



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

**Innosuisse – Schweizerische Agentur
für Innovationsförderung**



Swiss Competence Center for
Energy Research

Zürcher Hochschule
für Angewandte Wissenschaften



**Life Sciences und
Facility Management**

ICBT Institut für
Chemie und Biotechnologie

Datum: 09.09.2022 **Ort:** Wädenswil

Auftraggeberin:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Biomasse
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Kofinanzierung:

Der BFE-Anteil an den Gesamtprojektkosten beträgt 70%. Die restlichen 30% werden anteilig von den an diesem Projekt beteiligten Forschungspartnern getragen: Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Ingenieurbüro HERSENER, LAVEBA Genossenschaft, GRegio Energie AG und ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften.

Auftragnehmer/in:

ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften
Institut für Chemie und Biotechnologie, Fachgruppe Umweltbiotechnologie
Campus Reidbach, Postfach
CH-8820 Wädenswil
www.zhaw.ch/icbt/umweltbiotech

Autor/in:

Gillianne Bowman, WSL, gillianne.bowman@wsl.ch
Vanessa Burg, WSL, vanessa.burg@wsl.ch
Jean-Louis Hersener, Ingenieurbüro HERSENER, hersener@agrenum.ch
Thomas Keel, LAVEBA thomas.keel@laveba.ch
Andreas Mehli, G-Regio Energie, info@andreasmechli.ch
Jörg Musiolik, ZHAW, joerg.musiolik@zhaw.ch
Hans-Joachim Nägele, ZHAW, hans-joachim.naegele@zhaw.ch
Florian Rüschi, ZHAW, florian.ruesch@zhaw.ch
Michèle Senn, ZHAW, michele.senn@zhaw.ch
Anton Sentic, ZHAW, anton.sentic@zhaw.ch
Adrian Steiner, Projektentwickler Safiental, adrian.steiner@naturpark-beverin.ch

BFE-Bereichsleitung: Sandra Hermle, sandra.hermle@bfe.admin.ch
BFE-Programmleitung: Sandra Hermle
BFE-Vertragsnummer: SI/502006-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Bundesamt für Energie BFE

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen; Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. +41 58 462 56 11 · Fax +41 58 463 25 00 · contact@bfe.admin.ch · www.bfe.admin.ch



Zusammenfassung

Das nutzbare Hofdüngerpotenzial zur Energiegewinnung in der Schweiz beträgt 15.5 PJ Biogasertrag im Jahr, wobei heute nur ca. 3-5 % genutzt werden. Bisher ist die reine Hofdüngernutzung zur Biogasproduktion in den meisten Fällen unwirtschaftlich, d.h. die Energiegestehungskosten sind im Vergleich zu anderen Verfahren der erneuerbaren Energieproduktion (Sonnen, Wind, Wasser etc.) verhältnismässig hoch. Die Gründe hierfür sind zum einen die geringe Energiedichte in Hofdüngern und zum anderen die hohen Anlagekosten, welche den Bau kleiner Biogasanlagen in der Schweiz verhindern. Die derzeitigen Energiepreise und Fördermöglichkeiten reichen nicht aus, um dieses Potenzial zu erschliessen. Bis heute konnten die positiven ökologischen und sozio-ökonomischen Eigenschaften der Biogasproduktion nicht in der Wirtschaftlichkeitsrechnung internalisiert werden. Im Gegensatz dazu können weitere Faktoren, wie z.B. Recht oder Politik, in der Praxis bei der Implementierung von Biogasverfahren negativ ausgelegt werden und den Bau einer Anlage erheblich beeinflussen oder sogar verhindern. Die Baubewilligungsverfahren insbesondere für landwirtschaftliche Biogasanlagen sind komplex, aufwändig, zeitintensiv und die Bewilligungspraxis je nach Kanton und Gemeinde unterschiedlich.

Mit Hilfe der Separationstechnologie für Gülle wird im Vorprojekt NETZ (VP NETZ) ein neuer Lösungsansatz vorgestellt. Die Projektidee sieht vor, die Gülle auf den Landwirtschaftsbetrieben zu separieren und den festen Anteil verschiedener Betriebe in einer «regionalen» Vergärungsanlage zu verwerten. Die flüssige Phase verbleibt auf den Landwirtschaftsbetrieben und wird dort in hofseitigen Kleinbiogasanlagen energetisch verwertet. Die Vorteile der Separierung sind geringere Transportkosten, eine höhere Energiedichte in der festen Phase, eine einfachere Verarbeitung der flüssigen Phase und verbesserte physikalische Eigenschaften der Hofdünger.

Um das regionale Potenzial besser zu erschliessen, wurden im Rahmen dieses Vorprojekts allgemein gültige Beurteilungskriterien erarbeitet. Sie umfassen die Punkte: Potenzial, Ökologie, Nährstoffmanagement, Recht, Politik, Soziales, Technik & Technologie, Dimensionierung und Wirtschaftlichkeit. Mit Hilfe dieser Beurteilungskriterien lässt sich auf Stufe der politischen Gemeinde abschätzen, wo, wie viele und welche Anlagentypen realisiert werden können. Die Beurteilungskriterien zur Realisierung eines NETZ wurden im Anschluss in zwei Projektregionen, Waldkirch und Safiental, mit Unterstützung von Biogas-Projektentwicklern getestet und evaluiert. Basierend auf den oben genannten Beurteilungskriterien ist es gelungen, Anlagenkonzepte für die NETZ-Idee für beide Projektregionen zu entwickeln und zu evaluieren. Die Anlagenkonzepte weichen in den Regionen voneinander ab. Im Fallbeispiel Waldkirch wurde für die Region ein theoretisches Biomethanertragspotenzial (BMP) von 37'617 GJ und ein Überschuss an Nährstoffen von 8'419 m³ Gülle ermittelt. Das mit den Projektentwicklern derzeit erreichbare Potenzial liegt bei nur 35 % des theoretischen BMP. Somit stehen tatsächlich jährlich 54'000 t Hofdünger zur Biogaserzeugung zur Verfügung. Nach der Separation ergeben sich daraus 4'600 t Feststoffe und 48'800 t Dünngülle. Das Energiepotenzial in den Feststoffen beträgt 5'500 GJ und aus der Dünngülle 7'800 GJ. Aufgrund des Potenzials und der technischen Machbarkeit auf Basis der Dimensionierung können mindestens eine regionale Anlage (200 kW_{el.}) sowie über 20 hofseitige Kleinanlagen (20'000-270'000 kWh_{ch.}) Jahresproduktion). Die Bandbreite der jährlichen Durchschnittsleistung bei den hofseitigen Kleinanlagen bewegt sich daher zwischen 200 W und 30.7 kW_{ch.} bei einem Mittelwert von 8.5 kW_{ch.}

In naher Zukunft wird in der Region Waldkirch trotz des vorhandenen Biomassepotenzials und des Energie- und Wärmebedarfs voraussichtlich kein Projekt umgesetzt. Die Gründe hierfür sind einerseits Unstimmigkeiten zwischen den Betrieben und andererseits die fehlende Möglichkeit, durch Umzonung einen geeigneten Standort für die regionale Vergärungsanlage zu finden.



Im Fallbeispiel Safiental konnte ein theoretisches Biomethanertragspotenzial von für die gesamte Tal-schaft 21'000 GJ berechnet werden. Ein Nährstoffüberschuss besteht nicht. Mit Hilfe des Projektent-wicklers konnten Zahlen für die Ortschaft Valendas erhoben werden, wobei nur 10 % des theoretischen BMP als derzeit nutzbar ausgewiesen werden. Wird dieses Potenzial von 4'700 t Gülle separiert, können 800 t Feststoff und 3'900 t Dünngülle gewonnen werden. Das Energiepotenzial in den Feststoffen be-trägt 1'000 GJ und aus der Dünngülle 1'000 GJ. Die Bandbreite bei den hofseitigen Kleinanlagen be-wegt sich zwischen 0.5-7.1 kW_{ch}. bei einer Durchschnittsleistung von 3.4 kW_{ch}. Gemäss dem ausgewie-senen Potenzial würden sich in Valendas theoretisch 8 der insgesamt 9 untersuchten Betriebe für eine hofseitige Kleinanlage mit jährlich 17'000-62'000 kWh_{ch} eignen. Aus dem in Valendas vorhandenen Po-tenzial wird vorerst nur eine Kleinanlage mit rund 9 kW_{el}. auf einem Standort geplant. Dabei werden verschiedene Betriebe mit einer Gülleleitung verbunden. Die Separierung erfolgt an der zentralen An-lage. Der anfallende Feststoff wird energetisch nicht verwertet und nach einer Trocknung zur Einstreu verwendet. Durch ein zentrales Güllelager können die temporär auftretenden Nährstoffspitzen auf den Betrieben ausgeglichen werden.

Das Projektziel, 60 % des nutzbaren Potenzials zu erschliessen, war in den Projektregionen im Rahmen dieses Vorprojekts nicht realisierbar. In der Praxis zeigt sich, dass trotz hohem Engagement der Pro-jektentwickler, der Aufwand alle Beteiligten in diesen Prozess zu integrieren, sehr hoch ist. Die Kriterien Ökologie, Nährstoffmanagement und Politik konnten positiv beurteilt werden und stehen der Biogasnut-zung nicht entgegen. Hemmend wirkten sich die Kriterien Recht und Soziales aus. Zum einen können neu beschlossene Zonenpläne erst nach Ablauf der Sperrfrist für die Bauvorhaben angepasst werden und andererseits führen Konflikte und unterschiedliche Interessen der Landwirte zu einer erheblichen Verzögerung. Unter den aktuellen Energiepreisen und Förderbedingungen wäre eine regionale Anlage in Waldkirch voraussichtlich wirtschaftlich betreibbar. Unter den spezifischen Bedingungen, welche für die geplante Anlage im Safiental getroffen wurde, ist auch diese allenfalls wirtschaftlich betreibbar. Das Risiko einer Investition wird aber von den Beteiligten gescheut, sofern dieses nicht anderweitig z.B. durch eine Trägerschaft oder Stiftung abgemildert werden kann. Für die hofseitigen Kleinbiogasanlagen konnte nur unter sehr speziellen Rahmenbedingungen (z.B. Einstreuproduktion, sehr lange Abschrei-bungsdauern oder verhältnismässig hohe Energiegestehungskosten) und nur bedingt eine Wirtschaft-lichkeit errechnet werden. Es zeigt sich, dass aktuell zu wenig praxiserprobte Kleinbiogasanlagen und Konzepte zur Verwertung von Hofdünger am Schweizer Markt erhältlich sind. Daher ist es notwendig, Pilotanlagen zu implementieren die es erlauben, NETZ-Konzepte zu demonstrieren und eine solide Da-tenbasis zur Bewertung anhand der entsprechenden Kriterien zu schaffen. Anhand dieser evaluierten Daten kann in nachfolgenden Projekten gezeigt werden, welche Anlagenkonzepte in verschiedenen Regionen unter welchen Bedingungen zu realisieren sind. Dabei steht nicht im Vordergrund, das ge-samte Potenzial im Hofdünger abzugreifen, sondern nur das wirtschaftlichste Potenzial zu realisieren.

Das Resultat des Vorprojekts NETZ ermöglicht es eine individuelle, massgeschneiderte Lösung für jede schweizerische Region auf Gemeindeebene zu entwickeln. Aufgrund der verhältnismässig hohen Ener-giegestehungskosten und der fehlenden Internalisierung positiver Effekte der Biogasproduktion ist es betriebswirtschaftlich nahezu unmöglich, das NETZ-Konzept derzeit in der Praxis zu implementieren. Der entgangene Nutzen, welcher durch den Verzicht auf die energetische und stoffliche Verwertung von Hofdünger in Biogasanlagen in Kauf genommen wird, kann in rein betriebswirtschaftlichen Betrachtun-gen nicht aufgezeigt werden. Damit bleiben, ganz abgesehen vom Energiepotenzial, wertvolle Ressour-cen wie lokale Nährstoffbewirtschaftung, Schaffung von Arbeitsplätzen, regionale Entwicklung, Arten-vielfalt, Nährstoffeffizienz, etc. ungenutzt. Die Integration dieser Faktoren gelingt nur, wenn zukünftig mit Hilfe eines regionalen Pilotprojektes die zusätzlichen positiven Effekte, welche der NETZ-Idee zu Grunde liegen, aufgezeigt und demonstriert werden und wenn der lokal produzierten, nachhaltigen Energieerzeugung sowie der Deckung von Eigenbedarf ein entsprechender Wert zugewiesen wird.



Résumé

Le potentiel utilisable des engrais de ferme pour la production d'énergie en Suisse s'élève à 15,5 PJ de rendement en biogaz par an, dont seulement 3-5 % environ sont utilisés aujourd'hui. Jusqu'à présent, l'utilisation des engrais de ferme seuls pour la production de biogaz n'est pas rentable dans la plupart des cas, c'est-à-dire que les coûts de revient de l'énergie sont relativement élevés par rapport à d'autres procédés de génération d'énergie renouvelable (soleil, vent, eau, etc.). Cela s'explique d'une part par la faible densité énergétique dans les engrais de ferme et d'autre part par les coûts d'installation élevés, qui empêchent la construction de petites installations de biogaz en Suisse. Les prix actuels de l'énergie et les possibilités de soutien ne suffisent pas à exploiter ce potentiel. Jusqu'à présent, les caractéristiques écologiques et socio-économiques positives de la production de biogaz n'ont pas pu être internalisées dans le calcul de rentabilité. En revanche, d'autres facteurs, tels que le droit ou la politique, peuvent être utilisés négativement dans la pratique lors de la mise en œuvre d'installation de biogaz et influencer considérablement, voire empêcher la construction d'une installation. Les procédures de permis de construire, en particulier pour les installations de biogaz agricole, sont complexes, coûteuses et prennent beaucoup de temps, et les pratiques d'autorisation varient selon les cantons et les communes.

Grâce à la technologie de séparation du lisier, l'avant-projet NETZ (VP NETZ) présente une nouvelle solution. L'idée du projet est de séparer le lisier dans les exploitations agricoles et de valoriser la partie solide de différentes exploitations dans une installation de méthanisation "régionale". La phase liquide reste sur les exploitations agricoles et y est valorisée énergétiquement dans de petites installations de biogaz situées dans la ferme. Les avantages de la séparation sont des coûts de transport réduits, une densité énergétique plus élevée dans la phase solide, un traitement plus simple de la phase liquide et des propriétés physiques améliorées des engrais de ferme.

Afin de mieux exploiter le potentiel régional, des critères d'évaluation généraux ont été élaborés dans le cadre de cet avant-projet. Ils comprennent les points suivants : Potentiel, Écologie, Gestion des éléments nutritifs, Droit, Politique, Social, Technique & Technologie, Calibrage et Rentabilité. Ces critères d'évaluation permettent d'estimer, au niveau de la commune politique, où, combien et quels types d'installations peuvent être réalisés. Les critères d'évaluation pour la réalisation d'un NETZ ont ensuite été testés et évalués dans deux régions pour ce projet, Waldkirch et Safiental, avec le soutien de développeurs de projets de biogaz. Sur la base des critères d'évaluation mentionnés plus haut, il a été possible de développer et d'évaluer des concepts d'installation pour le concept de NETZ dans les deux régions du projet. Les concepts d'installation diffèrent d'une région à l'autre. Dans l'étude de cas de Waldkirch, un potentiel théorique de rendement en biométhane (PRB) de 37,617 GJ et un excédent de nutriments de 8,419 m³ de lisier ont été déterminés pour la région. Le potentiel actuellement réalisable selon les développeurs de projets ne représente que 35 % du PRB théorique. Ainsi, 54'000 t d'engrais de ferme sont effectivement disponibles chaque année pour la production de biogaz. Après séparation, cela donne 4'600 t de matières solides et 48'800 t de lisier liquide séparé. Le potentiel énergétique dans les matières solides est de 5'500 GJ et de 7'800 GJ à partir du lisier liquide séparé. Compte tenu du potentiel et de la faisabilité technique sur la base du calibrage, au moins une installation régionale (200 kW_{el}.) et plus de 20 petites installations dans les fermes (20'000-270'000 kWh_{ch}) peuvent être produites annuellement. La fourchette de la puissance moyenne annuelle des petites installations dans les fermes se situe donc entre 200 W et 30,7 kW_{ch}. avec une valeur moyenne de 8,5 kW_{ch}.

Dans un avenir proche, aucun projet ne sera probablement mis en œuvre dans la région de Waldkirch, malgré le potentiel de biomasse existant et les besoins en énergie et en chaleur. Les raisons en sont, d'une part, des désaccords entre les exploitants et, d'autre part, l'impossibilité de trouver un site approprié pour l'installation régionale de méthanisation en modifiant le zonage.



Dans l'exemple du Safiental, un potentiel théorique de rendement en biométhane de 21'000 GJ a pu être calculé pour l'ensemble de la vallée. Il n'y a pas d'excédent de nutriments. Avec l'aide du développeur de projet, des chiffres ont pu être collectés pour la localité de Valendas, où seuls 10 % du PRB théorique sont indiqués comme actuellement utilisables. Si l'on sépare ce potentiel de 4 700 t de lisier, il est possible d'obtenir 800 t de matières solides et 3 900 t de lisier liquide séparé. Le potentiel énergétique dans les matières solides est de 1'000 GJ et de 1'000 GJ à partir du lisier liquide séparé. La fourchette des petites installations dans les fermes se situe entre 0,5 et 7,1 kWch, avec une puissance moyenne de 3,4 kWch. Selon le potentiel démontré, 8 des 9 exploitations étudiées se prêteraient théoriquement à une petite installation à la ferme produisant 17'000 à 62'000 kWh par an. Sur la base du potentiel disponible à Valendas, seule une petite installation d'environ 9 kW est prévue dans un premier temps sur un site. Différentes exploitations seront reliées par une canalisation de lisier. La séparation se fait dans l'installation centrale. Les matières solides produites ne sont pas valorisées énergétiquement et sont utilisées pour la litière après un séchage. Un stockage central du lisier permet de compenser les pics de nutriments qui surviennent temporairement dans les exploitations.

L'objectif du projet, à savoir exploiter 60 % du potentiel utilisable, n'était pas réalisable dans les régions étudiées dans le cadre de cet avant-projet. Dans la pratique, il s'avère que malgré l'engagement important des développeurs de projets, l'effort pour intégrer toutes les parties prenantes dans ce processus est très élevé. Les critères de l'écologie, la gestion des nutriments et la politique, ont pu être évalués positivement et ne s'opposent pas à l'utilisation du biogaz. Les critères juridiques et sociaux ont constitué un frein. D'une part, les plans de zonage nouvellement adoptés ne peuvent être adaptés qu'après l'expiration du délai de blocage des projets de construction et, d'autre part, les conflits et les intérêts divergents des agriculteurs entraînent un retard considérable. Compte tenu des prix actuels de l'énergie et des conditions de subvention, une installation régionale à Waldkirch serait vraisemblablement exploitable de manière rentable. Dans les conditions spécifiques qui ont été choisies pour l'installation prévue dans le Safiental, celle-ci peut également être exploitée de manière rentable. Les parties concernées craignent toutefois le risque lié à un investissement, dans la mesure où celui-ci ne peut pas être atténué autrement, par exemple par un partenariat ou une fondation. Pour les petites installations de biogaz à la ferme, la rentabilité n'a pu être calculée que dans des conditions très particulières (p. ex. production de litière, très longues durées d'amortissement ou coûts de production d'énergie relativement élevés) et seulement sous certaines conditions. Il s'avère qu'actuellement, trop peu de petites installations de biogaz et de concepts de valorisation des engrais de ferme ayant fait leurs preuves dans la pratique sont disponibles sur le marché suisse. Il est donc nécessaire de mettre en place des installations pilotes qui permettent de démontrer le concept NETZ et de créer une base de données solide pour une évaluation à l'aide des critères développés. Sur la base de l'évaluation de ces données, il sera possible de montrer dans des projets ultérieurs quels concepts d'installations peuvent être réalisés dans différentes régions, et dans quelles conditions. L'objectif principal n'est pas d'exploiter tout le potentiel des engrais de ferme, mais uniquement d'utiliser le potentiel le plus économique.

Le résultat de l'avant-projet NETZ permet de développer une solution individuelle et sur mesure pour chaque région suisse au niveau communal. En raison des coûts de production d'énergie relativement élevés et de l'absence d'internalisation des effets positifs de la production de biogaz, il est pratiquement impossible, d'un point de vue économique, de mettre en œuvre le concept NETZ dans la pratique actuellement. Le manque à gagner lié à l'absence de valorisation énergétique et matérielle des engrais de ferme dans les installations de biogaz ne peut pas être démontré en suivant des considérations purement économiques. Ainsi, sans parler du potentiel énergétique, des bénéfices précieux tels que la gestion locale des nutriments, la création d'emplois, le développement régional, la biodiversité, le rendement des nutriments, etc. restent inexploités. L'intégration de ces facteurs ne sera possible que si, à l'avenir, les effets positifs additionnels qui sous-tendent le concept de NETZ sont démontrés et prouvés à l'aide d'un projet pilote régional et si une valeur adaptée est attribuée à la production d'énergie durable produite localement ainsi qu'à la couverture des besoins propres.



Summary

The usable manure potential for energy production in Switzerland is 15.5 PJ of biogas yield per year, although only about 3-5 % is used today. So far, the use of farmyard manure on its own for biogas production is uneconomical in most cases, i.e. the energy production costs are relatively high compared to other methods of renewable energy production (solar, wind, water, etc.). The reasons for this are, on the one hand, the low energy density in manure and, on the other hand, the high plant costs, which prevent the construction of small biogas plants in Switzerland. Current energy prices and funding opportunities are not sufficient to tap this potential. To date, it has not been possible to internalize the positive ecological and socio-economic characteristics of biogas production in the economic calculation. In contrast, other factors, such as law or politics, can be used negatively in practice when implementing biogas processes and can significantly influence or even prevent the construction of a plant. The building permit procedures, especially for agricultural biogas plants, are complex, elaborate, time-consuming and the permit practice varies depending on the canton and municipality.

With the help of separation technology for liquid manure, a new solution is presented in the preliminary project NETZ (VP NETZ). The project idea is to separate the liquid manure on the farms and to utilize the solid part of various farms in a "regional" fermentation plant. The liquid phase remains on the farms and is energetically used in small-scale biogas plants on the farms. The advantages of separation are lower transport costs, higher energy density in the solid phase, easier processing of the liquid phase and improved physical properties of the farmyard manure.

In order to better use the regional potential, commonly applicable assessment criteria were developed as part of this preliminary project. They include the following points: Potential, Ecology, Nutrient Management, Legal, Political, Social, Technical & Technological, Dimensioning and Economic. With the help of these assessment criteria, it is possible to estimate at the level of the municipality where, how many and which types of facilities can be installed. The assessment criteria for the implementation of a NETZ were subsequently tested and evaluated in two project regions, Waldkirch and Safiental, with the support of biogas project developers. Based on the above-mentioned assessment criteria, it was possible to develop and evaluate plant concepts for the NETZ concept for both project regions. The system concepts differ from each other depending on the regions. In the Waldkirch case study, a theoretical biomethane yield potential (BMP) of 37,617 GJ and a surplus of nutrients of 8,419 m³ of manure were determined for the region. The potential currently achievable with the project developers is only 35% of the theoretical BMP. Thus, there are actually 54'000 t of manure available annually for biogas production. After separation, this results in 4'600 t of solids and 48'800 t of thin manure. The energy potential in the solids is 5'500 GJ and from the thin manure 7'800 GJ. Based on the potential and the technical feasibility on the basis of dimensioning, at least one regional plant (200 kW_{el}.) and more than 20 farm-side small plants (20'000-270'000 kWh_{ch}) annual production can be built. The range of the annual average output of the small-scale on-farm systems is therefore between 200 W and 30.7 kW_{ch}. with an average value of 8.5 kW_{ch}.

No project is likely to be implemented in the Waldkirch region in the near future, despite the existing biomass potential and the energy and heat requirements. The reasons for this are, on the one hand, disagreements between the farms and, on the other hand, the lack of possibility to find a suitable location for the regional fermentation plant through re-zoning.



In the Safiental case study, a theoretical biomethane yield potential of 21,000 GJ could be calculated for the entire valley. There is no nutrient surplus. With the help of the project developer, it was possible to obtain figures for the village of Valendas, whereby only 10 % of the theoretical BMP is shown as currently usable. If this potential of 4,700 t of slurry is separated, 800 t of solid matter and 3,900 t of thin slurry can be obtained. The energy potential in the solids is 1,000 GJ and from the thin manure 1,000 GJ. The range of small-scale on-farm systems is between 0.5-7.1 kW_{ch}, with an average capacity of 3.4 kW_{ch}. According to the potential shown, 8 of the 9 farms investigated in Valendas would theoretically be suitable for a small-scale on-farm system with an annual output of 17,000-62,000 kWh_{ch}. From the potential available in Valendas, only one small-scale plant with around 9 kW_{el} is planned on one site for the time being. Various farms will be connected with a slurry pipeline. Separation will take place at the central plant. The solid matter produced is not used for energy and, after drying, is used for bedding. The temporary nutrient peaks on the farms can be balanced out by a central slurry storage facility.

The project goal of exploiting 60 % of the usable potential was not feasible in the project regions within the framework of this preliminary project. In practice, it has been shown that, despite the high commitment of the project developers, the effort to integrate all stakeholders in this process is very high. The criteria ecology, nutrient management and politics could be considered positively and do not stand in the way of biogas use. The legal and social criteria have an inhibiting effect. On the one hand, newly adopted zoning plans can only be adapted after the blocking period for construction projects has expired, and on the other hand, conflicts and different interests of the farmers lead to considerable delays. Under current energy prices and subsidy conditions, a regional plant in Waldkirch would probably be economically viable. Under the specific conditions that were agreed upon for the planned plant in Safiental, it too could be operated economically. However, the risk of an investment can discourage those involved, unless this can be mitigated in some other way, e.g. through partnership or foundation. For small-scale biogas plants on farms, economic viability could only be calculated under very specific conditions (e.g. bedding production, very long amortization periods or relatively high energy generation costs) and only to a limited extent. It has become apparent that there are currently too few field-tested small-scale biogas plants and concepts for the utilization of manure available on the Swiss market. Therefore, it is necessary to implement pilot plants that allow the demonstration of NETZ concepts and to create a solid data basis for the evaluation according to the corresponding criteria. Based on this evaluated data, subsequent projects can show which plant concepts can be implemented in different regions and under which conditions. The focus is not on exploiting the entire manure potential, but on utilizing only the most economical potential.

The result of the preliminary NETZ project makes it possible to develop an individual, tailor-made solution for each Swiss region at the municipality level. Due to the relatively high energy production costs and the lack of internalization of positive effects of biogas production, it is almost impossible to implement the NETZ concept in practice at present in an economically viable way. The lost benefit, which occurs when manure is not used for energy and material purposes in biogas plants, cannot be shown in purely economic considerations. Thus, quite apart from the energy potential, valuable resources such as local nutrient management, job creation, regional development, biodiversity, nutrient efficiency, etc. remain unused. The integration of these factors will only succeed if, in the future, with the help of a regional pilot project, the additional positive effects that underlie the NETZ idea are shown and demonstrated, and if a corresponding value is assigned to locally produced, sustainable energy generation as well as the coverage of own needs.



Take-home messages

- Mit Hilfe des entwickelten Grundkonzeptes, der Beurteilungskriterien (Potenzial, Ökologie, Nährstoffmanagement, Recht, Politik, Soziales, Technik, Dimensionierung und Wirtschaftlichkeit) und des Dimensionierungstools können zukünftig für beliebige Regionen die Entscheide für Biogasprojekte besser unterstützt werden. Die Ergebnisse aus den Projektregionen Safiental und Waldkirch zeigen, dass neben den technischen und wirtschaftlichen auch die weiteren Beurteilungskriterien bei der Umsetzung von entscheidender Bedeutung.
- Das energetische Potenzial in der auf den Höfen verbleibenden Dünggülle ist in den untersuchten Projektregionen auf einzelbetrieblicher Basis sehr gering. Die dafür notwendigen Anlagentypen sind am Markt derzeit nur in sehr geringem Masse verfügbar und in der Praxis nicht getestet. Die Technik für eine zentrale Biogasanlage hingegen, in welcher der feste Hofdüngerbestandteil verwertet werden kann ist am Markt verfügbar und deren Technik ist ausgereift.
- Die Berechnungen zeigen, dass vor allem zum Betrieb der hofseitigen Biogasanlagen in Zukunft bislang nicht berücksichtigte positive Effekte (Co-Benefits) und/oder Systemdienstleistungen der Biogasproduktion aus Hofdüngern mit in die Betrachtungen einfließen müssen. Selbst unter sehr günstigen Annahmen für die Förderung von Biogasanlagen können diese nur knapp einen wirtschaftlichen Betrieb erreichen.
- Als zentrale zukünftige Aufgabe kann festgehalten werden, dass es gerade für die Kleinanlagen Demonstrationsprojekte zwingend braucht. Derzeit gibt es keine fundierte Datenbasis zur Verifikation der angenommenen Parameter. Demonstrationsprojekte im Praxismassstab könnten dazu beitragen diese Datenbasis zu generieren und darüber hinaus als Leuchtturm zur Wissensvermittlung zu fungieren.

Take-home messages FR

- À l'aide du concept de base développé, des critères d'évaluation (potentiel, écologie, gestion des nutriments, droit, politique, social, technique, calibrage et rentabilité) et de l'outil de calibrage, les décisions concernant les projets de biogaz pourront être mieux accompagnées à l'avenir pour n'importe quelle région. Les résultats des régions du projet Safiental et Waldkirch montrent qu'en plus des critères techniques et économiques, les autres critères d'évaluation sont d'une importance décisive pour la réalisation des projets.
- Le potentiel énergétique dans le lisier liquide séparé restant dans les fermes est très faible dans les régions étudiées sur une base individuelle. Les types d'installations nécessaires à cet effet ne sont actuellement que très peu disponibles sur le marché et n'ont pas été testés dans la pratique. En revanche, la technique pour une installation centrale de biogaz, dans laquelle les engrais de ferme solides peuvent être valorisés, est disponible sur le marché et sa technique est parfaitement éprouvée.
- Les calculs montrent que, surtout pour l'exploitation des installations de biogaz dans les fermes, il faudra à l'avenir intégrer les effets positifs dans les considérations (co-bénéfices) et/ou les services du système de la production de biogaz à partir d'engrais de ferme qui n'ont pas encore été pris en compte. Même avec des hypothèses très favorables pour la promotion des installations de biogaz, celles-ci peuvent tout juste parvenir à une exploitation rentable.
- Dans l'avenir, on peut retenir comme tâche centrale qu'il faut impérativement des projets de démonstration, en particulier pour les petites installations. Actuellement, il n'existe pas de base de données solide pour vérifier les paramètres choisis ici. Des projets de démonstration à l'échelle pratique pourraient contribuer à générer cette base de données et, en outre, servir de projet phare pour la transmission des connaissances.



Take-home messages EN

- With the help of the basic concept developed, the assessment criteria (potential, ecology, nutrient management, law, politics, social issues, technology, dimensioning and economic viability) and the dimensioning tool, decisions for biogas projects can be better supported for any region in the future. The results from the Safiental and Waldkirch project regions show that, in addition to the technical and economic criteria, the other assessment criteria are also of decisive importance for implementation.
- The potential for energy in the thin manure remaining on the farms is very low in the project regions studied on an individual farm basis. The necessary plant types are currently only available on the market to a very limited extent and have not been tested in practice. The technology for a central biogas plant, on the other hand, in which the solid manure component can be utilized, is available on the market and its technology is mature.
- The calculations show that, especially for the operation of on-farm biogas plants, positive effects (co-benefits) and/or system services of biogas production from farmyard manure that have not been taken into account so far must be included in the considerations in the future. Even under very favorable assumptions for the promotion of biogas plants, they can barely achieve economic operation.
- As a central future task, it can be stated that demonstration projects are absolutely necessary, especially for small-scale systems. Currently, there is no well-founded database to verify the chosen parameters. Demonstration projects on a real-life scale could contribute to generating this database and also act as a beacon for knowledge transfer.



Inhaltsverzeichnis

Glossar	13
Abkürzungsverzeichnis	13
1 Einleitung und Problemstellung	14
1.1 Einleitung	14
1.2 Motivation	15
2 Zielsetzung	18
3 Grundlagen	20
3.1 Definition Grundkonzept	20
3.1.1 Grundkonzept und Hauptbestandteile	20
3.1.2 Grundvoraussetzungen und Rahmenbedingungen	22
3.1.3 Übersicht Themenschwerpunkte	32
3.1.4 Rahmenbedingungen und Prozesse	35
3.2 Systemdefinition	38
3.3 Definition Beurteilungskriterien	42
3.3.2 Potenzial	43
3.3.3 Ökologie	44
3.3.4 Nährstoffmanagement	45
3.3.5 Rechtliche Situation	46
3.3.6 Politische Situation	47
3.3.7 Soziale Strukturen und Netzwerk	48
3.3.8 Technologie und Technik	49
3.3.9 Dimensionierung	50
3.3.10 Wirtschaftlichkeit	51
4 Themenschwerpunkte in den Fallstudien	53
4.1 Potenzial	53
4.2 Ökologie	55
4.3 Nährstoffmanagement	56
4.4 Rechtliche Situation	56
4.5 Politische Situation	57
4.6 Soziale Strukturen und Netzwerk	58
4.7 Technologie und Technik	61
4.7.1 Relevante Prozesse hofseitige Anlage	62
4.7.2 Technische Komponenten hofseitige Anlage	62
4.7.3 Relevante Prozesse regionale Vergärungsanlage	79
4.8 Dimensionierung	81
4.9 Wirtschaftlichkeit	86
5 Fallstudien	88
5.1 Waldkirch	88



5.1.1	Potenzial	88
5.1.2	Ökologie	90
5.1.3	Nährstoffmanagement	91
5.1.4	Rechtliche Situation	91
5.1.5	Politische Situation	91
5.1.6	Soziale Strukturen und Netzwerk	92
5.1.7	Technologie und Technik.....	92
5.1.8	Dimensionierung	93
5.1.9	Wirtschaftlichkeit	98
5.1.10	Stand der Umsetzung	101
5.2	Safiental	104
5.2.1	Potenzial	104
5.2.2	Ökologie	106
5.2.3	Nährstoffmanagement	107
5.2.4	Rechtliche Situation	107
5.2.5	Politische Situation	107
5.2.6	Soziale Strukturen und Netzwerk	107
5.2.7	Technologie und Technik.....	108
5.2.8	Dimensionierung	109
5.2.9	Wirtschaftlichkeit	114
5.2.10	Stand der Umsetzung	123
6	Schlussfolgerungen und Handlungsbedarf	128
7	Evaluation und Diskussion Gesamtprojekt.....	134
8	Dissemination.....	135
	Literaturverzeichnis	136



Glossar

Begriff	Bedeutung
Theoretisches Potenzial	Maximale Menge an national produzierter Biomasse. Wird anhand der Stöchiometrie basierend auf den Inhaltsstoffen ermittelt. Es wird von einem vollständigen Abbau ausgegangen und auch keinerlei Energie für den Stoffwechsel der Mikroorganismen berücksichtigt.
Nachhaltiges Potenzial	Maximale Menge an national produzierter Biomasse, die nach Abzug ökologischer, wirtschaftlicher, rechtlicher und politischer Restriktionen genutzt werden kann.
Biomethanpotenzial	Das maximale Volumen an produziertem Methan pro g VS-Substrat (volatile solids).
Vollgülle	Eine Vollgülle enthält den gesamten Kot- und Harnanfall.
Feststoffe oder Separatorenmist	Wird Vollgülle separiert, heisst die feste Fraktion Feststoffe oder Separatorenmist und die flüssige Phase Dünngülle (DG).
Dünngülle	Enthält keine sichtbaren Grobstoffe.
Gärgülle	Entsteht am Ende der Vergärung von Bioabfällen. Die Ausgangssubstrate müssen zu über 20 % aus landwirtschaftlicher Herkunft stammen, sonst nennt sich das Produkt «Gärgut».
Nassvergärung	Weniger als 30 % Trockensubstanzanteil.
Feststoffvergärung	Über 30 % Trockensubstanzanteil.
Kunstwiesen	Als Kunstwiese gilt die als Wiese angesäte Fläche, die innerhalb einer Fruchtfolge während mindestens einer Vegetationsperiode bewirtschaftet wird.
Perkolation	Durchfliessen von Wasser durch ein festes Substrat. Dabei können Mineralien herausgelöst oder gefällt werden.

