

Güllenaufbereitung mittels Membrantrenntechnik

Urs MEIER und Christian HARTMANN, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), CH-8356 Tänikon

Die Intensivierung der Tierhaltung und die innere Aufstockung haben zu einem höheren Hofdüngeranfall geführt. Zusätzlich fällt die Gülle regional ungleichmässig verteilt an. Neben der begrenzten Möglichkeiten von Gülleabnahmeverträgen in tierdichten Gebieten sind auch technische Verfahren zu untersuchen, die transportfähige und leichter handelbare Endprodukte liefern.

Die Membrantrennung ist ein Trennverfahren, das gelöste Stoffe bis hin zu Elektrolyten aus wässrigen Lösungen abtrennt. Dabei wird der Volumenstrom in einen mit gelösten Stoffen angereicherten, das sogenannte Konzentrat, und einen an gelösten Stoffen verarmten Teilstrom, das Permeat, aufgeteilt. Aufgrund der unterschiedlichen Membranen wie Mikrofiltrations-, Ultrafiltrations- und Umkehrosomose-Membranen, können entsprechende Trennbereiche definiert werden (Abb. 1).

In der Abwasserreinigung kommen Membrantrennverfahren vermehrt zum Einsatz, bei denen konventionelle Verfahren (biologische Verfahren, Fällung, Flokkung) zu wenig leistungsfähig sind. Membranprozesse bewirken keine chemische und thermische Veränderung der Abwasserinhaltsstoffe. Sie eignen sich daher besonders gut für die Rückgewinnung von wertvollen Abwasserinhaltsstoffen. In der Milchwirtschaft beispielsweise erlaubt der Einsatz einer Ultrafiltration das Kon-

zentrieren von Milchprotein und Molkenproteinen. Die Umkehrosomose wird unter anderem zur Reduzierung der Transportkosten von Molke eingesetzt. Die Membrantechnologie bietet gegenüber allen anderen Verfahren den Vorteil, mit spezifisch geeigneten Membranen selektiv Nährstoffe abzutrennen. Die hohe Flexibilität der Technologie und der modulare Anlagenbau gestatten es, auf zukünftig sich ändernde Rahmenbedingungen (Vorschriften, höhere Abtrennleistungen usw.) schnell und mit geringem Aufwand reagieren zu können.

Die Prototypanlage

Die Rohgülle wird mit einem Bogensieb separiert. Die Dünggülle gelangt in einen Vorlagetank, aus dem die Membrantrennanlage beschickt wird (Abb. 2). Das Herzstück der Anlage bildet das sogenannte Modul, in dem die Membranen montiert sind. Die behandelte, aufkonzent-

rierte Dünggülle, das sogenannte Konzentrat, läuft in den Beschickungstank zurück. Die Anlage wird im Kreislauf betrieben. Das Permeat gelangt in einen separaten Auffangbehälter. Die Anlage ist einfach und kompakt aufgebaut. Das Modul findet auf einem Palett Platz.

Ultrafiltration und nachgeschaltete Umkehrosomose

Die Versuche mit der Ultrafiltration (UF) erfolgten jeweils mit separierter Dünggülle. Das Permeat ist daraufhin mit der Umkehrosomose (RO) weiterbehandelt worden. Die Nährstoffgehalte (N, P und K) im Permeat sind im Vergleich zu denen in der Rohgülle bei Schweinegülle um 96,6 % und bei Rindergülle um 96,3 % reduziert (Abb. 3). Die Nährstoffmenge in den separierten Feststoffen entspricht der Differenz zwischen der Nährstoffmenge in der Rohgülle und den Nährstoffmengen in den Produkten aus der Membrantrennung.

