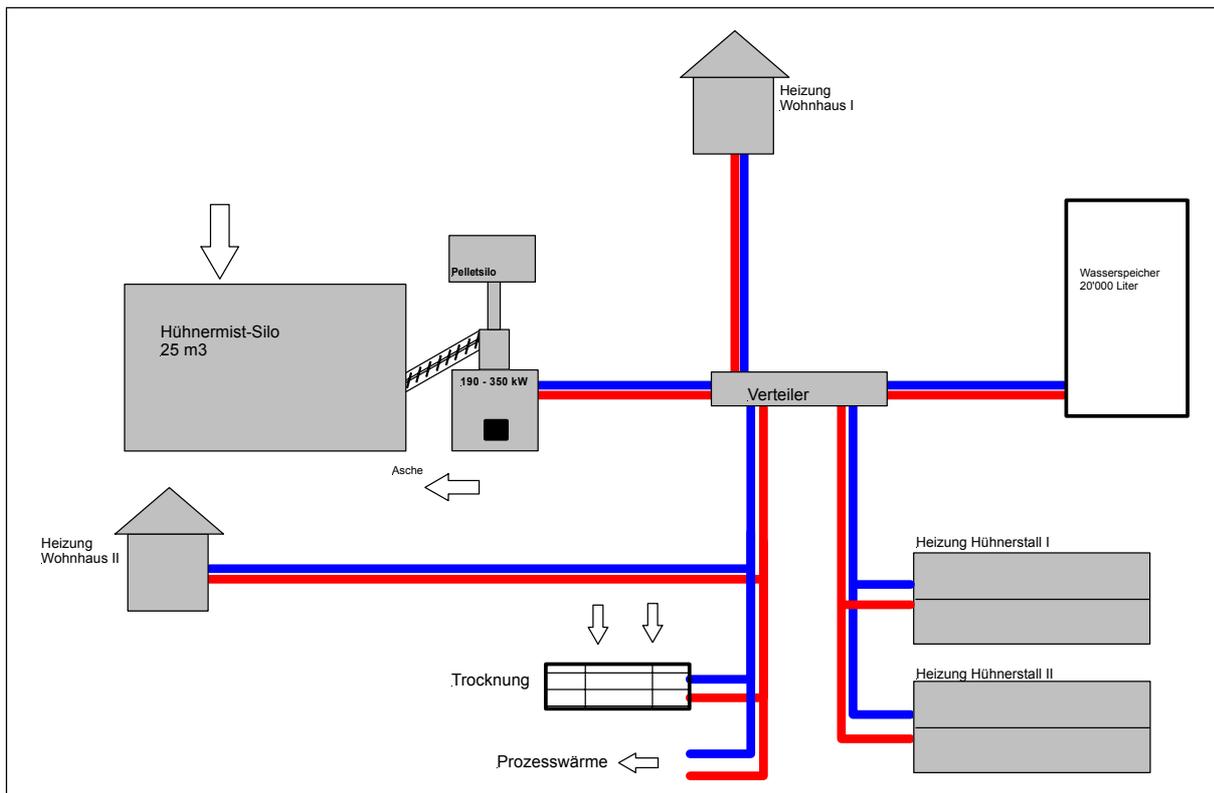


ABB. 3.3.2. Prinzipschema der Feuerung. 1 Hühnermistzufuhr, 2 Hühnermist, 3 Glutbett, 4 Rollrost, 5 Primärluft, 6 Sekundärluft, 7 Zyklon, 8 Wärmetauscher, 9 Asche und Austragung, 10 Kamin

Im vorliegenden Projekt wird die erzeugte Energie für folgende Zwecke genutzt:

- Heizung und Warmwasser für 2 Wohnungen
- Heizung zweier Hühnerställe
- Trocknung (Sommer)
- Warmwasser Kuhstall

Die Verteilung erfolgt durch eine Fernwärmeleitung. In A. 3.3.2. ist die gesamte Anlage schematisch dargestellt. Die Nutzung von Pellets als Starthilfe wurde erst im Lauf des Projektes (2. Prototyp) entschieden, da die Startphase mit reinem HMB sich als problematisch herausgestellt hat.



A. 3.3.2 Gesamtanlage Schema. Die Pellets aus dem Silo garantieren einen einwandfreien Start, der 20 m³-Speicher eine Betriebsphase ohne Aus- und Einschasten von mindestens 8 Stunden.

3.4. Energie

Im Jahr fallen 160 m³ Hühnermist an. Das entsprechen 80 Tonnen oder ein Energieäquivalent von 280'000 kWh/a. Der Heizwert beträgt bei einem durchschnittlichen Wasserinhalt von 20 % etwa 3.5 kWh/kg (Siehe T 3.4.1.).

	kWh/a	%
Hühnerhallen	90'000	32
Wohnungen	60'000	21
Trocknung / Prozesswärme	100'000	36
Verluste Fernleitung/Feuerung (Schätzung)	30'000	11
Total	280'000	100

T 3.4.1 Wärmeverteilung der gesamten Anlage Schneuwly.

3.5. Emissionen

3.5.1 Emissionen 1. Prototyp

Die Messungen wurden von der Firma Tino Wehrli (Sitz 5103 Möriken) durchgeführt. Die Messungen wurden nach der Luftreinhalteverordnung (LRV) Art. 13 realisiert. Eine Messung besteht aus 3 Zeit-Intervallen von 15 Min. (Total 45 Min.). Für die Beurteilung wird der schlechtere von zwei aneinanderliegenden ½ -stündigen Mittelwert genommen.

Als Mess-Brennstoff wurde unverarbeiteter und pelletierter Hühnermist eingesetzt. Siehe Resultate in der folgenden Tabelle.

Brennstoff		Hühnermist rel. Feucht. 30 %			Hühnermist Pellets rel. Feucht. 15 %		
		1	2	3	4	5	6
Dauer	Min.	15	15	15	15	15	15
O ₂	Vol%	7.1	7.8	7.4	7.1	7.1	7.0
Abgastemp.	°C	130	122	103	131	127	124
Feuerungs- Leistung	kW	312	298	216	216	233	237
Abgasverlust	%	6.2	6.6	5.5	6.3	6.1	5.8
Kesselleistung	kW	293	278	204	203	219	223
Staub (N)	mg/m ₃	295	474	515	311	322	400
CO (N)	mg/m ₃	46	1101	1251	12	11	<10
HC (N)	mg/m ₃	15	67	57	4	4	4
SO ₂ (N)	mg/m ₃	296	367	328	894	895	876
NO _x als NO ₂ (N)	mg/m ₃	272	246	212	298	296	262
NH ₃ (N)	mg/m ₃	0	0	0	0	0	0
HCl (N)	mg/m ₃	106	112	109	103	103	102
Massenstrom ½ h Mittelwert							
NO _x als NO ₂ (N)	g/h	-	259	229	-	297	279
SO ₂ (N)	g/h	-	332	348	-	894	885

T 3.5.1.1. Emissionen mit unverarbeitetem und pelletiertem Hühnermist.

Die erzielten Resultate lassen folgende Bemerkungen zu:

Feuerleistung	Die Feuerungsleistung liegt mit zwischen 210 und 300 kW unter den Erwartungen. Rostgrösse und Luftverteilung bestimmen die maximal erreichbare Leistung. Dazu sind weitere Erfahrungen notwendig.
Effizienz	Der feuerungstechnische Wirkungsgrad liegt bei über 90 % (gesetztes Ziel: > 85%).
CO	Der Kohlenmonoxid-Ausstoss liegt bei pelletiertem Hühnermist unter dem gesetzten Ziel. Mit unverarbeitetem Hühnermist wurde das Ziel hingegen verfehlt. Die Verbrennung von Hühnermist direkt ab Stall war problematisch. Grund dafür ist der höhere Wassergehalt des Brennstoffes. Wegen Primär-Luftmangel konnte sich im vorderen Bereich des Rostes (beim Brennraumaustritt) kein vollständiges und stabiles Glutbett bilden. Wegen der hohen Brennstoff-Feuchte kühlte die Masse die entstehenden brennbaren Gase ab. Dadurch war die Temperatur in der Nachbrennkammer für eine vollständige Verbrennung nicht mehr ausreichend. Der pelletierte Hühnermist weist einen kleineren Wassergehalt und eine bessere Luftdurchlässigkeit auf, woraus die bessere Verbrennung resultiert. Massnahmen sind vor allem bei der Primärluft-Verteilung zu treffen.
Staub	Die Staubemissionen sind unerwartet hoch. Es kann keine überzeugende Korrelation mit den CO-Werte festgestellt werden. Da sind wirksame Massnahmen zu treffen, welche die Grösse der Anlage und deren Wirtschaftlichkeit berücksichtigen müssen. Lösungen sind noch nicht vorhanden. Weitere Entwicklungsarbeit ist notwendig.
HC	Die Höhe der Kohlenwasserstoffe-Emissionen erreichen bei einer vollständigen Verbrennung mit Werten zwischen 4 und 15 mg/m ³ die Zielvorgabe (siehe Test 1, 4, 5, 6) . Bei Tests (2 und 3) mit unverarbeitetem Hühnermist, bei denen keine vollständige Verbrennung stattgefunden hat, übersteigt der HC-Ausstoss das Ziel von 50 mg/m ³ . Es sind keine weiteren Massnahmen nötig.
SO ₂	Der Schwefeldioxidausstoss übersteigt den gesetzten Grenzwert. Es zeigt sich eine Abhängigkeit von der Brennstoff-Zusammensetzung. Bei unverarbeitetem Hühnermist enthält das Zusatzmaterial (Sägemehl) praktisch keinem Schwefel. Beim Pelletieren ist Stroh (0.14 Gew.% S-Inhalt) als Zusatzmaterial verwendet worden. Da der Massenstrom kleiner als 2500 g/h (Grenzwert für Altholz) ist, werden keine Massnahme getroffen.
NO _x	Die Stickoxid-Werte liegen zwischen 200 und 300 mg/m ₃ . Mit verbesserten Steuerungsparametern sollte sich der Bereich weiter nach unten korrigieren. Mit dem Doppelkammersystem und einer sanften Durchmischung der Sekundärluft konnten die NO _x -Werte bis auf 20% reduziert werden, somit keine weiteren Massnahmen notwendig sind.
NH ₃	Es konnte kein Ammoniak nachgewiesen werden.
HCl	Ohne Abgas-Behandlung können die Chlorid-Werte (100 mg/m ₃) kaum verbessert werden. Spezifisch für HCl werden keine Massnahmen getroffen.

In der Tabelle 3.5.2. sind die Schadstoff-Emissionen mit den Grenzwerten von Altholz-Verbrennung verglichen. Staub und Chloride liegen über den erlaubten Werten (fett markiert).

Bezogen auf 11% Sauerstoff		Ziel Projekt LRV Altholz	HMB unverarbeitet	Reiner Mist 1. Messung	Mistpellets Schneuwly
Staub	mg/nm3	50	494	265	361
Kohlenmonoxid	mg/nm3	250	1176	46	11
Kohlenwasserstoffe	mg/nm3	50	62	15	4
Schwefeloxid	mg/nm3	250	348	296	894
Massenstrom	gr/h	2500	184	320	403
Stickoxide NO + NO2	mg/nm3	250	259	272	297
Massenstrom	gr/h	2500	153	160	129
Ammoniak	mg/nm3	30	0	0	0
Chloride	mg/nm3	30	110	106	103
Leistung	kW		204	293	220
Bereich + -	kW		47	63	50
Feuerungstech. Wirkungsgrad	%		94	94	94

T 3.5.1.2. Vergleich der Emissionen mit LRV-Altholz-Grenzwerte. Die fettmarkierten Zahlen liegen über den erlaubten Grenzwert.

3.5.2 Erfahrung mit dem 2. Prototyp

Der 2. Prototyp wurde in November 2001 installiert und wird für Forschungszwecke weiter getestet und optimiert.