Abkürzungsverzeichnis

BGA	Biogasanlage
EnG	Energiegesetz (Bundesgesetz der Schweizerischen Eidgenossenschaft)
KEV	Kostenorientierte Einspeisevergütung
N ₂ O	Lachgas
CH ₄	Methan
NH ₃	Ammoniak



1 Einleitung und Problemstellung

1.1 Einleitung

Das energetische Potenzial von Hofdüngern und landwirtschaftlichen Reststoffen ist in der Schweiz weitestgehend ungenutzt. Die Vergärung dieser Substrate ist zwar längst technisch machbar und Stand der Technik, landwirtschaftliche Biogasanlagen sind dennoch wenig verbreitet. Die Vergärung von Hofdüngern ist in der Schweiz wirtschaftlich unattraktiv, die installierte Anlagentechnik komplex und kaum standardisiert, die Sicherheitsbestimmungen verhältnismässig hoch, die Organisation und Koordination auf jeder einzelnen Anlage sehr individuell und oft zu wenig strukturiert, der Einfluss privater Kontakte zu gross.

Das ungenutzte Potenzial bedeutet ein erheblicher Verlust an nachhaltiger Energieerzeugung. Damit einher gehen negative Folgen für die Landwirtschaft und die Umwelt. Als Beispiele seien hier Nährstoffverluste sowie Klimagas- und Geruchsemissionen während der Lagerung von Frischgülle und der Ausbringung von Hofdüngern sowie die Belastung der Umwelt durch unnötige und ineffiziente Düngers Transporte genannt.

Die Landwirtschaft in der Schweiz ist kleinteilig. Bislang gibt es keine Technologie, welche das inländische Potenzial landwirtschaftlicher Biomasse trotz Fördermitteln zu derzeitigen Marktpreisen nutzbar macht. Im Vergleich zu anderen Technologien zur Produktion von erneuerbarem Strom ist die Elektrizitätserzeugung mittels landwirtschaftlicher Biogasanlagen vergleichsweise kostenintensiv und von Fördergeldern abhängig, z. B. der Einspeisevergütung (KEV). Gründe dafür sind der tiefe Energiegehalt resp. der hohe Wassergehalt des Hofdüngers verglichen mit biogenen Abfallstoffen und als Folge davon die im Vergleich zu den gewerblich-industriellen Anlagen oft geringere spezifische Biogasproduktionsmenge. Gewerblich-industrielle Anlagen verarbeiten meist grössere Mengen an biologisch abbaubarem Material sowie Abfallstoffe mit höherer Energiedichte. Kleine landwirtschaftliche Biogasanlagen mit grossen Hofdüngeranteilen sind deshalb in der Minderzahl und wirtschaftlich nicht konkurrenzfähig. Das bestehende Konzept der landwirtschaftlichen Co-Vergärung ist nicht genügend erfolgreich. Es fehlt an organisatorischer Struktur sowie kostengünstiger und standardisierter Technologie. Aus ökologischer Sicht sind für den Umgang mit Hofdüngern eine emissionsärmere Logistik und eine bodenschonende, nachhaltige Düngemittelverwendung anzustreben.

Das Konzept von hofseitigen Kleinstbiogasanlagen zur Vergärung von Flüssigkeiten vernetzt mit regionalen Feststoffvergärungszentren würde ökologische, energetische und logistische Vorteile mit sich bringen und entscheidend zur Bioökonomie des einzelnen Landwirtschaftsbetriebs und gleichzeitig zur regionalen Wertschöpfung beitragen. Dieses Konzept entspricht auch exakt dem Zielbild einer klimaneutralen Schweiz 2050 des Bundesamtes für Energie BFE (Tschumi, 2020). Zusätzliche Benefits wären beispielsweise die Reduktion von Gülletransporten, von Schadstoff-, Geruchs und Klimagasemissionen, die Entlastung der Energienetze und -speicher, sowie die nachhaltige Anwendung von Wirtschaftsdüngern durch lokale Schliessung von Nährstoffkreisläufen. Diesen Fakten wird in der Schweiz noch viel zu wenig Beachtung geschenkt.

Die aktuelle Entwicklung landwirtschaftlicher Biogasanlagen in der Schweiz zeigt zwei deutliche, komplementäre Trends. Zum einen sind immer mehr Landwirte gewillt, auch in kleinere Biogasanlagen mit höheren Energiegestehungskosten zu investieren. Ökostromproduzierende Hofdüngeranlagen werden mit einem erheblichen Bonus durch das KEV-Programm unterstützt, reine Hofdüngeranlagen zum Beispiel mit einem Investitionsbeitrag des Energieförderprogramms des Kantons Thurgau. Ein zweiter



Trend geht in Richtung grössere Anlagen, die überregional und in Kooperationsgemeinschaften betrieben werden. Während im Jahr 2015 die durchschnittliche Elektrizitätsproduktion der landwirtschaftlichen Co-Vergärungsanlagen noch bei 1.0 GWh lag, waren es im 2019 bereits durchschnittlich gut 1.4 GWh (BFE, 2020b). Die Zunahme von gewerblich-industriellen Vergärungsanlagen sowie von Klärgasanlagen, die Biomethan ins Erdgasnetz einspeisen, verdeutlicht den Trend der immer stärker verbreiteten regionalen Erzeugung von biogenen Energieträgern beispielsweise durch Stadtwerke, Energieverbände und Gemeinden. Die Steigerung vom Jahr 2015 mit 212 GWh Biomethan auf 325 GWh im Jahr 2019 ist deutlich.

1.2 Motivation

Die Strategie des Bundes

Die Energiestrategie 2050 des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK hat sich zum Ziel gesetzt, die einheimischen erneuerbaren Energien zu stärken. Das revidierte Schweizer Energiegesetz (EnG), welches am 3. April 2020 in die Vernehmlassung gegeben wurde, dient unter anderem der Förderung von Erneuerbaren und soll insbesondere «der Strombranche die nötige Planungs- und Investitionssicherheit geben sowie die Versorgungssicherheit der Schweiz stärken». Zu den erneuerbaren Energien gehören abgesehen von der etablierten Wasserkraft die «neuen» erneuerbaren Energien aus Sonne, Holz, Biomasse, Wind und Geothermie. Die Schweiz soll dadurch weniger auf Importe fossiler Energien und nicht mehr auf die Erzeugung von Strom mittels Kernkraftwerke angewiesen sein. Der Anteil der inländischen Stromproduktion aus erneuerbaren Energien soll erhöht, deren Integration in den Strommarkt verbessert und dadurch die Versorgungssicherheit der Schweiz gestärkt werden. (UVEK, 2020a)

Gemäss Bundesamt für Energie (BFE, 2020b) werden die unerschöpflichen und umweltfreundlichen erneuerbaren Energiequellen langfristig ohnehin fast die gesamte weltweite Energieversorgung sicherstellen.

Die Elektrizitätsproduktion der neuen Erneuerbaren beträgt heute rund 4 TWh pro Jahr und soll bis 2050 rund das Vierfache, also jährlich ca. 20 TWh betragen. Eine intensive Entwicklung der neuen Erneuerbaren und ein zügiger Ausbau in der Schweiz sind daher unbedingt voranzutreiben. Entwicklung und Ausbau werden deshalb mit verschiedenen staatlichen Massnahmen gefördert. Der Bund unterstützt beispielsweise die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien mit der kostenorientierten Einspeisevergütung (KEV). (BFE, 2020a)

Energierregionen und Energiestädte

Das Programm des Bundesamtes für Energie unterstützt im Jahr 2020 rund 450 Energiestädte (2012), in welchen etwa 60 % der Schweizer Bevölkerung lebt und 24 Energierregionen (EnergieSchweiz, 2020), in welchen knapp 10 % der Schweizer Gemeinden involviert sind. Bereits in frühen Entwicklungsphasen werden interessierte Energie-Regionen beim Aufbau von Strategien und der Umsetzung von Massnahmen zur Erreichung von energiepolitischen Zielen im Bereich erneuerbare Energien unterstützt. Entsprechende Projekte können durch diese organisierte, interkommunale Zusammenarbeit oft einfacher, besser und kosteneffizienter realisiert werden. Das Label Energiestadt wird an Gemeinden oder Städte verliehen, welche diverse Kriterien zur effizienten Nutzung von Energie, des Klimaschutzes, der umweltverträglichen Mobilität und bezüglich erneuerbarer Energien erfüllen. Eine kontinuierliche Umsetzung von energie- und klimapolitischen Massnahmen wird dadurch garantiert.



Strategie der Landwirtschaft

Die energetische Verwertung von biologischen Abfällen aus der Landwirtschaft (z. B. Gülle und Mist) soll gefördert werden, ohne dass dadurch die ökologischen, biodiversitäts- und landschaftsfördernden Leistungen der Landwirtschaft beeinträchtigt werden. Die Einrichtung von Biogas-Grossanlagen soll deshalb einer kantonalen, allenfalls auch interkantonalen (Raum-)Planung unterliegen, welche die Grösse des Einzugsgebietes und die zur Verfügung stehende Biomasse berücksichtigt. Die Energiepolitik der Schweiz wird neu ausgerichtet. Energie soll vermehrt eingespart und erneuerbar produziert werden. Auch die Landwirtschaft kann einen Beitrag dazu leisten: In der Verbesserung der Energieeffizienz und der Produktion von Strom und Wärme aus Biomasse, Wind- und Sonnenenergie liegen ungenutzte Potenziale. Rund 1'500 GWh/a Wärme und 40 GWh/a Strom werden in der Landwirtschaft gegenwärtig aus erneuerbaren Quellen produziert. Der grösste Anteil davon stammt aus der Nutzung von Biomasse, entweder der Holzverbrennung oder aus der Vergärung in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. (BLW, 2020c)

Das Ausbauszenario von landwirtschaftlichen Biogasanlagen schliesst gemäss Akademie der Naturwissenschaften Schweiz SCNAT (Abegg et al., 2012) den Anbau von Energiepflanzen aus, weil diese Energiequelle ineffizient sei. Somit ergeben sich durch dieses Szenario auch keine Konflikte mit der Nahrungsproduktion (durch die Verdrängung von Flächen), mit der Biodiversität und der Umwelt (aufgrund von mehr Monokulturen und Intensivierung der Produktion). Im Gegensatz dazu bietet sich für Landwirtschaftsbetriebe an, Hofdünger (Gülle, Mist) vermehrt für die Produktion von Biogas zu verwenden. Dadurch entstehe eine Möglichkeit zur Diversifizierung der Betriebe. Synergien mit der Umweltqualität ergeben sich dadurch, dass auch Emissionen von Treibhausgasen und Luftschadstoffen wie Lachgas (N_2O), Methan (CH_4) und Ammoniak (NH_3) vermieden werden, einerseits direkt durch die Lagerung und Ausbringung, andererseits indirekt über die Substitution fossiler Energie und die konsequente Vermeidung der Emission von fossilem Kohlenstoffdioxid (CO_2).

Konflikte aus der energetischen Nutzung der Biomasse in der Landwirtschaft könnten sich ergeben, wenn die Transportwege lang seien, die Nutzung die nachhaltig verfügbare Menge an Biomasse übersteige oder wenn die Vergärung von grossen Mengen Co-Substraten in landwirtschaftlichen Biogasanlagen in Regionen mit grossem Nutztierbestand zu Nährstoffüberschüssen führe. Aus objektiver Sicht seien kurze Transportwege für die Standortwahl das wichtigste Kriterium, d. h. das Ausgangsmaterial sollte möglichst wenig weit transportiert werden. (Abegg et al., 2012)

Motivation zur Umsetzung

Für die Erschliessung des angestrebten NETZ-Potenzials genügt eine rein intrinsische Motivation der einzelnen Komponenten und Interessensgruppen des NETZes zur nachhaltigen Produktion von neuen Erneuerbaren wohl kaum. Positive Grundvoraussetzungen zur Umsetzung müssen nicht nur auf der politischen, sondern auch auf der finanziellen und organisatorischen Ebene gegeben sein.

Der Schweizer Bundesrat will die inländische Stromproduktion aus erneuerbaren Energien massiv erhöhen. Ihr Ausbau müsse deshalb zügig vorangetrieben werden. Die Kompetenz der Umsetzung dieser Forderung fällt den einzelnen Kantonen und Gemeinden zu. Aus Sicht der politischen Gemeinde stellen Hofdünger ein erhebliches, zusätzliches Nutzungspotenzial für die lokale, erneuerbare Energieproduktion dar. Eine entsprechende Potenzialnutzung ist daher eine gute Chance, um die geforderten, energiepolitischen Ziele umzusetzen. Die vermehrte Nutzung von Hofdüngern für die Produktion von Biogas im Perimeter der einzelnen Gemeinden eröffnet Möglichkeiten:

- zur bedarfsgerechten Nutzung der Strukturen von Energienetzen (Wärme, Strom, Erdgas),
- zur Sicherung und zum Ausbau von Arbeitsplätzen,



- zur Schliessung von regionalen Nährstoffkreisläufen und Vermeidung von punktuellen Nährstoffüberschüssen,
- zur Senkung der Emissionen von Gerüchen, Treibhausgasen, Luftschadstoffen und Lärm,
- zur Festigung des sozialen Bezugsrahmens der Gemeinde mit seinen Einwohnern,
- zur Substitution fossiler Energie und zur Erreichung umweltbezogener Ziele sowie
- zur Erhöhung des Energie-Eigenversorgungsgrades der Gemeinde.

Das Bundesamt für Landwirtschaft fordert die Landwirte auf, einen Beitrag zur Produktion von Strom und Wärme aus Biomasse zu leisten. Auch dem landwirtschaftlichen Betrieb ist daher aufgetragen, zusätzliche Nutzungspotenziale neuer Erneuerbaren zu erschliessen. Eine vermehrte Nutzung von Hofdüngern für die Produktion von Biomethan auf dem Landwirtschaftsbetrieb eröffnet Möglichkeiten

- zur Diversifizierung der landwirtschaftlichen Betriebe,
- zur Reduktion von Emissionen von Gerüchen, Treibhausgasen und Luftschadstoffen; zum Schutz von Umwelt und Klima,
- zur Schliessung von betriebsinternen und regionalen Nährstoffkreisläufen und Vermeidung von punktuellen Nährstoffüberschüssen,
- zur Festigung des sozialen Bezugsrahmens und zur Erhöhung der Relevanz der Landwirtschaft gegenüber der Gemeinde,
- zur Substitution fossiler Energie und
- zur Erhöhung des Eigenversorgungsgrades des Landwirtschaftsbetriebs.



2 Zielsetzung

Das Vorprojekt «NETZ» erarbeitet Strategien und Konzepte zur flächendeckenden Erschliessung des nachhaltigen, energetischen Potenzials von Substraten landwirtschaftlicher Herkunft, insbesondere von Hofdünger in der Schweiz. Die Grundidee basiert auf einer separaten und effizienten Vergärung von festen und flüssigen Substraten und beinhaltet eine Separation von Vollgülle. Während die Dünngülle hofseitig in einer kleinen Low-Tech-Anlage nassvergärt wird, werden Feststoffe in einer regionalen, grösseren Vergärungsanlage verarbeitet. Dadurch verringern sich Energieverluste und Emissionen. Das lokal produzierte Biogas wird zur Deckung des Eigenbedarfs an Wärme, Elektrizität und/oder Kraftstoff verwendet, der regional produzierte Energieträger in Energienetze eingespeist.

Die anaerobe Vergärung ist eine wichtige Systembrücke zwischen Substraten landwirtschaftlicher Herkunft, biogenen Abfallstoffen und Energie- bzw. Nährstoffkreisläufen. Um den effizienten und zweckmässigen Einsatz der flächendeckenden, anaeroben Vergärung von Hofdüngern und Substraten landwirtschaftlicher Herkunft zu gewährleisten, muss zuerst im Detail untersucht werden, inwiefern eine hofseitige Eigenproduktion mittels landwirtschaftlichen Kleinbiogasanlagen sinnvoll ist und wann eine substratbezogene Kooperation mehrerer landwirtschaftlicher Betriebe zur lokalen Energieproduktion unter welchen marktwirtschaftlichen Bedingungen durchführbar ist.

Das Projekt «NETZ» nimmt die positiven Entwicklungstrends der neuen erneuerbaren Energieproduktion in einem gemeinsamen Konzept auf und präsentiert eine technisch, ökologisch, sozial sowie ökonomisch vorteilhafte Lösung, wie das verfügbare Potenzial von Substraten landwirtschaftlicher Herkunft in Zukunft flächendeckend zur erneuerbaren Energieproduktion genutzt werden kann. Es vereint die Vorzüge der lokalen, hofseitigen Biogasproduktion und nutzt die Möglichkeiten der überbetrieblichen, regionalen Energieerzeugung aus Biomasse.

In der Schweiz wurde 2017 rund 1.44 PJ Bruttoenergie aus landwirtschaftlichen Co-Vergärungsanlagen erzeugt (BFE, 2019). Der Anteil dieser Technologie an der Inlandproduktion der «übrigen erneuerbaren Energien» in der Schweiz (exkl. Wasserkraft) beträgt heute lediglich ca. 4 %. Im Vergleich zur Energieproduktion aus Abfallstoffen (Co-Substraten) ist dabei der genutzte energetische Anteil aus den landwirtschaftlichen Substraten marginal. Das theoretische Potenzial alleine aus Hofdüngern liegt gemäss Thees et al. (2017) bei knapp 50 PJ/a Primärenergie. Das nutzbare Biomethanpotenzial von Hofdüngern macht davon rund einen Drittel, also 15.5 PJ/a aus. Wenn das zusätzlich ausgewiesene, nachhaltige Biomethanpotenzial von ca. 1 PJ/a aus Nebenprodukten des landwirtschaftlichen Pflanzenbaus ebenfalls verwertet würde, liesse sich die momentane Energieproduktion in landwirtschaftlichen Biogasanlagen alleine mit der Verwertung landwirtschaftlicher Substrate um das Vierzehnfache auf rund 18 PJ/a steigern. Die Erschliessung des energetischen Potenzials von Hofdüngern und Substraten landwirtschaftlicher Herkunft könnte somit einen relevanten Beitrag zum Ausbau der neuen erneuerbaren Energien in der Schweiz darstellen. Bereits mit konventionellen Gasmotoren-Blockheizkraftwerken könnten damit jährlich fast 2 TWh Ökostrom produziert werden. Bei einem jährlichen Pro-Kopf-Stromverbrauch von etwa 6.5 MWh entspricht dies dem Verbrauch von 300'000 Personen.

Das ambitionierte Projektziel «NETZ» ist die Erarbeitung und Demonstration eines Konzepts, welches die energetische Nutzung von mindestens 60 % des noch nutzbaren Hofdüngerpotenzials in der Schweiz und in strukturell ähnlichen Regionen und Ländern ermöglicht. Dies soll hofseitig ohne Beimischung von industriellen Abfallstoffen (Co-Substraten) geschehen und auf der Ebene der regionalen Vergärungsanlage zumindest wirtschaftlich davon unabhängig sein.

Bei gut 1.3 Mio. GVE an Nutztieren in der Schweiz (BLW, 2020b) bleibt nach dem Abzug von ca. 12 % Weidegang und maximal 6 % bereits genutztem, nachhaltigem Hofdüngerpotenzial (Thees et al., 2017) ein noch nutzbares, nachhaltiges Potenzial von knapp 1.1 Mio. Düngergrossvieheinheiten (DGVE). Dies



entspricht beispielsweise einer Anzahl von rund 20'000 hofseitigen Kleinbiogasanlagen mit durchschnittlich je 30 DGVE separierter Dünggülle. 60 % davon wären also 12'000 hofseitige Kleinbiogasanlagen. Würde zudem jede der über 2'200 politischen Gemeinden in der Schweiz (Stand 1.1.2020) eine regionale Vergärungsanlage betreiben, stünden dazu durchschnittlich knapp 300 DGVE separierte Hofdüngerfeststoffe zur Verfügung. Realisieren also 60 % der Gemeinden ein «NETZ», könnten gut 1'300 regionale Vergärungsanlagen mit durchschnittlich je ca. 20 hofseitigen Kleinbiogasanlagen entstehen.

Das Resultat des Vorprojekts NETZ ermöglicht eine individuelle, massgeschneiderte Lösung für jede beliebige schweizerische Region und erlaubt auch eine internationale Umsetzung. Das Projekt fördert und fordert die ökologische und energetische Wertschöpfung aus Hofdüngern und aus landwirtschaftlichen Reststoffen, eine effiziente und gewinnbringende Zusammenarbeit von Landwirtschaftsbetrieben und Gemeinden sowie eine nachhaltige, lokale Nährstoffbewirtschaftung von Wirtschaftsdüngern.



3 Grundlagen

3.1 Definition Grundkonzept

Das Grundkonzept oder Grundraster definiert das Gerüst für sämtliche thematischen Beurteilungskriterien für die betrachtete Region. Es setzt beispielsweise die Kriterien für die Datenerhebung fest und definiert die Methoden, Rahmenbedingungen und Systemgrenzen der Potenzialbetrachtung und der jeweiligen Beurteilungsfelder.

- **Das Grundraster besteht sowohl aus ökologischen, technischen, wirtschaftlichen, sozialen, rechtlichen und auch politischen Kriterien bzw. Aspekten und umfasst die gesamte Wertschöpfungskette von der Substratbereitstellung, über die Vergärung, bis hin zur Gärgutverwertung.**
- **Neben der erneuerbaren Energieproduktion aus landwirtschaftlicher Biomasse steht auch die lokale Schliessung von Nährstoffkreisläufen, der nachhaltigen Anwendung von Wirtschaftsdüngern sowie geruchs- und klimarelevante Emissionsminderung im Fokus.**

Es werden beispielsweise die nährstoffbezogene Kreislaufschliessung, Transportsysteme und mögliche Kooperationsformen, insbesondere für die regionalen Anlagen ausgearbeitet. Für die hofseitige Anlage wird spezifisch nach Technologien gesucht, die einen wirtschaftlichen Anlagenbetrieb einer landwirtschaftlichen Kleinbiogasanlage ermöglichen. Innovative Anlagenkomponenten zur Biogasnutzung werden dabei berücksichtigt. Aufgrund der Berücksichtigung dieser breiten Auswahl von Betrachtungs- bzw. Beurteilungskriterien ist eine möglichst umfassende Beurteilung des Grundkonzepts gewährleistet.

Hinsichtlich einer anwendungsorientierten Umsetzung in einer Pilotierung respektive Demonstration eines ersten NETZes werden über sämtliche Themen Verbesserungsmaßnahmen und Optimierungsmöglichkeiten definiert und es werden Vorteile, Chancen, Hindernisse und Risiken eruiert. Das Grundkonzept «NETZ» wird während und nach der Durchführung der beiden Fallstudien des Vorprojekts hinsichtlich einer Anwendung auf andere Regionen laufend überarbeitet und verfeinert.

3.1.1 Grundkonzept und Hauptbestandteile

- **Das Projekt liefert das Grundlagengerüst zur Umsetzung einer Kooperation von landwirtschaftlichen Betrieben mit jeweils mehreren hofseitigen und einer regionalen Biogasanlage.**

Dies ermöglicht eine effiziente und emissionsarme Nutzung von Energieträgern und Nährstoffen aus Hofdüngern und fördert den Austausch von spezifischem Know-how und die gemeinsame Nutzung von Infrastruktur.



Abbildung 1 zeigt das Prinzip der flächendeckenden Potenzialerschliessung erneuerbarer Energieproduktion aus Hofdüngern und landwirtschaftlichen Reststoffen:

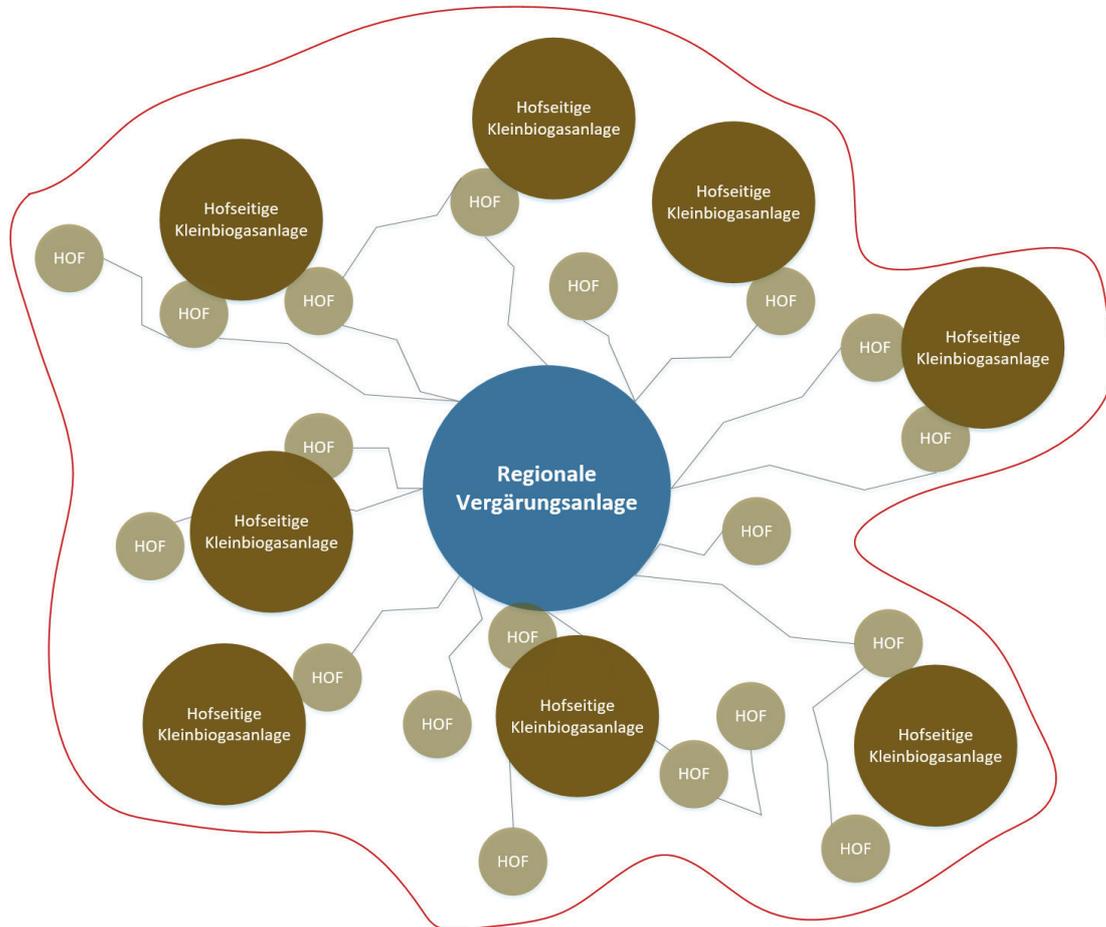


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Grundkonzepts «NETZ»

Im Zentrum eines definierten geografischen Perimeters (rot) liegt eine regionalen Vergärungsanlage (blau eingefärbt). Auf die landwirtschaftlichen Betriebe mit Nutztierhaltung (hellbraun) verteilt werden mehrere hofseitige Kleinbiogasanlagen (braun eingefärbt) realisiert.

Die einzelnen NETZ-Bestandteile (**Abbildung 2**) bieten auf unterschiedlichen Ebenen ausgezeichnete Möglichkeiten für Effizienz und Innovation.

Die hofseitige, für die Schweizer Ansprüche neu zu entwickelnde Anlage (braun), eröffnet beispielsweise aufgrund des grossen Vervielfältigungspotenzials die Chance, eine robuste, technisch sehr einfache und daher in Herstellung und Betrieb kostengünstige Anlagentechnologie zu realisieren.

Dadurch könnten die Energiegestehungskosten von landwirtschaftlichen Kleinbiogasanlagen massiv gesenkt werden und die Grundlagen für einen wirtschaftlichen Anlagenbetrieb ermöglicht werden.

Auf regionaler Ebene (Gemeinde, Energieregion, Alp, Talschaft etc.) wird eine Feststoffvergärungsanlage betrieben, welche von den umliegenden Landwirtschaftsbetrieben die zu vergärenden Feststoffe bezieht und den Nährstoffbedarf mittels Gärmist deckt. Hier können bereits bestehende technische Innovationen und Umwandlungsverfahren effizient eingesetzt werden und die produzierten Energieträger



bedarfsgerecht und im Zusammenspiel mit anderen erneuerbaren Energien in regionale und überregionale Netze (Strom, Wärme, Erdgas) eingespeist werden. Durch eine Nachbehandlung des Gärmists könnte je nach Bedarf die Qualität des Düngers an lokale Bedürfnisse angepasst werden.

Der überbetriebliche Charakter der regionalen Vergärungsanlage eröffnet also Möglichkeiten für innovative, effiziente Technologien und gut strukturierte soziale Netzwerke. Bei Bedarf ist hier auch die Möglichkeit zur Verarbeitung von industriellen Abfällen in einer sogenannten Co-Vergärung gegeben.

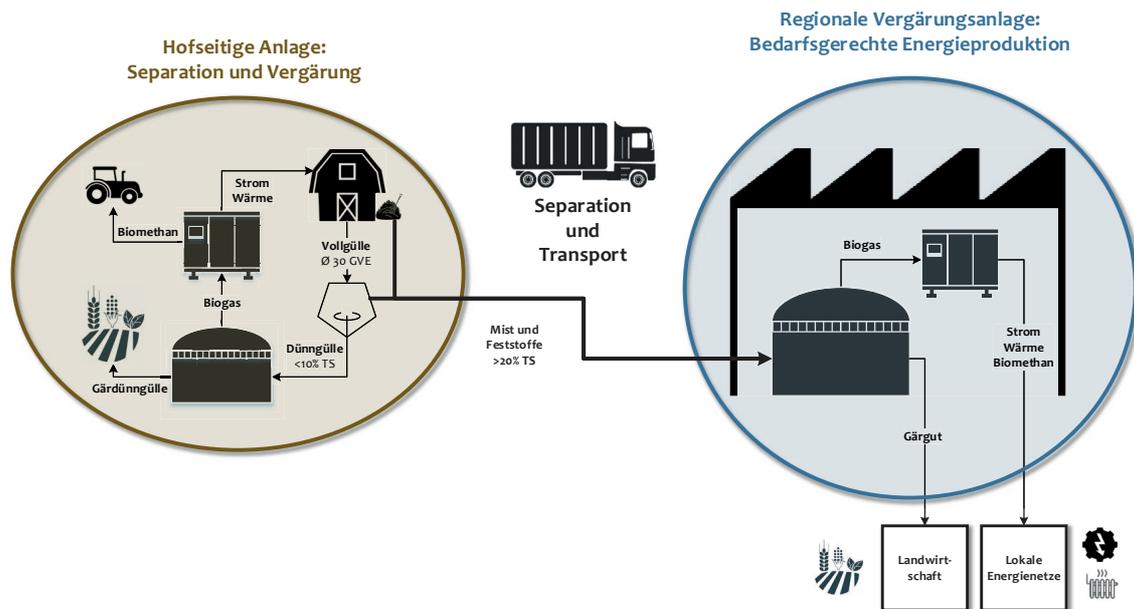


Abbildung 2: Hauptbestandteile des Projekts «NETZ»

bestehend aus mehreren hofseitigen Biogasanlagen (braun) und einer überbetrieblichen, regionalen Vergärungsanlage (blau).

→ Das Zusammenspiel der beiden Vergärungstechnologien im NETZ fördert landwirtschaftliche Kooperationsformen und funktionierende Betreibermodelle. Die Separation von Vollgülle und der Transport der Feststoffe bilden das technische Bindeglied zwischen den beiden Anlagentypen. Aufgrund der zentralen Organisation über das NETZ kann die Separation gut frequentiert, kostengünstig und flexibel durchgeführt werden. Der Transport der Feststoffe und die Düngerausbringung findet emissionsarm und gebündelt mittels geeigneter, ökologisch sinnvoller Technik statt. Durch die zentrale Organisation und den Einsatz von effizienten und standardisierten Technologien können die Emissionen und Kosten tief gehalten werden, der Nährstoffeinsatz mittels Wirtschaftsdüngern und die Energieproduktion bedarfsgerecht und nachhaltig umgesetzt werden.

3.1.2 Grundvoraussetzungen und Rahmenbedingungen

Geografische Festlegung

Die Schweiz als Betrachtungsperimeter für die Potenzialerschließung

Das Vorprojekt NETZ sieht eine flächendeckende, erneuerbare Energieproduktion aus Hofdüngern und Nebenprodukten aus dem landwirtschaftlichen Pflanzenbau vor.



→ In dieser ersten Phase der Definition des Grundkonzepts beschränkt sich der geografische Perimeter ausschliesslich auf die Schweiz respektive auf die in der Schweiz hergestellten landwirtschaftlichen Erzeugnisse.

In der nachfolgenden Grafik (**Abbildung 3**) ist exemplarisch das nachhaltige Potenzial an Primärenergie aus Hofdüngern je nach politischer Gemeinde dargestellt.