Einstufige Umkehrosomose

Für die Versuche ist eine einstufige Umkehrosomose direkt mit vorfiltrierter Rohgülle betrieben worden. Die Nähr-

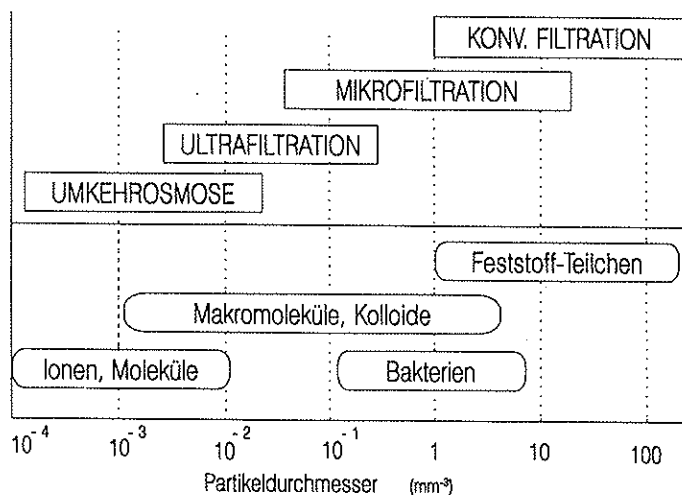


Abb. 1. Trennbereiche der Membrantrennverfahren.

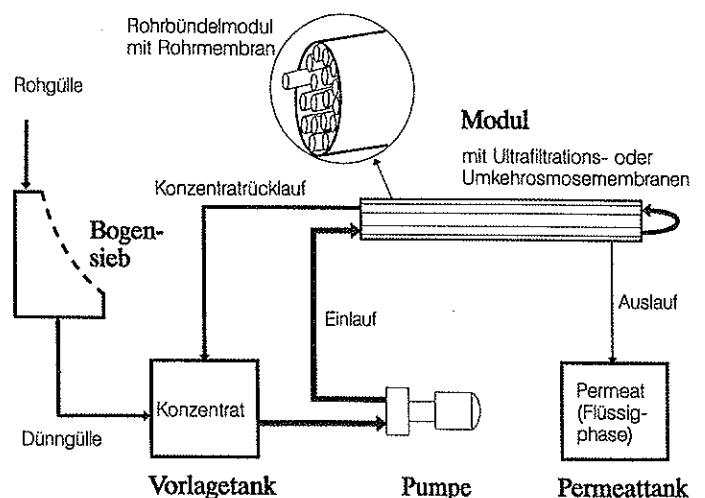
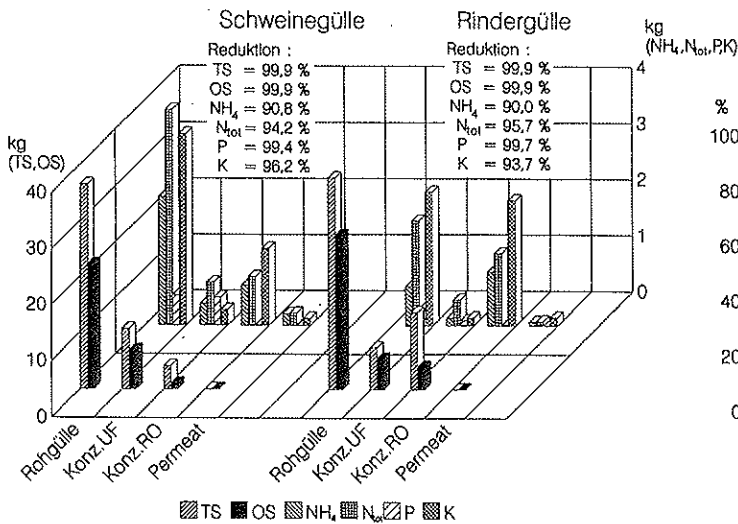
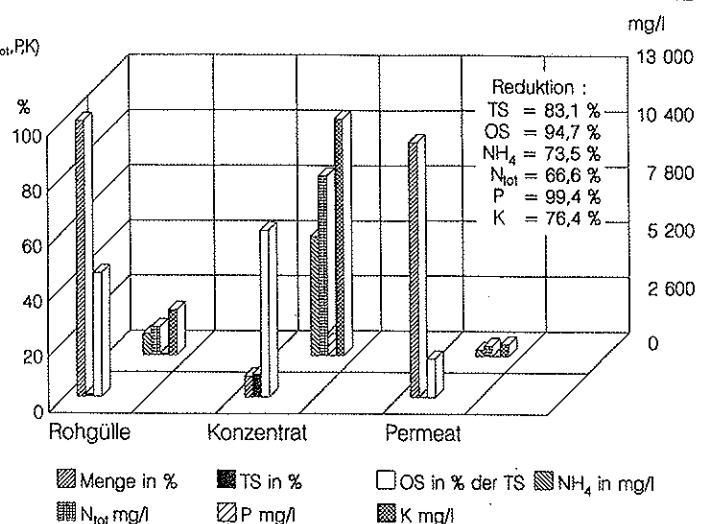


Abb. 2. Prototypanlage für Ultrafiltrations- und Umkehrosomoseversuche mit Gülle.