Das Folgende ist zu bemerken:

Roststabilität	Durch eine bessere Verteilung des HMB auf dem gesamten Rost und Änderung der Primär-Luftzufuhr wurde eine befriedigende Roststabilität erreicht.
Start	der Kaltstart direkt mit HMB hat sich als problematisch herausgestellt. Mit reinem HMB wird die Startphase zu lang und schadstoffreich. Um die Startphase zu beschleunigen und ein stabiles Glutbett bereit zu stellen werden Holzpellet genutzt. Aus einem separaten Pellettsilo füllt bei jedem Start eine definierte Menge Pellets statt HMB den Brennraum.
Lange Betriebsphase	Beim jedem Ein- und Ausschalten der Feuerung sind Effizienzverluste und höhere Schadstoffausstöße zu bezeichnen. Daher speziell für HMB ist das Ausschalten wegen mangelnder Leistungsnachfrage zu vermeiden. Das wird mit einen 20 m ³ - Wasserspeicher erreicht. Der Speicher garantiert eine minimale Betriebsdauer von 8 Stunden. So wird die Feuerung im Winter 1 Mal pro Tag, im Sommer 1-2 Mal pro Woche mit Pellets gestartet.
Aschenaustragung	Die Aschenaustragung wurde ergänzt und verbessert. Die an mehreren Stellen im Kessel angesammelte Asche wird zuerst in einen Sammelrohr dann in einen Sammelbehälter nach draussen getragen.



A 3.5.2.1.1. Der 2. Prototyp wurde in November 2001 installiert. Vorne die Feuerung, hinten der Wärmetauscher, seitlich das Sammelrohr mit Austragungsschnecke.

3.6. Asche

Im Sinne einer Kreislaufwirtschaft sollen die in der Asche enthaltene Nährstoffe in Regionen, welche noch Nährstoffbedarf aufweisen ausgebracht werden. Ascheanalysen (siehe T. 3.6.1.) haben gezeigt, dass sich neben den Nährstoffen auch Schwermetalle in der Asche befinden. Die Verteilung der Schwermetalle ist dabei wesentlich. Während in der Rostasche noch tolerierbare Werte herrschen, soll Filterasche generell deponiert bzw. fachgerecht entsorgt werden.

Im Gegensatz zu Holzasche fällt bei Hofdüngerbrennstoffen ein Ascheanteil bis 10% an. In der noch folgenden Ökobilanz wird gezeigt, dass eine Rückführung trotz vorhandener Schwermetalle sinnvoll ist.

Stoff	Symbol	Einheit	Wert
Phosphor	P	kg/t TS	112
Phosphat	P2O5	kg/t TS	255
Kalium	K	kg/t TS	99
Kali	K2O	kg/t TS	119
Magnesium	Mg	kg/t TS	44
Schadstoffe			
Cadmium	Cd	g/t TS	0.22
Kupfer	Cu	g/t TS	426
Nickel	Ni	g/t TS	59
Zink	Zn	g/t TS	910

T 3.6.1 Aschenkomposition

Die Verbrennung bietet den Vorteil, dass aus der voluminösen Biomasse nur ca. 5-10% Asche als Nährstoffträger übrig bleiben. Die Nährstoffe Phosphor und Kali des Ursprungmaterials bleiben in der Asche erhalten und können infolge geringerer Masse leicht an anderer Stelle, wo Nährstoffbedarf besteht z.B. in Ackerbaugebieten, ausgebracht werden.

Die Ausbringung der Asche ist mit handelsüblicher Technik zu bewerkstelligen. Eine Umrüstung mit Wasserdüse am Düngerstreuer verhindert eine zu hohe Staubentwicklung.

Bei der Ausbringung ist zu beachten, dass Asche stark basisch wirkt und daher die Ausbringung oder Zwischenlagerung mit Gülle zu vermeiden ist. Aufgrund der basischen Wirkung wird sonst vermehrt Ammoniak ausgetrieben.

Eine Lösung der Filterascheausbringung liegt nicht nur beim Handling, sondern wird zudem durch die Aschenzusammensetzung erschwert. Um sich über die Inhaltstoffe sicher zu sein müssten jeweils Analysen durchgeführt werden. Wie in der Umweltbetrachtung erwähnt, ist der Schwermetallanteil ausschlaggebend, ob die Asche als Dünger eingesetzt werden kann. Generell kann davon ausgegangen werden, dass die Asche nach den Regeln der Klärschlammverordnung ausgebracht wird. Dies beugt eine Aufkonzentrierung allfälliger Schwermetalle im Boden vor.

4. Ökobilanz

4.1. Einleitung

Die Entsorgungsproblematik von Hühnermist war Ausgangspunkt für das Projekt Apollo2, in welchem das Potenzial von Hühnermist als Brennstoff sowie dessen technische und wirtschaftliche Machbarkeit abgeklärt wurde. Im Rahmen dieses Projektes stellte sich auch die Frage, ob es aus Sicht der Umwelt sinnvoll ist Hühnermist energetisch zu nutzen im Vergleich zur Düngernutzung. Im Folgenden werden die Umweltauswirkungen der energetischen Nutzung von Hühnermist mit der konventionellen Ausbringung als Dünger verglichen. Dabei wird auch berücksichtigt, dass dadurch einerseits fossile Energieträger ersetzt werden können und andererseits mineralischer Dünger eingekauft werden muss.

4.2. Methodik und Vorgehen

Mit der Ökobilanz werden die Auswirkungen der Stoff- und Energieströme auf die Umwelt während des gesamten Lebensweges erfasst. Eine ökologische Bewertung umfasst nach ISO Norm 14'040 die folgenden Schritte:

- Problemstellung und Rahmenbedingungen: Festlegen der Szenarien und der Systemgrenzen
- Sachbilanz
- Wirkungsbilanz
- Interpretation und Bewertung der Ergebnisse

4.2.1. Problemstellung und Rahmenbedingungen

Den folgenden **Fragestellungen** sollen mit dieser Analyse nachgegangen werden:

- Ermitteln der Umweltauswirkungen, welche mit der thermischen Verwertung von Hühnermist-Brennstoff (HMB) verbunden sind.
- Ermitteln möglicher Reduktionspotentiale bei der thermischen Verwertung von Hühnermist-Brennstoff.
- Prüfen, ob sich der Einsatz der Asche als Dünger eignet.
- Vergleich mit den Umweltauswirkungen, welche durch die Nutzung von Hühnermist zur Düngung entstehen.

Die thermische Verwertung von Hühnermist umfasst folgende **Prozessschritte**:

Lagerung:

Berücksichtigt werden die Ammoniak-Emissionen. Gemäss Angaben der FAL entweichen rund 10% des Stickstoffes in Form von Ammoniak während der Lagerung, falls dieser für Düngung eingesetzt wird. Im Falle der Verbrennung beträgt die Lagerdauer nur ca. ein Drittel im Vergleich zum Einsatz als Dünger (Wärme wird praktisch kontinuierlich benötigt, Dünger zu 80% im Frühjahr ausgebracht). Aus diesem Grunde wurden bei der Verbrennung nur 5% Ammoniakemissionen angenommen.

Verbrennung:

Erste Messergebnisse liegen vor. Diese zeigen, dass die Emissionen von Staub, SO₂ und HCl zu hoch sind. Als Grundscenario wurden die gemessenen Werte verwendet und als Sensitivität drei Szenarien, in denen die jeweiligen Schadstoffe auf die Grenzwerte der Luftreinhalteverordnung (Altholz) reduziert wurden, siehe T 4.2.1.3.

Ersatz von Mineraldünger:

Ersatz der verbrannten Nährstoffe durch Mineraldünger, damit beide Verwertungsmethoden den gleichen Nutzen erzielen.

Ersatz von Öl:

Weiter wurde berücksichtigt, dass die Nutzwärme durch die Verbrennung von HMB anderenfalls durch Öl gedeckt werden müsste.

Nicht berücksichtigt wurden die Ammoniakemissionen im Stall, da diese bei allen untersuchten Szenarien in gleichem Masse anfallen. Eine Berücksichtigung hätte somit nicht zu anderen Ergebnissen geführt, sondern zu einer teilweisen „Überdeckung“ der Ergebnisse, da diese mit bis zu 40% des N - Gehaltes sehr relevant sind.

Nährstoffe	Menge pro DGVE
Stickstoff	44.3 kg
Phosphor (P ₂ O ₅)	44.45 kg
Kalium (K ₂ O)	33.1 kg
Kalzium (Ca)	25 kg
Magnesium (Mg)	9.1 kg

T 4.2.1. 1. Eigenschaften von Hühnermistbrennstoff pro DGVE

Als Referenz wurde die Verbrennung mit der Verwertung als Hofdünger verglichen. Diese Nutzung besteht aus den zwei Prozessen:

- Lagerung des Hühnermistes (10% Ammoniakemissionen)
- Austrag des Hühnermistes mit den Emissionen gemäß T 4.2.1. 2.

Als **Funktionelle Einheit** wurde die Hühnermistmenge einer Dünger-Grossvieh-Einheit (DGVE) gewählt, mit den Eigenschaften gemäss T 4.2.1.1.

Die Emissionen auf dem Feld werden von vielen Faktoren beeinflusst, daher sind die hier verwendeten Daten als Durchschnittswerte zu verstehen.

Umwelt	Schadstoff	Menge
Luft	Ammoniak	15% der gedüngten N-Menge
	Lachgas	3% der gedüngten N-Menge
	Stickoxide	0.3% der gedüngten N-Menge
Grundwasser	Phosphat	1% der gedüngten P-Menge
	Nitrat	10% der gedüngten N-Menge
Boden	Cadmium	0.023 g
	Kupfer	44.73
	Nickel	6.25 g
	Zink	95.6 g

T 4.2.1.2 Emissionen beim Austrag von Hofdünger

Der Hühnermist-Brennstoff enthält 40% Stroh. Der untere Heizwert beträgt 13.5 MJ/kg. Erste Messungen der Emissionen zeigen, dass sowohl der Staub wie auch die SO₂ und HCl über den Grenzwerten einer Altholzfeuerung liegen. Problematisch bei den Staubemissionen sind vor

allen die Schwermetalle, welche daran haften. Die emittierten Schwermetallemissionen wurden aus der Differenz der Schwermetalle im HMB und der Rostasche ermittelt.

In den Szenarien 0 bis 3 wird die Rostasche in einer Reaktordeponie entsorgt. In den Szenarien 1 bis 3 wird zusätzlich die Flugasche in einer Reaktordeponie entsorgt.

T 4.2.1.3 weist die Emissionen der Verbrennung aus, umgerechnet auf eine DGVE. Beim Ofen wurde mit einem Gasfluss von 8 Nm³/kg HMB (Hühnermist-Brennstoff) gerechnet (14'000 Nm³/DGVE).

Schadstoff	LRV ¹ (Altholz)	Szenario 0 gemessen	Szenario 1 Staub red.	Szenario 2 SO ₂ red.	Szenario 3 HCl red.
Kohlenmonoxid CO	3'500 g	644 g	644 g	644 g	644 g
Ammoniak	420 g	-	-	-	-
Salzsäure HCL	420 g	1'540 g	1'540 g	1'540 g	420 g
Kohlenwasserstoffe	420 g	210 g	210 g	210 g	210 g
Stickoxide NO _x	3'500 g	3'500 g	3'500 g	3'500 g	3'500 g
Schwefeldioxid SO ₂	3'500 g	4'870 g	4'870 g	3'500 g	3'500 g
Staub	700 g	5000 g	700 g	700 g	700 g

T 4.2.1.3 Emissionen der Verbrennung sowie Varianten pro DGVE. LRV: Luftreinhalte Verordnung.

Varianten

Folgende Varianten wurden auf der Basis des Szenario 0 weiter untersucht:

Szenario 1 bis 3

- Reduktion der heutigen Emissionen gemäss T 4.2.1.3.
- Einsatz der Asche als Dünger

Durch den Einsatz der Rostasche als Dünger kann Phosphat und Kalidünger eingespart werden. Jedoch muss geprüft werden, ob die Schwermetallgehalte nicht zu hoch sind. Zudem entfällt dadurch die Entsorgung der Rostasche in einer Deponie.

Absaugen der Luft beim Lagern

Durch die Absaugung der Luft oberhalb des gelagerten Hühnermistes und deren Verwendung als Verbrennungsluft, können die Ammoniakemissionen reduziert werden. Die Reduktion wurde auf 90% geschätzt.