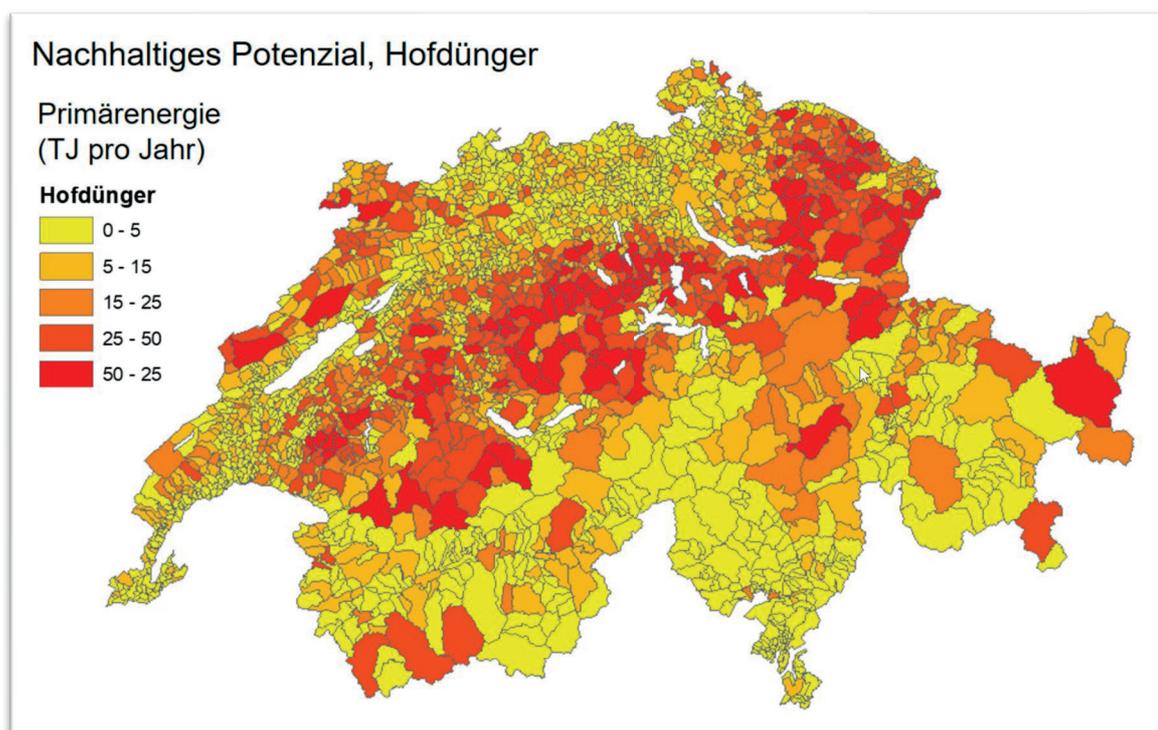


Abbildung 3: Nachhaltiges Primärenergiepotenzial aus Hofdüngern in TJ pro Jahr (unveröffentlicht)
Auflösung: Politische Gemeinden der Schweiz
5 TJ/a entsprechen einer durchschnittlichen Leistung von 160 kW

Nach einer ersten Prüfung und Verfeinerung des Grundkonzepts mit Hilfe der beiden regionalen Fallstudien dieses Vorprojekts kann in einem nächsten Schritt auch eine Anwendung und Realisierung in strukturell ähnlichen Regionen im Ausland geprüft werden. Dies ist jedoch nicht mehr Gegenstand dieses Vorprojekts.

Die politische Gemeinde als Betrachtungsperimeter für ein NETZ

→ Aufgrund der in **Abbildung 3** dargestellten Verteilung der nachhaltigen Hofdüngerpotenziale bietet sich die politische Gemeinde als ungefähre Grössenordnung für den geografischen Perimeter eines einzelnen NETZes an.

Das Potenzial einer Gemeinde mit geringem Hofdüngeranfall (gelb eingefärbt) entspricht mit maximal 5 TJ (160 kW_{ch}) durchschnittlicher Leistung der Grösse einer landwirtschaftlichen Kleinbiogasanlage. Gemeinden mit grossem Hofdüngerpotenzial (dunkelrot eingefärbt) weisen Biomethanpotenziale von mehr als 50 TJ (1'600 kW_{ch}) auf. Dies entspricht der Leistung von etwa drei durchschnittlichen landwirtschaftlichen Biogasanlagen in der Schweiz.



Abgesehen von der Grössenordnung der nachhaltigen Biomethanpotenziale der einzelnen Gemeinden, gibt es weitere entscheidende Argumente für die Festlegung der politischen Gemeinde als Knotenpunkt der Realisierung und Organisation des NETZes. Die Gemeinde geniesst in der Schweiz über weitreichende Kompetenzen von kommunalen Angelegenheiten. Sie bilden den sozialen Bezugsrahmen für sämtliche Einwohner und geniessen grosse politische Beachtung. Die politische Gemeinde verfügt über die Kompetenz, das Grundkonzept NETZ auf finanzieller, politischer und organisatorischer Ebene zu fördern und zu fordern.

Anfang 2020 gab es in der Schweiz rund 2'200 politische Gemeinden mit einer durchschnittlichen Fläche von 19 Quadratkilometern. Bei einem nachhaltigen, noch nicht genutzten Biomethanpotenzial von 18 PJ/a (5 TWh/a) in der Schweiz, liegt das erneuerbare Biomethanpotenzial pro Gemeinde bei etwa 8.2 TJ/a (2.3 GWh/a). Dies entspricht einer durchschnittlichen chemischen Leistung von gut 260 kW_{ch} und damit ziemlich genau der Grössenordnung einer durchschnittlichen, landwirtschaftlichen Biogasanlage in der Schweiz.

Der landwirtschaftliche Betrieb als Betrachtungsperimeter für ein NETZ

→ **Als Produzent der landwirtschaftlichen Biomasse und Anwender der daraus produzierten Wirtschaftsdünger stehen die Strukturen des Landwirtschaftsbetriebs für das Grundkonzept NETZ im peripheren Zentrum.**

Mit einer Fläche von 14'817 km² und einem Anteil von 35,9 % an der Landesfläche stellen die landwirtschaftlich genutzten Gebiete den grössten der vier Hauptbereiche der Bodennutzung dar (**Abbildung 4**). Naturwiesen und Heimweiden sowie Alpwirtschaftsflächen machen je ein gutes Drittel aller Landwirtschaftsflächen aus, der Anteil des Ackerlands entspricht 27,5 %. Obst-, Reb- und Gartenbau beanspruchen mit 3,4 % nur einen geringen Teil der Landwirtschaftsflächen. (BFS, 2020a)

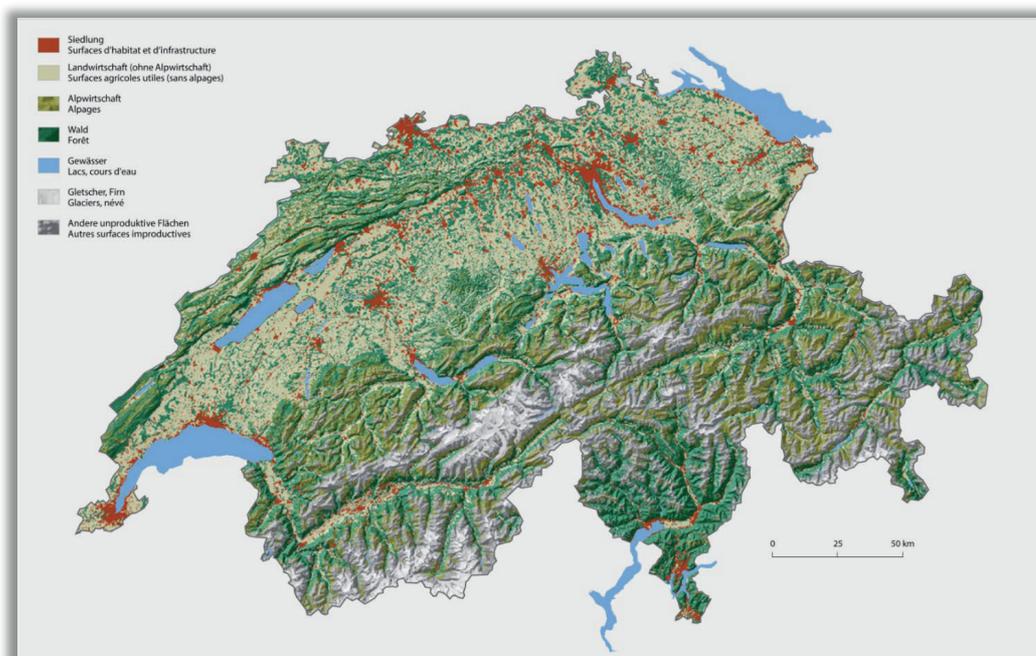


Abbildung 4: Bodennutzung der Schweiz: Siedlung, Land- und Alpwirtschaft, Wald, Gewässer, Gletscher und Firn (BFS, 2020a)

Die landwirtschaftlichen Strukturen sind in der Schweiz kleinräumig. Im Jahr 2019 gab es in der Schweiz mehr als 43'000 Landwirtschaftsbetriebe mit Nutztierhaltung (BLW, 2020a). Im Durchschnitt verfügt jede Schweizer Gemeinde also über knapp 20 Landwirtschaftsbetriebe mit Nutztieren.

Der Abstand eines Betriebs zum nächsten Nachbarbetrieb ist in der Schweiz verhältnismässig gering (Abbildung 5). Im Durchschnitt beträgt dieser knapp 300 Meter, wobei weit über 90 % der Betriebe innerhalb eines Kilometers zum nächsten Nachbarsbetrieb liegt. Weiter als 2 km ist in der Schweiz kaum ein Betrieb vom nächsten entfernt. Eine gemeinsame Nutzung von Hofdüngern zur Produktion von erneuerbarer Energie ist von den Distanzen her also gut möglich.

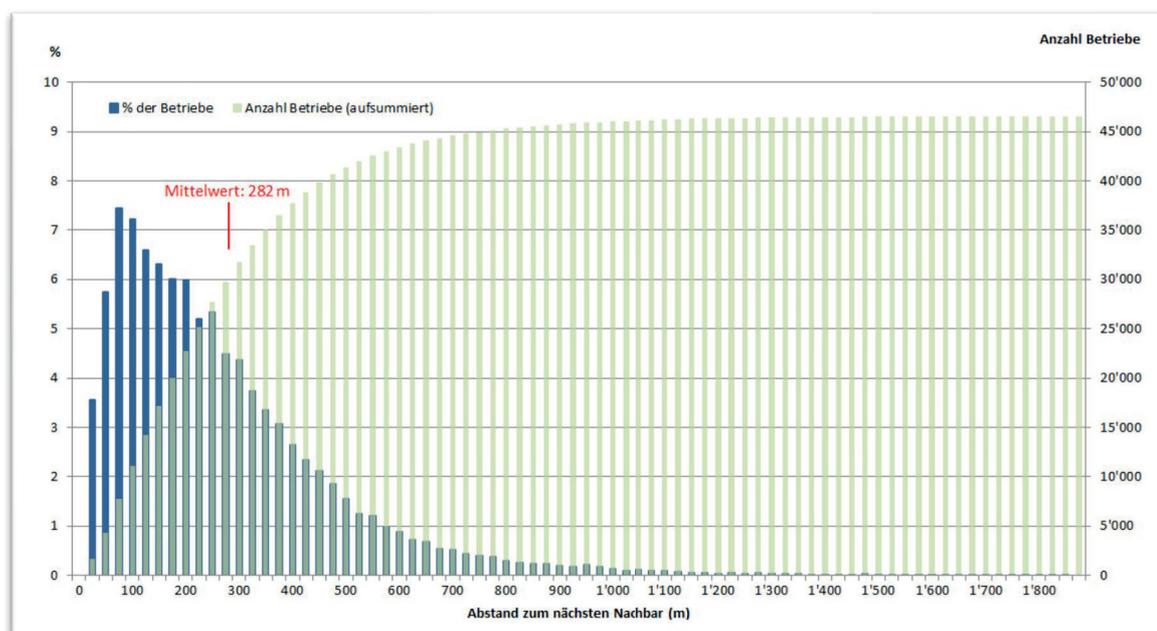


Abbildung 5: Anzahl landwirtschaftliche Betriebe in Abhängigkeit des Abstands zum nächsten Nachbarn (Burg et al., 2018)

Aufgrund des starken Bezugs der Landwirtschaftsbetriebe zum Boden, zur Düngerproduktion, Düngerganwendung, zum Pflanzenbau und Wiesenbewirtschaftung spielen Kohlenstoff- und Nährstoffkreisläufe in der Landwirtschaft eine zentrale Rolle. Entsprechende Regelungen des Bundesamtes für Landwirtschaft fordert eine gesamtbetriebliche Phosphor- und Stickstoffbilanz, welche den Bedarf der Kulturen nicht überschreitet. Der Artikel 13 der Direktzahlungsverordnung (DZV, SR 910.13, Stand 18.8.2020) knüpft die Erfüllung des ökologischen Leistungsnachweises an die Forderung von möglichst geschlossenen Nährstoffkreisläufen und von Nutztierzahlen, die dem Standort angepasst sind. (BLW, 2020d)

Festlegung der Ausgangssubstrate

→ Im Fokus des Projekts NETZ als Energieressourcen stehen ausschliesslich zwei Vertreter der sogenannten feuchten Biomassen: die beiden Kategorien «Hofdünger» und «Nebenprodukte aus dem landwirtschaftlichen Pflanzenbau».

Trockene Biomassen wie Wald- und Restholz, sowie auch organische Abfälle aus der Industrie, aus kommunalen Grüngutsammlungen, organische Anteile aus dem Kehrriecht und Klärschlamm sind nicht Teil des Grundkonzepts und werden daher in diesem Vorprojekt nicht berücksichtigt.



Der Fokus für die Dimensionierung der einzelnen NETZ-Bestandteile und der Definition der Anlagentechnologien liegt primär auf der Verarbeitung von flüssigen und festen Hofdüngern, d. h. Gülle und Mist. Der Schweizer Tierbestand spielt folglich eine entscheidende Rolle. Im Jahr 2020 gibt es in der Schweiz rund 1.3 Millionen Grossvieheinheiten (GVE) Nutztiere (BLW, 2020b).

Die Abbildung 6 verifiziert und verdeutlicht die Aussagen, dass a) der allergrösste Massenanteil an Hofdüngern in flüssiger Form vorliegen und b) dabei Rindvieh 74% und in zweiter Linie Schweinegülle 15 % klar dominieren.

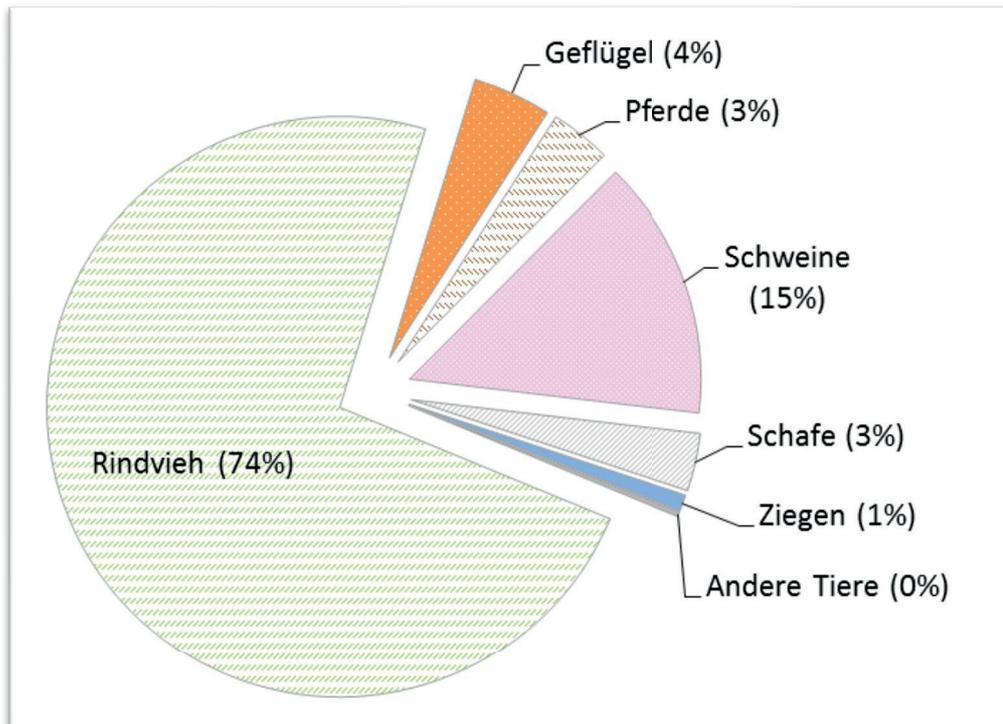


Abbildung 6: Tierbestand in der Schweiz, ausgedrückt in Grossvieheinheiten (BFS, 2020b)

Für die Betrachtung des Biomethanpotenzials eignet sich die Darstellung des Potenzials pro Tierkategorie auf Grundlage der Trockensubstanz, wie in Abbildung 7 dargestellt. Abgesehen vom Potenzial der Hofdünger aus der Kategorie Rindvieh, welche sowohl in flüssiger, als auch in fester Form vorliegen können, zeigen hier auch die Vertreter der Pferdegattung, Schafe, Geflügel und Ziegen gewisse Potenziale. Diese Hofdünger liegen praktisch ausschliesslich in fester Form, d.h. als Mist vor.

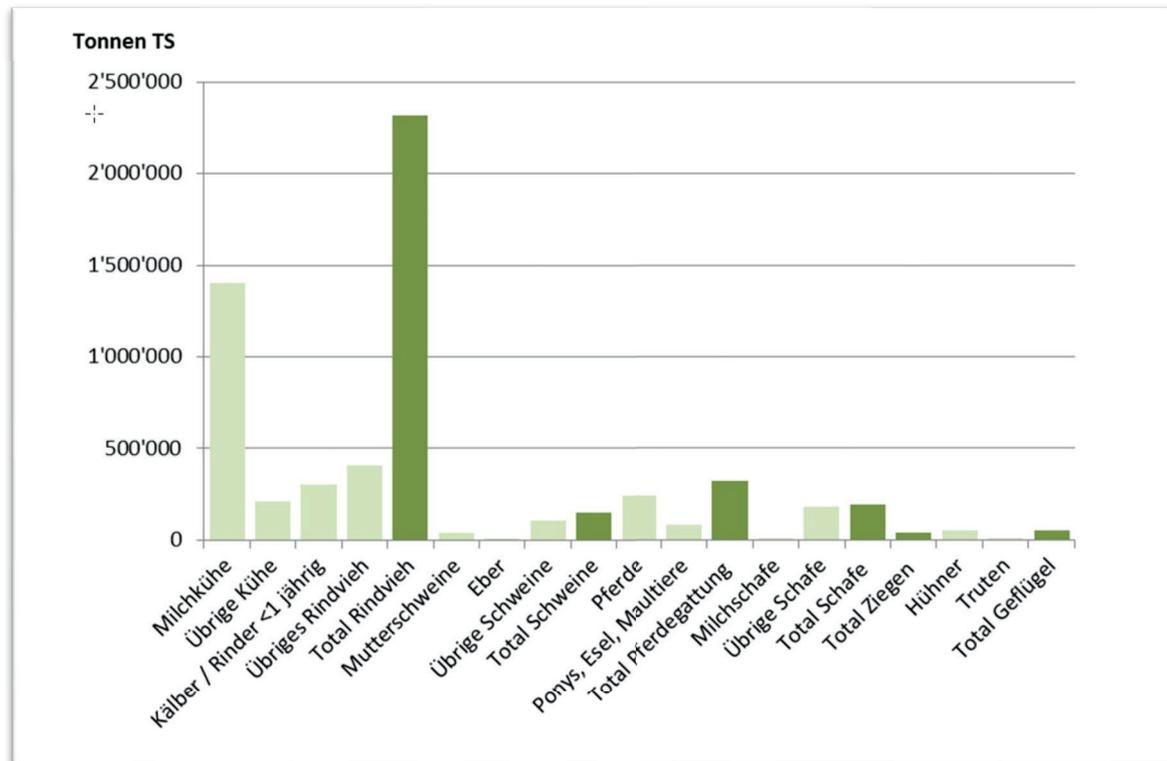


Abbildung 7: Theoretisches Potenzial des Hofdüngers aus der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung in der Schweiz nach Tierkategorie in Tonnen Trockensubstanz [t TS] (Thees et al., 2017)

→ Im Vergleich zu den Hofdüngern, ist das noch nicht genutzte, nachhaltige Biomethanpotenzial der Nebenprodukte aus dem landwirtschaftlichen Pflanzenbau gering. Nichtsdestotrotz bieten sich auch diese Fraktionen für eine energetische Nutzung an.

Flächenmässig nehmen in der Schweiz Naturwiesen, Weiden und Kunstwiesen mit rund 70 % den allergrössten Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche ein (Thees et al., 2017). Flächenmässig dominiert bei den «übrigen Flächen» das Ackerland mit folgenden Kulturen:

- Weizen: 27 %
- Silo- und Körnermais: 17 %
- Gerste: 10 %

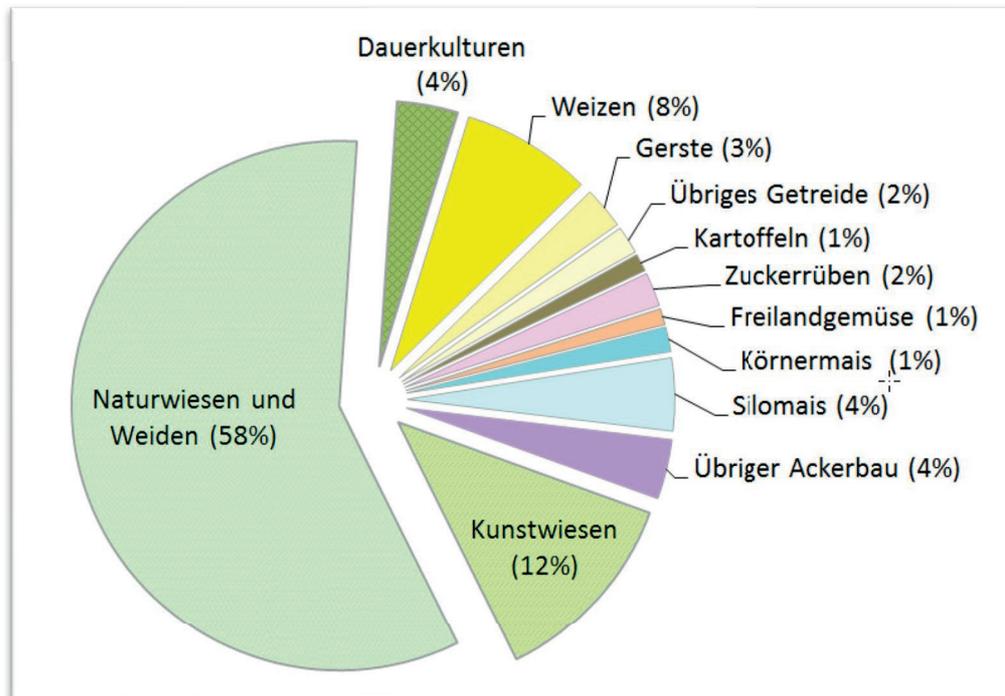


Abbildung 8: Bewirtschaftung der landwirtschaftlichen Nutzfläche in der Schweiz 2013
(Thees et al., 2017)

Nebenprodukte aus dem landwirtschaftlichen Pflanzenbau, die sich für die energetische Nutzung anbieten, entstehen jedoch hauptsächlich auf den «übrigen Flächen». Abgesehen von den oben genannten Kulturen, weisen insbesondere die Zwischenkulturen ein nachhaltiges Biomethanpotenzial aus, da der Konkurrenznutzen dieser Kulturen verhältnismässig klein ist. Folgende Reihenfolge des nachhaltigen Primärenergiepotenzials aus Reststoffen folgender Kulturen wird von Thees et al. (2017) ausgewiesen:

- Weizen: 1'243 TJ/a (345 GWh/a)
- Zwischenkulturen: 410 TJ/a (114 GWh/a)
- Körnermais: 302 TJ/a (84 GWh/a)
- Gerste: 230 TJ/a (64 GWh/a)

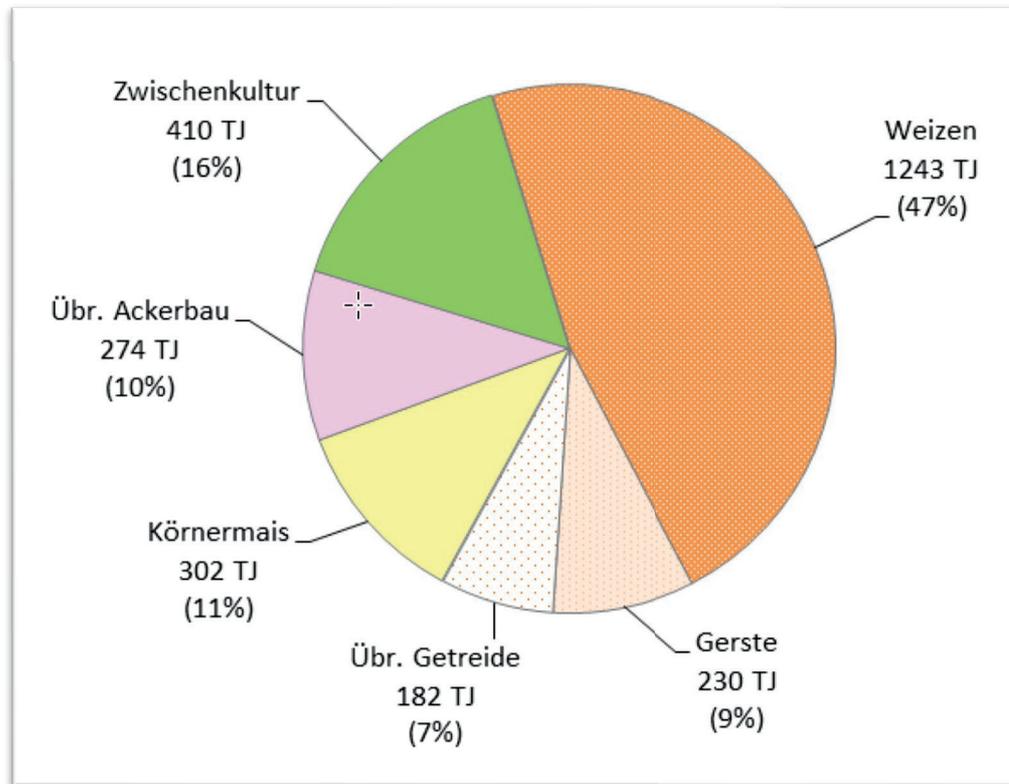


Abbildung 9: Primärenergiepotenzial von Nebenprodukten aus dem landwirtschaftlichen Pflanzenbau (Thees et al., 2017)

Das gesamte, zusätzlich noch nutzbare, nachhaltige Primärenergiepotenzial der Nebenprodukte aus dem landwirtschaftlichen Pflanzenbau beträgt gemäss Thees et al (2017) ca. 2.6 PJ/a (722 GWh/a) Primärenergie. Unter der Annahme, dass bei der Biogasproduktion ca. die Hälfte der Primärenergie in Form von Biogas frei wird, kann von einem Biomethanpotenzial von schätzungsweise 1.3 PJ/a (361 GWh/a) ausgegangen werden. Dies entspricht einer durchschnittlichen, chemischen Leistung von 41'200 kW_{ch}, daher knapp 19 kW_{ch} pro Gemeinde.

Festlegung der Technologien

→ **Das Projekt NETZ befasst sich bezogen auf die erneuerbare Energieproduktion ausschliesslich auf Technologien zur Nutzung von Biomasse mittels Biogasfermentation.**

Bei der Vergärung dieser Biomassen entsteht als Energieträger Methangas (**Abbildung 10**), weshalb nachfolgend oft von der Biomethanproduktion und dem entsprechenden Biomethanpotenzial die Rede ist.

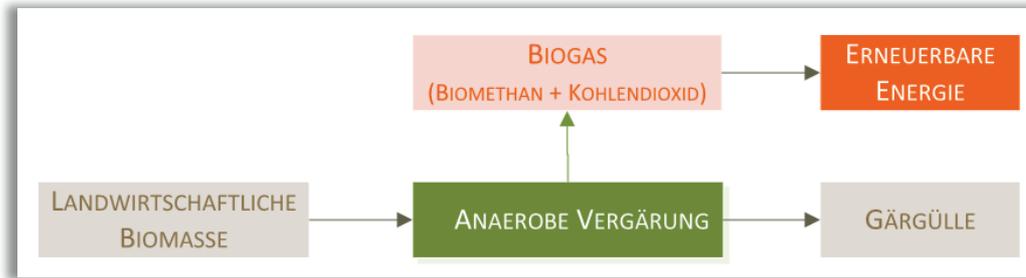


Abbildung 10: Schema der Produktion von erneuerbarer Energie aus landwirtschaftlicher Biomasse mittels Vergärung zu Biomethan

- Aufgrund der Überlegungen im vorangehenden Kapitel bietet sich für den grössten Anteil der Hofdünger prinzipiell eine Flüssigvergärung an, während für die Feststoffe, welche ebenfalls einen gewichtigen Anteil an der Trockensubstanz ausmachen, eine Feststoffvergärung ebenfalls eine gute Lösung darstellen würde. Der allergrösste Anteil an Nebenprodukten aus dem landwirtschaftlichen Pflanzenbau liegt in fester Form vor. Eine Feststoffvergärung bietet sich daher für die Nebenprodukte aus dem Pflanzenbau an.

Potenzialbetrachtung

Eine 60 %ige Potenzialerschliessung des theoretischen Hofdüngerpotenzials in der Schweiz gilt als ambitioniertes Ziel für die Definition des Grundkonzepts. Der vollständigen Nutzung des momentan noch weitestgehend ungenutzten Potenzials stehen zwei hauptsächliche Restriktionen entgegen: Die Tatsache, dass nicht sämtlicher Hofdünger überhaupt abgegriffen und dass je nach Logistik und Technologie nicht das gesamte im Substrat vorhandene Energiepotenzial auch genutzt werden kann.

Eine Potenzialstudie der Eidgenössischen Forschungsanstalt WSL, welche vom aktuellen Stand der Technik der landwirtschaftlichen Biogasanlagen ausgeht (Thees et al., 2017), zeigt das grosse, noch nachhaltig nutzbare Potenzial des Hofdüngers in der Schweiz auf. Nachfolgend dargestellt ist ein grafischer Vergleich der Potenziale (theoretisch, nachhaltig, zusätzlich nutzbar) verschiedener feuchter und trockener Biomassen (Abbildung 11).

- Das nutzbare Potenzial an Primärenergie aus landwirtschaftlichen Erzeugnissen ist mit ca. 27 PJ/a (7.5 TWh), davon über 90 % aus Hofdüngern, von allen Biomassen deutlich das grösste. Die Nutzung dieser nachhaltigen Potenziale würde eine signifikante Steigerung der neuen erneuerbaren Energieproduktion in der Schweiz bedeuten. Eine Verdoppelung der heutigen Produktion wäre somit möglich.

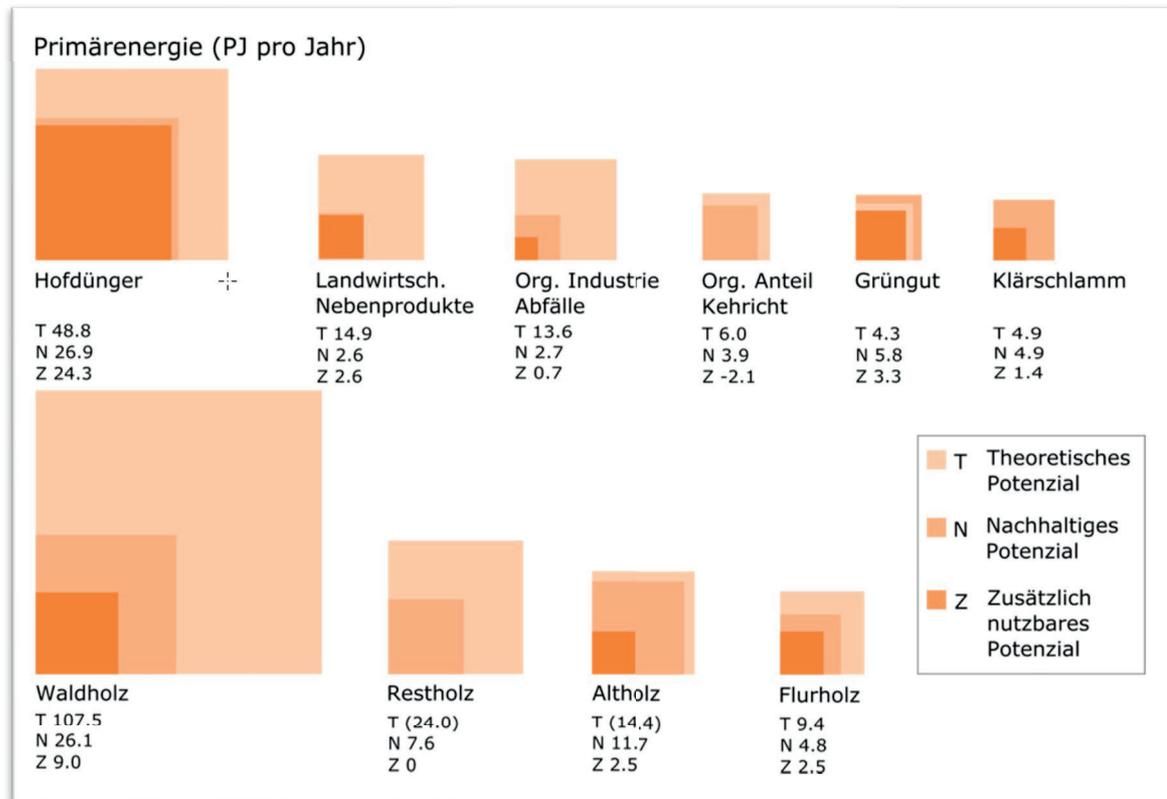


Abbildung 11: Primärenergiepotenziale unterschiedlicher Biomassekategorien in Petajoule pro Jahr (Thees et al., 2017)

Abbildung 12 zeigt das theoretische Potenzial des Biomethanertrags von Hofdüngern aus der Nutztierhaltung in der Schweiz nach Abzug des Verlustes durch Weidegang in TJ/a.

→ Bei rund 18 PJ/a (5 TWh/a) nachhaltigem, noch nicht genutztem Biomethanpotenzial, könnten bei einer 60 %-igen Nutzung mittels NETZ rund 11 PJ/a (3 TWh/a) neue erneuerbare Energie erzeugt werden.