TS, OS = linke Skala; NH₄, N_{tot}, P, K = rechte Skala; Konz. UF = Konzentrat aus der Ultrafiltration; Konz. RO = Konzentrat aus der Umkehrosiose

Abb. 3. Nährstoffbilanz bezogen auf 1'000 Liter Rohgülle bei zwei-stufiger Membrantrennung von Schweine- und Rindergülle (ohne Nährstoffmengen in den separierten Feststoffen).



Menge, TS, OS = linke Skala; NH₄, N_{tot}, P, K = rechte Skala

Abb. 4. Gehalte im Konzentrat und Permeat nach einstufiger Umkehrosiose von Schweinegülle im Vergleich zu Rohgülle (ohne Nährstoffgehalte in den separierten Feststoffen).

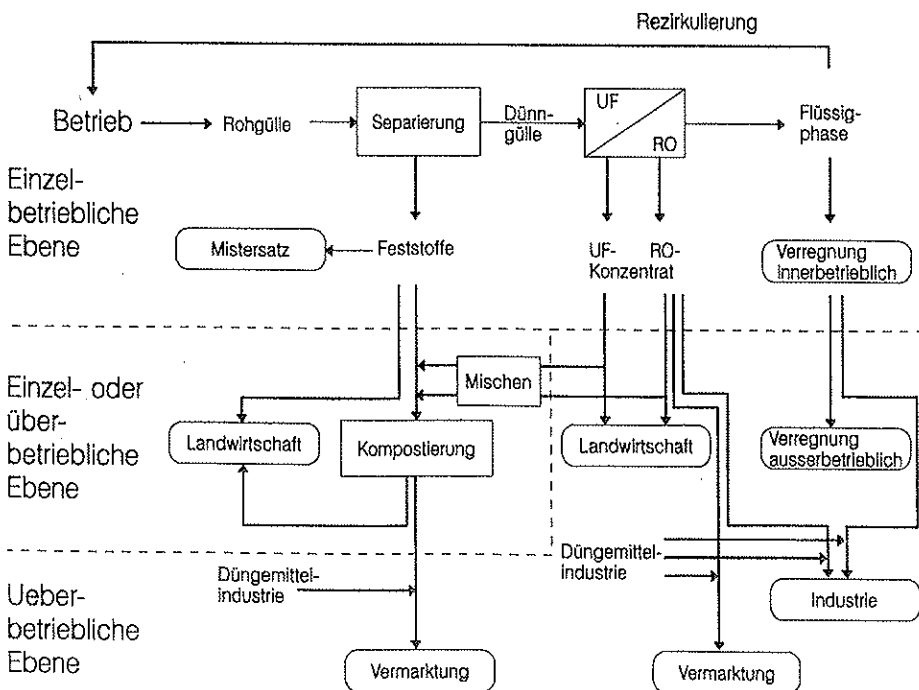
stoffelimination, bezogen auf N, P und K beträgt 80,8 % (Abb. 4). Die Rohgülle weist einen sehr hohen Wassergehalt auf und enthält überdies wenig organische Substanz. Somit liegt ein grösserer Anteil an Nährstoffen in der Gülle in Salzform vor. Die Aufkonzentrierung des Konzentrats von 0,9 % TS in der Rohgülle auf rund 8,4 % TS führt deswegen zu höheren Nährstoffmengen im Permeat. Insgesamt wurden 20'160 l Gülle behandelt. Es fielen 18 650 l Permeat und 1510 l Konzen-

trat an, was einer Konzentratmenge von 7,5 % der ursprünglichen Rohgüllemenge entspricht.