Szenario 4

Dieses Szenario basiert auf den Emissionen des Szenario 3. Zusätzlich werden die Ammoniakemissionen bei der Lagerung reduziert und die Rostasche als Dünger verwendet.

4.2.2. Sachbilanz

Die Sachbilanz erfasst analog zu einer Buchhaltung alle wesentlichen Stoffflüsse, welche durch die betrachteten Aktivitäten ausgelöst werden. Diese Stoffflüsse umfassen den gesamten Lebenszyklus, also inklusive Aufbereitung der Rohstoffe und Energieträger sowie Emissionen und Entsorgung von Abfällen.

Die Spezifikationen der Prozesse finden sich in T 4.2.2.1. Die verwendeten Ökoinventare für Energiesysteme berücksichtigen alle Belastungen inklusive Rohstoffgewinnung, Umwandlungsverluste und Infrastruktur. Bei den spezifischen Prozessen, wie Lagerung Hühnermist und Verbrennung wurde die Infrastruktur nicht berücksichtigt.

Die Emissionsdaten sowie die Nährstoff- und Schwermetallgehalte des HMB stammen aus Messungen der UFAG.

Prozess	Daten pro DGVE	Datenquelle
Lagerung HMB	Ammoniak Emissionen: 0 bis 13.3 kg	FAL, 1996
Verbrennung HMB	Mischen: 0.5 h Pneu-lader Brennstoff: 1750 kg Hühnermistbrennstoff, 40% Stroh, Dichte 500 kg/m ³ Energie: 23'625 MJ aus HMB mit Hu von 13.5 MJ/kg Emissionen gemäss Tabelle 4.2.1.3 Deponierung der Asche	FAT, 1996; Zeit geschätzt Mitteilungen Hersener Messungen UFAG ESU, 1996b
Gutschrift für Energieerzeugung	23'625 MJ thermischer Energie aus: Feuerung mit Heizöl EL (100 kW)	ESU, 1996
Austrag Hühnermist	2.5 h Miststreuer; Emissionen gemäss Tabelle 4.2.2.2	FAT, 1996; Zeit geschätzt FAT, 1996; FAL, 1996
Mineralischer Dünger ersetzt Hühnermist	2.5 h Einkastenstreuer 51 kg Kalidünger (60%), 18 kg Phosphatdünger (Phosphat), 82.8 kg Stickstoffdünger (25%) Emissionen gemäss Tabelle 4.2.1.2 abweichend der Ammoniakemission von 40% Stickstoffemissionen (Stall, Lagerung) abgezogen	FAT, 1996; Zeit geschätzt FAT, 1996; FAL, 1996

T 4.2.2.1 Prozesse im System und Datenquellen

Schwermetallgehalt der Asche

In T 4.2.2.2 werden die Schwermetallgehalte der Asche mit den Grenzwerten für Klärschlamm und Kompost verglichen. Dabei zeigt sich, dass die Schwermetallgehalte oberhalb der Grenzwerte für Kompost, jedoch noch unterhalb derjenigen von Klärschlamm liegen.

Schadstoff	Gehalt in der Asche g / t	Grenzwert Kompost g / t	Grenzwert Klärschlamm g / t
Cadmium	0.22	1	5
Kupfer	430	100	600
Nickel	60	30	80
Zink	900	400	2000

T 4.2.2.2 Schwermetallgehalte der Asche und Grenzwerte für Kompost und Klärschlamm gemäss StoV

Die Ausbringung der Asche ist nur dann erlaubt, falls sie als Klärschlamm zugelassen wird. In diesem Falle beträgt die maximale Austragsmenge 5t innert drei Jahren. Um abzuschätzen, ob diese Menge bei einer normalen Anwendung überschritten wird, wurde angenommen, dass die Asche für die Düngung von Raps, als durchschnittliche Ackerkultur, verwendet wird. Diese Berechnungen haben gezeigt, dass sowohl der Kali- wie auch der Phosphatbedarf von Raps während drei Jahren gedeckt werden kann, ohne dass die Menge von 5t überschritten wird. Trotzdem kann dieser Einsatz nur beschränkt empfohlen werden, da dadurch eine erhebliche Schwermetallbelastung des Bodens resultieren würde. Wie lange es dauert, bis dadurch die Grenzwerte für Böden, welche für den

Nahrungspflanzenanbau genutzt werden, überschritten sind, benötigt einer detaillierteren Betrachtung.

4.2.3. Wirkbilanz

In der Wirkbilanz werden die Umweltauswirkungen der verschiedenen Stoffflüsse ausgewiesen und als Wirkungsprofil dargestellt. Entsprechend den untersuchten Prozessen und avisierten Zielen werden unterschiedliche Umweltauswirkungen ausgewählt. Im Rahmen dieser Studie werden die folgenden Auswirkungen betrachtet:

Treibhauspotential:	Beitrag zur Erwärmung des Klimas aufgrund von Gasen wie z. B. CO ₂ , Methan und Lachgas
Ozonbildungspotential:	Beitrag zur Bildung von Ozon (Sommersmog) infolge der Emission von Stoffen wie z. B. organische Lösungsmittel und Stickoxiden (NO _x)
Säurebildungspotential:	Beitrag zur Versäuerung von Böden und Gewässern, zum Beispiel durch Stickoxide und Schwefeldioxid
Eutrophierung:	Veränderung des Nährstoffgleichgewichtes infolge des Eintrages von stickstoff- oder phosphorhaltigen Substanzen
Energie nicht erneuerbar:	Verbrauch an nicht erneuerbaren Ressourcen wie z. B. Erdöl und Erdgas

Die Zahlenwerte der Umweltwirkungen sind nicht miteinander vergleichbar. Dazu wäre eine Normierung und Bewertung der Relevanz der einzelnen Umweltwirkungen notwendig.

4.2.4. Bewertung

In der Bewertung wird die Relevanz der verschiedenen Umweltauswirkungen gegeneinander abgewogen. Dabei fliesst ein Wertmassstab ein, der sich vielfach auf umweltpolitische Zielsetzungen abstützt. Durch diese Bewertung kann das Wirkungsprofil zu einer einzigen Kenngrösse aggregiert werden. Es gibt eine Vielzahl von Methoden, welche die Auswirkungen auf die Umwelt durch eine Kenngrösse beschreiben. Folgende Methode wurden hier angewendet:

- Umweltbelastungspunkte 1997 (UBP 97)
- Ecoindikator 1999 (Hierarchists, Average) (EI 99)

Bei den UBPs (BUWAL, 1997) handelt es sich um eine in der Schweiz entwickelte Methode, welche sich auf die schweizerische Umweltpolitik abstützt. Die Methode Eco Indicator (Goedkoop, 1999) basiert auf europäischen Umweltschutzziele. Es gibt keine allgemein gültige Methode, welche als die 'Richtige' betrachtet werden kann, daher werden im Folgenden beide Methoden verwendet.

4.2.5. Aussagekraft und Darstellung

Daten in Sachbilanzen sind mit Fehlern behaftet. Im besten Fall ist der Fehler klein, etwa bei aufwendig erhobenen Messwerten oder mittelgross, wenn beispielsweise Daten aus verschiedenen Produktionsstätten zusammengefasst werden. Müssen Annahmen und Schätzungen verwendet werden, ergeben sich grosse Fehler. In der vorliegenden Ökobilanz wurde zu allen Daten eine grobe Fehlerabschätzung vorgenommen und diese mittels Fehlerrechnung zu Vertrauensgrenzen für die erzeugten Indikatoren verrechnet.

Wenn verschiedene Umweltauswirkungen und Indikatoren im selben Diagramm dargestellt werden, kann dies nicht mit den absoluten Werten erfolgen. Denn jeder Indikator hat eine eigene Einheit und damit einen eigenen Wertebereich. Deshalb werden die relativen Zahlen als Prozente angegeben. 100% entspricht dabei entweder dem höchsten Wert, der bei diesem Indikator auftritt, oder der Summe aller Werte dieses Indikators.

4.3. Ergebnisse

Im Folgenden werden die Umweltauswirkungen der einzelnen Prozessschritte anhand des Szenario 0 diskutiert, dabei wird auch darauf eingegangen, welche Schadstoffe die entsprechenden Auswirkungen verursachen. Anschliessend werden die verschiedenen Szenarien miteinander verglichen.

4.3.1. Prozesskette

Abbildung 1a bis 1d zeigen die Umweltauswirkungen des Einsatzes von Hühnermist als Dünger und der Hühnermist-Verbrennung, aufgeteilt in die folgenden Prozesse:

Hühnermist als Dünger

- Lagerung und
- Ausbringung

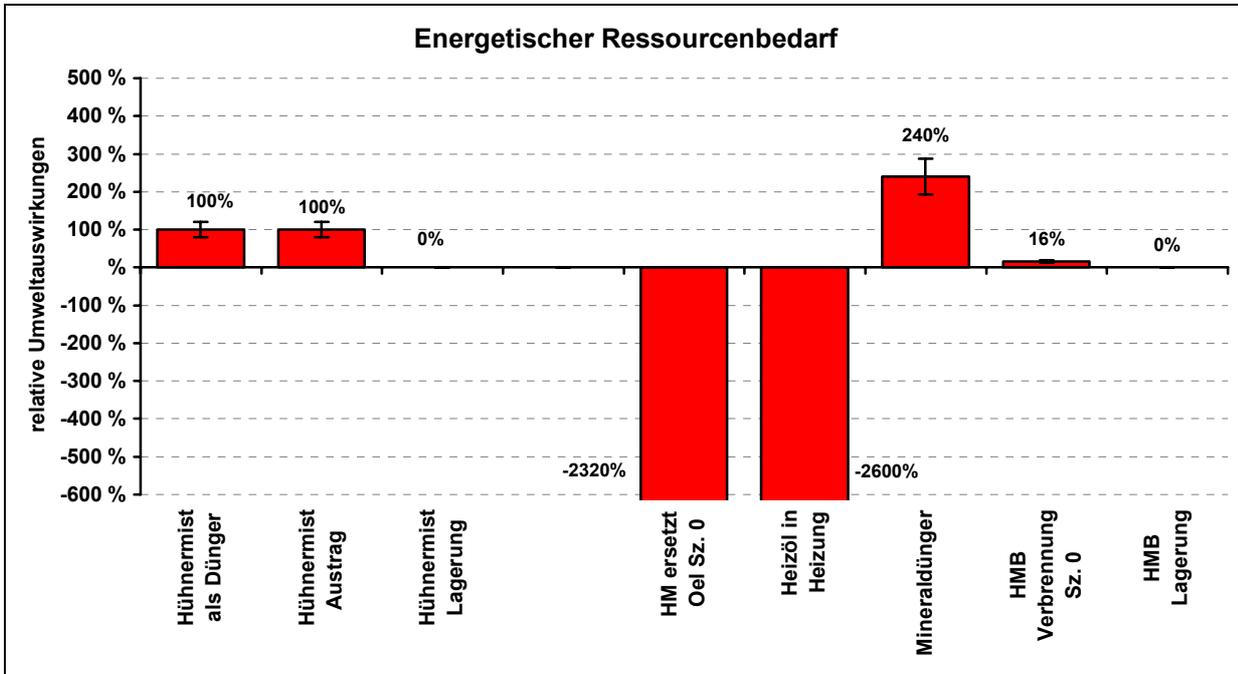
Hühnermist als Brennstoff

- Lagerung,
- Verbrennung HMB
- Düngerherstellung und Düngereinsatz sowie
- Wärme aus Heizöl.