Regionen mit grossem Potenzial (dunkelrot eingefärbt) könnten pro km² etwa 10-125 TJ (3-35 Mio. kWh/a) produzieren. Dies entspricht eine durchschnittliche Leistung im Biomethan von 320-4'000 kW_{ch}. Regionen mit geringem Potenzial (gelb eingefärbt) könnten entsprechend bis 0.5 TJ/km² (0.14 Mio. kWh/a) liefern, was einer Durchschnittsleistung von knapp 40 kW_{ch} entspricht.

→ Das Projekt «NETZ» adressiert mit seinem Grundkonzept sowohl Regionen mit verhältnismässig grossem, wie auch solche mit eher geringem Potenzial.

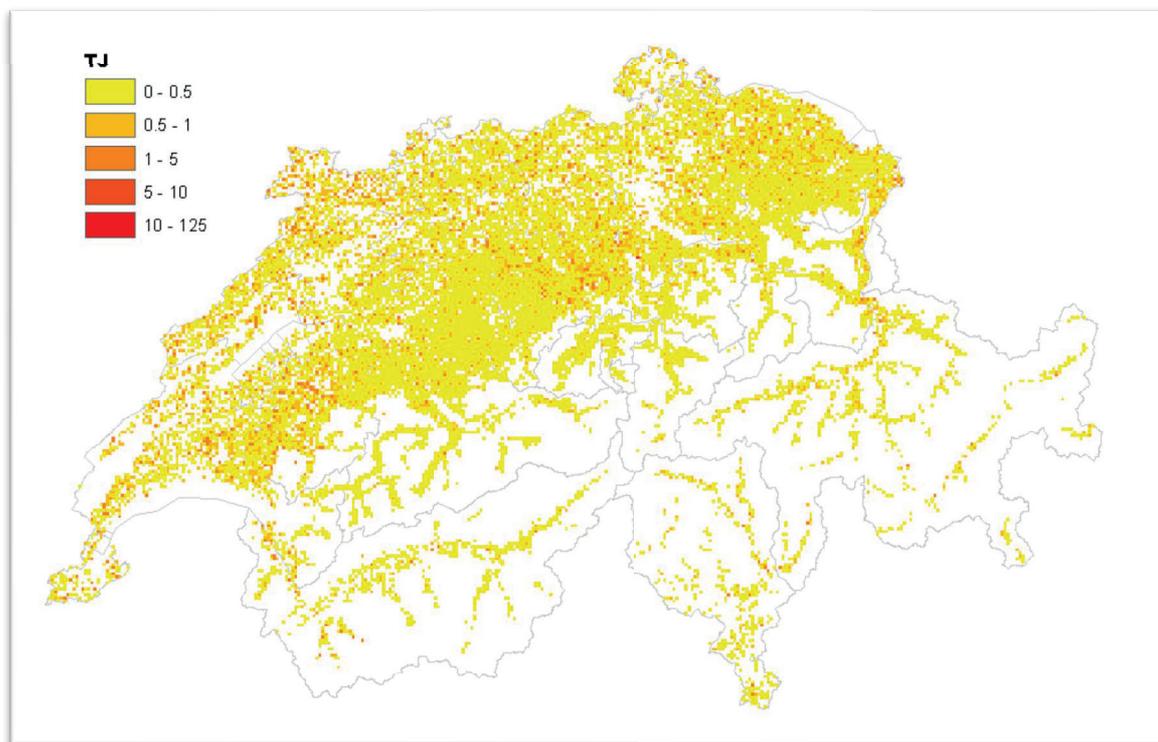


Abbildung 12: Theoretisches Potenzial des Biomethanertrags von Hofdüngern aus der Nutztierhaltung in der Schweiz nach Abzug des Verlustes durch Weidegang in Terajoule pro Jahr (Thees et al., 2017)
Auflösung: 1 km

Das Potenzial der Hofdüngernutzung zur Biomethanproduktion in der Schweiz ist noch bei weitem nicht ausgenutzt. Aufgrund der in der Schweiz weit verbreiteten Co-Vergärung mit Abfallstoffen in landwirtschaftlichen Biogasanlagen lässt sich der Nutzungsgrad nur grob abschätzen. Im Jahr 2018 wurden in landwirtschaftlichen Biogasanlagen ca. 500 TJ/a (0.14 TWh/a) Bruttoenergie erzeugt. Obwohl dabei die Hofdünger mengenmässig klar im Vordergrund stehen, ist aufgrund des grossen Wasseranteils im Hofdünger der Anteil an der Biomethanproduktion kleiner als jener der eingesetzten Co-Substrate.

→ **Der bisherige, energetische Nutzungsgrad von Hofdüngern liegt im tiefen, 1-stelligen Prozentbereich, eine 20- bis 30-fache Produktionssteigerung wäre daher durchaus möglich.**

3.1.3 Übersicht Themenschwerpunkte

Für die Definition des Grundkonzepts und zur Beurteilung spezifischer Regionen hinsichtlich einer Realisierung eines NETZes müssten diverse Aspekte berücksichtigt werden. Folgende Themenschwerpunkte werden für die Beurteilung der Eignung einer spezifischen Region zur Umsetzung von NETZEN definiert:

→ **Potenzialbetrachtung, ökologische Einflüsse, Nährstoffmanagement, rechtliche und politische Situation, soziale Strukturen und Netzwerke, Technologien und Technik sowie Dimensionierung und Wirtschaftlichkeit einzelner NETZ-Hauptbestandteile.**

Die Themenschwerpunkte werden in den nachfolgenden Unterkapiteln genauer definiert und erläutert.



Potenzial

Dieser Themenschwerpunkt widmet sich der Frage, welches Potenzial in der gesamten Schweiz und in den zu betrachtenden Regionen vorliegt und welche spezifischen Restriktionen allenfalls eine flächendeckende Nutzung des erneuerbaren Energiepotenzials aus Hofdüngern und landwirtschaftlichen Reststoffen einschränken oder gar verhindern.

Die Potenzialbetrachtung ermöglicht eine geografische Analyse einzelner Regionen hinsichtlich des Substratanfalls, der Verarbeitung und Energiegewinnung sowie der Nutzung als Wirtschaftsdünger. Sie beinhaltet das theoretische Potenzial einer Region zur Energienutzung aus Hofdüngern und landwirtschaftlichen Reststoffen, sowie das verfügbare Potenzial in Bezug auf das definierte Grundkonzept.

→ **Das theoretische und das verfügbare Potenzial werden ausgewiesen und grafisch dargestellt.**

Ökologische Einflüsse

Dieser Themenschwerpunkt untersucht Hauptprozesse des Konzepts, welche einen direkten Einfluss auf ökologische Aspekte ausüben. Die Analyse der ökologischen Einflüsse ermöglicht es, das Grundkonzept NETZ so anzupassen, dass negative Auswirkungen auf die Umwelt minimiert und positive Einflüsse verstärkt werden.

Die ökologische Beurteilung des NETZ-Ansatzes bedient sich einer systematischen Analyse zur detaillierten Umweltbeurteilung (z.B. Methode der ökologischen Knappheit bzw. Umweltbelastungspunkte). Ökofaktoren der wichtigsten Schadstoffemissionen oder Ressourcenverbräuche werden für den Ist-Zustand der entsprechenden Region aggregiert und anschliessend mit der Prognose der flächendeckenden Umsetzung des NETZ-Systems verglichen. Daraus lassen sich Verbesserungsmöglichkeiten des Grundkonzepts ableiten, sowie Chancen und Risiken bzw. Vor- und Nachteile einer Umsetzung der NETZ-Idee bezüglich einer nachhaltigeren Hofdüngerbewirtschaftung ableiten.

→ **Der Ist-Zustand der definierten Region wird aufgenommen und es wird eine Prognose erstellt, wie die Situation nach der Realisierung eines NETZes aussehen könnte.**

Nährstoffmanagement

Das aktuelle Nährstoffmanagement der entsprechenden Region wird in diesem Themenschwerpunkt hinsichtlich der Verfügbarkeit und des Bedarfs an Nährstoffen für die Düngung analysiert. Dies beinhaltet sowohl eine geografische als auch eine zeitliche Komponente.

Aus der Beurteilung des organisatorischen, ökonomischen und finanziellen Verbesserungspotenzials lassen sich Schwachstellen der momentanen Bewirtschaftung aufdecken sowie Möglichkeiten des verbesserten Nährstoffmanagements durch eine koordinierte und regional optimierte Hofdüngerverarbeitung mittels NETZ aufzeigen.

→ **Der Anfall und die Nutzung von Wirtschaftsdüngern sowie sämtliche Nährstoff-Frachten, die über die geografische Grenze der Region hinausgehen, werden fokussiert betrachtet.**

Rechtliche Situation

Die rechtliche Situation in der konkreten Region bezüglich Substratbereitstellung, Vergärung von Hofdüngern und Substraten landwirtschaftlicher Herkunft sowie Anwendung von Wirtschaftsdüngern wird für das NETZ-Konzept auf regionaler, kantonaler und bundesweiter Ebene abgeklärt. Dies beinhaltet sämtliche bewilligungsrelevanten Punkte wie Zonenkonformität, sicherheitstechnische und umweltrelevante Aspekte, Energienutzung und Netzeinspeisung etc.



- Für eine Umsetzung der NETZ-Idee werden aus der rechtlichen Situation Chancen und Hürden abgeleitet, sowie mögliche Optimierungsansätze gewonnen.

Politische Situation

Die politische Situation der definierten NETZ-Region wird über die gesamte Wertschöpfungskette und regional, kantonal sowie national beurteilt. Als sogenanntes Zukunftssystem wird das NETZ im Rahmen eines möglichen Energietechnologiewechsels einer kurz- und langfristigen Politikanalyse und -bewertung unterzogen.

- Die Analyse wird mögliche Treiber und allfällige Barrieren einer NETZ-Umsetzung ans Tageslicht bringen und soll bereits mögliche politische Unterstützungsmassnahmen dieses nachhaltigen Energiesystems aufzeigen.

Soziale Strukturen und Netzwerke

Eine Untersuchung von bestehenden sozialen Strukturen und Netzwerken in der Region ermöglicht eine erste Bewertung der soziotechnischen Zusammenhänge, welche die Bereitschaft zur Umsetzung von NETZ positiv sowie negativ beeinflussen können. Innerhalb der sozialen Strukturen nimmt eine Anzahl von Akteuren bzw. Akteursgruppen Schlüsselpositionen ein.

Die Analyse der sozialen Strukturen und Netzwerke ermöglicht ein vertieftes Verständnis der Rollen der einzelnen Akteure, insbesondere der Schlüsselakteure bei einer Umsetzung von NETZ, wobei sowohl Unterstützer als auch Blocker, als auch relevante soziale Einflussfaktoren identifiziert und beschrieben werden können.

- Die Zwischenbeziehungen dieser Akteure, die Interaktionen mit anderen Akteuren sowie die Auswirkungen sozialen Einflussfaktoren auf das soziale Netzwerk werden vertieft untersucht.

Technologie und Technik der Teilsysteme

Die mögliche Auswahl und Bewertung von Technologien und Techniken fokussiert auf in der Schweiz und international bereits verfügbare, etablierte Systeme. Die Bewertung umfasst sämtliche Verfahren und Technologien der gesamten Wertschöpfungskette.

Dies betrifft beispielsweise die Machbarkeit und Bewilligungsfähigkeit von Technologien einer Kleinbiogasanlage für die hofseitige Vergärung und die unterschiedlichen Optionen zur Biogasverwertung.

- Technische Teilsysteme werden mittels qualitativer Analysemethoden (z. B. Nutzwertanalyse) einander gegenübergestellt und bezüglich Eignung als NETZ-Bestandteil bewertet.

Dimensionierung von Teilsystemen

Eine Dimensionierung sämtlicher Teilsysteme sowie auch des Gesamtsystems «NETZ» wird im Sinne des Grobkonzepts mittels geeigneter Auslegungstools durchgeführt.

- Das Resultat der Dimensionierung sind Aussagen zur optimalen Grösse der NETZ-Region, die Anzahl und die Grösse der hofseitigen und regionalen Biogasanlagen, der Separation, des Transports und der Lagerung etc.



Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit sämtlicher Teilsysteme wird im Sinne des Grobkonzepts mittels eines Berechnungstools und für die Realisierung eines gesamten NETZ-Systems abgeschätzt. Dadurch lassen sich Anhaltspunkte zu spezifischen Energiegestehungskosten und zur Düngerbewirtschaftung ableiten. Eine Schnittstellenanalyse zeigt optimale Systemgrenzen für Netzwerke auf.

→ **Sensitivitätsanalysen lassen Schlüsse zur optimalen Grösse der einzelnen NETZ-Region und decken wirtschaftliche problematische Teilsysteme sowie Optimierungsansätze auf.**

3.1.4 Rahmenbedingungen und Prozesse

Substratbereitstellung

Die Art und Menge des Hofdüngeranfalls aus der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung und des Anfalls von Nebenprodukten aus dem landwirtschaftlichen Pflanzenbau sind in der Schweiz regional und kantonal recht unterschiedlich. Das Grundkonzept NETZ präsentiert eine Lösung sowohl für dichtere, als auch weniger dichte Hofdüngerregionen. Die Beurteilung der spezifischen Regionen berücksichtigt und analysiert regionaltypische Gegebenheiten und Traditionen.

Hofdüngerlagerung

Der landwirtschaftliche Betrieb mit Nutztierhaltung verfügt in der Regel bereits über Infrastruktur zur Lagerung des Hofdüngers. Das Grundkonzept NETZ sieht vor, dass bestehende Strukturen berücksichtigt und falls möglich genutzt werden. Für die Beurteilung der Regionen hinsichtlich einer NETZ-Umsetzung werden die bestehenden Strukturen zur Hofdüngerlagerung analysiert und der Bedarf allfälliger Anpassungen und Ergänzungen eruiert.

Substrattransport

Ökologische und ökonomische Argumente sprechen dafür, dass flüssige Hofdünger aufgrund des grossen Wasseranteils möglichst örtlich verarbeitet und genutzt werden. Übermässiger Substrattransport ist zu vermeiden, Transportdistanzen sind zu minimieren. Der wirtschaftliche Betrieb einer regionalen Vergärungsanlage zur Einspeisung von erneuerbaren Energien in Energienetze setzt jedoch eine gewisse Grösse bzw. minimale Methanproduktion voraus. Das Grundkonzept NETZ geht daher von einer weitgehenden Vermeidung des Transports der flüssigen Fraktionen wie Gülle und Dünngülle aus. Als Option für die hofseitige Biogasanlage und das Ausbringen der Gärdünngülle wird abgeklärt, welche Vor- und Nachteile allfällige Gülleleitungen mit sich bringen. Das Grundkonzept NETZ sieht jedoch den Transport der festen Fraktionen wie Mist und Separatormist zur regionalen Vergärungsanlage vor. Für den Betrieb der regionalen Vergärungsanlage wird abgeklärt, inwiefern regionale Transporte von Mist mit geringen Wasseranteilen zu vertreten sind.

Substratvorbehandlung

Eine getrennte Verarbeitung von flüssigen und festen Hofdüngern steigert die Effizienz der Vergärung, beispielsweise aufgrund der spezifischeren Ausführung der Anlagentechnologie sowie des Anlagenbetriebs auf die Substrateigenschaften. Aufgrund des geringen Feststoffanteils der hofseitigen Flüssigvergärung und des geringen Wasseranteils der regionalen Vergärung können die entsprechenden Anlagen mit robuster, standardisierter und einfacher Anlagentechnologie ausgerüstet werden, was die Aufwände für den Betrieb sowie die Installations- und Betriebskosten minimieren sollte. Das Grundkonzept NETZ geht von einer Fest-Flüssig-Trennung von flüssigen Hofdüngern mit grösseren Feststoffanteilen, insbe-



sondere von Rindvieh-Vollgülle aus. Machbarkeit und Eignung einer getrennten Verarbeitung von flüssigen und festen Hofdüngern in den entsprechenden Anlagen werden im Rahmen dieses Projekts geprüft.

Hofseitige Kleinbiogasanlage

Die hofseitige Kleinbiogasanlage existiert in der Schweiz bisher kaum. Hohe Investitionskosten, der geforderte technische Standard, die Komplexität des Substrats und der aufwändige Betrieb solcher Anlagen sind in Summe eine bisher unüberwindbare Hürde für einen wirtschaftlichen Betrieb. Das Grundkonzept NETZ sieht pro NETZ mehrere, modular aufgebaut, hofseitige Biogasanlagen für die feststoffarme Flüssigfraktion vor. Diese sollen aufgrund der verhältnismässig tiefen technischen Ansprüche und aufgrund von standardisierten Modulen mit wenig Aufwand zu betreiben sein. Eine mögliche Nutzung zur Deckung des betriebsinternen Eigenenergiebedarfs ist vorgesehen. Die Realisierbarkeit solcher hofseitigen Kleinbiogasanlagen ist im Rahmen dieses Projekts zu prüfen.

Regionale Vergärungsanlage

Eine regionale Vergärungsanlage soll wirtschaftlich attraktiv und energetisch effizient betrieben werden. Hier bieten sich Optionen für innovative und hocheffiziente Technologien zur Substratvorbehandlung, Vergärung, Energienutzung und Gärgutnachbehandlung. Das Grundkonzept NETZ sieht eine zentral gelegene Feststoffvergärung vor, welche eine bedarfsgerechte, individuelle Einspeisung in lokale Energienetze (Strom, Wärme, Erdgas) oder auch die direkte Nutzung als Treibstoff ermöglicht. Die einzelnen Verfahrensschritte sowie deren Technologien sind auf ihre Tauglichkeit zu untersuchen, mögliche Synergien mit anderen erneuerbaren Energien und zur Energiespeicherung sind zu prüfen.

Lagerung von Gärdünngülle

Für die Lagerung von Frischgülle bestehen auf den landwirtschaftlichen Höfen meist schon geeignete Strukturen. Durch die Ergänzung des Betriebs mit einer hofseitigen Kleinbiogasanlage gibt es einen Bedarf der getrennten Zwischenlagerung von Frischgülle und Gärdünngülle. Das Grundkonzept NETZ geht aufgrund der Separation und nachfolgenden Vergärung von einer sehr geringen Lagerdauer von Frischgülle aus. Die Verminderung von geruchs- und klimarelevanten Emissionen und die Höhe der Methanpotenzialverluste wird im Rahmen dieses Projekts abgeschätzt. Der massiv geringere Lagerbedarf von Frischgülle und der neue Bedarf zur Lagerung von Gärdünngülle sind zu ermitteln. Eine Umnutzung bestehender Lager und Strukturen sowie der Bedarf an zusätzlichen Lagerkapazitäten ist abzuschätzen.

Lagerung von Gärmist und Nebenprodukten aus dem landwirtschaftlichen Pflanzenbau

Der landwirtschaftliche Betrieb verfügt oft bereits über Infrastrukturen zur Bewirtschaftung und Lagerung von festem Hofdünger und Nebenprodukten aus dem landwirtschaftlichen Pflanzenbau. Aufgrund der flächendeckenden Fest-Flüssig-Trennung von feststoffhaltigen, flüssigen Hofdüngern besteht allenfalls zusätzlicher Bedarf an Lagervolumina. Durch die zentrale Verarbeitung von Feststoffen in der regionalen Vergärungsanlage nimmt der Lagerbedarf jedoch situativ auch ab. Das Grundkonzept NETZ sieht vor, dass Feststoffe regelmässig zur regionalen Anlage transportiert werden, wo genügend Lagerkapazitäten für feste Substrate sowie für Gärmist zu erstellen sind. Der zusätzliche Bedarf an festen Lagerkapazitäten ist zu eruieren.

Nachbehandlung von Gärdünngülle

Nachbehandlungstechnologien von Gärdünngülle und flüssigem Gärgut haben sich in der Schweiz bisher nur für sehr spezielle Bedürfnisse und Situationen etabliert. Das Grundkonzept NETZ sieht eine



direkte, möglichst lokale Anwendung der dünnflüssigen und feststoffarmen Gärdünngülle ohne Nachbehandlung vor. Punktuelle Nährstoffüberschüsse sind im Rahmen dieses Projekts aufzudecken und mögliche Massnahmen zur Vermeidung zu prüfen.

Nachbehandlung von Gärmist

Nachbehandlungsmöglichkeiten von Gärmist sind begrenzt. Abgesehen von der Kompostierung haben sich bisher keine Verfahren in der Schweiz durchgesetzt. Das Grundkonzept NETZ sieht die Möglichkeit einer individuellen Nachkompostierung von Gärmist vor. Der Bedarf in der Region für Kompost und Gärmist und die allfällige Zusammenarbeit mit einer bestehenden Kompostierung sind im Rahmen dieses Projekts abzuklären.

Anwendung Gärdünngülle als Wirtschaftsdünger

Jeder Landwirtschaftsbetrieb mit Nutztierhaltung verfügt über einen definierten Nährstoffbedarf. Dieser lässt sich zum Teil mit Gärdünngülle decken. Das Grundkonzept NETZ sieht vor, dass sämtliche Gärdünngülle als Flüssigdünger auf dem entsprechenden Betrieb oder zumindest möglichst lokal verwertet wird. Der Abdeckungsgrad des Düngerbedarfs an Gärdünngülle ist im Rahmen dieses Projekts abzuklären.

Anwendung Gärmist als Wirtschaftsdünger

Die Landwirtschaftsbetriebe, welche für die regionale Anlage als Zulieferer von Festmist dienen, haben einen gewissen Bedarf an festen Hofdüngern. Bei einem regionalen Überschuss sollen überschüssige Nährstoffe in Form von Gärmist aus der Region transportiert, bei einer Unterversorgung kann zusätzliches Substrat für die regionale Anlage akquiriert werden. Das Grundkonzept NETZ sieht vor, dass der Betreiber der regionalen Vergärungsanlage den dort anfallenden Gärmist je nach Bedarf und möglichst regional wieder verteilt. Im Rahmen dieses Projekts sind Deckung und Bedarf an Nährstoffen für die gesamte Region zu analysieren.

Nutzung Biomethan für Eigenbedarf

Der landwirtschaftliche Betrieb verfügt über einen Eigenbedarf an Energie in Form von Wärme, Strom und Kraftstoff. Auf der hofseitigen Kleinbiogasanlage entsteht der vielseitig nutzbare Energieträger Biomethan als Hauptbestandteil von Biogas. Aufgrund der überschaubaren Mengen ist eine technisch wenig aufwändige Nutzung angezeigt. Das Grundkonzept NETZ sieht vor, dass das hofseitig produzierte Biomethan zur individuellen Deckung von Anteilen des Energieeigenbedarfs des Betriebs verwendet wird. Mögliche Nutzungstechnologien und der spezifische Bedarf der Betriebe sind im Rahmen dieses Projekts abzugleichen.

Einspeisung in regionale Energie-Netze

Der Standort der regionalen Vergärungsanlage wird so gewählt, dass eine Nutzung und Einspeisung des produzierten Energieträgers in regionalen Energienetzen einfach möglich ist. Auf der regionalen Vergärungsanlage entsteht der vielseitig nutzbare Energieträger Biomethan als Hauptbestandteil von Biogas. Die Höhe der Biomethanproduktion ermöglicht eine Auswahl unterschiedlicher Technologien und Biogasverwertungsstrategien. Das Grundkonzept NETZ sieht vor, dass das regional produzierte Biomethan je nach Bedarf und Markt zur Produktion von Wärme, Strom, Treibstoff oder zur Einspeisung ins Erdgasnetz verwendet wird. Mögliche Nutzungs- und Speichertechnologien sowie Synergien mit bestehenden Energienetzen und erneuerbaren Energien sind im Rahmen dieses Projekts abzuklären.



3.2 Systemdefinition

Geografische Festlegung

→ Das politische Gemeindegebiet definiert die geografische Region eines NETZes.

Auf einer durchschnittlichen Fläche von 19 Quadratkilometern soll jeweils ein NETZ von mehreren hofseitigen Kleinbiogasanlagen und einer regionalen Vergärungsanlage realisiert werden. Für kleinere Gemeinden, die weit unter dem durchschnittlichen Biomethanpotenzial aus Hofdüngern liegen und daher zu klein für ein eigenes NETZ sind, soll eine Zusammenarbeit mit Nachbargemeinden geprüft werden. Für Gemeinden mit überdurchschnittlich hohem Hofdüngeranfall kommt die Realisation von mehreren NETZEN in Frage. Stellvertretend für die 2'200 Gemeinden in der Schweiz zeigt die nachfolgende Grafik (**Abbildung 13**) die beiden Gemeinden, die für die Fallstudien ausgewählt wurden: Safiental, GR und Waldkirch, SG.

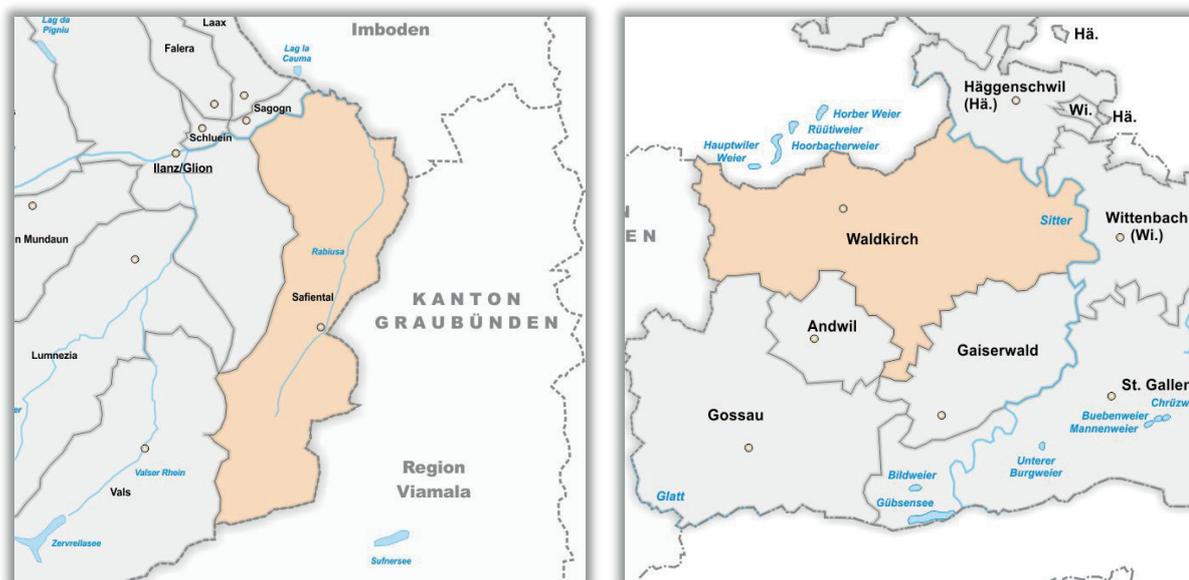


Abbildung 13: Die Gemeindegrenzen der beiden Gemeinden der Fallstudie:

links: Safiental, GR (Wikipedia, 2020a) und rechts: Waldkirch, SG (Wikipedia, 2020b)

Fläche Gemeinde Safiental: 151.4 km²

Fläche Gemeinde Waldkirch: 31.3 km²

Festlegung der Substrate

→ Im Grundsatz gilt: Hauptsubstrat für die Vergärung sind flüssige und feste Hofdünger (Gülle und Mist). Zusätzlich können feste Nebenprodukte aus dem landwirtschaftlichen Pflanzenbau vergoren werden. Flüssige Hofdünger mit grösseren Anteilen an Feststoffen werden vor Ort separiert. Das flüssige, feststoffarme Gärsubstrat wird hofseitig in einer Kleinbiogasanlage verarbeitet, feste Gärsubstrate zu einer zentralen Vergärungsanlage geführt und dort zu Biogas und Gärmist verarbeitet. Das Grundkonzept NETZ sieht eine reine Vergärung landwirtschaftlicher Substrate vor, die Option der Co-Vergärung mit Abfallstoffen ist jedoch ebenfalls möglich.



Hofdünger flüssig (Gülle, Dünngülle):

Als Substrat für die hofseitige Anlage dient ausschliesslich separierte Rinder-Dünngülle sowie Schweinegülle. Diese Substrate mit einem tiefen TS-Gehalt sollen möglichst lokal und unmittelbar nach der Entstehung energetisch verwertet und als Hofdünger vor Ort verwendet werden.

Hofdünger fest (Mist, Feststoffe):

Als Grundsubstrat für die regionale Vergärungsanlage dienen Feststoffe aus der Separierung und Mist von Rindern, allenfalls Schweinen, sowie sämtlicher in der Region produzierter Mist von Ziegen, Schafen, Geflügel, Pferden etc. Diese Substrate mit verhältnismässig hohem TS-Gehalt sollen regelmässig zur regionalen Anlage transportiert werden.

Nebenprodukte aus dem landwirtschaftlichen Pflanzenbau:

Ernte-Rückstände aus dem landwirtschaftlichen Pflanzenbau fallen grösstenteils in fester Form an und eignen sich daher für die energetische Nutzung in der regionalen Vergärungsanlage. Zwischenkulturen sollen vermehrt energetisch genutzt werden.

Co-Substrate (Abfallstoffe):

Auf die Verarbeitung von organischen Abfallstoffen soll weitestgehend und nach Möglichkeit verzichtet werden, insbesondere bei den hofseitigen, aber auch bei den regionalen Vergärungsanlagen. Für die Potenzialabschätzung der definierten Regionen sollen jedoch Gastronomie- und Industriebetriebe bezüglich der in der Region anfallenden Mengen an organischen Abfallstoffen berücksichtigt werden.

Die hofseitige Kleinbiogasanlage

→ **Zur Vergärung von flüssigem Hofdünger bietet sich als Standort der Landwirtschaftsbetrieb mit Nutztierhaltung an, welcher über die entsprechenden Strukturen zur Handhabung des Hofdüngers verfügt. Die Anlage befindet sich daher in der Landwirtschaftszone.**

1.3 Millionen DGVE Hofdünger aus der Nutztierhaltung in der Schweiz und gut 43'000 Landwirtschaftsbetriebe ergeben eine durchschnittliche Hofdüngermenge von 30 DGVE pro Betrieb. 43'000 Landwirtschaftsbetriebe aufgeteilt auf 2'200 Gemeinden macht durchschnittlich 20 Betriebe pro Gemeinde.

Unter der Annahme, dass Rindviehgülle zu Rindviehdünngülle und Rindviehmist separiert wird und so rund die Hälfte der Trockensubstanz in flüssiger Form vorliegt, kann pro Betrieb von ca. 15 DGVE Dünngülle ausgegangen werden. Jedes NETZ soll für die Verarbeitung der flüssigen Fraktionen aus etwa 20 modularen Einheiten hofseitiger Kleinbiogasanlagen bestehen. Die Biogasnutzung wird primär zur Deckung des Eigenbedarfs an Wärme, Strom oder Mobilität realisiert.

Für Betriebe mit vergleichsweise geringen flüssigen Hofdüngermengen ist eine Vernetzung über Gülleleitungen und ein gemeinsamer Betrieb der hofseitigen Flüssigvergärung abzuklären. Verhältnismässig grosse Landwirtschaftsbetriebe können ihre flüssigen Hofdünger in einer hofseitigen Anlage bestehend aus mehreren Gärmodulen verarbeiten. Betriebe ohne flüssige Substrate lassen den Mist direkt zur regionalen Vergärungsanlage liefern und betreiben keine hofseitige Biogasanlage.

Aufgrund von wirtschaftlichen Überlegungen sollte für die Kleinbiogasanlage eine Serienanfertigung und robuste sowie eine auf Container basierte Bauweise in Betracht gezogen werden. Dies verspricht tiefe Investitions- und Betriebskosten und ermöglicht eine standardisierte, modular erweiterbare Ausführung. Eine Umnutzung von bestehenden, infrastrukturellen Einrichtungen des Betriebes, wie beispielsweise zur Lagerung von Gülle und Mist, soll individuell abgeklärt werden. Soziale Strukturen des Betriebs sollen gestärkt und weitergeführt werden.



Die regionale Vergärungsanlage

→ Zur Vergärung von festem Hofdünger und Nebenprodukten aus dem landwirtschaftlichen Pflanzenbau bietet sich ein möglichst zentral gelegener Standort im Perimeter des NETZ-Gebiets an, welcher über die geeigneten geografischen Verhältnisse und Einspeisepunkte in lokale Energienetze oder entsprechenden Energiebedarf verfügt. Die Anlage befindet sich je nach Bedarf in der Bau- oder Landwirtschaftszone.

Ein durchschnittliches NETZ mit 20 landwirtschaftlichen Betrieben verfügt über je knapp 300 DGVE Dünngülle und 300 DGVE Mist und Separatormist. Zusätzlich sind ca. 40 kW_{ch} Leistung aus den Nebenprodukten des landwirtschaftlichen Pflanzenbaus zu erwarten. Jedes NETZ soll für die Verarbeitung dieser festen Fraktionen aus genau einer regionalen Feststoff-Vergärungsanlage bestehen. Die Biogasnutzung wird primär zur Einspeisung in regionale Energienetze (Wärme, Strom, Erdgas) realisiert oder es wird am Standort eine Biomethan-Tankstelle betrieben. Unter Umständen ist eine Beteiligung am Regelenenergiemarkt möglich. Die regionale Vergärungsanlage verfügt über die nötige Infrastruktur zur mobilen Separation von Vollgülle und zur Bewirtschaftung sowie Lagerung von festen Substraten und Gärmist. Eine Kombination von Fest- und Flüssigvergärung z. B. als Feststoffvergärung mit Perkolationsystem ist in Betracht zu ziehen.

Der Betreiber der regionalen Vergärungsanlage koordiniert die Separation der Vollgülle auf den entsprechenden Betrieben und ist für den Transport der festen Substrate zur Anlage und für den Rücktransport und/oder die Ausbringung des Gärmists zuständig. Er sorgt für einen Ausgleich der Nährstoffbilanzen bei punktuellen Nährstoffüberschüssen oder Nährstoffunterversorgungen und ist für allfällige Importe oder Exporte über die NETZ-Systemgrenzen hinaus verantwortlich. Bei Bedarf soll die regionale Anlage die Option der zusätzlichen Annahme von Co-Substraten prüfen. Es ist je nach Region zu berücksichtigen, ob sich im entsprechenden Perimeter als regionale Vergärungsanlage eine bereits bestehende Vergärung (landwirtschaftlich oder gewerblich/industriell) anbietet.

Auch bei der regionalen Vergärungsanlage bietet sich aus wirtschaftlichen Gründen eine modular erweiterbare Bauweise an. Je nach Region können so die Anlagenkapazität, aber auch Möglichkeiten der Substratvorbehandlung, Gärmistnachbehandlung und Biogasverarbeitung und Nutzung individuell den lokalen Bedürfnissen angepasst werden. Synergien mit der Produktion oder der Nutzung von anderen erneuerbaren Energien sind zu prüfen. Bestehende soziale Strukturen innerhalb des NETZ-Perimeters, insbesondere diejenigen der Gemeinde und von regionalen Interessensgruppen sollen gestärkt und weitergeführt werden.