Membranlebensdauer und Praxistauglichkeit

Für diese Fragestellungen stand die Anlage während mehr als zwei Monaten auf einem Praxisbetrieb im Dauerbetrieb (24 h/Tag). Ein wichtiges Beurteilungs-

kriterium für die Membranlebensdauer ist der Permeatfluss, der innerhalb von vier Tagen von 32 l/m²-h auf 18 l/m²-h absinkt, danach bis zum 45. Versuchstag aber konstant bleibt. Nach Abschluss des Versuchs konnte die ursprüngliche Permeatflussleistung von etwa 30 l/m²-h nach Reinigen der Membranen mit Wasser wieder erreicht werden. Eine hohe Betriebssicherheit von 95 %, das heisst 5 % Stillstand, konnte nachgewiesen werden. Der Betreuungsaufwand ist mit rund 30 Minuten pro Tag minimal.



eckige Kästchen = Verfahrensstufen; abgerundete Kästchen = Verwendungsbereiche

Abb. 5. Weiterverwendung von Produkten aus der Güllenaufbereitung mittels Membrantrenntechnik.

Weiterverwendung der Endprodukte

Ein generelles Schema der Weiterverwendungsmöglichkeiten zeigt Abbildung 5. Die Endprodukte nach einer Membrantrennung sind Feststoffe aus der Separierung und eine Flüssigphase sowie ein oder zwei Konzentrate, je nach dem, ob die Membrantrennung ein- oder zweistufig betrieben wird.

Die Feststoffe aus der Separierung lassen sich als Mistersatz auf dem Betrieb einsetzen. Bei betrieblichen Nährstoffüberschüssen ist eine Abgabe an andere Landwirte oder an Haushalte notwendig. Zu Vermarktungszwecken ist eine Kompostierung vorteilhaft, die meist überbetrieblich betrieben werden sollte. Eine Mietenkompostierung eignet sich für die Behandlung der Feststoffe. Im Bereich der Vermarktung kann es von Vorteil sein, wenn mit der Düngemittelindustrie zu-



sammengearbeitet wird, um den Kompost weiter aufzuarbeiten, beispielsweise zur Zudosierung weiterer Nährstoffkomponenten (Mg usw.).

Das Konzentrat aus der Ultrafiltration ist mit den Feststoffen aus der Separierung zusammengemischt kompostierbar. Eine gesteuerte Kompostierung, beispielsweise in Rottetrommeln, ist aufgrund besserer Prozesssteuerungsmöglichkeiten einer Mietenkompostierung vorzuziehen.

Das Konzentrat aus einer Umkehrosmose nach einer vorgeschalteten Ultrafiltration ist salzreich und enthält wenig organische Substanz. In der Regel wird dieses Konzentrat wieder vor die Ultrafiltration zurückgeführt. Als Flüssigdünger ist eine direkte Abgabe an die Landwirtschaft und den Gartenbau möglich, oder das Konzentrat wird in der Industrie weiterverwendet (Entstickungsmittel in der Rauchgasreinigung usw.).

Bei der einstufigen Membrantrennung mit einer Umkehrosmose enthält das Konzentrat neben der organischen Substanz auch viele Nährsalze. Auch hier ist eine Kompostierung mit den separierten Feststoffen möglich.

Die Flüssigphase am Ende des Aufbereitungsprozesses ist zur Verregnung geeignet. Je nach betrieblichen Voraussetzungen ist auch eine teilweise Rezirkulierung sinnvoll, vor allem nach einer zweistufigen Umkehrosmose, um Wasser einzusparen. Die Flüssigphase dient dabei zu Reinigungszwecken im Stall und zur Spülung von Güllekanälen. Nach einer einstufigen Umkehrosmose enthält das Permeat nur noch wenig Nährstoffe (Tab. 1).

Tab. 1. Vergleich zwischen den Gehalten in der Rohgülle und im Permeat aus der Umkehrosmose von Schweinegülle

| Parameter | Einheit | Schweine- rohgülle | Schweine- gülleper- meat |
|------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------------|
| TS | % | 3,65 | 0,09 |
| OS | % der TS | 60,94 | 12,4 |
| Leifähigkeit | µS/cm | 9750 | 3000 |
| CSB | mgO ₂ /l | 11100 | 384 |
| BSB ₅ | mgO ₂ /l | 6900 | 285 |
| TOC | mgC/l | 2379 | 200 |
| DOC | mgC/l | 1600 | 190 |
| NH ₄ | mgN/l | 2291 | 270 |
| N _{tot} | mgN/l | 3848 | 280 |
| P | mgP/l | 544 | 5 |
| K | mgK/l | 3420 | 350 |
| Cu | mgCu/l | 2,37 | 0,04 |