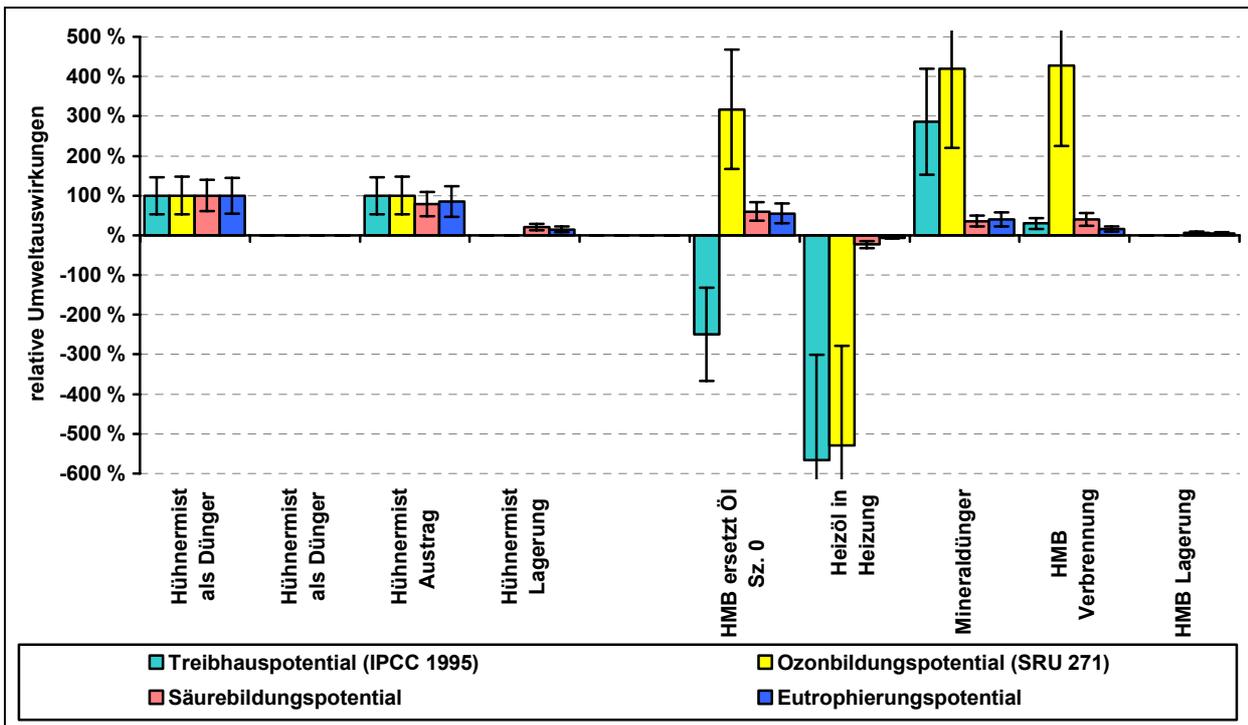
Bei der Lagerung entweichen ca. 10% des enthaltenen Gesamt-Stickstoffs als Ammoniak. Die Verbrennung umfasst neben den Emissionen (gemäss Messungen) noch einen bescheidenen Maschineneinsatz und die Entsorgung der Rostasche. Für diese Darstellung wurden die Daten so normiert, dass der Einsatz als Dünger (Summe der Lagerung und Ausbringung) jeweils 100% ergibt. In Abbildung 1a ist der Bedarf an energetischen Ressourcen dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die Einsparung an Erdöl durch den Einsatz von HMB wesentlich höher ist, als der Aufwand um den entsprechend notwendigen Dünger herzustellen. Daraus resultiert auch die Reduktion an klimarelevanten Emissionen (Treibhauspotential A 4.3.1.2). Dagegen ist das Ozonbildungspotential wesentlich höher bei der energetischen Nutzung von HMB. Wie A 4.3.1.5 zeigt, ist dies vor allem auf die wesentlich höheren Stickoxidemissionen (NO_x) zurückzuführen. Die Reduktion der Säurebildung und der Eutrophierung ist auf die geringeren Ammoniakemissionen bei der Lagerung und die geringeren Nitratauswaschungen zurückzuführen.

Wie A 4.3.1.5 zeigt, sind die toxischen Auswirkungen vor allem auf Schwermetallemissionen zurückzuführen. Durch die Verbrennung von HMB reduzieren sich die direkten Schwermetallemissionen in den Boden, welche beim Ausbringen des Hühnermistes in den Boden gelangen, da Mineraldünger pro Nährstoffgehalt weniger Schwermetalle enthält als Hühnermist. Bei der Verbrennung werden die Schwermetalle in die Luft emittiert oder verbleiben in der Rostasche. Diese wird deponiert und die Schwermetalle gelangen über die Jahre teilweise ins Wasser.

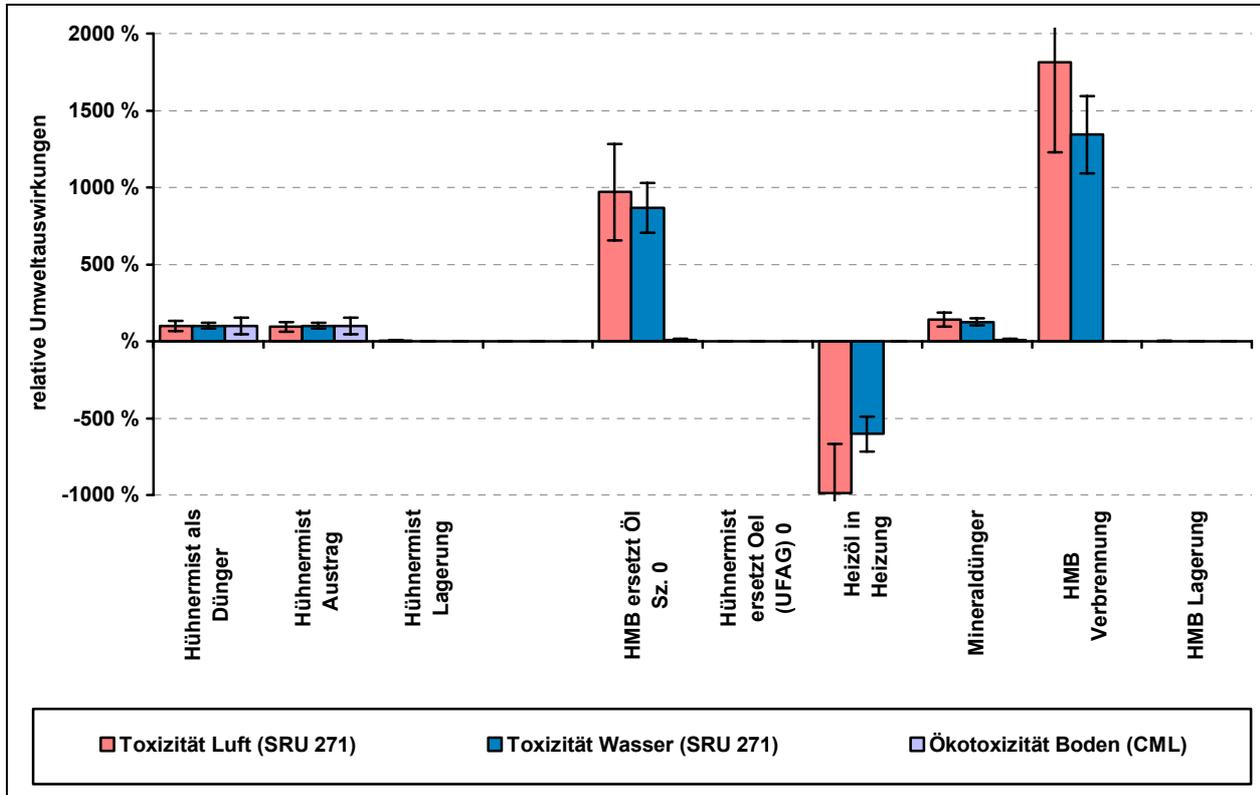
Die gesamtaggregierenden Methoden (Eco Indicator 99 und UBP) beurteilen die Verbrennung von HMB Szenario 0 vergleichbar mit der Nutzung als Dünger. Der Eco Indicator 95 beurteilt die Verbrennung etwas besser.



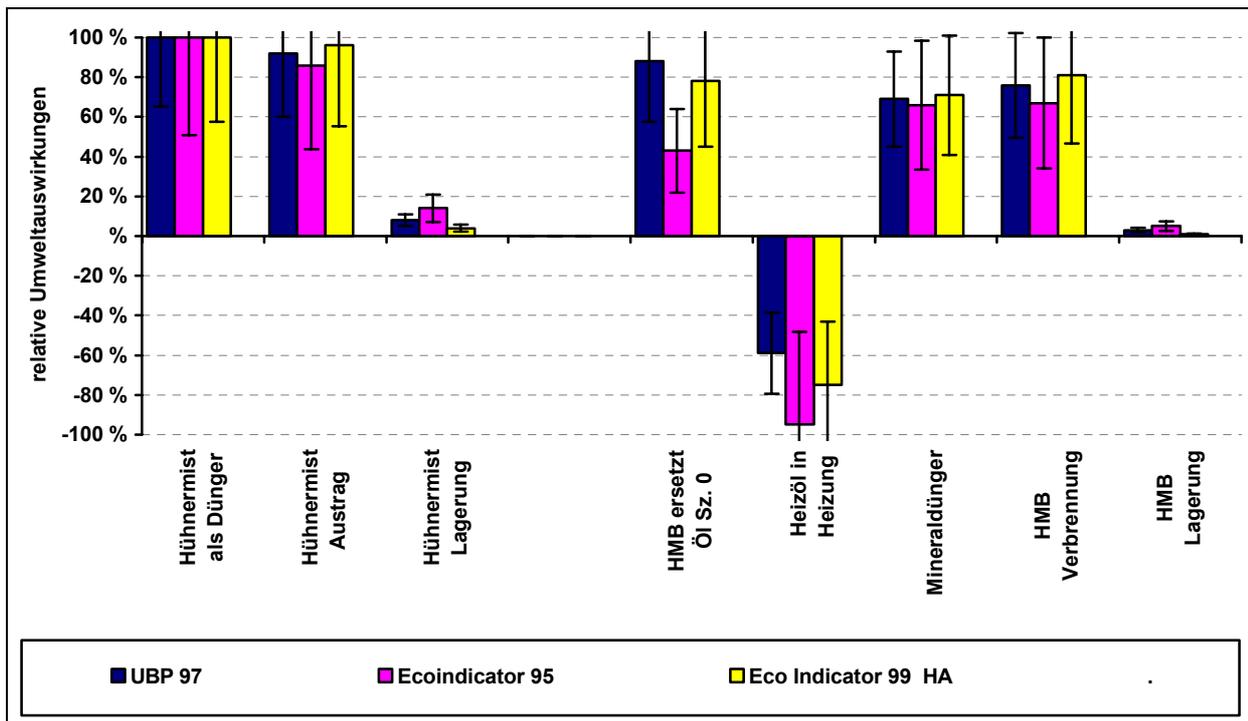
A4.3.1.1. Energetischer Ressourcenbedarf der Prozesse für Hühnermist als Dünger und Nutzung als Hühnermistbrennstoff, normiert auf Hühnermist als Dünger = 100%.