Definition der Zuständigkeiten

Der Betreiber der hofseitigen Anlage respektive der dazugehörige landwirtschaftliche Betrieb ist zuständig für:

- Substratproduktion und Zwischenlagerung,
- Betrieb und Unterhalt der hofseitigen Kleinbiogasanlage,
- Nutzung der Gärdünngülle und
- Nutzung der Biogasenergie.

Der Betreiber der regionalen Vergärungsanlage zeichnet sich verantwortlich für die

- Fest-Flüssig-Trennung der Gülle am Produktionsort,
- Transport der Feststoffe zur regionalen Anlage,
- Betrieb und Unterhalt der regionalen Vergärungsanlage,
- Absatz des Gärmists und Nährstoffbilanz der Region und



- Einspeisung der Biogasenergie in regionale Netzwerke.

Relevante Prozesse

In den nachfolgenden Kapiteln und Arbeiten dieses Projekts stehen folgende Prozesse im Zentrum der Untersuchungen:

- Entstehung landwirtschaftlicher Reststoffe bzw. Substratanfall (tierisch, pflanzlich),
- Fassung und Zwischenlagerung der flüssigen Substrate (Vollgülle),
- Fassung und Zwischenlagerung der festen Substrate (Mist, pflanzliches Material),
- Separation der flüssigen Substrate (Vollgülle),
- Aufladen fester Substrate,
- Abtransport fester Substrate,
- Beschickung der hofseitigen Kleinbiogasanlage mit flüssigen Substraten,
- Flüssigvergärung auf der hofseitigen Kleinbiogasanlage,
- Entnahme der Gärdünngülle aus der hofseitigen Kleinbiogasanlage,
- Lagerung der Gärdünngülle,
- Ausbringung der Gärdünngülle auf das Feld,
- Nährstoffversorgung der Kulturen auf dem Feld,
- Auswirkungen auf den Boden,
- Biogasaufbereitung für die Nutzung auf dem landwirtschaftlichen Betrieb,
- Biogasnutzung auf dem landwirtschaftlichen Betrieb,
- Nutzung der Energie auf dem landwirtschaftlichen Betrieb,
- Transport der landwirtschaftlichen Feststoffe auf die regionale Vergärungsanlage,
- Transport gewerblich/industrieller Feststoffe auf die regionale Vergärungsanlage (Option),
- Transport gewerblich/industrieller Flüssigsubstrate (Option),
- Abladen von Feststoffen auf der regionalen Vergärungsanlage,
- Abladen von Flüssigsubstraten auf der regionalen Vergärungsanlage (Option),
- Zwischenlagerung von Feststoffen auf der regionalen Vergärungsanlage,
- Zwischenlagerung von Flüssigsubstraten auf der regionalen Vergärungsanlage (Option),
- Vorbehandlung von Feststoffen auf der regionalen Vergärungsanlage (Option),
- Vorbehandlung von Flüssigsubstraten auf der regionalen Vergärungsanlage (Option),
- Beschicken von Feststoffen zur Feststoffvergärung auf der regionalen Vergärungsanlage,
- Vergärung von festen Substraten auf der regionalen Vergärungsanlage,
- Entnahme des festen Gärgutes aus der regionalen Vergärungsanlage,
- Nachbehandlung des festen Gärgutes auf der regionalen Vergärungsanlage (Option),
- Lagerung des festen Gärgutes auf der regionalen Vergärungsanlage,
- Abtransport des festen Gärgutes zu den Betrieben mit Bedarf,
- Ausbringung des Gärmists auf das Feld,
- Nährstoffversorgung der Kulturen auf dem Feld,
- Auswirkungen auf den Boden,
- Biogasaufbereitung für die Nutzung in lokalen Energienetzen sowie
- Einspeisung in lokale Energienetze.



3.3 Definition Beurteilungskriterien

Die Beurteilungskriterien stellen eine Entscheidungshilfe dar, ob in einer Region Biogasanlagen implementiert werden können. Die Beurteilungskriterien sind so ausgewählt, dass sie ganz unterschiedliche Blickwinkel berücksichtigen. Neben der technischen Machbarkeit werden auch ökonomische, soziale, rechtliche und ökologische Aspekte in Betracht gezogen. Dies ermöglicht Aussagen zur Nachhaltigkeit.

Folgende neun Beurteilungskriterien wurden festgelegt:

- Das Potenzial im Einzugsgebiet der geplanten Anlage
- Einfluss auf die Ökologie
- Nährstoffmanagement
- Rechtliche Situation
- Politische Situation
- Soziale Netzwerke und Strukturen
- Technische Aspekte zur Machbarkeit
- Fragen der Dimensionierung
- Wirtschaftlichkeit

Sind die genannten Punkte im Detail für eine Region bekannt, kann die eigentliche Machbarkeit einer Implementierung besser beurteilt werden.

Vorgehen

Zur Beurteilung der einzelnen Punkte wurde mittels Expertenbefragung/Workshop der aktuelle Forschungsstand für alle neun Punkte abgefragt und von allen Projektbeteiligten beurteilt. In einem zweiten Schritt wurden die Ergebnisse in einem Review weiter ergänzt und durch die Teams nach ihren spezifischen Forschungsschwerpunkten vervollständigt. Die gewonnenen Erkenntnisse erlauben die Erstellung eines Fragekataloges/Rasters, mit dessen Hilfe irgendeine Region auf den Einsatz von Biogasanlagen evaluiert werden kann. In einem späteren Schritt wird der Fragenkatalog/Raster in den Modellregionen angewendet und validiert. Diese Erkenntnisse aus der Praxis ergänzen danach den Fragekatalog.

Ziel

Mit Hilfe der strukturierten Beurteilungskriterien kann irgendeine Region bezüglich des Einsatzes von Biogasanlagen evaluiert werden.

Die Beurteilungskriterien im Detail

Aufgrund der Befragung und Expertenberichte ergeben sich Schlüsselfragen zu jeweiligen Beurteilungskriterien und Kernaussagen. Die wichtigsten Fragen sind im Folgenden jeweils am Anfang der Beschreibung eines Beurteilungskriteriums aufgelistet und geben einen groben Überblick – die detaillierten Erläuterungen finden sich im nachfolgenden Text.



3.3.2 Potenzial

Kernfragen:

- **Wie wird die Region bewirtschaftet und welche vergärbaren Substrate sind vor allem vorhanden?**
- **Welche Akteure sind an der Vergärung interessiert und können dazu Substrate liefern?**
- **Welche Mengen sind zu erwarten?**
- **Wo lassen sich die entsprechenden Informationen dazu finden?**

In einem ersten Schritt geht es um den Überblick. Auch wenn Tierhalter vorhanden sind, müssen sie nicht unbedingt an einer Biogasanlage interessiert sein. Entscheidend sind die Bedürfnisse und Vorteile, die sich daraus für den einzelnen Landwirt ergeben.

Ansprechpartner sind die Gemeinde, regionale Bauernverbände und das kantonale Landwirtschaftsamt. Die konkreten Biomassepotentiale können so grob abgeschätzt werden. Unterscheidet man das Biomassepotential in Hofdünger, landwirtschaftliche Reststoffe (Ernte- und Verarbeitungsrückstände) und gewerblich/industrielle Co-Substrate sind unterschiedliche Erhebungen notwendig.

Für das Potenzial an Hofdüngern sind die einzelnen Landwirte gezielt und detailliert zu befragen. Hier spielen folgende Punkte eine wesentliche Rolle:

- Weideanteil auf dem Betrieb,
- Aufstallungs- und Haltungssystem,
- Lagerungsmöglichkeiten (Güllebehälter, Mistlager),
- Bedarf nach Um- oder Neubauten,
- nicht gelöste Nährstoffüberschüsse auf dem Hof oder in der Region,
- anstehende Neuanschaffungen für die Gülleausbringung und
- überbetrieblicher Maschineneinsatz.

Stehen beim Landwirt grössere Veränderungen an, besteht tendenziell das Interesse an einer Biogasanlage, da Synergieeffekte genutzt werden können.

Landwirtschaftliche Co-Substrate wie Verarbeitungsabfälle aus der Futter- und Nahrungsmittelproduktion können eine wichtige Ergänzung für das Hofdüngerpotenzial darstellen. Ob und wieviel von dieser Biomasse in der Region vorhanden ist, kann bei der Gemeinde, regionalen Sammelstellen, Verarbeitungsbetrieben und den Landwirten erfragt werden. Nicht alle theoretischen Potenziale sind auch praktisch nutzbar. Sobald mit diesen Reststoffen ein gewinnbringendes Produkt, wie z.B. Futtermittel hergestellt werden kann, steht es der Biogasanlage nicht zur Verfügung. Idealerweise sollte es sich daher um Reststoffe handeln, die sonst Entsorgungskosten verursachen und damit gerne einer Biogasanlage überlassen werden. Ein wichtiger Punkt für die Verwendung als Co-Substrat sind die Inhalts- und Fremdstoffe. Stören sie den Fermentierungsprozess oder sind Schadstoffe vorhanden, die anschliessend eine Ausbringung auf den Boden verhindern, können sie nicht für eine Biogasanlage verwendet werden.

Nicht landwirtschaftliche Co-Substrate aus der Gemeinde, Industrie oder der Nahrungsmittelherstellung können ebenfalls eingesetzt werden. Hierfür kann die Gemeinde z.B. für Grüngut Auskunft geben. Industrielle Nebenprodukte sind meistens beim jeweiligen Betrieb zu erfragen. Auch hier gilt es die Nährstoff- und Fremdstoffsituation im Auge zu behalten.

Das gesamte Potential kann durch eine Konkurrenzsituation beeinflusst werden. Bestehen bereits eine Kompostieranlage oder eine andere Biogasanlage, sind die entsprechenden Synergien zu suchen. So



können z.B. ein bestehender Wärmeverbund oder der Anschluss an ein Gasnetz durch eine zweite Anlage evtl. wirtschaftlicher werden.

3.3.3 Ökologie

Kernfragen:

- Sind Auswirkungen auf sensible Ökosysteme (Fließgewässer, Moore, Vorkommen von seltenen Arten etc.) zu erwarten?
- Sind Interessengruppen aus dem Naturschutz tangiert?
- Welche Auswirkungen hätte eine Biogasanlage auf Geruchsemissionen, Transportaufkommen, Nährstoffe, Böden, Wasser, Artenvielfalt?
- Können Synergien gefunden werden?

Erste Anlaufstelle wird auch hier die Gemeinde sein. Sie kennt örtliche und regionale Naturschutzgruppen, weiss wo sich schützenswerte Flächen befinden und welche ökologischen Bedenken aus der Bevölkerung kommen könnten.

Je nach vorhandenem Potenzial lässt sich grob abschätzen, welche Umweltkompartimente beim Bau einer Biogasanlage betroffen sein könnten.

Folgende Punkte sind für die Beurteilung der ökologischen Auswirkungen genauer zu prüfen:

- Auswirkung des Anlagenstandortes und allfällige Alternativen
- Emissionen, die einen Einfluss haben auf sensible Zonen wie ausgewiesene Naturschutzgebiete, Gewässer, Wohngebiete in der Hauptwindrichtung etc.
- Zu erwartende Änderungen im Verkehrsaufkommen (zusätzliche Transporte)
- Widersprüchliche Interessen (Naturschutzgruppen, Einsprachen)
- Kantonale Auflagen aufgrund bestehender Belastungen (z.B. Gebiet mit hohen Ammoniakemissionen)
- Abschätzung, ob technische Massnahmen die Emissionen verringern können
- Bestehen Einschränkungen, die z.B. Gülleleitungen durch Grundwasserzonen verunmöglichen
- Können Synergien gefunden werden, die zu einer Entlastung oder Verbesserung der aktuellen Situation beitragen?

Bei der Gülleausbringung entstehen immer auch Ammoniakverluste. Diese hängen stark von der Ausbringungsart und den Bedingungen ab. Ammoniak ist eine Stickstoffverbindung und wird als Aerosol in der umliegenden Region verteilt. Damit werden auch der Wald, Naturschutzgebiete, wie z.B. Moore gedüngt, obwohl sie keine Stickstoffdüngung benötigen. Durch diese zusätzliche Düngung ändern sich die natürlichen Pflanzenbestände und die Artenvielfalt nimmt ab. Daher ist insbesondere bei Biogasgülle auf eine bedarfsgerechte Düngung zu achten.

Die ländlichen Gebiete werden vermehrt als Erholungsraum oder als günstige Alternative zum urbanen Raum fürs Wohnen genutzt. Das Verständnis der Stadtbevölkerung für landwirtschaftliche Emissionen nimmt daher auch im ländlichen Raum ab. Traktorenlärm oder Güllegestank werden immer weniger akzeptiert. Beim Bau einer Biogasanlage ist dies zu berücksichtigen.

Im Idealfall können durch Gülleleitungen, einem dem Wind abgewandten Standort und durch den Einsatz moderner Gülleaufbereitungsverfahren (Separierung) die Lärm- und Geruchsemissionen klein gehalten werden.



Durch den Einsatz von Schleppschlauch mit Schleppschuhen und der Separierung ist auch die Gülleausbringung weniger geruchsintensiv und stickstoffeffizienter. Sogar, wenn die Region an einem hohen Nährstoffanfall leidet, kann durch den Export von Feststoffen eine Verbesserung erzielt werden.

Nimmt man diese positiven Aspekte einer klug geplanten Anlage zusammen, kann die Region durch den Bau einer Biogasanlage bezüglich einiger Kriterien wie Lärm, Transport, Geruch und Ammoniakemissionen leicht entlastet werden. Können keine Synergien gefunden und aufgezeigt werden, muss mit Widerstand von Seiten des Naturschutzes und der Wohnbevölkerung gerechnet werden.

3.3.4 Nährstoffmanagement

Kernfragen:

- Kann durch die geplante Hofdüngerlagerung eine bedarfsgerechte Pflanzendüngung gewährleistet werden?
- Kann die Gülleausbringung so organisiert werden, dass jeweils die optimalen Ausbringbedingungen gewährleistet sind?
- Sind möglichst alle Effizienzsteigerungsmassnahmen zur Hofdüngerausbringung berücksichtigt?
- Bestehen lokale oder sogar regionale Nährstoffüberschüsse?

Jeder Landwirtschaftsbetrieb ist angehalten eine ausgeglichene Nährstoffbilanz aufzuweisen. Hat er Überschüsse, muss er entweder weniger Tiere halten oder andere Abnehmer in oder ausserhalb der Region finden. Da in der Regel die Wirtschaftlichkeit mit der Anzahl Tiere zunimmt, nehmen viele Betriebe eine hohe Hofdüngermenge in Kauf.

Gülle wird als Dünger für die Kulturpflanzen verwendet. Die Nährstoffaufnahme der Pflanzen hängt jedoch von ihrem Bedarf ab. Wächst die Pflanze langsam z.B. im Herbst braucht sie kaum mehr Nährstoffe in Form von Hofdünger. Da die Landwirtschaftsbetriebe aber nur über eine beschränkte Lagerkapazität für Gülle und Mist verfügen, müssen vor dem Winter ihre Lager leeren, da die Tiere auch im Winter weiterhin für Hofdünger sorgen. Hier besteht ein Dilemma zwischen Pflanzenbedarf und Nährstoffüberschuss. Geringe Mengen Nährstoffe können vom Boden aufgenommen und gespeichert werden. Bei grösseren Überschüssen fließen die Nährstoffe aber ab ins Grundwasser oder entweichen als Gase in die Luft. Beides muss vermieden werden. Es ist notwendig, dass die Hofdünger möglichst bedarfsgerecht eingesetzt werden. Dies erfordert aber ausreichende Lagerkapazitäten (was nicht immer in der Praxis gegeben ist).

Die Ausbringung der Hofdünger erfolgt niemals verlustfrei. Ein Teil des Stickstoffes kann bei warmen Bedingungen und verdichteten Böden nicht in den Boden infiltrieren und verdunstet bzw. geht als Ammoniak verloren. Wird der Hofdünger auf vernässten Böden ausgebracht, können Nährstoffe in Oberflächengewässer abfliessen oder ins Grundwasser gelangen. Um Ammoniakemissionen zu minimieren, muss der Ausbringzeitpunkt möglichst auf kühlere Tageszeiten gelegt oder bei Regen erfolgen. Zudem kann die richtige Ausbringtechnik z.B. Schleppschlauch weitere Verluste vermindern helfen.

Bei vergorener Gülle aus Biogasanlagen ist der Ammoniumanteil leicht höher als bei unvergorener Gülle. Sie wirkt als Dünger besser, kann aber bei ungünstigen Bedingungen schneller zu Stickstoffverlusten führen. Es ist daher essentiell, dass die Biogasgülle gezielt und mit emissionsmindernder Technik ausgebracht wird.

Folgende Punkte sind für die Beurteilung der Nährstoffsituation genauer zu prüfen:

- Nährstoffsituation jedes einzelnen Betriebes (Hoduflu)



- Nährstoffsituation in der Region (Bedarf vs. Überschuss)
- Einfluss auf die Nährstoffsituation durch allfällige zusätzliche Co-Substrate
- Bedarf an Lagerkapazitäten
- Haltungssysteme und Weideanteile
- Gülleleitungen oder überbetriebliche Ausbringung als effiziente und umweltschonende Methoden
- Tierreduktion oder -ausbau bei gewissen Betrieben
- Labels (Bio, IP) – sie beeinflussen den überbetrieblichen Hofdüngeraustausch

Durch Biogasanlagen, die überbetrieblich eingesetzt werden, besteht aber auch die Möglichkeit von Anfang an grössere Lagerkapazitäten einzuplanen. Damit kann bedarfsgerechter gedüngt und dadurch die Nährstoffe effizienter eingesetzt werden. Dies reduziert unnötige Verluste und vermindert im Idealfall den Zukauf von Handelsdünger.

Die Bereitschaft für den überbetrieblichen Einsatz von Gülle ist nicht immer gegeben. Die Angst, dass sich Unkrautsamen unkontrolliert verteilen könnten, wird oft von Bauern genannt. Zur Vermeidung müssen die Anlagen entweder hohe Verweilzeiten aufweisen oder Prozesse mit höheren Temperaturen (thermophil) aufweisen.

Die Haltungssysteme sind entscheidend bei den Nährstoff- und Kohlestoffverlusten. Frische Gülle erlaubt eine höhere Biogasausbeute als lang gelagerte. Bauliche Massnahmen können helfen die Energieverluste zu minimieren.

Insbesondere wenn Neu- oder Umbauten im Stallbereich geplant sind, kann die Planung von überbetrieblichen Lagerkapazitäten ein Entscheidungsgrund für Biogasanlagen sein. Die Synergien zur Umwelt sind ebenfalls gegeben.

3.3.5 Rechtliche Situation

Kernfragen:

- Welche Bewilligungsbehörden sind zu kontaktieren?
- Welche Auflagen sind zu erfüllen?
- UVB notwendig?
- Gibt es Einsprachen?
- Können alle Vorschriften eingehalten werden?

Erste Anlaufstelle ist die Gemeinde. Da Biogasanlagen eher selten geplant werden, bestehen bis anhin keine Standardverfahren. Eine Rücksprache mit den zuständigen kantonalen Bewilligungsbehörden ist daher übliche Praxis. Je nach Grösse (ab 5000m³/J) ist für das Baugesuch auch ein Umweltverträglichkeitsbericht notwendig.

Wo eine Anlage gebaut werden kann, ist mit dem jeweiligen Zonenplan abzustimmen. Dabei spielt auch die geplante Biomasse eine Rolle. Rein landwirtschaftliche Anlagen können in der Landwirtschaftszone erlaubt werden. Ist die Anlage kommerziell und vergärt vorwiegend ausserlandwirtschaftliche Biomasse-sortimente, muss die Anlage in einer Gewerbe- oder Industriezone errichtet werden. In diesen Zonen ist baulich mehr Spielraum möglich, aufgrund der Geruchsbelästigung sind aber evtl. höhere Investitionen für Biofilter etc. zu leisten.

Die Bewilligungsverfahren sind in der Regel langwierig, da jede Anlage eine andere Situation aufweist und alle kritischen Punkte einzeln abgeklärt werden müssen.



Um rechtzeitig Einsprachen von Anwohnern oder Interessenvertretern vorzubeugen, ist eine gute Planung und Kommunikation zu allen Involvierten hilfreich. Je mehr Fragen im Vorfeld abgeklärt werden können, umso einfacher kann das Baugesuch und die Betriebsbewilligung behandelt werden. Allfällige Einsprachen können bei Einbezug sämtlicher Instanzen eine Bewilligung um Jahre hinauszögern. Es ist daher sinnvoll diese rechtzeitig zu vermeiden oder sich eine Strategie zurechtzulegen.

Für die Planung der technischen Anlagen sind die rechtlichen Vorschriften bezüglich Sicherheit zu berücksichtigen.

Synergien können entstehen, wenn ein öffentliches Interesse an einer Anlage entsteht. Dies kann z.B. das Label Energiestadt sein oder wenn die Gemeinde ihre Grünabfälle in der geplanten Biogasanlage energetisch nutzen kann.

3.3.6 Politische Situation

Kernfragen:

- Besteht ein Interesse der Gemeinde?
- Gibt es eine Energiestrategie?
- Welche Förderinstrumente werden angeboten?
- Ist das lokale Energieunternehmen interessiert?
- Interesse an Selbstversorgung?

Die wichtigsten Entscheidungsträger sind in der Gemeinde. Die Gemeinde kann aus verschiedenen Gründen an einer Biogasanlage interessiert sein. Mögliche Beispiele sind eine bessere Auslastung und Beteiligung der eigenen technischen Betriebe, die Umsetzung des Energiestadt-Labels oder der Einbezug bereits vorhandener Betriebe in ein Gesamtkonzept wie z.B. ein Wärmeverbund oder der Anschluss ans Gasnetz.

Ein weiterer Grund wäre die Autarkie d.h. der Wunsch einen gewissen Anteil an Energie selber bereitzustellen und damit gleichzeitig Umweltvorteile zu generieren z.B. Tankstelle mit Biogas, Senkung der Klimagasemissionen.

Da oftmals die Energieunternehmen mit der Gemeinde verbunden sind, kann auch von ihnen ein Interesse an einer Zusammenarbeit entstehen.

Einen wichtigen Einfluss spielen die Fördermittel. Zur Verfolgung einer kantonalen Energiestrategie können Neuanlagen mit Investitionsbeiträgen oder zinslosen Darlehen gefördert werden. Davon kann indirekt auch die Gemeinde profitieren.

Folgende Punkte sind für die Beurteilung der politischen Rahmenbedingungen näher zu prüfen:

- Gemeinsame Interessen der Gemeinde und Bauherrschaft der Biogasanlage
- Synergien zwischen dem Betreiben einer Biogasanlage und politischen Zielen, welche die Gemeinde erreichen will (Energiestadt, Verfolgung einer Energiestrategie, Umweltziele, Marketing)
- Generieren von Mehreinnahmen durch allfällige Fördermittel



- Bessere Auslastung der eigenen technischen Betriebe
- Einbindung und Möglichkeit das eigene Energieversorgungsunternehmen besser auszulasten
- Neue Arbeitsplätze, Verhinderung von Abwanderung, Mehreinnahmen durch Bau und Betrieb der Anlage
- Chancen und Grenzen einer Co-Finanzierung durch die Gemeinde oder eine Interessengemeinschaft
- Einbindung aller Entscheidungsträger von Beginn an
- Einbezug der Gemeinde und Entscheidungsträger (auch Kanton) bei der Information der Bevölkerung
- Einbezug der Gemeinde bei einer notwendigen Zonenänderung
- Interesse am Fortbestand einer gesunden Landwirtschaft auf dem Gemeindegebiet
- Steigerung der Attraktivität der Gemeinde für Zuzüger

Landwirtschaftliche Anlagen nutzen das vorhandene Biomassepotenzial und bieten eine Chance für die regionale Entwicklung. Von einem geschickten Anlagen- und Betriebskonzept könnte die ganze Region profitieren (weniger Geruchsemissionen, bessere Nährstoffeffizienz, Artenvielfalt, Arbeitsplätze, Neuinvestitionen, Mehreinnahmen, weniger Abwanderung etc.). Das Aufzeigen der möglichen Synergien muss frühzeitig erfolgen, damit die Gemeinde und damit die Bevölkerung das Projekt mitunterstützen.

3.3.7 Soziale Strukturen und Netzwerk

Kernfragen:

- **Wer sind die Schlüsselpersonen, wer unterstützt, wer verhindert, wer sind die informellen Führer?**
- **Wie ist die Interessenslage bei den Schlüsselakteuren in der Gemeinde/Region? Wie ist die Interessenslage bei weiteren potenziell relevanten Akteuren?**
- **Welche soziale Einflussfaktoren haben eine signifikante positive oder negative Auswirkung auf die Einstellung der Akteure gegenüber NETZ?**
- **Bietet NETZ eine Chance auf bessere soziale Verhältnisse (Arbeitserleichterungen, mehr Freizeit, Prestige, Anlass zu sozialem Austausch)? Werden wichtige soziale Einflussfaktoren durch eine Implementierung beeinflusst?**

Der Erfolg einer Umsetzung hängt neben den reinen rationalen Fakten auch an der Bereitschaft, Dinge zu verändern und neue Situationen zu schaffen. Es ist abzuklären wer die informellen Führer sind, welche Gruppen sich für eine Biogasanlage begeistern lassen und welche generell kritisch eingestellt sind. Durch eine gute Informationspolitik sind allfällige Vorurteile rechtzeitig zu beseitigen. Informelle Führer und positiv eingestellte sind für die Umsetzung zu gewinnen. Hilfreich sind Insider, die die Bevölkerung einschätzen können. Es können Gruppierungen vorhanden sein, die basierend auf einem früheren Vorfall skeptisch sind und daher generell ablehnend reagieren.

Wichtig sind die einzelnen Interessenslagen. Viele Landwirte sehen Bewirtschaftungsvorschriften als Eingriff in ihre persönliche Entscheidungsfreiheit. Hier können Interessenskonflikte zum Umweltschutz oder Bauvorschriften entstehen. Es ist wichtig die Interessenvertreter rechtzeitig einzubinden und ihre Positionen zu kennen. Dies erleichtert eine allfällige Kompromissbildung.

Die Risikobereitschaft spielt bei allen Veränderungen eine wichtige Rolle. Durch den konsequenten Einbezug der Gemeinde kann die Lage rechtzeitig abgeschätzt werden. Besteht ein Interesse oder eine



generelle Ablehnung. Können Teile der Bevölkerung zu einer Interessengemeinschaft motiviert werden? Besteht das Interesse an Beteiligungen?

Neben den rationalen Fakten kann eine Biogasanlage Chancen bieten, die aktuellen Prozesse in der Landwirtschaft zu überdenken. Durch ein überbetriebliches Gülle-Management, kann die frei gewordene Zeit für lukrativere Arbeiten eingesetzt werden oder zu einer Arbeitsentlastung und damit Stressminderung führen. Neu- oder Umbauten von Güllelagern fallen allenfalls weg und die Investitionen können in einem anderen Betriebszweig getätigt werden.

Neue Strukturen bieten auch neue Möglichkeiten der Zusammenarbeit und einer Priorisierung auf dem Landwirtschaftsbetrieb. Zudem bieten sich Chancen für einen sozialen Austausch oder die Übernahme von neuen, befriedigenderen Arbeiten.

Folgende Punkte sind für die Beurteilung der sozialen Strukturen zu beachten:

- Interessensvertreter, Zusammensetzung der Bevölkerung, Befürworter, Gegner, Behörden, Genossenschaften
- Ängste, Vorurteile, Risikobereitschaft
- Bestehende Netzwerke
- Kooperationsbereitschaft bei Behörden, Bevölkerung
- Zusammenarbeit zwischen den Landwirten
- Auswirkungen von allfälligen Bewirtschaftungsänderungen
- Konkurrenzsituationen

Die Befindlichkeiten der involvierten Gruppen tragen entscheidend zum Gelingen oder Scheitern bei. Je mehr Chancen für jeden Beteiligten ersichtlich sind, umso grösser ist die Chance einer Umsetzung.

3.3.8 Technologie und Technik

Kernfragen:

- Welche, wieviel Biomasse steht wann zur Verfügung?
- Ist der Standort geeignet oder steht eine überbetriebliche Lösung im Vordergrund?
- Welche Anlagekonzepte passen zum Standort?
- Eigenbedarf?
- Besteht eine Einspeisemöglichkeit in ein Wärme-, Strom- oder Gasnetz?

Biogasanlagen verlangen eine konstante Biomassezufuhr. Saisonale Schwankungen sind möglich, kurzfristige Schwankungen wirken sich störend auf den Biogasprozess aus. Es ist daher entscheidend, wann und wieviel Substrate vorhanden sind. Je frischer die Gülle, umso höher ist der Gasertrag. Lagerbare Co-Substrate können als Ausgleich dienen, wenn saisonale Schwankungen auftreten (z.B. weniger Gülleanfall durch Weidegang oder Alpung). Generell gilt je weniger Schwankungen in der Zusammensetzung des Substrates, umso konstanter und störungsfreier läuft der Prozess.

Die Lage und Infrastruktur ist für den Anlagenstandort entscheidend. An- und Abfahrt muss auch mit grösseren Fahrzeugen gewährleistet werden. Kann die Gülle direkt und frisch vom Stall genutzt werden, entstehen weniger Verluste und die Anlage kann tendenziell kleiner gebaut werden. Für die Gülleausbringung und allfällige An- oder Abfahrten von anderen Biomassesortimenten, muss der Betrieb über eine schlagkräftige, technische Ausrüstung verfügen. Hierzu kann auch eine Separierung zählen. Ist die Infrastruktur nicht gegeben oder lohnen sich die Investitionen für den Standort nicht, kann die Gülle



überbetrieblich genutzt werden. Durch Gülleleitungen sind überbetriebliche Anlagen möglich, die zudem das Lagerproblem entschärfen können.

Ob ein Standort für eine Anlage geeignet ist, hängt auch vom Eigenverbrauch und allfälligen Abnehmern ab. Steht die Autonomie im Vordergrund und besteht die Möglichkeit das Gas für Heiz- oder Trocknungsprozesse selber zu verwenden, sind kleinere Anlagen eher realisierbar. Grössere Anlagen produzieren in der Regel mehr Gas als auf dem Betrieb verwertet werden kann. Das Konzept muss daher auf die Vermarktung des Energieträgers ausgerichtet werden. Vorhandene Strom-, Gas und Wärmenetze sind mitentscheidend für das Anlagenkonzept. Beim Einsatz eines BHKW fällt immer auch Wärme an, die sinnvollerweise genutzt werden muss.

Folgende Punkte sind für die Auswahl des Anlagenkonzeptes ausschlaggebend

- Technologie und Betriebs- und Anlagenkonzept müssen den Standortverhältnissen angepasst werden
- Je effizienter eine Anlage betrieben wird, umso grösser ist die Chance einer erfolgreichen Umsetzung
- Der Eigenbedarf spielt bei kleinen Anlagen eine wesentliche Rolle
- Transporte sind zu minimieren
- Die Verwendung der generierten Energieformen muss gesichert sein
- Das Betriebskonzept muss möglichst viele Synergieeffekte generieren, um wirtschaftliche Defizite auszugleichen
- Zusammenarbeit unter den Landwirten (überbetrieblicher Maschineneinsatz, Wartung, Kontrolle)

Je mehr Biomassepotential genutzt werden soll, umso kostspieliger wird die Biogasproduktion. Kleinanlagen sind aktuell selten nur mit Gülle wirtschaftlich betreibbar – Gülleleitungen bieten aber die Chance einer überbetrieblichen Anlage

3.3.9 Dimensionierung

Kernfragen:

- Ist bezüglich des Standortes und des Potenzials eine Einzel- oder eine überbetriebliche Anlage sinnvoller?
- Besteht eine Einspeisemöglichkeit in ein Wärme-, Strom- oder Gasnetz?
- Welche Anlagekonzepte passen zum Standort?
- Kann die Anlage modular angepasst werden?
- Sind Gülleleitungen möglich?
- Ab welcher Grösse ist mit Einschränkungen zu rechnen?
- Sind andere Anlagen vorhanden?

Die Dimensionierung wird in der Regel dem Biomasseaufkommen angepasst. Generell sind grössere Anlagen eher wirtschaftlich als kleinere. Durch Gülleleitungen können die Transporte minimiert werden und grössere Anlagen an einem Standort realisiert werden. Mitentscheidend sind auch das Anlagenkonzept und die gewünschten Zielsetzungen. Hochleistungsreaktoren bauen klein und vergären die Biomasse mit kurzen Aufenthaltszeiten. Sie bieten die Möglichkeit verschiedene Nährstofffraktionen bereitzustellen, die gezielt und umweltschonend ausgebracht werden können. Stehen grössere Lagerka-



kapazitäten und lange Aufenthaltszeiten im Vordergrund, sind konventionelle Anlagen mit grossen Nachgärlagern sinnvoll. Saisonale Schwankungen beim Biomasseanfall sowie Nährstoffbedarf lassen sich damit eher ausgleichen. Solche Anlagen bauen generell gross und benötigen viel Platz.

Nicht immer sind die Verhältnisse bei Beginn der Planung für einen Zeitraum von 20 Jahren vorgegeben. Oft ändert sich die Marktsituation und die Anlagengrösse muss den neuen Bedingungen angepasst werden. Ideal sind ausreichend Reserveflächen, um einen Ausbau zu realisieren. Ist das Konzept von Anfang an modular aufgebaut, ist eine Erweiterung leichter zu realisieren.

Je grösser die Anlage, umso wichtiger ist eine konstante Absatzmöglichkeit. D.h. das Vorhandensein eines Gas- oder Wärmenetzes muss gewährleistet werden. Sind in der Region mehrere Anlagen geplant oder bereits in Betrieb ist die Absicherung der Biomasse wichtig. Grosse Anlagen brauchen eine konstante Substratversorgung, da sie sonst aufgrund der hohen Investitionen schnell grosse Verluste verursachen. Langfristige Lieferverträge sind daher essenziell. Grosse Anlagen verlangen eine konstante Betreuung und Personal. Entsprechend geschulte Arbeitskräfte müssen vorhanden sein.

Folgende Punkte sind für die Dimensionierung ausschlaggebend:

- Es ist abzuklären, welche Zielsetzungen mit dem Anlagentyp (Kleinanlage, Hochleistungsreaktor, Rührkessel mit grossen Nachgärlagern, Feststoffvergärer etc.) verfolgt werden.
- Der Biomasseanfall und die Zusammensetzung
- Vorhandene Lagerkapazitäten
- Bestehen Gülleleitungen oder können solche erstellt werden
- Auswahl der Hersteller
- Ist eine Aufbereitung gewünscht

Erst wenn die Zielsetzungen klar sind, kann über den Anlagentyp und die Dimensionierung entschieden werden.