Tab. 2. Kostenschätzung einer Membrantrennanlage mit einer Ultrafiltrations- und Umkehrosmosestufe inklusive Kosten der mechanischen Grobstoffabtrennung

| Durchsatzleistung im Jahr | m ³ | 1000 | 5000 |
|-----------------------------------|---------------------------------|----------------|----------------|
| Betriebsdauer im Jahr | Tage | 330 | 330 |
| Energiebedarf | kWh/m ³ | 5,2 | 6,2 |
| Investitionsbedarf | Fr. | 100000.- | 203750.- |
| Abschreibung, 10 Jahre | Fr./Jahr | 10000.- | 20375.- |
| Zinsen und Versicherungen | Fr./Jahr | 3800.- | 7742.- |
| Fixe Kosten | Fr./Jahr | 13000.- | 28117.- |
| Reparaturen | Fr./Jahr | 2000.- | 5427.- |
| Membranersatz | Fr./Jahr | 5000.- | 25000.- |
| Energiekosten, Fr. 0,2/kWh | Fr./Jahr | 1040.- | 4960.- |
| Arbeitskosten, Fr. 22.-/h | Fr./Jahr | 3630.- | 3630.- |
| Variable Kosten | Fr./Jahr | 11670.- | 39017.- |
| Betriebskosten pro Jahr | Fr. | 25470.- | 67134.- |
| Spezifische Betriebskosten | Fr./m³ · Jahr | 25,45 | 13,40 |

Eine zweistufige Umkehrosmose reduziert den Gehalt noch weiter. Obwohl verboten, ist die Möglichkeit der Einleitung in eine Kanalisation grundsätzlich als Variante denkbar. Dies bedingt eine gesetzliche Ausnahmeregelung.

Mikrobiologische Untersuchungen zeigen, dass durch eine Ultrafiltration bereits fäkalcoliforme Keime und Enterokokken vollständig und durch eine Umkehrosmose auch die Gesamtkeimzahl zu 100 % zurückgehalten werden (Reimann 1994).

Kosten für mehrstufige Membrantrennanlage

Für zwei Anlagengrößen wurde eine Separierung und eine nachgeschaltete zweistufige Membrantrennung mit einer Ultrafiltration und einer Umkehrosmose berechnet (Tab.2).

Die jährlichen Betriebskosten belaufen sich für eine Anlage für 1000 m³ Gülle auf Fr. 25,45 pro m³ Gülle beziehungsweise für eine Anlage mit 5000 m³ Gülle auf Fr. 13,40 pro m³ Gülle. Für den Betrieb einer Membrantrennanlage ist kein speziell geschultes Personal notwendig. Das Wechseln der Module ist sehr einfach und ohne längere Betriebsunterbrüche durchführbar. Die Anlage ist mit einer speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) ausgerüstet, die Störungen registriert und entsprechende Massnahmen automatisch vornimmt. Eine Membrantrennanlage, ohne Separierung, benötigt wenig Platz, beispielsweise für 5000 m³/Jahr bloss 8 m² Grundfläche. Deshalb wurde in der Kostenkalkulation kein Gebäudebedarf berechnet. Die Membran-

trennanlage muss hingegen in einem frostsicheren Raum betrieben werden. Neben der Membran und den Pumpen weist die Anlage keine weiteren Verschleisssteile auf. Bei einer Anlagenkapazität von weniger als 2500 m³ Gülle im Jahr steigt der Investitionsbedarf stark an (Abb. 6). Betriebe mit kleinen Tierbeständen sollten deswegen solche Anlagen überbetrieblich nutzen. Im überbetrieblichen Einsatz sind stationäre oder fahrbare Anlagen denkbar.

Kosten Güllenverwertung mit und ohne Aufbereitung

Die Güllenverwertung nach derzeit üblichem Stand, das heisst Transport der Überschussgülle im Rahmen von Abnahmeverträgen, muss für Wirtschaftlichkeitsüberlegungen der Aufbereitung mittels Membrantrenntechnik gegenübergestellt werden. Im Vergleich zu einer 600 m³-Aufbereitungsanlage ist der Wegtransport der Rohgülle bis zu einer Distanz von 55 km kostengünstiger (Abb. 7). Bei einer Anlagenkapazität von 5000 m³ Gülle im Jahr wird hingegen Kostengleichheit schon bei etwa 18 km Transportdistanz erreicht. In der Kostenberechnung sind die Kosten für die Lagerung, den Transport und die Ausbringung der Gülle beziehungsweise der aufbereiteten Produkte, Konzentrat und Permeat, inklusive der Arbeitskosten berechnet. Für die Membrantrennung ist eine Konzentratmenge von 10 % der Gullenmenge eingesetzt.