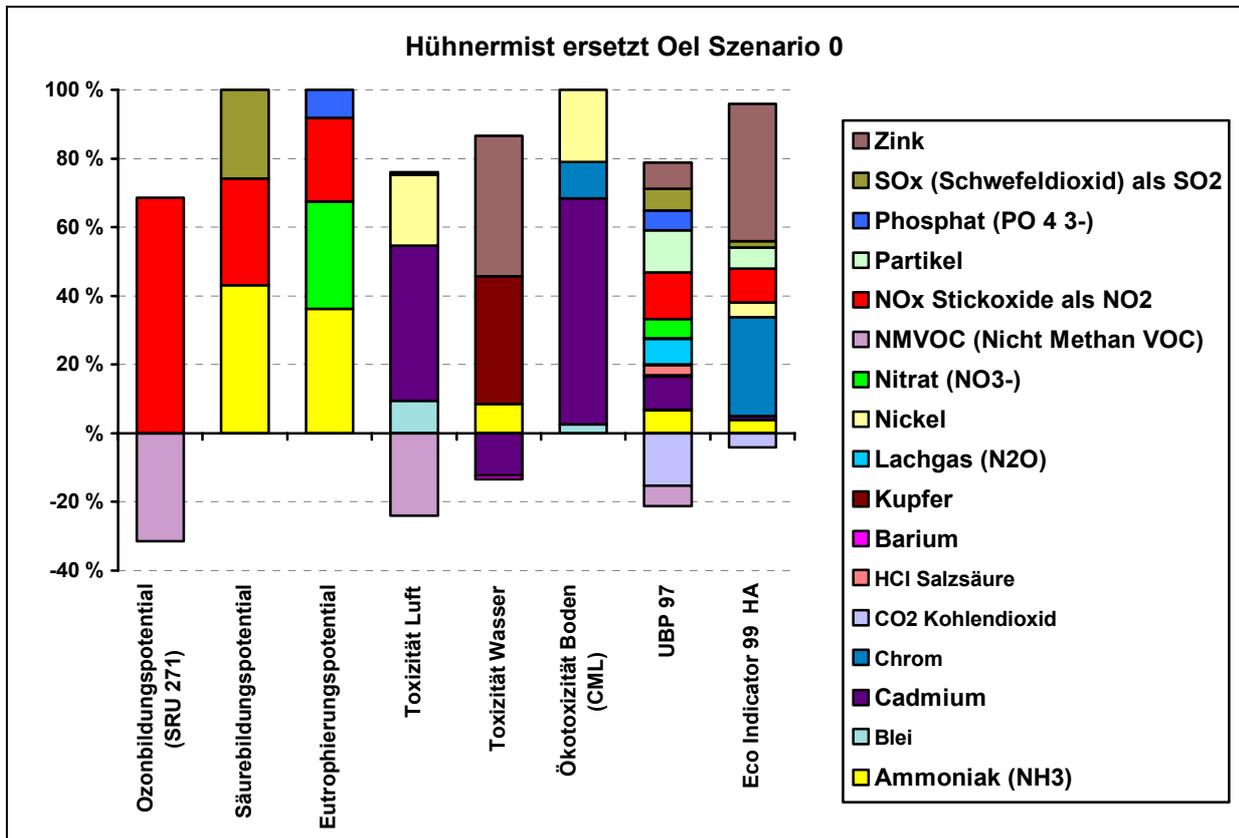
A 4.3.1.2. Umweltauswirkungen der Prozesse für Hühnermist als Dünger und Nutzung als Hühnermistbrennstoff, normiert auf Hühnermist als Dünger = 100%.



A 4.3.1.3. Toxische Emissionen in Luft, Boden und Wasser der Prozesse für Hühnermist als Dünger und Nutzung als Hühnermistbrennstoff, normiert auf Hühnermist als Dünger = 100%.



A 4.3.1.4. Umweltauswirkungen (bewertet) der Prozesse für Hühnermist als Dünger und Nutzung als Hühnermistbrennstoff, normiert auf Hühnermist als Dünger = 100%.



A 4.3.1.5. Beitrag der relevanten Schadstoffe zu den verschiedenen Umweltauswirkungen bei der energetischen Nutzung von HMB.

Mögliche Reduktionspotentiale

Folgende Reduktionen sind denkbar oder notwendig:

Verwendung der Rostasche als Dünger

Ob es zu einer Reduktion der Umweltauswirkung führt, wenn die Rostasche nicht deponiert, sondern als Dünger verwendet wird, und damit Mineraldünger ersetzt, wird abgeklärt.

Reduktion der Ammoniakemissionen bei der Lagerung

Eine Reduktion der Ammoniakemissionen bei der Lagerung kann erreicht werden durch Absaugen der Luft und deren Verwendung bei der Verbrennung.

Reduktion der Schwermetallemissionen (Szenario 1)

Eine Reduktion der Umweltauswirkungen kann vor allem durch die Reduktion der Schwermetallemissionen erreicht werden. Gemäss Aussage von Herr A. Jenny kann dies durch Partikelfilter erfolgen, welche 90% bis 95% der Partikel und damit Schwermetallemissionen zurückhalten.

Reduktion der SO₂ und HCl Emissionen (Szenario 2 und 3)

Weiter kann eine Reduktion durch Minderung der SO₂ und HCl Emissionen auf den gesetzlichen Wert erreicht werden.

Verwendung der Rostasche als Dünger

Ob es zu einer Reduktion der Umweltauswirkung führt, wenn die Rostasche nicht deponiert, sondern als Dünger verwendet wird und damit Mineraldünger ersetzt, wird abgeklärt.

Reduktion der Ammoniakemissionen bei der Lagerung

Eine Reduktion der Ammoniakemissionen bei der Lagerung kann erreicht werden durch das Absaugen der Luft und deren Verwendung bei der Verbrennung.

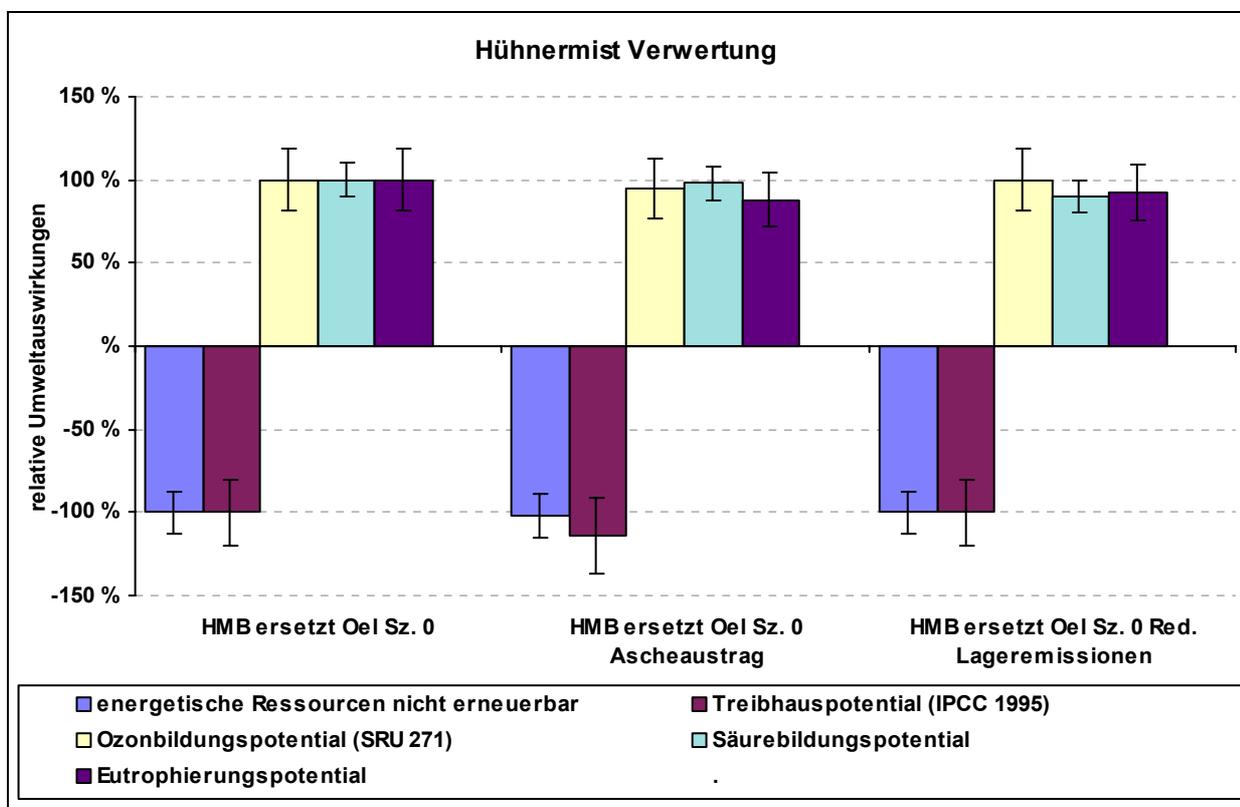
Realisierung aller Massnahmen (Szenario 4)

Szenario 4 beschreibt die Umweltauswirkungen, falls alle obgenannten Massnahmen zusammen realisiert werden.

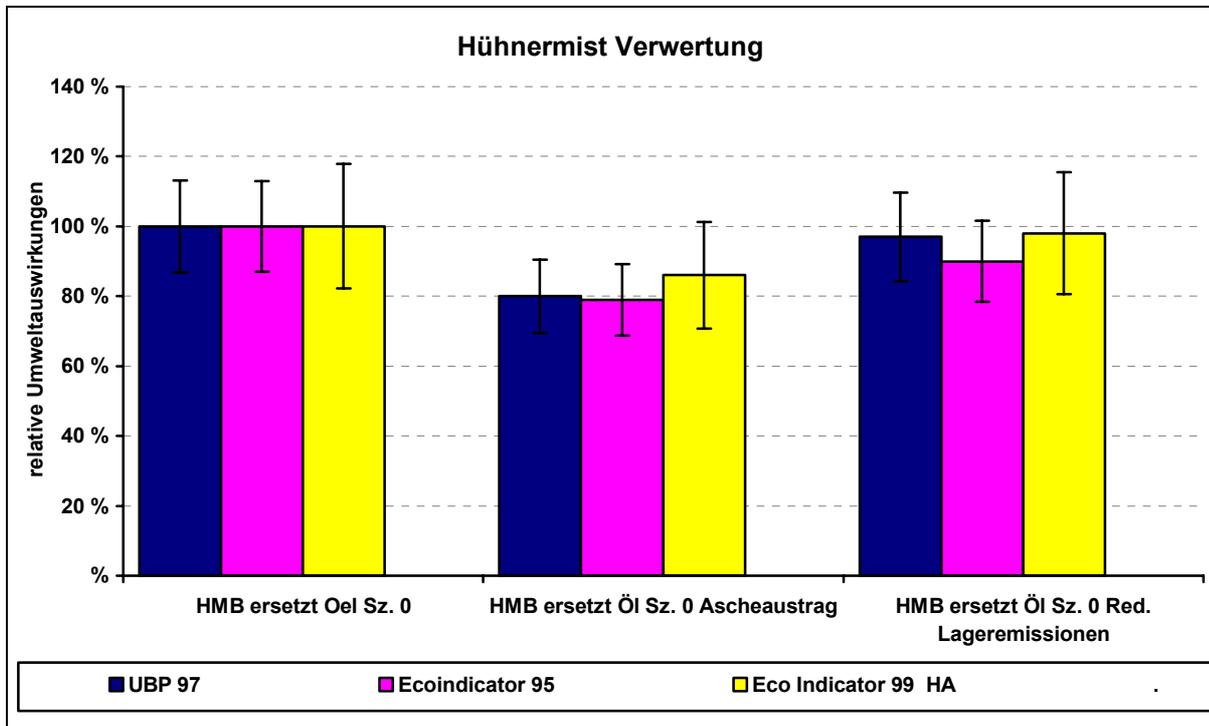
4.3.2. Szenarien „Asche als Dünger“ und „Reduktion der Ammoniakemissionen“

A 4.3.2.1 und A 4.3.2.2 zeigen den Vergleich der Auswirkungen bei der Verwendung der Rostasche als Dünger und der Reduktion der Ammoniakemissionen bei der Lagerung im Vergleich zum Szenario 0. Dabei zeigt es sich, dass die Reduktionen relativ gering sind.

Beim Szenario „Aschenutzung“ besteht der folgende Zielkonflikt. Einerseits ist es sinnvoll die Umweltauswirkungen bei der Düngerherstellung durch den Einsatz der Asche zu reduzieren, andererseits ist die Ausbringung von Schwermetallen möglichst zu reduzieren. Diesbezüglich wären weitere Abklärungen notwendig.