3.3.10 Wirtschaftlichkeit

Kernfragen:

- **Welches Konzept wird gewünscht und kann die Wirtschaftlichkeit damit erreicht werden?**
- **Gibt es Fördermittel?**
- **Wie kann die Anlage finanziert werden?**
- **Ist Risikokapital vorhanden?**
- **Welche Nebenprodukte können zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit verkauft werden?**
- **Können vorhandene Infrastrukturen genutzt werden?**
- **Können andere Benefits die Wirtschaftlichkeit beeinflussen?**

Rentable Biogasanlagen funktionieren i.d.R. durch die Vergärung von Co-Substraten, die einen hohen Gasertrag erzielen (z.B. Fette) oder die von Entsorgungsgebühren profitieren.

Reine Hofdüngeranlagen sind erst in einem sehr grossen Massstab wirtschaftlich. Ursache ist die geringe Biogausausbeute pro Tonne Material. Je frischer die Gülle verwertet werden kann, umso mehr steigt der Gasertrag. Der Gasertrag ist aber aufgrund der geringen organischen und vergärbaren Substanz immer noch vergleichsweise gering.

Durch die Trennung der Gülle in eine Fest- und Flüssigphase kann der organische Anteil im Feststoff gesteigert werden oder die Flüssigphase in Hochleistungsreaktoren effizienter vergoren werden.



Auch die Trennung der Phasen kann die economy of scale nicht aushebeln und es sind daher weitere Benefits notwendig, um einen wirtschaftlichen Betrieb zu ermöglichen.

Folgende Fragen sind für die Wirtschaftlichkeit zu beachten

- Wie gross sind die Investitionen und in welcher Zeit können sie amortisiert werden?
- Welche Betriebskosten fallen an?
- Welche Biogaserträge sind realistisch?
- Können Co-Substrate beschafft werden, die ins Nährstoffkonzept passen und einen Mehrertrag gewährleisten?
- Wie kann eine langfristige Finanzierung gesichert werden?
- Wie kann die Zwischenfinanzierung bis zur Inbetriebnahme geregelt werden?
- Sind die Erträge und Ausgaben vertraglich längerfristig gesichert
- Besteht Aussicht auf Förderungen? Risikokapital?
- Welche weiteren Benefits können erbracht werden?

Ist der Standort klar und das Betriebskonzept ausgewählt, kann die Anlage gerechnet werden. In der Regel wird der Anlagenbetreiber nur eine wirtschaftliche Anlage beschaffen.

Regionen, die ein gesamtheitliches Konzept anstreben und auf eine nachhaltigere Energiebereitstellung unter der Verfolgung von ökologischen und sozialen Zielsetzungen planen, müssen weitere Benefits in die Kalkulation mit einrechnen. Dies könnten sein:

- Die Möglichkeit einer längerfristigen Gasspeicherung, um Hochpreistarife zu erlangen.
- Die Eigenvermarktung von Wärme, Strom oder Gas mit der Absicht höhere Preise als für fossile Energieträger zu erzielen aufgrund der CO₂-Ersparnis?
- Das Erzielen von zusätzlichen Beiträgen für eine schonendere Bewirtschaftung (ÖLN, Bio)
- Zuschüsse aus Fonds, Stiftungen für die regionale Entwicklung
- Die Landwirte beteiligen sich evtl. an der Anlage, da sie sich anstehende Neu- oder Umbauten für die Güllelagerung erspart haben.

Generell muss das Betriebskonzept unter Einbezug aller Synergien von allen Beteiligten mitgetragen werden.



4 Themenschwerpunkte in den Fallstudien

4.1 Potenzial

Für beide Fallstudien bzw. die Gemeinde Safiental und die Gemeinde Waldkirch wurde dieselbe Methode verwendet. Annahmen und Grundverfahren folgen demselben Ansatz wie die Potenzial-Studie von Thees et al (2017). Entsprechend können weiterführende Details in den entsprechenden Kapiteln dieses Berichtes nachgeschlagen werden (Thees et al., 2017).

Hofdünger

Unter Hofdünger werden zusammenfassend alle Ausscheidungen (sowohl in flüssiger als auch in fester Form) aus der landwirtschaftlichen Tierhaltung verstanden. Kot und Harn der Nutztiere bilden die Grundbestandteile dieser Biomassekategorie. Je nach Stallsystem fallen sie ohne sonstige Zusatzstoffe an, ausser eventuell Wasser. Man spricht in diesem Fall von Gülle bzw. Vollgülle (unverdünnt). Werden sie mit dem Einstreumaterial gemischt, spricht man von Mist.

Jährlich werden die landwirtschaftlichen Betriebsstrukturdaten im Auftrag des Bundesamts für Landwirtschaft (BLW) erhoben. Die Erhebung dient primär der Umsetzung der agrarpolitischen Massnahmen und als Basis für die Tierseuchenbekämpfung. Beispielsweise werden die Angaben benötigt für die Ausrichtung von Direktzahlungen, den Vollzug des Tierschutz-, des Lebensmittel- sowie des Gewässerschutzgesetzes. Der Tierbestand (Tierzahlen und Kategorie) gemäss landwirtschaftlicher Betriebsdatenerhebung des Jahres 2018 (BFS, 2020b) diente als Startpunkt zur Ermittlung des theoretischen Potenzials von Hofdünger. Folgende Nutztiere wurden berücksichtigt: Rindvieh (Milchkühe, übrige Kühe, Kälber und andere < 1-jährige Rinder, übriges Rindvieh), Schweine (Mutterschweine, Eber, übrige Schweine), Equiden, Schafe, Ziegen und Geflügel.

Je nach Stallsystem entstehen unterschiedliche Mengen von Gülle und Mist. Die Aufteilung der Tierkategorien nach Stallsystem wurde aufgrund der Zusatzerhebung des Bundesamtes für Statistik vorgenommen (BFS, 2020b). Beim Rindvieh wurden drei verschiedene Varianten von Hofdüngeranfall differenziert: i) nur Gülle, ii) nur Mist oder iii) Gülle und Mist. Schweine produzieren sowohl im «Labelstall» als auch im konventionellen Stall ausschliesslich Vollgülle. Bei Pferden, Schafen und Ziegen fällt nur Mist an. Beim Geflügel wurde zwischen Bodenhaltung und Kotband unterschieden.

Die Richtwerte für die jährliche Menge an Gülle und Mist der verschiedenen Tierkategorien stammen aus den Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau (GRUD, 2017). Für Anbinde- und Laufställe kann mit den gleichen Mengen gerechnet werden. Die angegebenen Mengen beziehen sich auf eine mittlere Leistungsstufe. Bei höherer Produktionsintensität ist die anfallende Hofdüngermenge entsprechend höher. Die Güllemengen beziehen sich alle auf unverdünnte Gülle (ohne Zufuhr von Wasser). In der aufgeführten Mistmenge sind Lagerungsverluste berücksichtigt. Durch Kombination der erhobenen Tierzahlen und der ausgewiesenen Hofdünger-Richtwerte je Stallsystem kann für jede Tierkategorie die jeweils zu erwartende Menge Gülle und Mist berechnet werden.

Gemäss heutiger Praxis verbleiben die Ausscheidungen der Tiere beim Weidegang oder während der Alpsommerung auf der Wiese und werden nicht zentral gesammelt. Entsprechend reduziert sich der energetisch nutzbare Anteil. Die Weidedauer und der damit in Verbindung stehende Verlust an Hofdünger wurde aufgrund der Zusatzerhebung des Bundesamts für Statistik ermittelt (BFS, 2020b). Lokale Besonderheiten wurden durch Differenzierung der Produktionsgebiete (Tal-, Hügel-, Bergzone) gemäss BFS/BWL berücksichtigt. Im Berg- und Hügelland Schweiz ist die Landwirtschaft mit erschwerten Pro-



duktionsbedingungen und Lebensverhältnissen konfrontiert, die bei Anwendung des Landwirtschaftsgesetzes berücksichtigt werden (BLW, 2020c). So liegt die Gemeinde Safiental in einer reinen Bergzone, während sich Waldkirch zu ca. zwei Dritteln in der «Talzone» und zu einem Drittel in der «Hügelzone» befindet. Durch Gewichtung der Regionen und der Tierkategorien wurde ein durchschnittlicher Abzugsfaktor von 18 % für die Gemeinde Safiental und von 15 % für die Gemeinde Waldkirch ermittelt.

Für alle Biomassenpotenziale werden sowohl die Ressourcenmenge als auch der Energieinhalt berechnet. In einem ersten Schritt werden die Mengen jeweils in Tonnen Frischsubstanz (FS) und Trockensubstanz (TS) angegeben. Zur Umrechnung der verschiedenen Hofdünger-Frischsubstanzen auf Trockensubstanz und organische Trockensubstanz (oTS) wurden die Richtwerte aus den Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau (GRUD, 2017) verwendet.

In einem zweiten Schritt wurde die in der Biomasse enthaltene Energie berechnet. Einerseits die Primärenergie, die sich auf den unteren Heizwert (Hu) der Trockensubstanz bezieht (Burg et al., 2018). Somit wird die gesamte in den Energieträgern enthaltene Energiemenge angegeben. Die Primärenergie ist also unabhängig von Nutzungspfaden und Wirkungsgraden.

Andererseits wurde auch der potenzielle Biomethanertrag in Normliter (NI) abgeschätzt. Zur Abschätzung der Gasausbeute wurden, wenn vorhanden, die Richtwerte des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) verwendet, ansonsten wurden eigene Annahmen getroffen (KTBL, 2013). Mit einem unteren Heizwert für Methan von 35.883 MJ/m³ lässt sich auch der Energieinhalt des Methanertrags berechnen.

Ernterückstände

Unter Ernterückständen werden die Rückstände nach der Ernte des eigentlichen Hauptproduktes verstanden. Zu den Ernterückständen gehören beispielweise verschiedene Stängel-, Kraut- oder Stroharten. Diese werden gemäss heutiger Praxis teilweise einer weiteren Verwertung zugeführt (z.B. als Futter oder Einstreu für die Tierhaltung), grösstenteils jedoch auf dem Feld liegen gelassen und durch den Einsatz von Bodenfräse, Grubber oder Pflug in den Boden eingearbeitet.

Unter dem theoretischen Potenzial wird das gesamte jährliche Aufkommen an Ernterückständen aus dem landwirtschaftlichen Pflanzenbau verstanden, die neben der Ernte des Hauptproduktes in einem Jahr in der Schweiz anfallen. Biomasse, die in erster Linie zur Tierfütterung oder als Einstreu verwendet wird, respektive Heu aus Wiesen und Weiden sowie bereits geerntetes Getreidestroh, wurde nicht eingerechnet. Im Sinne einer Kaskadennutzung wird diese Biomasse zunächst der Tierhaltung zugeführt und das energetische Potenzial als Teil der entsprechenden Ausscheidungen ausgewiesen.

Im Rahmen der landwirtschaftlichen Betriebsstrukturhebung werden auch wertvolle Daten zum Ackerbau erfasst. Als Startpunkt zur Berechnung des theoretischen Potenzials wurde die Grösse der landwirtschaftlichen Nutzfläche und die dabei angebaute Pflanzenart gemäss landwirtschaftlicher Betriebsdatenerhebung des Jahres 2018 verwendet (BFS, 2020b).

Folgende Ackerkulturen wurden berücksichtigt: Getreide (Weizen, Gerste, Hafer, Roggen, Triticale, Dinkel und übrige Getreide), Kartoffeln, Rüben, Körnermais, Hülsenfrüchte (Eiweisserbsen, Ackerbohnen, Lupinen), Raps, Sonnenblume, Tabak, Soja, Freilandgemüse, Lein und Hanf. Silo- und Grünmais wurden nicht eingerechnet, da angenommen wurde, dass diese Biomasse in erster Linie der Tierhaltung zugeführt wird.

Eine (teilweise) Ernte von Stroh mit dem Ziel einer Nutzung findet momentan in der Regel nur beim Getreidestroh statt, das verglichen mit den anderen Sortimenten (Ölsaaten, Mais und Leguminosen) in der Schweiz und in Europa mengenmässig die grösste Bedeutung hat (Kaltschmitt et al., 2016). Hier sind auch die jeweils eingesetzten Verfahren für Ernte bzw. Bergung am besten erprobt. Entsprechend



wurde bei den Getreiden nur die sogenannte Spreu als Nebenprodukt berücksichtigt, welche gemäss heutiger Praxis ungenutzt auf dem Feld liegen bleibt. Gemäss Feldversuchen der Berner Fachhochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL fallen zwischen 0.6 und 1.1 Tonnen Spreu pro Getreide-Hektar an (Marti, 2013). Das sind 5 bis 10 % der gesamten Pflanzenmasse.

Die Richtwerte für den jährlichen Ertrag der verschiedenen Kulturen in der Schweiz stammen aus den Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau (GRUD, 2017). Die angegebenen Werte entsprechen den geernteten Erträgen des Hauptproduktes (ohne unvermeidbare Ernteverluste) und den durchschnittlich anfallenden Ernterückständen. Der angegebene Referenzertrag (Tonnen/Hektar) wird dabei von den meisten Betrieben im Durchschnitt der Jahre erreicht und wird mit einem erntefrisch üblichen Wassergehalt angegeben. Durch Kombination der erhobenen Nutzflächen und der ausgewiesenen Referenzerträge kann für jede Kultur der jeweils zu erwartende Ertrag an Ernterückständen berechnet werden.

Für alle Biomassenpotenziale werden sowohl Ressourcenmenge als auch Energieinhalt berechnet. Um die verschiedenen Biomassen miteinander vergleichen zu können, werden die Mengen nicht nur in Tonnen Frischsubstanz, sondern jeweils auch in Trockensubstanz und organischer Trockensubstanz angegeben. Zur Umrechnung der Frischsubstanz auf Trockensubstanz (TS) wurden die Richtwerte aus den Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau verwendet (GRUD, 2017). Zur Abschätzung der organischen Trockensubstanz (oTS) dienten die Erfahrungswerte des «Grünen Buches» der Forschungsanstalt Agroscope (Agroscope-Posieux, 1999). Analog zum Vorgehen des Hofdüngers wurden schliesslich auch Primärenergiegehalt und potenzieller Methanertrag ermittelt.

Weitere vergärbare Biomasse (Co-Substrate)

Zusätzlich zur landwirtschaftlichen Biomasse können auch weitere Substrate (Abfallstoffe) vergärt werden. Man spricht dann von Co-Substraten. Angaben zur weiteren verfügbaren Biomasse, die lokal co-vergärt werden könnte, wurde durch direkte Anfrage der Regionskoordinatoren bei den Gemeinden abgeklärt.

→ **Anhand von detaillierten Daten des Bundes konnten wir das theoretische und das verfügbare Potenzial von Hofdünger und landwirtschaftlichen Nebenprodukten der Gemeinden ermitteln. Weitere vergärbare Biomasse (Co-Substrate) muss lokal abgeklärt werden.**

4.2 Ökologie

Neben den in Kapitel 3.3 erarbeiteten Beurteilungskriterien lassen sich im persönlichen Gespräch mit Regionalvertretern noch weitere zusätzliche Aspekte der Beurteilungskriterien in Form von kantonalen Quellen finden. Die meisten Kantone verfügen über ein GIS-System, das öffentlich zugänglich ist. Mit Hilfe der GIS-Systeme können Naherholungsgebiete, Naturschutzzonen etc., welche für den Standort einer Biogasanlage entscheidend sind, eruiert werden. Kantonale Energiekonzepte, sofern vorhanden, helfen ebenfalls, die baurechtlichen Verfahren zu erleichtern. Vom Bund werden Merkblätter und Wegleitungen als Vollzughilfen landwirtschaftliche Biogasanlagen angeboten.

Die in den Beurteilungskriterien festgelegten Kernfragen konnten weitgehend beantwortet werden. In persönlichen Gesprächen mit Regionalvertretern konnten weitere kantonale Informationsquellen gefunden werden. Generell lässt sich festhalten, dass Informationen für jeden Anlagenstandort einzeln eruiert werden müssen. Es gibt keine einheitlichen Ansprechpartner oder Anlaufstellen, die spezifisch für den



Bau von Biogasanlagen spezialisiert sind. Für jede Gemeinde und jeden Kanton ist ein unterschiedliches Vorgehen notwendig. Eine jeweilige, kantonale Anlaufstelle, die sich mit den lokalen Begebenheiten auskennt, wäre hilfreich.

- **Die wesentlichen Beurteilungskriterien und Kernfragen konnten mit den regionalen Behörden (Gemeinde und Kanton) geklärt werden. Die Abklärungen sind jedoch spezifisch und nicht koordiniert. Eine spezifische Anlaufstelle für den Bau von Biogasanlage könnte die Abklärungen stark vereinfachen.**

4.3 Nährstoffmanagement

Um einen allfälligen regionalen Düngerüberschuss zu erkennen, wurde eine Nährstoffbilanz auf Gemeinde-Ebene durchgeführt. Hierfür wurden die anonymisierten HODUFLU-Daten des Jahres 2018 verwendet. HODUFLU ist ein Internet-Programm zur einheitlichen Verwaltung von Hof- und Recyclingdüngerverschiebungen in der Landwirtschaft. Sämtliche Nährstofflieferungen müssen in HODUFLU erfasst und von den annehmenden Landwirten im System quittiert werden. Mit HODUFLU wird der administrative Ablauf von Nährstoffverschiebungen in der Landwirtschaft vereinfacht und eine transparente Darstellung der Nährstoffflüsse ermöglicht.

Generell besteht das Ziel pro Betrieb ausgeglichene Nährstoffbilanzen auszuweisen. Ist dies nicht möglich, müssen die Nährstoffe innerhalb einer Region verschoben werden. Schweizweit werden zusätzliche Nährstoffe in Form von Handelsdünger importiert, da die Nährstoffe aus den Hofdüngern entweder nicht ausreichend vorhanden sind oder nicht in einer einfach nutzbaren Form vorliegen. Die Hofdüngeraufbereitung zu vielseitig einsetzbaren Düngern lohnte sich bis anhin nur in speziellen Fällen. Dies führt einerseits zu temporären und lokalen Überschüssen im Winter und aus dem Sachzwang einer zu kleinen Lagerkapazität zu einer teilweise suboptimalen Ausbringung auf landwirtschaftlichen Flächen.

- **Die rechtzeitige Involvierung von verschiedenen Ämtern (Landwirtschaft, Energie, Natur- und Landschaftsschutz etc.) könnte das Verständnis der Notwendigkeit grösserer Lagerkapazitäten fördern und die gezieltere Nährstoffausbringung fördern. Damit können Nährstoffkreisläufe besser geschlossen und mögliche Synergien genutzt werden.**

4.4 Rechtliche Situation

Eine gute Zusammenstellung der rechtlichen Grundlagen für Anlagen in der Landwirtschaft findet sich in "Biogasanlagen in der Landwirtschaft - Ein Modul der Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft" (BAFU, 2016):

- Umweltschutzgesetz vom 7. Oktober 1983 (USG; SR 814.01);
- Luftreinhalte-Verordnung vom 16. Dezember 1985 (LRV; SR 814.318.142.1);
- Lärmschutz-Verordnung vom 15. Dezember 1986 (LSV; SR 814.41);
- Verordnung vom 4. Dezember 2015 über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung, VVEA; SR 814.600)
- Verordnung zur Reduktion von Risiken beim Umgang mit bestimmten besonders gefährlichen Stoffen, Zubereitungen und Gegenständen vom 18. Mai 2005 (ChemRRV; 814.81);



- Gewässerschutzgesetz vom 24. Januar 1991 (GSchG; 814.20);
- Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 (GSchV; SR 814.201);
- Bundesgesetz vom 22. Juni 1979 über die Raumplanung (RPG; SR 700);
- Raumplanungsverordnung vom 28. Juni 2000 (RPV; SR 700.1);
- Energieverordnung vom 7. Dezember 1998 (EnV; SR 730.01);
- Landwirtschaftsgesetz vom 29. April 1998 (LwG, SR 916.1);
- Verordnung vom 10. Januar 2001 über das Inverkehrbringen von Düngern (DüV; SR 916.171);
- Verordnung des WBF vom 16. November 2007 über das Inverkehrbringen von Düngern (DüBV, SR 916.171.1);
- Tierseuchengesetz vom 1. Juli 1966 (TSG, SR 916.40);
BAFU/BLW 2016 10
- Verordnung vom 23. Juni 2004 über die Entsorgung von tierischen Nebenprodukten (VTNP; SR 916.441.22);
- Mineralölsteuergesetz vom 21. Juni 1996 (MinöStG, SR 641.61)
- Mineralölsteuerverordnung vom 20. November 1996 (MinöStV, SR 641.611).

Die Voraussetzungen für Anlagen in Industriezonen können darüber hinausgehen, sind in den betrachteten Fallstudien jedoch nicht von Bedeutung.

Neben den angegebenen schweizweiten Rahmenbedingungen müssen je nach Kanton und Gemeindeordnung weitere Restriktionen berücksichtigt werden.

→ **Ein vereinheitlichendes Verfahren (Präzedenz) könnte die Situation vereinfachen und die Unterschiede zwischen den Kantonen verkleinern.**

4.5 Politische Situation

Es kann davon ausgegangen werden, dass jede Gemeinde ein Interesse hat, Energie effizient einzusetzen. Durch diverse Vorgaben und Empfehlungen seitens des Bundes und der Kantone werden verschiedene Programme unterstützt. Leitfaden dürfte die Energiestrategie des Bundes 2050 plus sein. (UVEK, 2020b)

Das Programm Energiestadt ermöglicht es den Gemeinden auf sie zugeschnittene Massnahmen zu ergreifen. (Energiestadt, 2022)

Der Bau von Biogasanlagen stellt ein möglicher Baustein zur Ausweitung der erneuerbaren Energieträger zur Produktion von Strom, Wärme oder Biomethan dar. Zudem wachsen Bestrebungen auf Gemeindeebene, aber auch auf Stufe Industrie, eine gewisse Autarkie und Netzunabhängigkeit für Notfälle zu erreichen. Hierzu eignet sich die Technologie zur Biogasherstellung vorzüglich.

Trotz einer positiven Einstellung zur Förderung der erneuerbaren Energien, kann es von der Baueingabe bis zur Realisierung ein oder mehrere Jahre dauern. Bei Ausschöpfung aller Einsparungsmöglichkeiten sind auch Zeiträume von bis zu 10 Jahren bekannt.

→ **Eine koordinative Stelle könnte den Ablauf der Umsetzung vereinfachen, beim Baugesuch allen Beteiligten eine Hilfestellung bieten und somit das gesamte Verfahren beschleunigen.**



4.6 Soziale Strukturen und Netzwerk

Die für die Bewertung notwendigen Daten werden aus verfügbaren Sekundärdaten (Projektdateien, öffentlich verfügbare Informationen) sowie durch eine mehrstufige qualitative Primärdatensammlung erhoben. Letztere setzt sich aus einer Fokusgruppe mit Vertretern der Schlüsselakteure sowie aus semi-strukturierten Experteninterviews zusammen und kann bei Möglichkeit durch kurze, semi-strukturierte Interviews mit potenziellen Teilnehmern (Vox-Pop-Interviews) ergänzt werden. Zur Standardisierung der Primärdatensammlung wurde ein Fragebogen für soziale Einflussfaktoren erarbeitet, welcher entweder vollständig (Fokusgruppe, Experteninterviews) oder in verkürzter Form (Vox-Pop-Interviews) eingesetzt wird. Das Ziel der Bewertung ist die Analyse von Schlüsselakteuren auf Basis des nachfolgenden Systemmodells, sowie die Auswertung der Einflussfaktoren sowie deren Auswirkung auf die Wechselbeziehungen zwischen den Akteuren.

Das entwickelte Bewertungskonzept wird im Rahmen des Vorprojekts getestet und angepasst, wobei bisher Interviews mit Experten innerhalb des Projektteams durchgeführt wurden sowie eine erste Testbewertung der Gemeinde Waldkirch basierend auf im Projekt verfügbaren Daten sowie Interviews mit zwei Experten durchgeführt wurde. Basierend auf den Resultaten dieser Testphase wurde das Bewertungskonzept weiter angepasst, wobei beide Versionen des Fragebogens aktualisiert wurden.

Der vollständige Fragebogen wurde in einem letzten Schritt in der Gemeinde Safiental im Rahmen eines Workshops mit dem Projektteam, Vertretern der Gemeinde sowie des Naturparks Beverin sowie potenziell interessierten Landwirten angewendet. Aufgrund der Strukturierung des Workshops wurden keine semi-strukturierten Vox-Pop-Interviews durchgeführt, wobei anzumerken ist, dass die Fragen im verkürzten Fragebogen identisch zu den Fragen im Vox-Pop-Fragebogen sind und sich einzig in der Anzahl der Fragen unterscheiden (vollständiger Fragebogen: 20 Fragen mit Unterfragen, Vox-Pop-Fragebogen: 6 Fragen mit Unterfragen, Fokus auf Initialentscheidung über den Bau einer hofseitigen Biogasanlage). Folgend dem Interview wurden letzte kleine semantische sowie Formänderungen an beiden Fragebögen gemacht sowie die finalen Versionen im Rahmen des Projektteams zur Verfügung gestellt.

Der Erfolg einer Umsetzung hängt neben den reinen rationalen Fakten auch an der Bereitschaft, Dinge zu verändern und neue Situationen zu schaffen. Soziale Faktoren, insbesondere Akzeptanz gegenüber dem neuen Konzept bzw. den zugrundeliegenden Technologien sowie Kooperationsbereitschaft von Schlüsselakteuren können die erfolgreiche Umsetzung in einer Gemeinde/Region sowohl massgeblich unterstützen als auch behindern bzw. im Extremfall auch zu einem Misserfolg führen.

Bei der Bewertung der sozialen Faktoren liegt der Fokus einerseits auf der Identifizierung von Schlüsselakteuren, wobei die Akteursgruppen Teilnehmer/Landwirte, Betreiber regionaler Anlagen, Gemeinde und Kanton/Bund hervorgehoben werden, und andererseits auf der Bewertung von sozialen Einflussfaktoren bezogen auf Wahrnehmung und Akzeptanz des neuen Konzepts und der Kooperationsbereitschaft im Rahmen regionaler Anlagen.

Die Einflussfaktoren lassen sich hierbei in drei Grundkategorien aufteilen: kulturell-kognitive Faktoren, welche Grundannahmen zur Rolle und Funktion der einzelnen Akteure im sozialen Gefüge der Gemeinde bzw. Region definieren; sozial-normative Faktoren in Form von spezifischen Annahmen bzw. Einstellungen zu spezifischen Aspekten der Biogasanlage bzw. des NETZes sowie regulative Faktoren, manifestiert als Gesetze, Standards, Vorschriften und staatliche Interventionen (Marquis et al., 2007; Wirth, 2014).

Die folgende Tabelle beinhaltet eine nicht abschliessende Zusammenfassung von Einflussfaktoren welche aus dem Projekt sowie vorherigen wissenschaftlichen Studien erfasst wurden:



Tabelle 1: Beispielübersicht für soziale Einflussfaktoren

Kulturell-kognitiv «So werden Sachen hier gemacht»	Sozial-normativ <i>Was sind die richtigen Sachen, die man tun sollte?</i>	Regulativ
Verständnis der Rolle und Politik der Gemeinde – Umwelt- und Energiefragen	LW sollten sich auch im Rahmen der Energieproduktion engagieren	Gesetzeslage für kleine Energieproduzenten
Verständnis der Rolle von Landwirten (<i>Wirth et al., 2013</i>)	Kollaboration mit anderen LW ist erwünscht (ja/nein)	Bauvorschriften auf Gemeindeebene
Einfluss von Verbänden bzw. Individuen (Opinion Leaders)	Neue Technologien werden positiv wahrgenommen und sollten geteilt werden	Rechtliche Rahmenbedingungen für Interaktion mit regionaler Anlage
Tradition von Kooperativen - ja/nein?	Potenzielle negative Effekte von Güllelagerung (Geruch, Platzbedarf) sollten wenn möglich minimiert werden	Förderungen auf Gemeindeebene
Wichtigkeit von lokalen Lösungen für lokale Energieherausforderungen		Förderungen auf Kantons-/Bundesebene

Weitere Akteursgruppen wie zum Beispiel Substratlieferanten, Energie- bzw. Düngerabnehmer sowie Landwirtgenossenschaften und -vereine können kontextabhängig eine wichtige Rolle einnehmen. Die Bewertung stützt sich einerseits auf Zwischenbeziehungen und Wechselwirkungen zwischen den Schlüsselakteuren und potenziell weiteren wichtigen Akteuren, sowie andererseits auf den Einfluss sozialer Faktoren auf einen parallellaufenden, doppelten Entscheidungsprozess (Planung, Bau und Betrieb hofseitige Biogasanlage; Planung, Bau und Betrieb sowie Entscheidung über Verhältnis/Geschäftsmodell der regionalen Biogasanlage). Die Zwischenbeziehungen der Schlüsselakteure sowie der parallele Entscheidungsprozess werden in Folge in Abbildung 14 dargestellt.

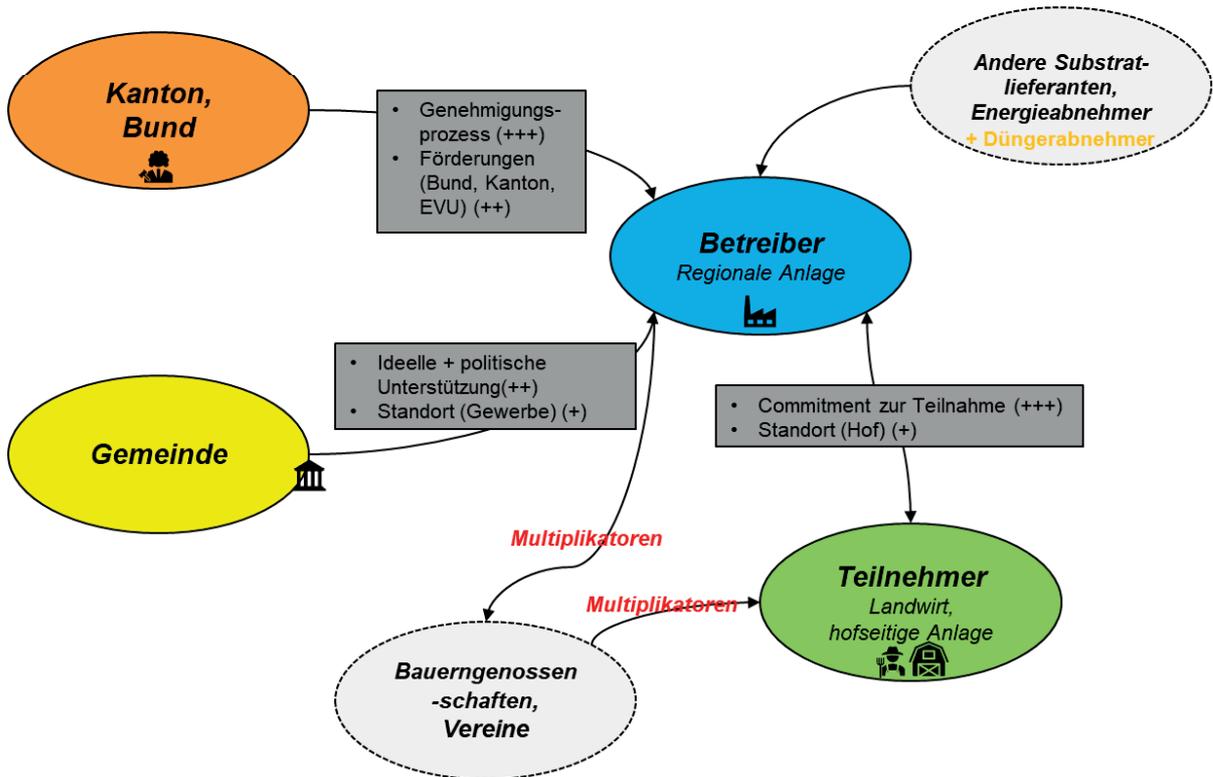


Abbildung 14: Systemmodell mit Schlüsselakteuren

Der Entscheidungsprozess für bzw. gegen die Biogasanlage setzt sich aus zwei Hauptentscheidungen zusammen: 1) der Entscheidung über den Bau der hofseitigen Biogasanlage sowie, im Fall einer positiven Initialentscheidung 2) der Entscheidung über das wirtschaftliche Verhältnis zur regionalen Anlage. In der Praxis werden diese Entscheidungen aber wegen signifikanter Wechselbeziehungen in der Regel zusammen oder in kurzer Reihenfolge gefällt, womit auch die jeweiligen formalrechtlichen Prozesse in der Regel parallel geführt werden. Abbildung 15 stellt eine schematische Darstellung der Wechselbeziehung zwischen den beiden Hauptentscheidungen, den damit zusammenhängenden Planungs- und Genehmigungsprozessen sowie weiteren begleitenden Tätigkeiten dar:

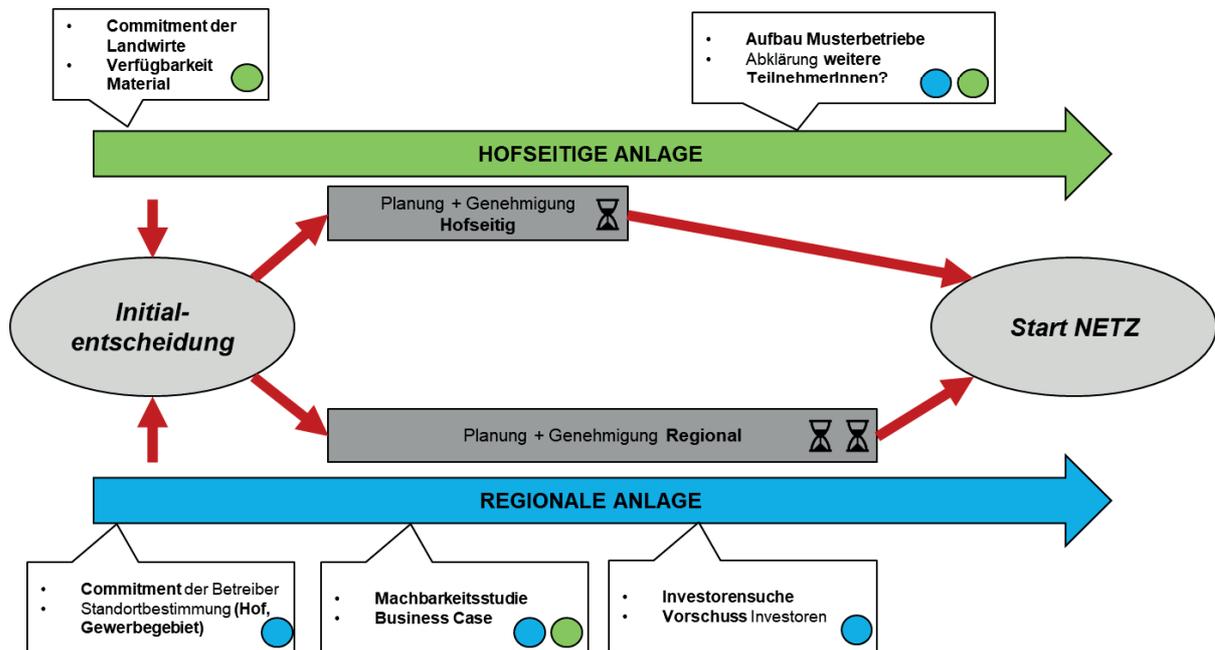


Abbildung 15: Doppelstufiger sozialer Entscheidungsprozess

- Die sozialen Strukturen, welche die Implementierung der Biogasanlagen sowie deren Verbindung zu einem regionalen NETZ beeinflussen, werden von den Schlüsselakteuren Akteursgruppen Teilnehmer/Landwirte, Gemeinde, Betreiber regionaler Anlagen (z.T. identisch mit der Gemeinde), und Kanton/Bund sowie kontextabhängig von weiteren Akteuren gebildet.
- Die Akteure werden von unterschiedlichen sozialen Einflussfaktoren beeinflusst, welche in die Kategorien kulturell-kognitiv (Wahrnehmung der Rollen), sozial-normativ (Einstellungen zu spezifischen Themen) und regulativ (rechtliche Vorschriften und deren Auswirkungen) zusammenfasst werden können.
- Der Entscheidungsprozess lässt sich in zwei Grundentscheidungen aufteilen: die Entscheidung zum Bau einer hofseitigen Biogasanlage sowie die Entscheidung über das wirtschaftliche Verhältnis zur regionalen Anlage. Bei den beobachteten Fallstudien werden diese Entscheidungen in der Regel parallel und voneinander abhängig gefällt.