Der Kostenvergleich pro kg N zwischen dem Transport von Rohgülle einerseits

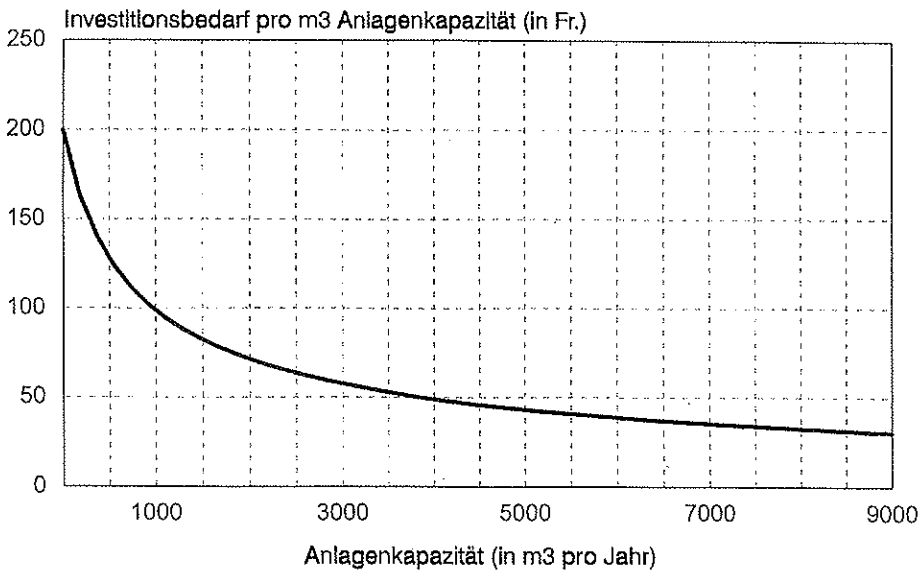


Abb. 6. Verlauf des Investitionsbedarfs in Abhängigkeit der Anlagenkapazität.

und verschiedenen Aufbereitungsverfahren andererseits zeigt, dass die Membrantrennung nicht nur die kostengünstigste Aufbereitungsmethode, sondern auch dem Güllentransport ab einer Distanz von etwas mehr als 20 km kostenmässig überlegen ist (Abb. 8). Die Aufbereitungsverfahren benötigen weniger Energie als der Transport der Rohgülle über mehr als 20 km beziehungsweise als die Herstellung von Mineraldünger.

LITERATUR

Reimann W., 1994. Membrantrennverfahren zur Aufbereitung flüssiger landwirtschaftlicher Reststoffe. Forschungsbericht 8. Institut für Agrartechnik Bornim.

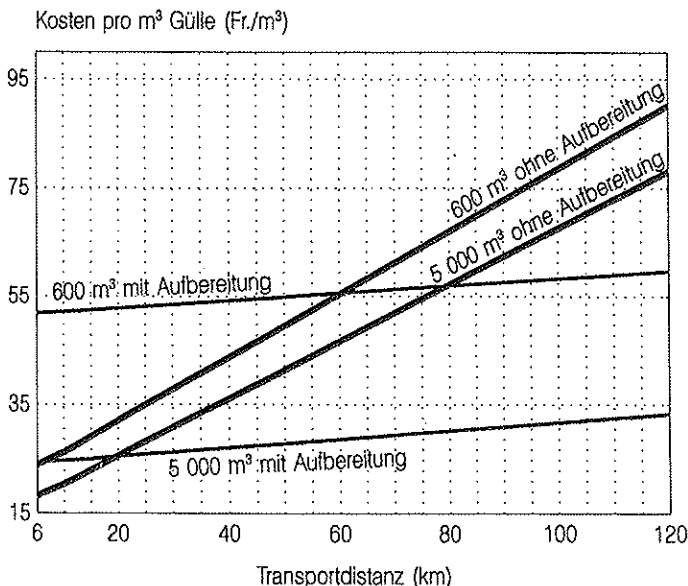


Abb. 7. Produktionskostenvergleich zwischen konventioneller Güllerverwertung und Güllerverwertung mit einer Aufbereitung in Abhängigkeit der Transportdistanz und der jährlichen Anlagenkapazität.