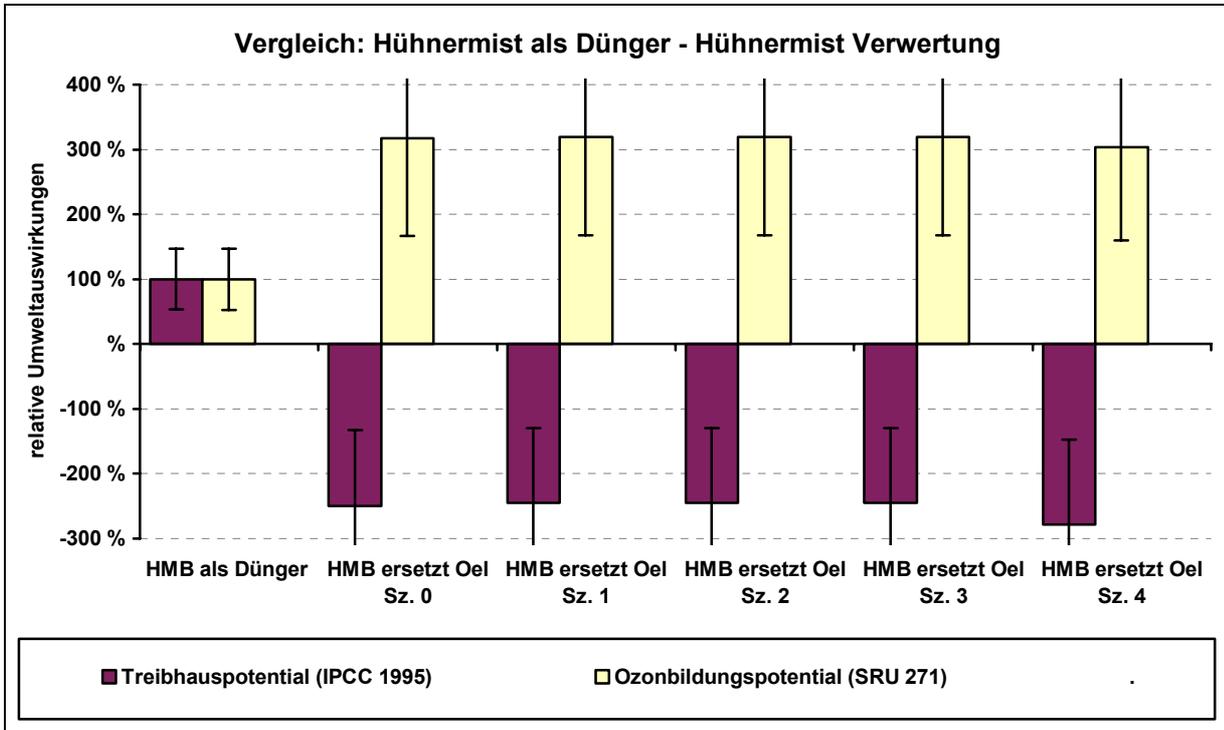
A 4.3.2.1. Umweltauswirkungen der Szenarien „Ascheaustrag“ und „Ammoniakreduktion“.



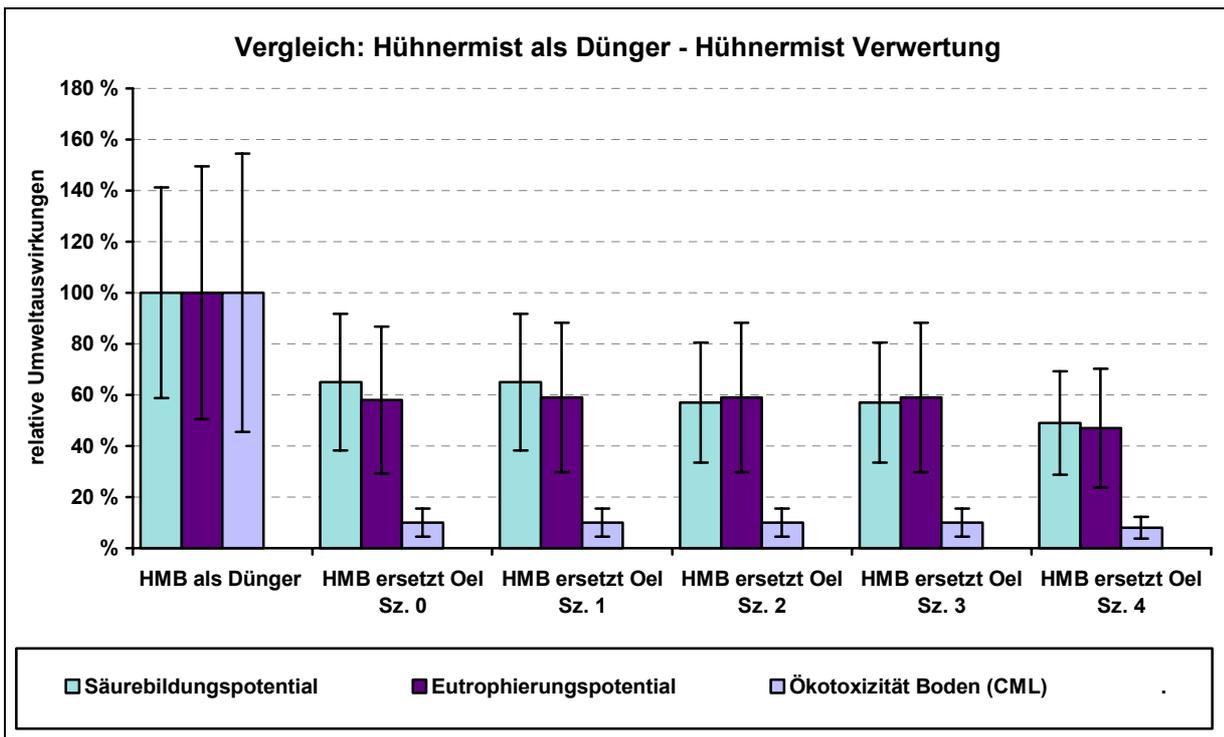
A 4.3.2.2. Umweltauswirkungen der Szenarien „Ascheaustrag“ und „Ammoniakreduktion“.

4.3.3. Szenarienvergleich

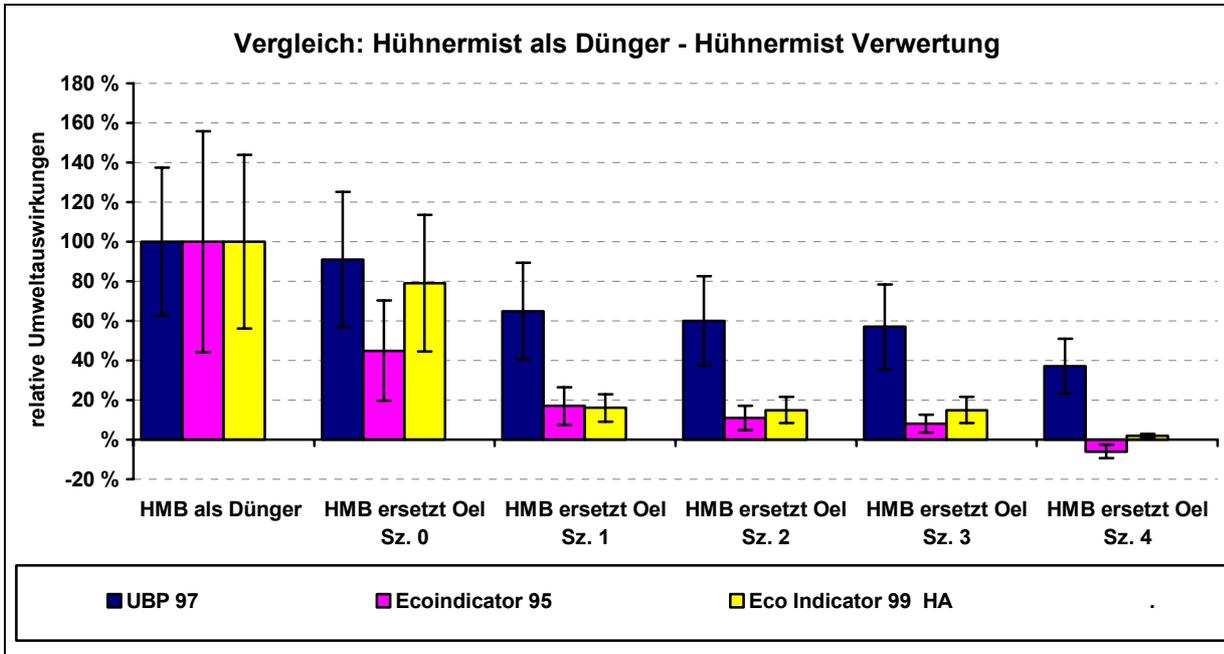
Der Vergleich der verschiedenen Szenarien, mit der Düngernutzung (Referenz auf 100% normiert) zeigen die A 4.3.3.1 bis A 4.3.3.3. Eine Verbesserung durch die Verbrennung im Vergleich zur Nutzung als Dünger ist vor allem bei dem Verbrauch an energetischen Ressourcen (Siehe A4.3.1.1) und den klimawirksamen Gasen zu verzeichnen. Bei der Ozonbildung ergibt sich eine Erhöhung der Auswirkungen. Die Unterschiede der verschiedenen Szenarien sind jedoch sehr gering. Die Auswirkungen Eutrophierung, Säurebildung und Bodentoxizität zeigen eine Reduktion durch die energetische Nutzung des HMB gegenüber einer Düngernutzung. Die Unterschiede zwischen den Szenarien sind jedoch gering. Die Reduktion der Säurebildung von Szenario 1 zu Szenario 2 und 3 ist auf die reduzierte SO_x und HCl Emission zurückzuführen. Die Bewertungen durch die gesamttaggregierenden Methoden (UBP, Ecoindicator 95 und 99) zeigen grössere Unterschiede zwischen den verschiedenen Szenarien. Vor allem die Methoden Ecoindicator zeigen hohe Reduktionen durch die Reduktion der Staub und Schwermetallemissionen. Im Vergleich zum Düngereinsatz kann die energetische Verwertung in den Szenarien 3 und 4 signifikant vorteilhafter beurteilt werden als der Düngereinsatz.



A 4.3.3.1. Vergleich der Umweltauswirkungen der verschiedenen Szenarien mit der Referenz: Hühnermist als Dünger



A4.3.3.2. Vergleich der Umweltauswirkungen der verschiedenen Szenarien mit der Referenz: Hühnermist als Dünger



A 4.3.3.3. Vergleich der drei Szenarien mit der Referenz: die Umweltwirkungen

4.4. Interpretation

Die Unterschiede zwischen den beiden Verwertungsarten (Düngung oder Verbrennung Szenario 0, momentane Emissionswerte) ist zu gering, als dass eindeutig von einer wesentlich besseren Variante gesprochen werden kann. Für die Beurteilung ist die Frage entscheidend, ob ein Überschuss an Dünger besteht und eine Verwertung bzw. Entsorgung notwendig ist. In diesem Falle erscheint die Verbrennung und energetische Nutzung von Hühnermist als sinnvoll. Im Falle, dass der Hühnermist als Dünger benötigt wird, ist der Einsatz als Brennstoff gleich bis tendenziell besser als der Einsatz als Dünger zu beurteilen.

Falls die Emissionen, vor allem diejenigen der Partikel und Schwermetalle, auf die Grenzwerte der Luftreinhaltung für Altholzfeuerungen reduziert werden (Szenario 3), so wird die Verbrennung des HMB besser als die Düngerverwendung beurteilt.

Eine weitere Reduktion, kann durch die Reduktion der Ammoniakemissionen bei der Lagerung erreicht werden. Obwohl diese über den gesamten Lebenszyklus nur eine marginale Verbesserung bringt, so ist sie doch wünschbar, da dadurch die lokale Situation verbessert werden kann. Eine Reduktion der Ammoniakemissionen im Stall sollte ebenfalls geprüft werden, da dort wesentlich höhere Emissionen als bei der Lagerung anfallen.

Falls alle Optimierungspotentiale ausgeschöpft werden, kann die energetische Nutzung des HMB signifikant besser als die Düngerverwendung des HMB beurteilt werden.

Die Methode der Ökobilanzierung beurteilt den Einsatz der Asche als wünschbar. Jedoch ist zu beachten, dass dabei aus methodischen Gründen die lokalen Belastungen (Schwermetallanreicherung im Boden) zu wenig berücksichtigt werden. Ob aus diesem Gesichtspunkt der Einsatz von Asche als Dünger wünschbar und sinnvoll ist, müsste weiter abgeklärt werden.

Untersucht wurde die Substitution von Heizöl durch den Hühnermistbrennstoff. Es ist zu erwarten, dass die Ergebnisse für andere fossile Brennstoffe etwa ähnlich ausfallen.

5. Wirtschaftlichkeit

Nicht nur ökologisch sondern auch wirtschaftlich weist die Hühnermistverbrennung Vorteile auf. Zwei Situationen werden verglichen:

- die konventionelle Ölfeuerung und Entsorgung wie momentan durchgeführt wird
- die Hühnermistverbrennung

Die wichtigsten Faktoren, die einen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeitsrechnung der zwei Varianten haben, sind in T 5.1. aufgelistet.