4.7 Technologie und Technik

Die Bewertung von Technologie und Technik betrifft sowohl in der Schweiz bereits verfügbare Technologien wie auch der internationale Stand der Technik und aber auch noch nicht etablierte neue Technologien. Die Bewertung umfasst sämtliche Verfahren und Technologien der gesamten Wertschöpfungskette vom Anfall des organischen Reststoffes bis zur Verwertung des Düngerprodukts und der produzierten erneuerbaren Energie.

Mögliche Verfahren/Technologien werden für die Fallstudien mittels qualitativer Analyseverfahren (z.B. Nutzwertanalyse) einander gegenübergestellt und bezüglich Eignung als NETZ-Bestandteil bewertet. Dies betrifft zum Beispiel die Machbarkeit und Bewilligungsfähigkeit von Technologien einer Flüssigbiogasanlage für die hofseitige Vergärung und die unterschiedlichen Optionen zur Biogasverwertung.



4.7.1 Relevante Prozesse hofseitige Anlage

Das Fließbild (Abbildung 16) bildet die maximale Variante an Prozessen ab, die auf einem landwirtschaftlichen Hof realisiert werden, um das NETZ-Konzept der hofseitigen Biogasherstellung aus flüssigen Substraten und die regionale Vergärung von Feststoffen realisieren zu können. Je nach individuellen Begebenheiten kann auf einzelne Schritte oder gesamte Verfahrensketten verzichtet werden.

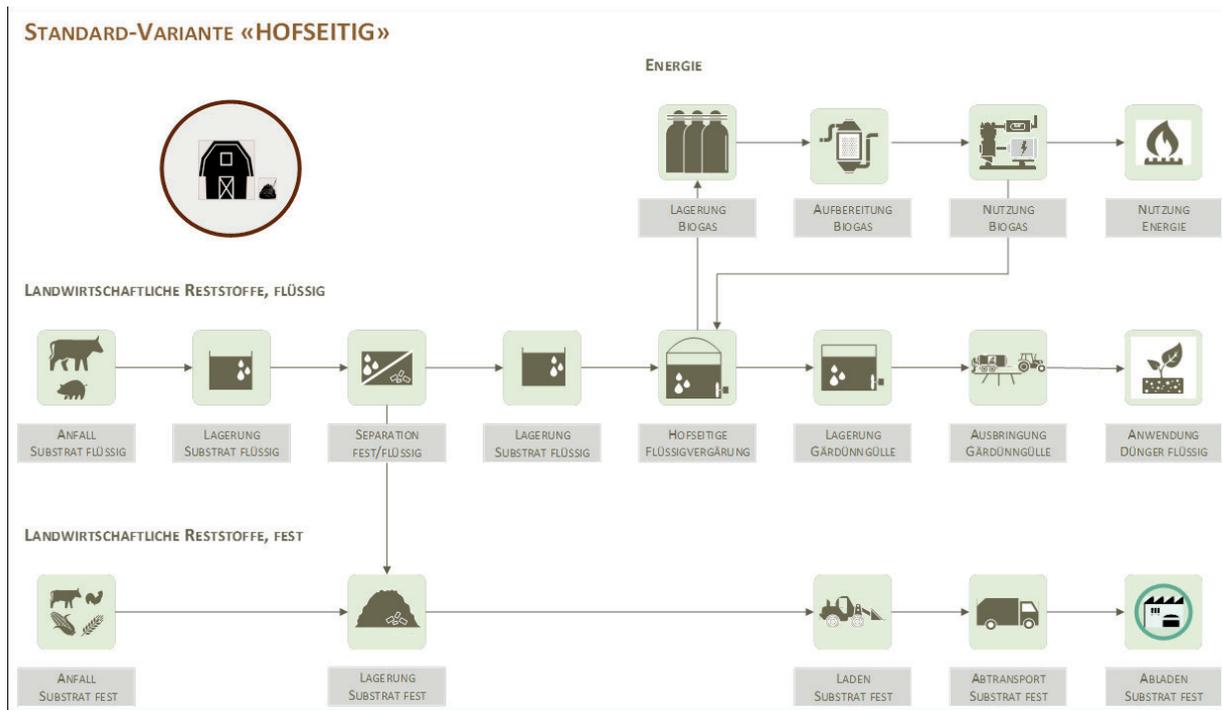


Abbildung 16: Fließbild der Standard-Variante «hofseitig» mit relevanten Prozessschritten

4.7.2 Technische Komponenten hofseitige Anlage

Zu Beginn der hier betrachteten Prozesskette steht die Entstehung der landwirtschaftlichen Reststoffe. Hier kann zwischen tierischen und pflanzlichen sowie flüssigen und festen, organischen Stoffen unterschieden werden, die sich grundsätzlich für eine Vergärung eignen. Nicht im NETZ-Konzept enthalten sind daher verholzte Biomassen, da diese sich nicht für eine Biogasgewinnung eignen und nachwachsende Rohstoffe, da sich Anbau und Verwertung sich in der Schweiz aus politischen Gründen nicht für die Biogasherstellung eignen. Ebenfalls nicht als Substrat für die hofseitige Biogasanlage vorgesehen sind Abfallstoffe aus der Industrie. Diese sollen zentral in der regionalen Vergärungsanlage verwertet werden.



Anfall Substrat flüssig



Für die Definition der Anlagentechnologie und Dimensionierung der NETZ-Bestandteile spielt der Tierbestand eine entscheidende Rolle. Im Jahr 2020 gab es in der Schweiz rund 1.3 Millionen GVE Nutztiere. Der allergrösste Anteil an Hofdüngern liegt in flüssiger Form als Rindvieh- und Schweinegülle vor. Als Substrate für die hofseitige Flüssigvergärung sind auf dem landwirtschaftlichen Betrieb daher hauptsächlich Rinder- und Schweinegülle sowie organisch belastete Abwässer vorhanden. Entscheidende Parameter für eine effiziente Biogasherstellung sind hier insbesondere Menge, Energiepotenzial (TS, oTS, Fütterung), zeitlicher und örtlicher Anfall bzw. Möglichkeiten der Fassung (Stall- und Platzaufenthaltszeiten), Korngrösse (Einstreu) und Reinheit (Fremdstoffe). Viele dieser Faktoren sind beispielsweise vom Stallungssystem, von der Betriebsart, von der Jahreszeit, von örtlichen Begebenheiten und der bestehenden Infrastruktur abhängig und müssen daher für jeden Betrieb individuell und im Detail betrachtet werden.

Ideal für eine hofseitige Flüssigvergärung sind Haltungs- bzw. Stallungssysteme, die möglichst grosse Anteile der anfallenden Gülle auffangen, möglichst dicke Gülle produzieren, die jedoch fest- und fremdstoffarm, pumpbar und energiereich sind, d.h. vor der Vergärung zum Beispiel möglichst kurz gelagert werden. Bezüglich der Tierhaltung und Stallungssysteme müssen Tierwohl und Tiergesundheit selbstverständlich jederzeit im Vordergrund stehen.

- **Technisch betrachtet sind Systeme sinnvoll, die eine direkte Weiterverarbeitung der Frischgülle ohne Zwischenlagerung und Separationsschritt ermöglichen. Stallungssysteme mit Spaltenböden oder Schwemmkanälen mit direktem Eintrag von strohhaltiger Rindervollgülle in grosse Güllelager sind beispielsweise schlecht geeignet und können zu erheblichem Umbauaufwand führen.**
- **Nicht relevant ist dieser Prozessschritt für Betriebe, die keine flüssigen Reststoffe produzieren.**



Anfall Substrat fest



Bezogen auf die Menge an Trockensubstanz spielen für eine Vergärung nebst dem Rindviehmist auch die Vertreter der Pferdegattung, Schafe, Geflügel und Ziegen eine Rolle. Weil das NETZ-Konzept eine möglichst flächendeckende Separation von Rindervollgülle vorsieht, darf zusätzlich von einer signifikanten Menge an Separatormist aus der Rindviehhaltung ausgegangen werden.

Ein erhebliches Potenzial als Substrat für die Biogasherstellung weisen auch die Nebenprodukte aus dem landwirtschaftlichen Pflanzenbau auf. Die Nutzung von landwirtschaftlichen Reststoffen und Nebenprodukten steht hier in der Schweiz an erster Stelle. Eine Produktion von nachwachsenden Rohstoffen für die Erzeugung von Energieträgern ist aus politischen Gründen nicht vorgesehen.

Flächenmässig nehmen in der Schweiz mit ca. 70 % Naturwiesen, Weiden und Kunstwiesen den allergrössten Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche ein (ca. 70 %). Nebenprodukte aus dem landwirtschaftlichen Pflanzenbau entstehen jedoch hauptsächlich auf den «übrigen Flächen». Reststoffe wie Erntereste, Rüstabfälle oder Fehlchargen kommen grösstenteils vom Ackerland, wo Weizen (27 %), Silo- und Körnermais (17 %) sowie Gerste (10 %) vorherrschen. Abgesehen von den genannten Kulturen weisen auch Zwischenkulturen ein nachhaltiges Potenzial für die Biogasherstellung aus. Als Beispiele wären hier wiederum Weizen und Gerste, aber auch Körnermais zu nennen. Je nach Region kommen grössere Mengen an Reststoffen aus dem Gemüse- und Früchteanbau dazu. Der allergrösste Anteil an Nebenprodukten aus dem landwirtschaftlichen Pflanzenbau liegt also in fester Form vor.

Analog zum Anfall flüssiger Substrate sind hier bezüglich Hofdünger Menge, Energiepotenzial (TS, oTS, Fütterung), zeitlicher und örtlicher Anfall bzw. Möglichkeiten der Fassung (Stall- und Platzaufenthaltszeiten), Korngrösse (Einstreu) und Reinheit (Fremdstoffe) entscheidend. Auch bei den festen Substraten lohnt es sich aufgrund des Energiepotenzials auf möglichst kurze Lagerzeiten zu achten und aus Gründen möglicher Geruchsemissionen auf eine trockene Lagerung. Für den Transport zur regionalen Anlage sind tiefe Feuchtegehalte von Vorteil. Auch hier sind die bestehende Infrastruktur und die Betriebsabläufe individuell zu berücksichtigen.

- **Aus technischer Sicht sind Stallungssysteme von Vorteil, die bereits für eine gute Trennung von Flüssigkeiten (Gülle) und Feststoffen (Einstreu) sorgen. Für Betriebe, die über eine permanent installierte Fest-Flüssig-Trennung (Separator) verfügen, bringt eine Auftrennung bereits im Stall kaum Vorteile.**
- **Nicht relevant ist dieser Prozessschritt für Landwirtschaftsbetriebe, die kaum festen Reststoffe produzieren (z.B. Schweinehalter). Für Betriebe, bei denen ausschliesslich feste Reststoffe anfallen, ist eine einfache Feststoffvergärung in Betracht zu ziehen.**



Fassung/Transport und Zwischenlagerung der flüssigen Substrate



Eine Zwischenlagerung von flüssigen Hofdüngern (Vollgülle) ist dann notwendig, wenn das Material für die hofseitige Flüssigvergärung zu feststoff- bzw. strukturreich ist und daher zur störungsfreien Vergärung einem Separationsschritt zugefügt werden muss. Die Kapazität der Zwischenlagerung hängt von der Frequenz der anschliessenden Fest-Flüssig-Trennung ab. Bestehende Infrastruktur kann je nach Art, Grösse und Aufstellungsort der vorhandenen Lager, Art des Substrateintrags und der Substratentnahme sowie je nach technischer Infrastruktur (Leitungsnetz, Rührwerk, Pumpe, Füllstandsüberwachung etc.) mit kleineren oder grösseren Anpassungen verwendet werden.

Für die Zwischenlagerung von Rohgülle sind im Prinzip drei Varianten zu unterscheiden:

1. Es fällt eine Vollgülle an, die separiert werden muss. Der Betrieb verfügt über keine fest installierte Fest-Flüssig-Trennung: Die Vollgülle muss bis zum nächsten Separationszeitpunkt zwischengelagert werden können. Aus energetischer Sicht empfiehlt sich dabei eine möglichst hohe Separationsfrequenz, d.h. beispielsweise zumindest einmal wöchentlich. Die Zwischenlagerungskapazität soll entsprechend und mit etwas Puffer ausgelegt werden.
2. Es fällt eine Vollgülle an, die separiert werden muss. Der Betrieb verfügt über eine fest installierte Fest-Flüssig-Trennung: Die Vollgülle soll möglichst rasch, z.B. ein- bis zweimal täglich separiert werden, damit die flüssige Fraktion (Dünngülle) ohne Energieverluste zu Biogas umgewandelt werden kann. Die sehr geringe Zwischenlagerungskapazität soll entsprechend und mit etwas Puffer ausgelegt werden.
3. Es entsteht bereits eine struktur- und feststoffarme Dünngülle oder ein landwirtschaftliches Flüssigsubstrat (Milch, organisches Abwasser). Solche Substrate sollen möglichst rasch der Flüssigvergärung zugefügt werden. Je nach Biogasanlagentechnik und Stallungssystem kann hier vollständig auf eine Zwischenlagerung verzichtet werden, wenn das Material direkt der hofseitigen Biogasanlage zugeführt werden kann.
4. Es besteht eine Gülleleitung zu einem anderen Betrieb, welcher über eine hofseitige Biogasanlage und über den entsprechenden Energiebedarf verfügt. Die Gülle wird separiert oder unsepariert abgeleitet.

→ Bei der Fassung von flüssigen Substraten (Vollgülle) ist technisch gesehen entscheidend, dass sie unabhängig von der vergorenen Gülle gehandhabt werden kann. Eine direkte Fassung der einzelnen Güllequalitäten muss möglich sein. Je nach Situation ist ein System mit



Rührwerk, Mixer, Pumpen, Füllstandsüberwachung und Rohrleitungssystem etc. notwendig.
Die bestehende Infrastruktur ist zu berücksichtigen.

- Nicht relevant ist dieser Prozessschritt für Betriebe, die keine flüssigen Reststoffe produzieren oder bereits ohne Separation eine homogene, feststoffarme Dünngülle produzieren.

Fassung/Transport und Zwischenlagerung der festen Substrate



Ein kleines Zwischenlager für feste Substrate (Mist, Separatormist, pflanzliche Reststoffe) ist auf jeden Fall angezeigt. Je nach Häufigkeit des Wegtransports der Feststoffe zur regionalen Vergärungsanlage müssen entsprechende Lagerkapazitäten vorhanden sein, z.B. für eine Woche. Aus energetischer Sicht ist eine möglichst kurze Lagerzeit von grossem Vorteil. Die Infrastruktur für die Fassung und den Transport der Feststoffe sowie die Zugänglichkeit der Lagerstätte für das entsprechende Equipment sind stark von den individuellen Gegebenheiten und der Art des organischen Reststoffes abhängig. Auch die Verwendung bereits bestehender Infrastruktur ist individuell je Betrieb einsetzbar.

Insbesondere bei Material, das bei Feuchte zur Geruchsbildung neigt, ist eine witterungsgeschützte, also überdachte Lagerung sinnvoll. Auf jeden Fall soll das Lager auf einer befestigten, entwässerten Fläche stattfinden. Je nach Substrat ist ein Schutz vor Kleintierfrass vorzusehen. Technisch gesehen sind für die Fassung, den Transport und die Zwischenlagerung einige Varianten vorstellbar:

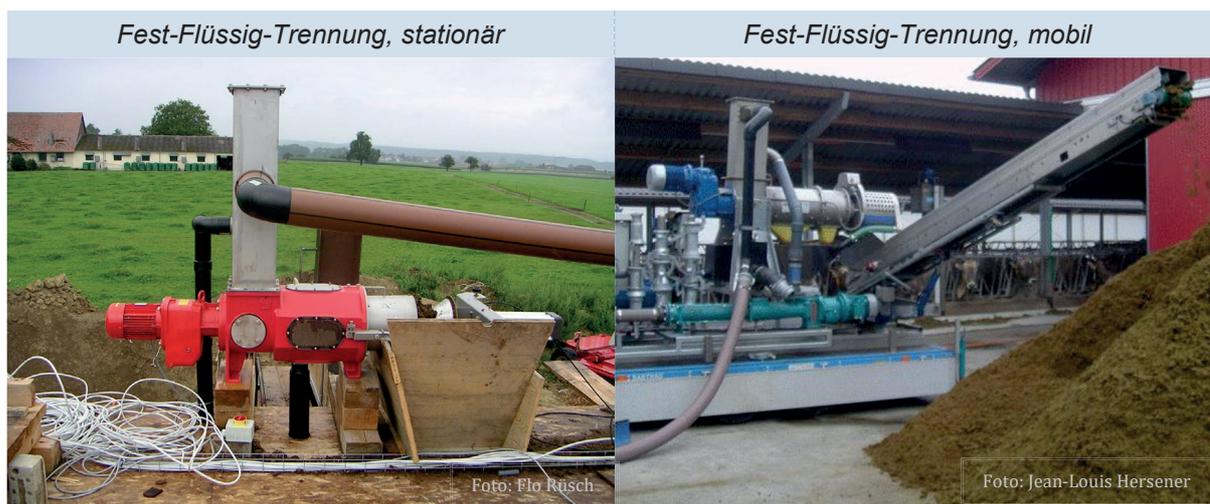
- integriert im Stallungssystem (überdacht, im Freien),
- direkt im Transportbehälter,
- auf einem befestigten Platz oder in einem Bunker (Misthaufen) im Freien,
- überdacht in einer offenen Halle,

- Aus technischer Sicht sind witterungs- und kleintierfrass-geschützte und befestigte Lager von Vorteil. Für Betriebe, die über eine permanent installierte Fest-Flüssig-Trennung (Separator) verfügen, ist eine kombinierte Lagerung zusammen mit dem Separatormist möglich. Je nach Art und Menge des Materials kann der Feststoff allenfalls direkt in den Transportbehälter überführt bzw. dort zwischengelagert werden, bevor es zur regionalen Vergärungsanlage transportiert wird.



- Nicht relevant ist dieser Prozessschritt für Landwirtschaftsbetriebe, die kaum festen Reststoffe produzieren (z.B. Schweinehalter). Für Betriebe, bei denen ausschliesslich feste Reststoffe anfallen, ist eine einfache Feststoffvergärung in Betracht zu ziehen. Das Zwischenlager für Feststoffe ist dann auf das Vergärungssystem auszurichten.

Separation der flüssigen Substrate



Zur Fest-Flüssig-Trennung – hauptsächlich von Rindervollgülle – bieten sich zum Beispiel Siebpressschnecken- und Siebtrommelseparatoren an. Typischerweise werden solche Gülleseparatoren durch eine Förderpumpe, meist aus einer Güllegrube beschickt. Der Separator trennt die festen, strukturreichen Stoffe in der Gülle (z.B. das Einstreumaterial) mittels eines Siebes von der Flüssigkeit ab. Als flüssige Fraktion entsteht eine sehr gut pump- und rührbare, homogene Dünngülle, die eine verstopfungsfreie Flüssigvergärung ermöglicht. Die feste Fraktion, der sogenannte Separatormist, ist problemlos auf einem Haufen stapelbar und produziert kaum Leckagewasser.

Abgesehen von der eigentlichen Separationstechnik ist aus technischer Sicht insbesondere zu unterscheiden, ob auf dem landwirtschaftlichen Betrieb der Separator

1. permanent installiert oder
2. mobil zugemietet wird.

Der grosse Vorteil der 1. Variante ist, dass der Separationsschritt zeitlich sehr flexibel und in hoher Frequenz z.B. ein bis zwei Mal täglich durchgeführt werden kann. So werden keine grossen Zwischenlagerkapazitäten für die Rohgüllelagerung benötigt und für die Energiegewinnung in der Flüssigbiogasanlage entstehen kaum Verluste.

Im 2.Fall macht es Sinn, wenn der mobile Separator überbetrieblich, d.h. für mehrere hofseitige Biogasanlagenbetreiber eingesetzt wird und die Separation zentral organisiert wird, z.B. vom Betreiber der regionalen Vergärungsanlage. Hier bieten sich Separatoren mit grossem Mengendurchsatz an. Die Kapazität der Fest-Flüssig-Trennung ist auf die Stoffmengen abzustimmen. Um grosse Lagerkapazitäten und erhebliche Energieverluste durch lange Lagerzeiten der Substrate zu vermeiden, soll auch hier möglichst oft – zum Beispiel mindestens einmal wöchentlich – separiert und die Feststoffe zur regionalen Anlage transportiert werden.

- Die Technik der Gülleseparation ist etabliert. Für die Flüssigvergärung ist es technisch gesehen von grossem Vorteil, wenn die maximale Korngrösse der Dünngülle einen verstopfungsfreien Betrieb ermöglicht, die flüssige Fraktion also möglichst gut pump- und rührbar



- ist. Für die feste Fraktion gilt im Prinzip genau das Gegenteil: Sie soll so Trocken wie möglich sein, damit sie einfach auf einem Haufen gestapelt und effizient transportiert werden kann.
- Nicht relevant ist dieser Prozessschritt für Landwirtschaftsbetriebe, die nur feste Reststoffe produzieren (z.B. Pferde-, Geflügel-, Ziegen- und Schafhalter sowie Pflanzenbauer) und für solche, auf welchen ausschliesslich struktur- und feststoffarme Flüssigsubstrate (Dünngül- len) anfallen.

Laden fester Substrate



Für das Laden der Feststoffe vom Zwischenlager oder direkt von den Stallungen gibt es im Prinzip drei Möglichkeiten:

1. Vom Zwischenlager werden die Feststoffe zum Beispiel mit einem Teleskop-, Rad-, oder Schaufellader oder
2. alternativ mit Hilfe eines Förderbandes oder Förderschnecken in die Transporteinrichtung überführt.
3. Für Kleinmengen genügt hier möglicherweise auch einfach eine Schaufel und/oder eine Mistgabel.

Je nach Konzept der überbetrieblichen Separation und Organisation des Transports wird das System beispielsweise von der regionalen Vergärungsanlage oder von einem Lohnunternehmen zur Verfügung gestellt. Andernfalls muss oder kann auf die Infrastruktur des Landwirtschaftsbetriebs zurückgegriffen werden.

- Die Technik der Handhabung von festen Substraten ist in der Landwirtschaft längst etabliert. Hier ist für das NETZ-Konzept je nach bestehender Infrastruktur und örtlichen Begebenheiten eine optimale Lösung zu finden.
- Nicht relevant ist dieser Prozessschritt für Landwirtschaftsbetriebe, die keine grossen Mengen an Feststoffen produzieren und daher kein Material an die regionale Vergärungsanlage liefern oder für jene Betriebe, die anstatt einer hofseitigen Flüssigbiogasanlage eine hofseitige Feststoffvergärung realisieren.



Abtransport fester Substrate



Für den Transport bieten sich beispielsweise Kipper, Abrollmulden, je nach Substrat und Menge allenfalls auch Heuwagen oder andere Anhänger und Behältnisse an.

Je nach Konzept der überbetrieblichen Separation und Organisation des Transports wird das System beispielsweise von der regionalen Vergärungsanlage oder von einem Lohnunternehmen zur Verfügung gestellt. Andernfalls muss oder kann auf die Infrastruktur des Landwirtschaftsbetriebs zurückgegriffen werden.

- Auch die Technik des Transports von festen Substraten ist in der Landwirtschaft längst etabliert. Für die Effizienz der regionalen Vergärungsanlage ist eine möglichst hohe Frequenz der Abholung bei gleichzeitig möglichst grosser Transportmenge und kleiner Transportdistanzen anzustreben. Hier ist für das NETZ-Konzept je nach Region und örtlichen Begebenheiten eine optimale Lösung zu finden.
- Nicht relevant ist dieser Prozessschritt für Landwirtschaftsbetriebe, die keine grossen Mengen an Feststoffen produzieren und daher kein Material an die regionale Vergärungsanlage liefern oder für jene Betriebe, die anstatt einer hofseitigen Flüssigbiogasanlage eine hofseitige Feststoffvergärung realisieren.



Beschickung der BGA mit flüssigen Substraten

Freispiegelleitung Zulauf BGA überflur



Freispiegelleitung Zulauf BGA unterflur



Auch hier bieten sich je nach Situation unterschiedliche Varianten an:

1. Auf dem Betrieb fallen nur flüssige Substrate an, die sich ohne Vorbehandlung für eine hofseitige Flüssigfermentation eignen (z.B. Schweinedünggülle, Molke etc.). In diesem Fall ist eine Freispiegelleitung oder eine kleine Zwischenspeicherung mit Pumpensumpf, von wo die Substrate direkt der Biogasanlage zugeführt werden, von Vorteil.
 2. Auf dem Betrieb fallen flüssige Substrate an, die vor der Vergärung einer Fest-Flüssig-Trennung zugeführt werden müssen (z.B. Rindervollgülle). Ein solcher Separator ist stationär vorhanden und wird in regelmässigen Abständen (z.B. ein bis zwei Mal täglich) betrieben. Hier wird für die Rohgülle ein Zwischenspeicher für wenige Stunden bis Tage benötigt, von wo typischerweise mit einer Pumpe das Material zur Separation gefördert wird. Vom Separator her kann die Dünggülle wiederum mit einer Freispiegelleitung oder kleiner Zwischenspeicherung und Pumpe dem Fermenter zugeführt werden.
 3. Auf dem Betrieb fallen flüssige Substrate an, die vor der Vergärung einer Fest-Flüssig-Trennung zugeführt werden müssen. Ein solcher Separator wird in regelmässigen Abständen (z.B. ein bis zwei Mal wöchentlich) mobil auf den Hof transportiert. Hier wird für die Rohgülle ein Zwischenspeicher für wenige Tage bis Wochen benötigt, von wo typischerweise mit einer mobilen Pumpe das Material zur Separation gefördert wird. Aufgrund der längeren Lagerdauer ist allenfalls eine Homogenisierung, d.h. ein Rührwerk notwendig. Vom Separator her kann die Dünggülle dann wiederum mit einer Freispiegelleitung oder kleiner Zwischenspeicherung und Pumpe dem Fermenter zugeführt werden.
- Die Technik der Beschickung mit flüssigen Substraten ist in der Landwirtschaft längst etabliert, es handelt sich hier im Prinzip um einfachste Gülletechnik. Da es sich bei der hofeigenen Dünggülle ausschliesslich um gut fließfähige, einigermaßen kontinuierlich oder zumindest regelmässig anfallende Substrate handelt und aus energetischer Sicht sich eine schnellstmögliche Verwertung empfiehlt, ist die direkte Einleitung der Dünggülle entweder vom Stall oder von der Separation der Idealfall. Wenn topographisch möglich, bietet sich hier eine Freispiegelleitung an.



- Nicht relevant ist dieser Prozessschritt für Landwirtschaftsbetriebe, auf welchen keine grossen Mengen an flüssigen Substraten anfallen und daher eine hofseitige Flüssigvergärung keinen Sinn ergibt.

Flüssigvergärung

Rührkesselfermenter, Zylinder stehend, Beton



Foto: Flo Rüschi

Festbettfermenter, containerisiert



Foto: GRegio Energie AG

Rührkesselfermenter, Zylinder liegend, Stahl



Foto: Flo Rüschi

Rührkesselfermenter, unterflur, Beton

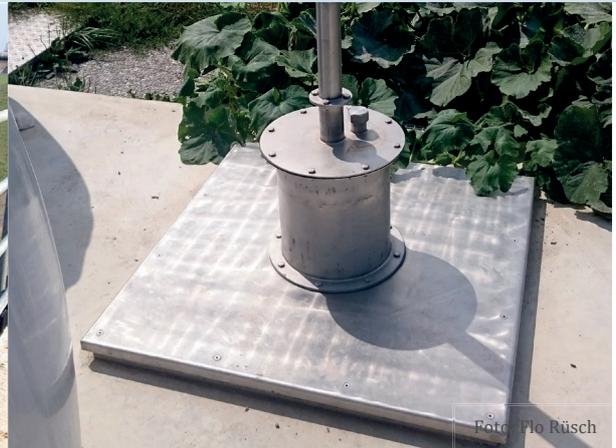


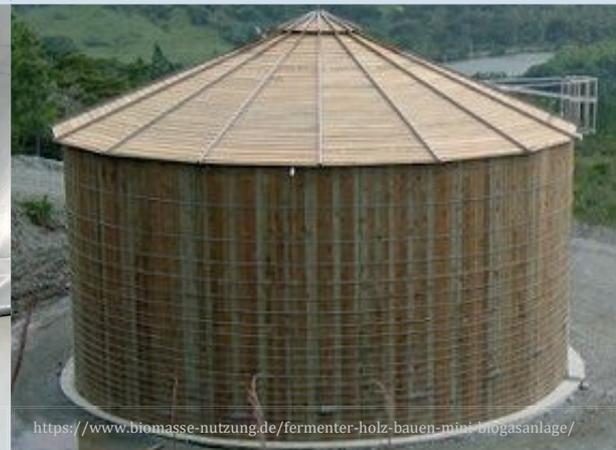
Foto: Flo Rüschi

Rührkesselfermenter, Folie



Foto: Hajo Nägele

Rührkesselfermenter, Holz



<https://www.biomasse-nutzung.de/fermenter-holz-bauen-mini-biogasanlage/>



Die hofseitige Biogasanlage ist das Kernstück des dezentralen NETZ-Konzepts. Das Konzept der Flüssigvergärung von hofeigenen, feststofffreien oder feststoffbefreiten Dünngüllen existiert in der Schweiz noch nicht. Die bisher schweizweit realisierten Anlagen zeichnen sich durch hohe Investitionskosten, aufwändige Technik und grosse Komplexität, teure Biogasverwertungstechnologie sowie durch einen zeitaufwändigen Betrieb unter anderem aufgrund der Co-Vergärung (Annahme und Verarbeitung von Abfallstoffen) aus. Für die Verarbeitung flüssiger Substrate mit geringen Energiedichten sind bestehende Systeme wirtschaftlich zu unattraktiv.

Das Grundkonzept NETZ sieht zur Energiegewinnung aus homogenen Substraten mit sehr geringen Korngrössen wie Dünngülle oder auch Molke eine simple, robuste und standardisierte Anlagentechnologie und eine einfache Nutzung des Biomethans für den Eigenbedarf vor. Dieses Konzept eröffnet die Chance einer modular aufgebauten, containerbasierten und einfachen oder zumindest standardisierten Anlagentechnik mit grossem Vervielfältigungspotenzial: eine modulare Normbiogasanlage für den durchschnittlichen Schweizer Landwirtschaftsbetrieb!

Bezüglich Fermentertechnologie stehen im Prinzip zwei unterschiedliche Reaktorsysteme im Fokus:

1. ein klassischer, einstufiger Rührkesselfermenter ohne Biomasserückhalt, mit einfachem Flüssigeintrag, Rührwerk, Heizsystem, den erforderlichen Sicherheitselementen, einem Überlauf sowie einem integrierten Gasspeicher oder
2. ein Festbettreaktor mit Biomasserückhalt und Entkoppelung der hydraulischen Verweilzeit (HRT) von der Schlammverweilzeit (SRT).

→ **Konkrete Varianten der Bauweise und der einzusetzenden Baumaterialien sind in einem Folgeprojekt z.B. in einer vertieften Nutzwertanalyse und im Austausch mit möglichen Technologielieferanten abzuklären. Von Ortsbetonbau über Elementbeton, Stahl-, Email-, Holz- oder Folienfermentern, von liegender oder stehender Zylinderbauweise, unter- oder überflur, containerisiert und quasi mobil, und modulartig erweiterbar bis individuell in bestehende Strukturen integriert: Zum jetzigen Zeitpunkt der Abklärungen sind sämtliche Möglichkeiten noch offen.**

→ **Nicht relevant ist dieser Prozessschritt für Landwirtschaftsbetriebe, auf welchen keine relevanten Mengen an flüssigen Substraten anfallen und daher eine hofseitige Flüssigvergärung keinen Sinn ergibt. Für Betriebe, bei welchen ausschliesslich feste Substrate, jedoch in grösseren Mengen anfallen, ist die Möglichkeit einer lokalen, hofseitigen Feststoffbiogasanlage abzuklären.**



Lagerung Gärdünngülle



Landwirtschaftliche Biogasanlagenbetreiber müssen vorweisen können, dass genügend Kapazität vorhanden ist, um flüssige Gärprodukte (hier Gärdünngülle) während mindestens fünf Monaten zu lagern.