RÉSUMÉ

Conditionnement du lisier au moyen de la filtration par membrane

La filtration par membrane est une technique qui se prête bien au conditionnement du lisier. Deux étapes de filtration qui suivent la séparation mécanique permettent de réduire de plus de 95 % la quantité de substances nutritives contenue dans le perméat. En plus d'une augmentation de la teneur en substances nutritives du concentré, on obtient une réduction de volume de plus de 90 %. Par rapport au lisier brut, le concentré peut être transporté plus loin et à moindres frais. Le perméat peut être utilisé comme eau de nettoyage ou comme engrais liquide servant à l'irrigation. Les frais d'exploitation annuels s'élèvent à Fr. 25.- par m³ de lisier pour une installation d'un débit de 1000 m³ de

lisier par an et à Fr. 13.- par m³ pour une installation de 5000 m³.

Face à des conditions-cadres légales, économiques et politiques de plus en plus restrictives en ce qui concerne les contrats de prise en charge d'engrais de ferme, les excédents de lisier doivent être transportés toujours plus loin. Le conditionnement du lisier dans une installation d'une capacité de 5000 m³ par an devient rentable à partir de distances de transport de plus de 18 km. De tous les procédés actuellement appliqués, la filtration par membrane est la méthode la plus efficace.

SUMMARY

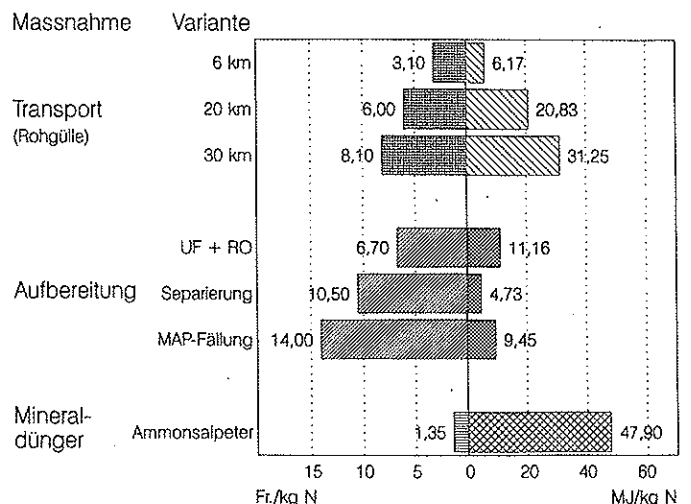
Slurry processing by membrane separation

Membrane separation is a suitable technique for treating slurry. A two-stage filtration with previous mechanical separation reduces the amount of nutrients in the permeate by more than 95 %. In addition to increasing the nutrient content of the concentrate, it leads to a reduction in volume of more than 90 %. Compared to raw slurry, the concentrate can be transported at a lower cost and over longer distances. The permeate can be used either as washing water or as a low-nutrient liquid fertilizer for irrigation purposes.

The annual running cost is Fr. 25.- per m³ for a plant with a capacity of 1000 m³ per year and Fr. 13.- per m³ for a 5000 m³ plant.

Restrictions on the legal, economic and political level making it more and more difficult to dispose of slurry by take-over contracts, excessive amounts need to be transported over increasingly long distances. Slurry processing in a 5000 m³ plant becomes profitable at distances from 18 km upwards. Of all the methods currently used, membrane separation is the most efficient one.

KEY WORDS: Ultrafiltration, reverse osmosis, slurry processing



Rohgülle mit 2'500 mg N/l; Ammonsalpeter mit 27,5 % N; UF + RO = zweistufige Membrantrennung, Separierung mit Siebschnecke, MAP-Fällung = Magnesium-Ammonium-Phosphat-Fällverfahren

Abb. 8. Kostenvergleich und Energieaufwand pro kg eliminiertem Stickstoff zwischen Transport der Rohgülle und verschiedenen Aufbereitungsverfahren sowie Mineraldünger.