Faktor	Einheit	Aktueller oder vorauss. Wert	Variationsfeld	Abhängigkeit
Ölpreis	CHF/ 100 Liter	40.00	30-55	international
Entsorgungskosten HMB	CHF/m ³	41.60	40-50	national
Entsorgung Asche	CHF/Tonne	500	0-1'500	national
Zinssatz	%	4.00	3.5-5.5	international
Lebensdauer	a	10.00	10-15	
Anzahl Hallen		2.00	2-10	Betrieb
Hühnermist-Verbrennung Anlage	CHF	80'000	-	
Ölfeuerungs-Anlage	CHF	20'000	-	
Energiedeckungsanteil	%	100	Min. 35 %	Betrieb

T 5.1 Annahme für ein wirtschaftliches Rechnungsbeispiel.

All diese Faktoren, zum Teil unabhängig vom Betrieb, können mehr oder weniger stark die Rechnung beeinflussen:

Heizöl	der Ölpreis ist von der Weltmarktwirtschaft abhängig und kann in den nächsten Jahren zwischen 30 bis 60 CHF/100 Liter variieren. Er hat einen grossen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der HMB-Anlage
Entsorgung HM	die Entsorgungskosten betragen auf schweizer Gebiet pro Produktionszyklus momentan ca. 400 CHF (ca. 40 CHF/m ³ Mist).
Entsorgung Asche	Noch unklar, ob die Asche als Dünger verwendbar. „Entsorgungs“-Kosten können für die Schweiz von 0 bis 1500 CHF/m ³ variieren.
Zinssatz	gilt in letzter Zeit als relativ konstant.
Lebensdauer	für beide Varianten auf zehn Jahre geschätzt.
Anzahl Hallen	betriebsabhängig, mit grossem Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit.
Investition HMBA	basiert auf der Offerte der anbietenden Firma. Voraussichtliche Anlagekosten (ohne Wärmeleitungsnetz) 80'000, 120'000 und 160'000 CHF für resp. 2,4 und 6 Hallen.
Investitionen Oel	Pro Halle ca. 10'000 CHF.
Energiedeckungsanteil	Das ist der Energiebedarf des Hofes, der mit HMB gedeckt werden kann. Im besten Fall 100% das heisst, der ganze HMB wird in Energie umgesetzt und verbraucht. Im schlechtesten Fall wird die Energie nur für die Hallen (ohne weitere Heizungen und andere Prozesse) genutzt (ca. 35 %). Dieser Faktor, abhängig vom Betrieb, ist bedeutend.

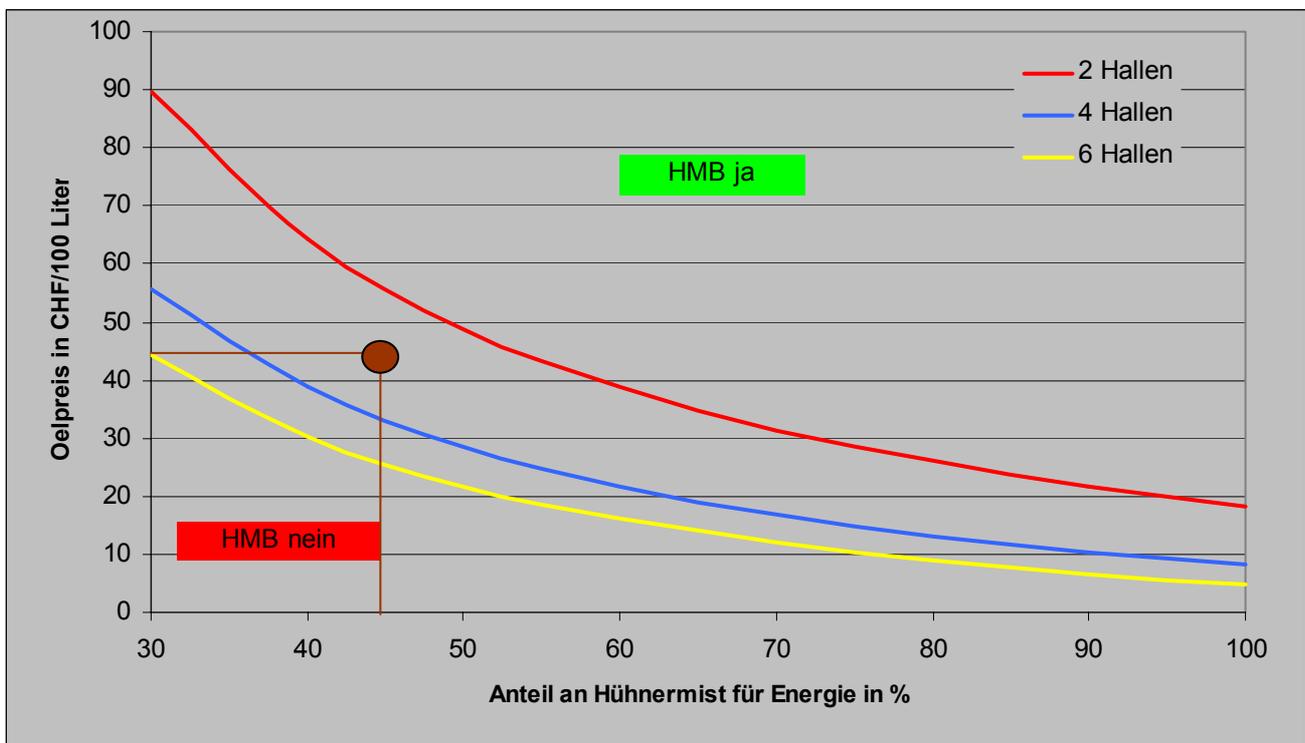
Jahreskosten		Hühnermist	Öl
Amortisation	CHF	9'840.00	2'460.00
Anlage Unterhalt und Ersatzteile	CHF	1'600.00	400.00
Brennstoff Kosten	CHF		11'200.00
Entsorgung Hühnermist	CHF	0.00	6'656.00
Entsorgung Asche	CHF	3'200.00	
Total	CHF	14'640.00	20'716.00
Verhältnis Öl/HMB			1.415
Differenz Öl-HMB	CHF		6'076.00
kWh-Preis	Rp./kWh	0.05	0.07

T 5.2 Grobe Wirtschaftlichkeitsberechnung. Vergleich zwischen HMB- und Öl-Verbrennungsanlage. Annahmen wie in der T 5.1. Die HMVA ist wirtschaftlich.

In T. 5.2. ist die Berechnung mit den in T. 5.1. getroffenen Annahmen zu sehen. In diesem Rechenbeispiel betragen die Jahreskosten 20'700 für die Variante Ölfeuerungsanlage und 14'600 für die HMB-Anlage. Hühnermistverbrennung ist in diesem Fall wirtschaftlich.

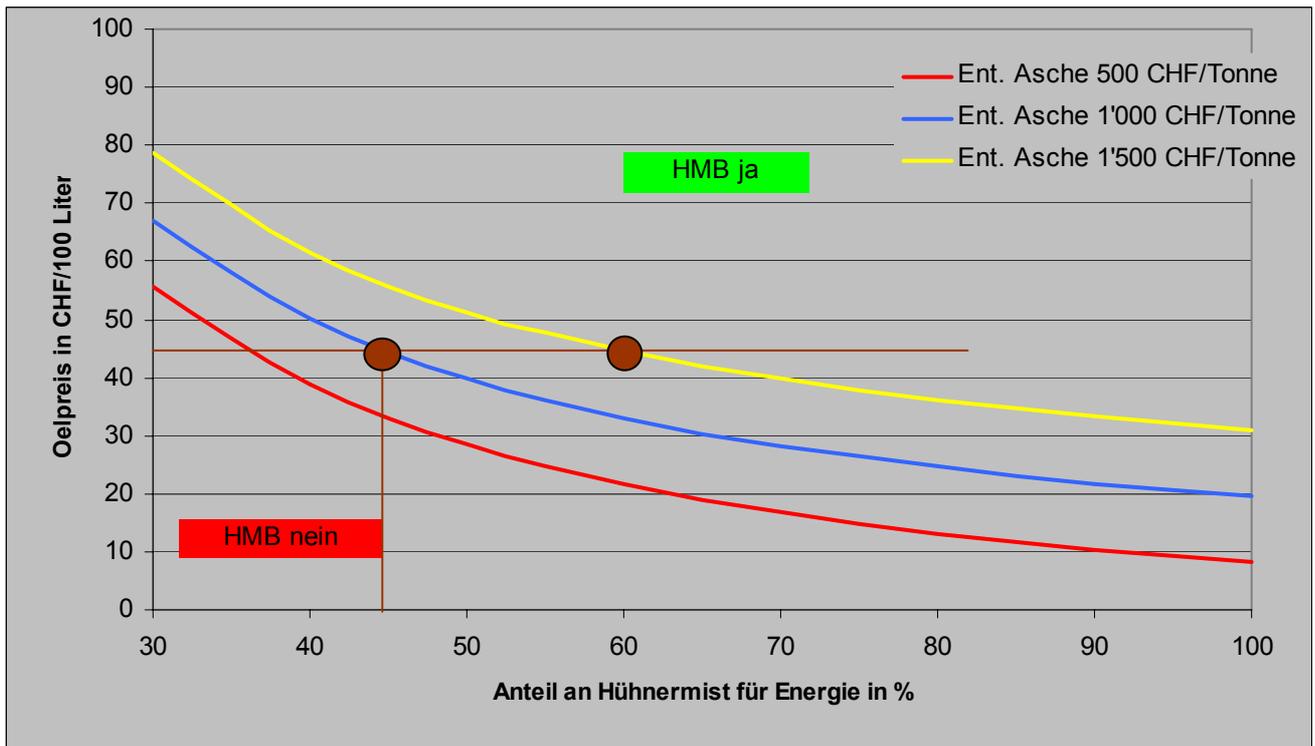
Ein wichtiger Punkt innerhalb der Betrachtung der Wirtschaftlichkeit einer Anlage ist die Sensitivität diverser Variablen.

In A. 5.3. wird der Einfluss von energetische Ausnutzung, vom Ölpreis und der Anzahl Hallen dargestellt.



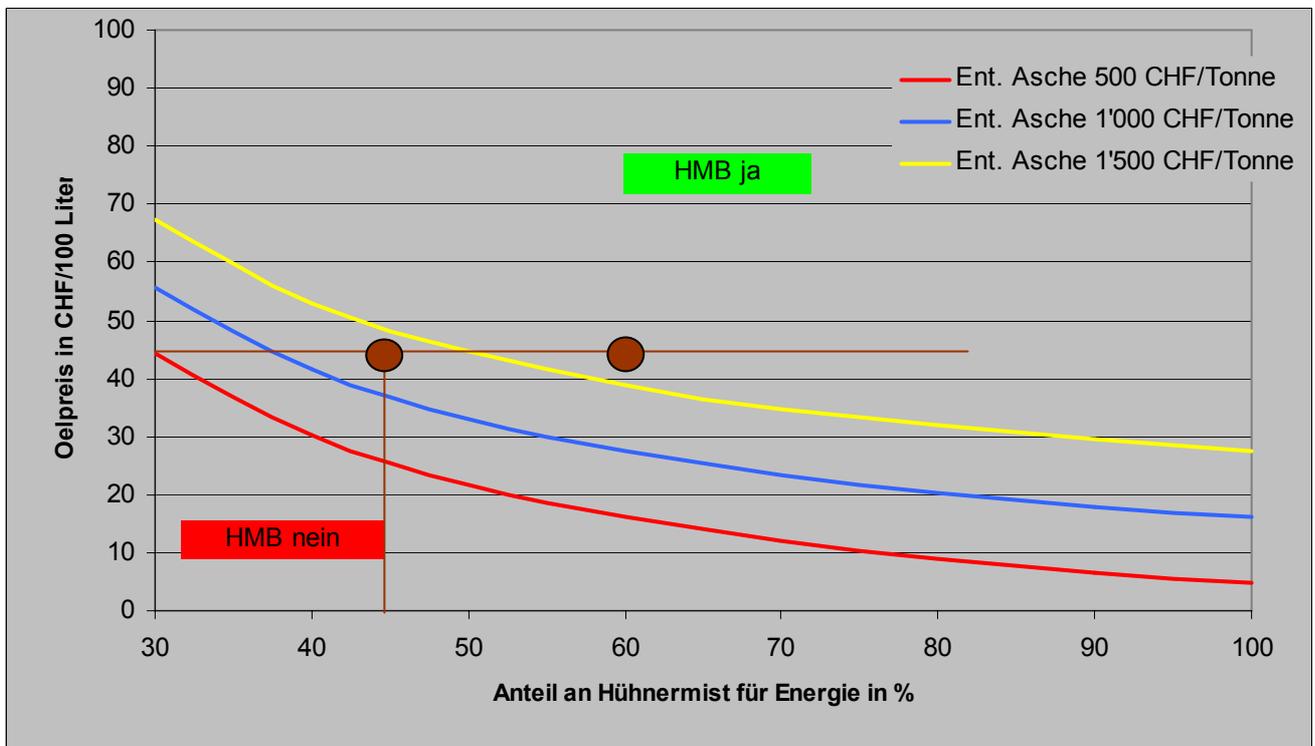
A 5.3 Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit mit Ölpreis, Energieausnutzung, Anzahl Hallen. Betriebspunkte im oberen Bereich der Kurve sind wirtschaftlich. Die Werte für die anderen Einflussfaktoren sind in A 5.1 zu lesen.

Bei einem Ölpreis von unter 45 CHF/100Liter und eine Energieausnutzung von 45 % von HMB ist ein Betrieb mit 2 Hallen unwirtschaftlich. Ein Betrieb mit 4 Hallen hingegen befindet sich schon in der wirtschaftlich Zone.



A 5.4 Der Einfluss der Kosten für Aschenentsorgung. Beispiel mit 4 Hallen.

In A 5.4 ist der Einfluss der Aschenentsorgungskosten zu sehen. Mit einem Ölpreis von 45 CHF/100 Liter und Entsorgungskosten von 1000 CHF/Tonne ist die HMB-Anlage gegenüber der Ölfuerungsanlage ab einer 45 %-igen Nutzung wirtschaftlich. Betragen die Entsorgungskosten 1'500 CHF/Tonne, muss für eine positive Rechnung der durch HMB genutzte Anteil grösser als 60 % sein. Mit 6 Hallen verschieben sich die Koordinaten in die wirtschaftliche Zone (A 5.5).



A 5.5 Gleiches Beispiel wie in A 5.4 nur mit 6 statt 4 Hallen. Auch mit der teuerste Annahmen für Aschenentsorgung ist eine Anlage für 6 Hallen immer wirtschaftlich.

6. Schlussfolgerungen

6.1. Technik

Auch wenn das gesetzte Ziel nicht vollständig erreicht wurde, kann die Schadstoffbilanz als zufriedenstellend bezeichnet werden.

In der Tat konnten die Werte von Stickoxid und Ammoniak stark gesenkt werden: Der NO_x-Ausstoß konnte bis auf 20% verkleinert werden und Ammoniak war nicht nachweisbar.

Ein Vergleich mit den LRV-Altholz-Grenzwerten zeigt, dass die folgenden Schadstoff-Werte den Grenzwert überschreiten:

- Staub 300-500 mg/m³. Mit kostengünstigen Massnahmen (Gewebefilter, Absetzkammer, Zyklon,...) sollen die Staub-Emissionen in unmittelbaren folgenden Projektschritten reduziert werden.
- Chloride 100 mg/m³. Massnahmen zur Senkung der Chlorid-Werten werden erst ergriffen, wenn Grenzwerte für HMB definiert sind.

6.2. Ökobilanz

Im Projekt wird die aktuelle landwirtschaftliche Verwendung von Hühnermist als Dünger mit der Möglichkeit der thermischen Nutzung und der Rückführung der Düngestoffe (Asche) verglichen. Bei der Beurteilung spielen folgende Punkte eine wichtige Rolle: Lagerung des Mistes, da hierbei Ammoniakemissionen entstehen, die Emissionen bei der Verbrennung sowie die Aschequalität bezüglich Schwermetallgehalt, welcher bei der Rückführung als Dünger massgebend ist.

Durch die thermische Nutzung wird die Lagermenge reduziert. Mit einer optimalen Führung der Ansaugluft für die Verbrennungsanlage über dem Mistlager lassen sich die Ammoniakverluste drastisch senken. Dies wirkt sich besonders positiv auf die Umwelt aus. Weiter kann durch die Fraktionierung der Asche in Rostasche und übrige Asche eine Aufteilung des Schwermetallgehaltes erlangt werden, d.h. die Rostasche kann wieder im Sinne der Kreislaufwirtschaft als Dünger eingesetzt werden und die stärker belasteten übrigen Fraktionen können deponiert werden.

Das Ziel der Abgasreinigung, entsprechend der LRV für Altholz konnte, wie oben erwähnt, nicht vollständig erreicht werden. In der Ökobilanz wurde daher die Relevanz der gemessenen Werte im Vergleich zur LRV abgeschätzt. Dabei kann gezeigt werden, dass das Nichterreichen der Werte aus ökologischer Sicht für das betrachtete System bei Staub ziemlich relevant, bei SO_x weniger relevant und bei HCl nicht relevant ist.

Generell kann davon ausgegangen werden, dass die thermische Nutzung des HMB gleich oder leicht besser abschneidet als die konventionelle Verwendung in der Landwirtschaft. **Werden alle Optimierungsmöglichkeiten bei der Verbrennung und Lagerung ausgeschöpft, lässt sich die thermische Nutzung als ökologisch klar besser einstufen als die normale landwirtschaftliche Verwendung von Hofdünger.**

6.3. Wirtschaftlichkeit

Der im Betrieb anfallende Hühnermist kann in der Regel den Wärmebedarf eines Hofes vollständig decken. Dadurch werden Entsorgungs- und Brennstoffkosten eingespart. Zahlreiche Faktoren mit unterschiedlicher Gewichtung beeinflussen die Wirtschaftlichkeitsrechnung für eine Hühnermistverbrennungs-Anlage.

Die wichtigsten sind: Ölpreis, Entsorgungskosten für Asche und Mist, Investitionen und Zinssatz, Anzahl Hühnerhallen, Energiedeckungsanteil des Hühnermistes und Lebensdauer der Anlage. Einige dieser Faktoren, wie Anzahl Hallen (1 Halle=5'000 Hühnerplätze, 8 Zyklen pro Jahr), Lebensdauer, Energiedeckungsgrad, Investitionen sind von Anfang an fest definiert oder sie bewegen sich in definierten Bereichen. Andere Faktoren sind hingegen von der Globalwirtschaft (z.B. Öl) oder von der nationalen Situation und Gesetzgebung (Entsorgungskosten) abhängig. Das Zusammenspiel dieser Faktoren ist entscheidend dafür, ob die Wirtschaftlichkeitsrechnung positiv ausfällt. Wichtig dabei ist das Variationsfeld der Faktoren (z. B. Ölpreis 30 bis 50 CHF/100 Liter), welches das Endresultat stark beeinflusst. Mit der Analyse der Sensitivität dieser Faktoren kann festgestellt werden, dass es ohne weiteres Bereiche mit realistischen Annahmen gibt, die für die Wirtschaftlichkeit von HMB-Anlagen sprechen.

Die Entsorgungskosten für die Asche sind noch unbekannt und können die Rechnung stark beeinflussen. Kann die Asche als Düngerkomponente verwendet werden, so sind Anlagen mit 2 Hallen schon ab einem Energiedeckungsanteil von 60% wirtschaftlich (Ölpreis-Grenze 28 CHF/100 Liter). Betragen die Entsorgungskosten für die Asche 1000 CHF/Tonne, so sind Anlagen mit 2 Hallen und einen Energiedeckungsanteil von 100% dann wirtschaftlich, wenn das Öl teurer als 30 CHF/100 Liter ist. Mit der Grösse der Anlage verbessert sich die Wirtschaftlichkeit. Ab 6 Hallen ist die HMB-Anlage unabhängig vom Energiedeckungsanteil, wirtschaftlich.

6.4. Rechtslage

Bezüglich Luftreinhalteverordnung (LRV)

Da zum aktuellen Stand die betrachteten Hofdüngersortimente nicht als Brennstoff definiert sind, ist bezüglich LRV keine Gesetzeskonformität gegeben. Da jedoch im Verlauf verschiedener Forschungsprojekte ein Bedarf für einen spezifischen Artikel über weiteren Biomassesortimente aufgezeigt wurde, kann davon ausgegangen werden, dass für die hier untersuchten Hofdüngerbrennstoffe eine Anpassung im Zuge der nächsten LRV-Revision durchgeführt wird.

Bezüglich Gewässerschutzgesetz

Das Gewässerschutzgesetz sieht vor, dass der in der Landwirtschaft anfallender Hofdünger ausschliesslich in der Landwirtschaft oder im Gartenbau wiederverwertet wird.

Über die Interpretation des Gesetzestextes existieren zur Zeit klar unterschiedliche Auffassungen. Nach Auffassung der Projektleitung wird das Ziel des Gesetzes, nämlich die Erhaltung eines geschlossenen Kreislaufes und daher die Wiederverwendung des anfallenden Düngers mit der energetische Nutzung nicht verfehlt. Da sogar eine ökologische Verbesserung resultiert, ist zumindest eine Fortsetzung der Diskussion notwendig.

7. Ausblick

Der Erfolg von dezentralen HMB-Anlagen hängt nicht nur von der technischen Machbarkeit, sondern auch von der politischen Entwicklung bezüglich Landwirtschaft und Umwelt ab.

Mit dem neuen Projekt Apollo3 soll die bisherige Entwicklungsarbeit voll in die Praxis umgesetzt werden und weitere Erkenntnisse für eine Diskussion über die Zukunft der Verwertung von Biomasse beitragen.

Ziele von Apollo3:

- Anlage 3 bis 5 Anlage werden gebaut und getestet. Diese Anlagen sollen die 1. Serie bilden (kein Prototyp).
- Staub Überprüfung von verschiedenen kostengünstigen Methoden zur Staubreduktion. Synergien mit anderen Biomasse sind voll auszuschöpfen.
- Nachverbrennung das Nachverbrennungsverfahren ist für eine starke Reduktion von NO_x und NH₃ verantwortlich. Das funktionierende System muss optimiert und im Gesamtanlage-Layout integriert werden.

8. Dank

Für die Mitwirkung und Betreuung der Anlage sowie Verpflegung der Mitarbeiter danken wir ganz herzlich Familie Schneuwly.

Weiter gilt unser Dank folgenden Projektteilnehmern:

Name	Partner	Funktion
Herr Grub	OPTIGAL SA	Verwertung von Nebenprodukten
Herr Schlottmann Herr Schwicker	Lopper Kesselbau AG	Konstrukteur
Herr Zimmermann	INAGRO – CH	Im Auftrag der OPTIGAL SA Projektbegleitung

Anhang

Literaturverzeichnis

- BUWAL, 1996 Schadstoffemissionen und Treibstoffverbrauch des Offroad-Sektors, Umweltmaterialien Nr. 49, Bern
- BUWAL, 1997 Bewertung in Ökobilanzen mit der Methode der ökologischen Knappheit, SRU Nr. 297, Bern
- ESU, 1996 Ökoinventar für Energiesysteme, ETH Zürich
- ESU, 1996b Ökoinventare von Entsorgungsprozessen, ETH Zürich
- FAL, 1997 Ammoniak-Emissionen in der Schweiz; Schriftenreihe der FAL 26, Zürich
- FAT, 1997 Beurteilung nachwachsender Rohstoffe in der Schweiz in den Jahren 1993-1996, Auftrag BLW
- Goedkoop et al, 1999 The Eco-Indicator 99, A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment; Amersfoort
- Hersener, Bühler, 1998 Energetische Nutzung von Hofdüngerfeststoffen; ARGE Biomasse, Tänikon
- Infras, 1995 Ökoinventar Transportsysteme, SPP Umwelt, Modul 5, Zürich
- Jenni Andres
Salerno, 2000 mündliche Mitteilung vom 20. Juni 2001
Apollo1 Energiegewinnung aus Hühnermist; SE solar gmbh, Langenbruck
- UFAG UFAG Laboratorien, Messungen der Nährstoff- und Schwermetallgehalte der Asche und des Hühnermistes Nr. 01-03726, im Auftrag der Salerno Engeler GmbH