Das Lager stellt genügend Kapazitäten für die Wintermonate zur Verfügung, in welchen der Kulturdünger nicht ausgebracht werden kann. Eine gasdichte oder zumindest abgedeckte Lagerung der Gärdünngülle vor dem Ausbringen verhindert zudem effizient das Emittieren von klimawirksamen und geruchsintensiven Gasen wie Methan und Ammoniak. Aus technischer Sicht entscheidend für die Anwendung der Gärdünngülle ist auch, dass der organische Flüssigdünger bei der Ausbringung auf das Feld keine hohen Temperaturen mehr aufweist. Während bzw. vor den Ausbringzeitpunkten soll die Gärdünngülle im Falle eines Nachgärlagers nicht beheizt werden.

Technisch betrachtet gibt es folgende Szenarien:

1. Der Betrieb verfügt über genügend bestehende, abgedeckte oder abdeckbare Güllelager, die ohne oder mit geringen Anpassungen für die Lagerung der Gärdünngülle geeignet sind.
 2. Der Betrieb verfügt über genügend bestehende, abgedeckte oder abdeckbare Güllelager, die ohne oder mit geringen Anpassungen für die Lagerung der Gärdünngülle geeignet sind.
 3. Zusammen mit dem Bau der hofseitigen Flüssigvergärung wird ein bestehendes Güllelager zum Nachgärlager ausgebaut mit flexiblem Füllstand, gasdicht und allenfalls beheizbar und genügend Lagerkapazität, um den gesetzlichen Anforderungen zu genügen.
 4. Innerhalb des NETZes bestehen genügend Lagerkapazitäten, um die geforderte Kapazität zu erfüllen. Die vergorene Dünngülle wird mittels Gülleleitung in ein entsprechendes Lager transportiert, auf dem Hof besteht nur ein kleines Zwischenlager.
- Eine Lagerung der Gärdünngülle nach der eigentlichen Fermentation ist also zumindest während der Wintermonate notwendig. Eine Nachgärung in einem gasdichten Lager und einem beheizbaren Nachgärer macht bezüglich Umwelt und Energieproduktion auf jeden Fall Sinn. So kann auch der mesophil oder thermophil betriebene Fermenter, in welchem der Hauptabbau des organischen Materials und daher die grösste Biogasproduktion stattfindet, entsprechend kompakt gebaut werden. Das NETZ-Konzept der Fest-Flüssig-Trennung sorgt aufgrund der Abtrennung der festen Fraktion für eine Entlastung bei Betrieben mit ungenügend grossen Güllelagerkapazitäten.



- Nicht relevant ist dieser Prozessschritt für Landwirtschaftsbetriebe, auf welchen keine relevanten Mengen an flüssigen Substraten anfallen und daher eine hofseitige Flüssigvergärung keinen Sinn ergibt.

Entnahme Gärdünggülle



Die Entnahme der vergorenen Gülle geschieht typischerweise über eine flexible Schlauchverbindung des Nachgärlagers oder Gärdünggütleagers in einen mobilen Tank oder Tankwagen, von wo her der Hofdünger dann auf die landwirtschaftliche Fläche ausgebracht wird. Einige Betriebe verfügen auch über Bodenleitungen, welche eine direkte Förderung der Gärdünggülle in Richtung Feld möglich wird.

Wir unterscheiden hier also grundsätzlich zwei Varianten:

1. Entnahme und Überführung der Gärdünggülle in einen mobilen Tank,
2. Ableitung des vergorenen Wirtschaftsdüngers mittels Gülleleitung in Richtung Feld.

Bei beiden Vorgängen wird typischerweise eine permanent installierte oder mobile Pumpe verwendet.

- Die Technik der Handhabung organischer Flüssigdünger ist in der Landwirtschaft längst etabliert. Auch dabei handelt es sich um einfachste Gülletechnik. Da es sich bei der hofeigenen Dünggülle ausschliesslich um ein gut fließfähiges und sehr homogenes Medium handelt, sind hier an die Technik keine besonderen Anforderungen gestellt.
- Nicht relevant ist dieser Prozessschritt für Landwirtschaftsbetriebe, auf welchen keine grossen Mengen an flüssigen Substraten anfallen und daher eine hofseitige Flüssigvergärung keinen Sinn ergibt.



Ausbringung Gärdünngülle



Die Forderungen nach einer emissionsarmen und gezielten Ausbringung, die möglichst wenig Geruchs- und Klimagasemissionen verursachen und die den Flüssigdünger so zur Kulturpflanze bzw. in den landwirtschaftlichen Boden bringen, dass einer möglichen Ausschwemmung von Nährstoffen entgegengewirkt werden kann, sind real. Abgesehen von witterungs- und bodenstrukturbedingten Aspekten ist hier das technische System der Ausbringung ein entscheidender Faktor.

Für eine besonders bodennahe Ausbringung sorgen beispielsweise diese Systeme:

1. Schleppschauchsystem und
 2. Schlitzdrillmaschine.
- Die Technik der Ausbringung organischer Flüssigdünger ist in der Landwirtschaft etabliert. Falls topographisch möglich, sind Systeme anzuwenden, die boden- und gewässerschonend, emissionsarm und pflanzengerecht funktionieren. Das NETZ-Konzept sieht vor, dass hauptsächlich homogene, strukturarme Gärdünngülle ausgebracht werden und sorgt so für ein einfaches Handling des Düngers.
- Nicht relevant ist dieser Prozessschritt für Landwirtschaftsbetriebe, auf welchen keine grossen Mengen an flüssigen Substraten anfallen und daher eine hofseitige Flüssigvergärung keinen Sinn ergibt.



Anwendung Dünger

Gärdünngülle gelangt zum Wurzelbereich



Foto: Arbi

Gärdünngülle bleibt auf Grasnarbe liegen



Foto: Arbi

Die Anwendung des flüssigen, vergorenen Hofdüngers muss selbstverständlich von den klimatischen und topografischen sowie auch vom Bedarf der Kultur abhängig gemacht werden.

- Der Nährstoffbedarf der einzelnen Kulturen und ideale Zeitpunkte für die Düngung sind bei den wichtigsten Kulturpflanzen weitestgehend bekannt. Die flächendeckende Separation und Vergärung von Dünngülle bei der Umsetzung des NETZ-Konzepts ermöglicht als Gärprodukte eine relativ klar definierte, sehr homogene und konstante Gärdünngülle, mit welcher der individuelle Nährstoffbedarf präzise gedeckt werden kann.
- Nicht relevant ist dieser Prozessschritt für Landwirtschaftsbetriebe, die aufgrund der speziellen Lage oder Kulturen keinen Bedarf an flüssigen, organischen Düngern haben.

Biogasaufbereitung

Biogas-Entwässerung (Kondensatschacht)



Quelle Foto: www.ennox.at

Entschwefelung (Aktivkohlefilter)



Foto: Flo Rüschi

Je nach Rohbiogasqualität und Biogasnutzung werden spezielle Anforderungen an die Biogasaufbereitung gestellt. Typischerweise sind eine Biogas-Entwässerung und eine Biogas-Entschwefelung notwendig.



Eine Biogasentwässerung kann realisiert werden, indem das Rohbiogas abgekühlt wird und dadurch der Wasserdampf auskondensiert. Durch eine anschliessende Erwärmung kann unter anderem sichergestellt werden, dass sich kein Kondenswasser in den gasführenden Leitungen ansammelt.

Beispiele einer Biogas-Entwässerung sind

1. Die Verlegung von Biogasleitungen in den Boden oder
2. die Installation eines elektrischen Biogaskühlers,

um ein Abkühlen des Biogases auf Bodentemperatur zu ermöglichen.

Für die Befreiung des Rohbiogases von Schwefelwasserstoff werden zur Feinentschwefelung typischerweise Aktivkohlefilter eingesetzt. Je nach Rohgasqualität sind auch in-situ oder ex-situ Verfahren zur Grobentschwefelung einzusetzen.

- Die Biogasaufbereitung ist individuell sowohl auf die Rohbiogas-Qualität als auch auf die Bedürfnisse der Biogasnutzung abzustimmen. Insbesondere der Schritt einer allfälligen CO₂-Abtrennung zur Erreichung von hohen Biomethankonzentrationen ist hinsichtlich der Biogasaufbereitungstechnik speziell zu beurteilen.
- Nicht relevant ist dieser Prozessschritt für Betriebe mit hofseitiger Flüssigvergärung, die über ein spezielles, unempfindliches Verfahren zur Biogasnutzung verfügen.

Biogaslagerung



Je nach Biogasverwertung ist der Bedarf der Kapazität einer Zwischenspeicherung von Rohbiogas unterschiedlich. Auf landwirtschaftlichen Anlagen in der Schweiz kommen meist Kompaktsysteme zum Einsatz, die zur Speicherung von Biogas über eine flexible Membran direkt über dem Fermenter bzw. Gärgut installiert sind. Die Gasspeicherkapazität liegt dann je nach Fermenter-Geometrie und Biogasproduktivität der Anlage bei wenigen Stunden bis wenigen Tagen. Je grösser die Gasspeicherkapazität, desto grösser die zeitliche Flexibilität der Biogasverwertung und -nutzung.

Technisch betrachtet gibt es folgende Szenarien:

1. Die Anlage ist als Kompakt-System konzipiert und der interne Gasspeicher genügt den Ansprüchen der Biogasverwertung.
2. Die Anlage ist als Kompakt-System konzipiert und der interne Gasspeicher genügt den Ansprüchen der Biogasverwertung nicht. Zusätzliches, externes Speichervolumen wird benötigt.



3. Der Gärraum der Anlage verfügt über keine Gasspeicherung, ein externer Biogasspeicher wird installiert.
- Der Bedarf einer gewissen Zwischenlagerkapazität des Rohbiogases ist in den allermeisten Fällen notwendig. Die Grösse des Gasspeichers ist direkt von der Verwertung und Nutzung des Biogases abhängig und kann nicht pauschal ausgelegt werden.
 - Gasspeichersysteme sind weit verbreitet und Stand der Technik. Für die hofseitige Biogasanlage können externe Gasspeicher mit mehreren Tagen Lagerkapazität zur Anwendung kommen. Dies vergrössert die Flexibilität des Energie-Eigennutzungssystems und verbessert die Qualität des Biogases erheblich.
 - Nicht relevant ist dieser Prozessschritt seltene Fälle, bei welchen, das produzierte Biogas nicht vor Ort genutzt, sondern mittels Biogas-Rohrleitungssystem auf eine andere Anlage oder zu einem externen Verwerter transportiert wird.

Biogasverwertung

<p><i>Verbrennung, direkt, für Heiz- und Kühlenergie, Warmwasser, Trocknungsprozesse, zum Kochen</i></p>	<p><i>Verbrennung, direkt, als Treibstoff</i></p>
 <p>Foto: Flo Rüschi</p>	 <p>Foto: Flo Rüschi</p>
<p><i>Einspeisung, aufgereinigt zu Biomethan, ins Gasnetz als Erdgasersatz</i></p>	<p><i>Einspeisung, nicht aufgereinigtes Rohbiogas, ins Gasnetz als Erdgasersatz</i></p>
 <p>Foto: Flo Rüschi</p>	 <p>Foto: Flo Rüschi</p>
<p><i>Verstromung mittels Kraft-Wärme-Kopplung</i></p>	<p><i>Verstromung mittels alternativer Technologie</i></p>



4.7.3 Relevante Prozesse regionale Vergärungsanlage

Das Fließbild (Abbildung 17) bildet die Verfahrenskette ab, die auf einer regionalen Vergärungsanlage typischerweise realisiert werden kann. Die Boxenvergärung mit Perkolations ist auf grosse Mengenanteile an festen, strukturreichen Substraten ausgelegt, kann aber gleichzeitig auch flüssige Substrate verarbeiten.

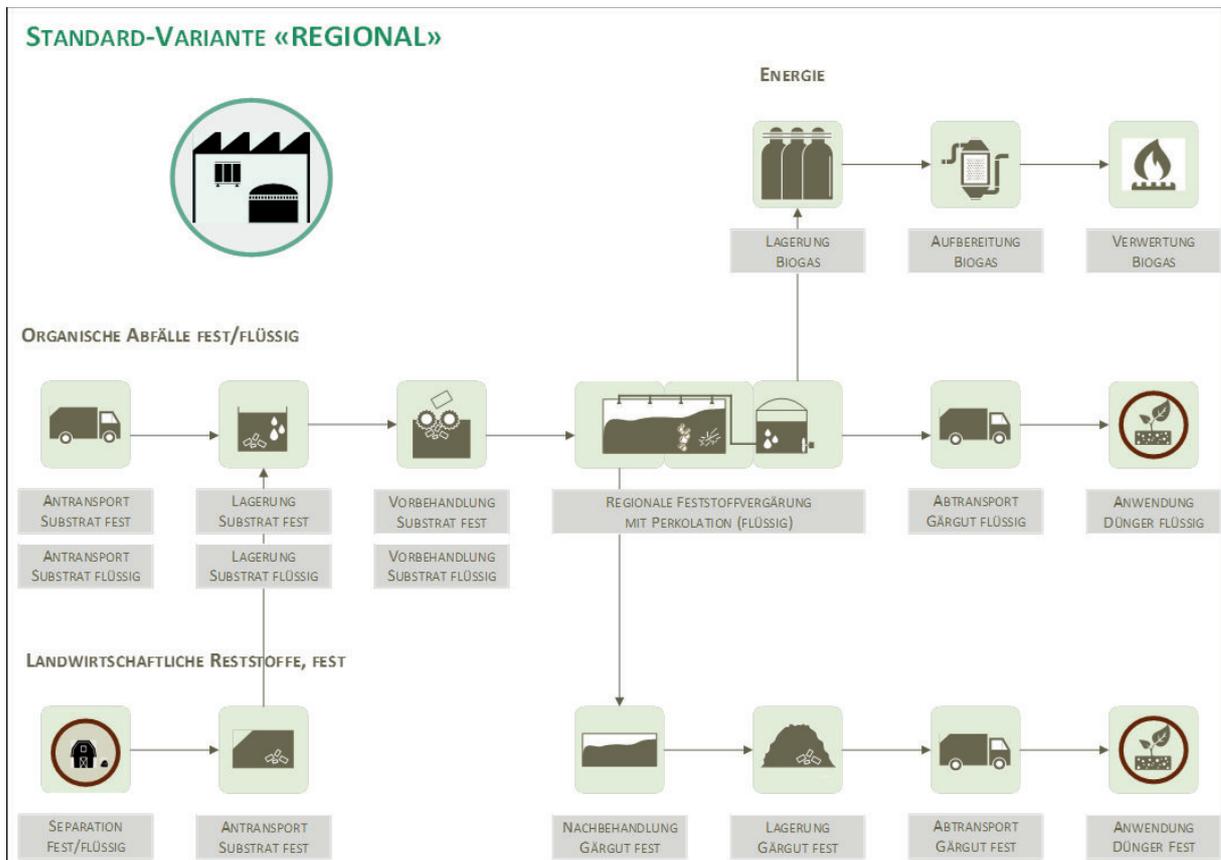


Abbildung 17: Fließbild einer Standard-Variante «regional» mit den relevanten Prozessschritten



Je nach individuellen Begebenheiten kann auf einzelne Prozessschritte oder gesamte Verfahrensketten verzichtet werden. Im Ausnahmefall sind auch zusätzliche Verfahrensschritte denkbar. Als Alternative zur Boxenvergärung mit Perkolation ist auch eine Pfropfenstrom-Anlage oder eine Flüssigvergärung mit Feststoffeintrag denkbar. Letztere insbesondere dann, wenn am entsprechenden Standort grosse Mengen an flüssigen Substraten anfallen. Bereits bestehende Anlagen können als regionale Vergärungsanlage eines NETZ-Systems eingesetzt werden. Bei diesen Anlagen besteht auch die Möglichkeit der Co-Vergärung mit Abfallstoffen.

Technische Komponenten regionale Vergärungsanlage

Die technischen Komponenten einer regionalen Vergärungsanlage sind weit verbreitet, da die technischen Anforderungen und Dimensionierung einer solchen Anlage sich an die in der Schweiz bereits realisierten Biogasanlagen anlehnen. Für die Verfahrenskette der regionalen Vergärungsanlage bietet sich daher der heutige Stand der Technik an, weshalb hier mögliche technische Komponenten nicht im Detail beschrieben werden.

Zur Substratvorbehandlung der festen und auch flüssigen Substrate sind sowohl mechanische, biologische wie auch chemisch-physikalische Prozessschritte möglich. Auch eine Kombination ist durchaus machbar. Zur Verarbeitung von Feststoffen könnte die Boxenfermentation mit Perkolationssystem das Verfahren der Wahl sein.

Vergärungsanlage



- Der Betreiber der regionalen Anlage koordiniert die Separation auf den landwirtschaftlichen Höfen und den Feststofftransport, ist verantwortlich für das regionale Nährstoffmanagement und bietet bei Bedarf die Infrastruktur für die Düngerausbringung.
- Die technischen Komponenten der regionalen Vergärungsanlage sind etabliert. Verfahrenstechnisch kommt daher der «Stand der Technik» für Anlagen, die grössere Mengen an festen Substraten verarbeiten können, zur Anwendung. Hierzu eignet sich zum Beispiel die Boxenvergärung mit Perkolationssystem.
- Die regionale Anlage kann optional zusätzlich zu Mist und Güllefeststoffen auch flüssige Substrate aus der Landwirtschaft oder Abfallindustrie sowie feste Co-Substrate verarbeiten.
- Auf der regionalen Vergärungsanlage ist Platz für innovative Prozessschritte z.B. die Kombination der Biogasherstellung mit Photovoltaik oder die Nutzung des CO₂-Anteils im Biogas für eine ex-situ Methanisierung (Power-to-Gas) etc. Innovative Substratvorbehandlungen



und zweistufige Vergärungen mit vorgeschalteter Hydrolyse können hier beispielsweise genauso zu einem zusätzlichen Nutzen führen, wie Gärgutnachbehandlungen zur gezielten Düngemittelherstellung.

- Die regionale Anlage produziert erneuerbare Energien bedarfsgerecht und flexibel. Je nach Standort und Energieträger kann das gebildete Biogas zu Strom, Wärme oder Biomethan umgewandelt werden und in die entsprechenden Netze eingespeist werden.

4.8 Dimensionierung

Von zentraler Bedeutung ist der Schritt der «Dimensionierung» im Projekt. Hierbei werden aus den vor Ort konkret erhobenen Potenzialen die Energieerträge und Nährstoffflüsse errechnet. Basierend auf diesen Daten können dann erstmalig die Dimensionen der Verfahrenstechnik für die hofseitigen und regionalen Biogasanlagen bestimmt werden. Für beide Projektregionen wurde dafür ein umfangreiches Excel-Tool (Abbildung 18) entwickelt, geprüft und eingesetzt (Abbildung 18). Die Potenzialdaten für beide Regionen wurden im Oktober 2021 eingepflegt und daraus die Kenngrößen für die hofseitigen und regionalen Biogasanlagen berechnet. Im Rahmen der Evaluation im Dezember 2021 wurden diese Ergebnisse mit den Projektpartnern diskutiert und notwendige Anpassungen vorgenommen.

Mit Hilfe eines auf den Werten der Potenzial-Abschätzung der beiden Gebiete Waldkirch und Safiental basierenden Excel-Tools soll das Biogaspotenzial, die Menge oTS, das benötigte Arbeitsvolumen, die aus dem Methan zu gewinnender Energie, sowie die darin enthaltenen Nährstoffe berechnet werden. Ein Separationsschritt wird ebenfalls in die Berechnung eingebunden, damit die oben genannten Punkte für die flüssige als auch für die feste Fraktion berechnet werden können. Das Dimensionierungstool ist in vier Abschnitte gegliedert; das Biogas-Potenzial aller Höfe der Region; den Separationsschritt, das Biogas-Potenzial der flüssigen Fraktion, das Biogas-Potenzial der festen Fraktion. Die Rubriken entsprechen jenen aus dem HODUFLU. Die den Berechnungen zu Grunde liegenden Daten sind in einem eigenen Excel-Reiter hinterlegt und stammen aus dem GRUD (2017) oder von der LfL (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft) und stellen lediglich Standardwerte dar welche im Rahmen des VP NETZ nicht hofindividuell angepasst werden können (Abbildung 19).

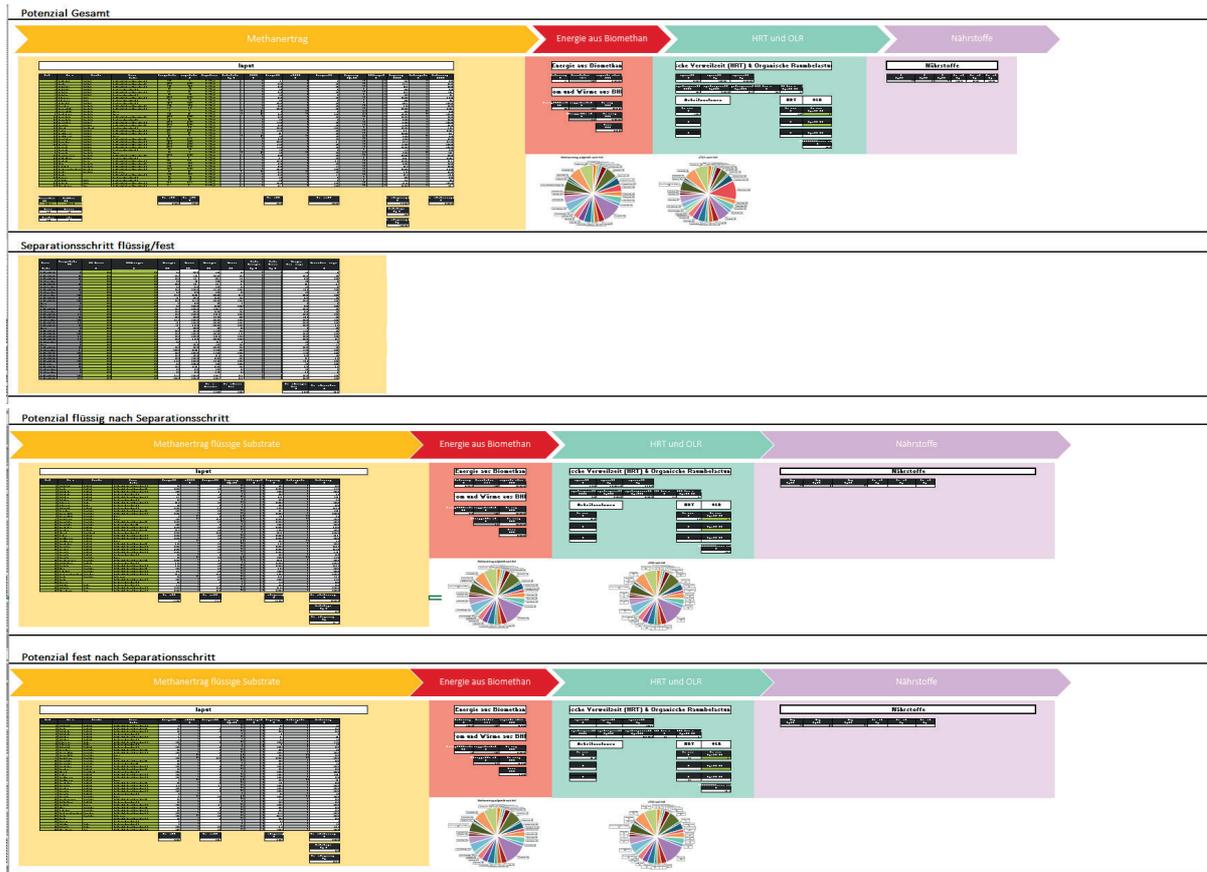


Abbildung 18: Übersicht über das Berechnungstool.



Daten-Liste zu Input

Einsatzstoff (Substrat)	Dichte Substrat FM [kg/m3]	TS/FM [%]	oTS/FM [%]	Biogasertrag [m3 t-1 oTS]	Abbaugrad [%]	Methangehalt [%]	Lagerdauergerverluste [%]
Hennenmist	500.0	15.0	76.1	500.0	1.0	65.0	kurz < 5 Tag 100
Kälbermist	800.0	20.0	15.0	500.0	1.0	65.0	mittel <14 Tag 80
Kaninchenmist	500.0	29.7	76.1	500.0	1.0	65.0	lang > 14 Tag 65
Legehennen Kotband	500.0	35.0	25.0	500.0	1.0	65.0	
Legehennen Bodenhaltung	500.0	50.0	35.0	500.0	1.0	65.0	
Pferdemist frisch	800.0	35.0	30.0	350.0	1.0	60.0	
Pferdemist verrottet	800.0	35.0	24.0	350.0	1.0	60.0	
Pouletmist	500.0	65.0	44.0	500.0	1.0	65.0	
Milch-/Mutterkühe/Aufzucht Gülle verdünnt 1:0.5	1000.0	6.0	4.7	250.0	1.0	60.0	
Milch-/Mutterkühe/Aufzucht Gülle verdünnt 1:1	1000.0	4.5	3.5	250.0	1.0	60.0	
Milch-/Mutterkühe/Aufzucht Laufstallmist	800.0	21.0	17.5	450.0	1.0	51.0	
Milch-/Mutterkühe/Aufzucht Stapelmist	800.0	19.0	15.0	450.0	1.0	51.0	
Rindermast Gülle verdünnt 1:0.5	1000.0	6.0	4.3	250.0	1.0	60.0	
Rindermast Gülle verdünnt 1:1	1000.0	4.5	3.3	250.0	1.0	60.0	
Rindermast Mist	800.0	21.0	15.5	450.0	1.0	51.0	
Rindvieh/Schweine Mist gemischt	800.0	22.0	80.0	400.0	1.0	60.0	
Schafmist	800.0	27.0	20.0	400.0	1.0	60.0	
Mastschweine Gülle verdünnt 1:0.5	1000.0	3.3	2.4	400.0	1.0	60.0	
Mastschweine Gülle verdünnt 1:1	1000.0	2.5	1.8	400.0	1.0	60.0	
Mastschweine Mist	800.0	27.0	23.0	400.0	1.0	60.0	
Zuchtschweine Gülle verdünnt 1:0.5	1000.0	3.3	2.2	400.0	1.0	60.0	
Zuchtschweine Gülle verdünnt 1:1	1000.0	2.5	1.7	400.0	1.0	60.0	
Zuchtschweine Mist	800.0	27.0	23.0	400.0	1.0	60.0	
Trutenmist	800.0	60.0	40.0	400.0	1.0	60.0	
Ziegenmist	800.0	27.0	20.0	400.0	1.0	60.0	
Grüngut	260.0	16.0	83.5	101.9	1.0	54.0	
Kompost	260.0	14.4	81.5	116.0	1.0	60.0	

Navigation: Waldkirch Gesamt | Safiental Gesamt | **Dropdown-Listen** | + | <

Abbildung 19: Literaturbasierte Standardwerte für die Inputsubstrate

Im ersten Abschnitt des Tools (Abbildung 20) wird die berücksichtigte Zeitdauer definiert. Alle weiteren Berechnungen beziehen sich auf diese gewählte Zeitdauer. Weiter werden die verwendeten Substrate, welche in einer Dropdownliste in einem separatem Excel-Reiter (Abbildung 19) hinterlegt sind, ausgewählt und die eingesetzten Mengen eingetragen. Die Mengen der Substrate können in Tonnen oder Kubikmeter eingegeben werden. Anhand der Dichte der einzelnen Substrate werden alle Substrate in Tonnen umgerechnet und die TS, oTS und der Biogasertrag berechnet (Formeln 1-5). Wenn bekannt ist, dass das Substrat nicht zu 100 % abgebaut wird, kann der Abbaugrad geändert werden.



Input													
Einsetzstoff (Substrat)	Menge Substrat (t)	Menge Substrat (m3)	Lagerdauer	Dichte Substrat (kg/m3)	TS/FM (%)	Menge TS (t)	oTS/FM (%)	Menge oTS (t)	Biogasertrag (m3 STP t-1)	Abbaugrad (%)	Biogasertrag (m3 STP)	Methangehalt (%)	Methanertrag (m3 STP)
Milch-/Mutterstuhelaufzucht Galle verdünnt	43.8	50	kurz C 5 Tage	1000	6	3.0	5	2	250	100%	581	60	343
Milch-/Mutterstuhelaufzucht Galle verdünnt	1376	1376	kurz C 5 Tage	1000	5	61.3	5	46	250	100%	12040	60	7224
Milch-/Mutterstuhelaufzucht Galle verdünnt	74	74	kurz C 5 Tage	1000	6	42.3	5	31	250	100%	6233	60	4288
Mast Schweine Galle verdünnt TS 5	34	34	kurz C 1 Jase	1000	3	17.1	2	1	400	100%	325	60	195
Milch-/Mutterstuhelaufzucht Galle verdünnt	630	630	kurz C 5 Jase	1000	6	37.3	5	28	250	100%	7000	60	4240
Mast Schweine Galle verdünnt TS 5	85	85	kurz C 1 Jase	1000	3	2.8	2	2	400	100%	9.75	60	430
Milch-/Mutterstuhelaufzucht Galle verdünnt	1952	1952	kurz C 1 Jase	1000	6	32.2	5	24	250	100%	5975	60	3571
Mast Schweine Galle verdünnt TS 5	56	56	kurz C 1 Jase	1000	3	2.2	2	2	400	100%	6.34	60	280
Mast Schweine Galle verdünnt TS 5	4104	4104	kurz C 1 Jase	1000	3	137.5	2	40	400	100%	3933	60	2374
Milch-/Mutterstuhelaufzucht Galle verdünnt	691	691	kurz C 5 Tage	1000	5	31.1	4	24	250	100%	6044	60	3633
Milch-/Mutterstuhelaufzucht Galle verdünnt	2100	2100	kurz C 5 Tage	1000	6	121.2	5	94	250	100%	23567	60	14140
Grünputz	5	20	kurz C 5 Tage	260	16	0.8	84	4	102	100%	443	60	233
Grünputz	312	1200	kurz C 5 Tage	260	16	43.3	84	261	102	100%	26351	64	14338
Milch-/Mutterstuhelaufzucht Galle verdünnt	1892	1892	kurz C 5 Tage	1000	5	85.1	4	66	250	100%	16355	60	9333
Mast Schweine Galle verdünnt TS 1	310	310	kurz C 5 Tage	1000	3	7.8	2	6	400	100%	2232	60	1338
Milch-/Mutterstuhelaufzucht Galle verdünnt	1736	1736	kurz C 5 Tage	1000	6	134.2	5	81	250	100%	20253	60	12452
Milch-/Mutterstuhelaufzucht Galle verdünnt	1236	1236	kurz C 5 Tage	1000	5	55.6	4	43	250	100%	10765	60	6485
Mast Schweine Galle verdünnt TS 5	7040	7040	kurz C 5 Tage	1000	3	234.7	2	783	400	100%	67864	60	40550
Milch-/Mutterstuhelaufzucht Galle verdünnt	1740	1740	kurz C 5 Tage	1000	6	134.4	5	81	250	100%	20300	60	12460
Milch-/Mutterstuhelaufzucht Galle verdünnt	1350	1350	kurz C 5 Tage	1000	6	18.0	5	81	250	100%	19167	60	9300
Grünputz	6	60	kurz C 5 Tage	260	16	2.5	84	13	102	100%	4328	64	2177
Milch-/Mutterstuhelaufzucht Galle verdünnt	1057	1057	kurz C 5 Tage	1000	5	47.6	4	37	250	100%	9249	60	5549
Milch-/Mutterstuhelaufzucht Galle verdünnt	2146	2146	kurz C 5 Tage	1000	6	133.3	5	100	250	100%	25069	60	15038
Milch-/Mutterstuhelaufzucht Galle verdünnt	1747	1747	kurz C 5 Tage	1000	6	134.8	5	82	250	100%	20362	60	12223
Milch-/Mutterstuhelaufzucht Galle verdünnt	1638	1638	kurz C 5 Tage	1000	6	101.3	5	79	250	100%	19822	60	11833
Mast Schweine Galle verdünnt TS 5	63	63	kurz C 5 Tage	1000	3	2.1	2	2	400	100%	6.65	60	363
Grünputz	52	200	kurz C 5 Tage	260	16	8.3	84	13	102	100%	4425	64	2330
Milch-/Mutterstuhelaufzucht Galle verdünnt	1454	1454	kurz C 5 Tage	1000	5	65.4	4	51	250	100%	12723	60	7634
Mast Schweine Galle verdünnt TS 5	3000	3000	kurz C 5 Tage	1000	3	130.0	2	400	100%	28900	60	17280	
Milch-/Mutterstuhelaufzucht Galle verdünnt	2230	2230	kurz C 5 Tage	1000	6	137.4	5	107	250	100%	26777	60	16030
Milch-/Mutterstuhelaufzucht Galle verdünnt	343	343	kurz C 5 Tage	1000	5	42.4	4	33	250	100%	6253	60	4263
Milch-/Mutterstuhelaufzucht Galle verdünnt	652	652	kurz C 5 Tage	1000	6	33.1	5	30	250	100%	7607	60	4584
Milch-/Mutterstuhelaufzucht Galle verdünnt	2882	2882	kurz C 5 Tage	1000	6	172.3	5	134	250	100%	33623	60	20174
Pflanzenschnitz	36	20	kurz C 5 Tage	800	35	33.6	24	23	350	100%	6064	60	4935
Milch-/Mutterstuhelaufzucht Galle verdünnt	643	643	kurz C 5 Tage	1000	6	38.6	5	30	250	100%	7502	60	4501
Mast Schweine Galle verdünnt TS 5	41	41	kurz C 5 Tage	1000	3	1.4	2	1	400	100%	3.94	60	230
Mast Schweine Galle verdünnt TS 5	82	82	kurz C 1 Jase	1000	3	2.7	2	2	400	100%	7.89	60	370
Milch-/Mutterstuhelaufzucht Galle verdünnt	2302	2302	kurz C 1 Jase	1000	6	126.1	5	88	250	100%	42823	60	26214
Milch-/Mutterstuhelaufzucht Galle verdünnt	4100	4100	kurz C 1 Jase	1000	6	240.1	5	171	250	100%	46767	60	29000

Summe FM (t)	53337	Summe FM (m3)	34317	Summe TS (t)	2742	Summe oTS (t)	2374.2	Summe Biogasertrag (m3)	617489	Summe Methanertrag (m3)	369328
Dichte Biogas (kg/m3)	1.28										
Summe Biogasertrag (kg)	730702										

Abbildung 20: Eingabefelder des Tools (grüne Felder) mit Dropdownliste für Substratart.

Der Biogasertrag wird schliesslich anhand des Methangehaltes des Biogases in den Methanertrag umgerechnet (Formel 6).

$$FM [t] * TS [\%] = TS [t]$$

Formel 1: Trockensubstanz Input

$$TS [t] * oTS [\%] = oTS [t]$$

Formel 2: organische Trockensubstanz Input

$$oTS [t] * Biogasertrag [m3 STP t-1 oTS-1] = Biogasertrag [m3]$$

Formel 3: Biogasertrag [m3]

$$Biogasertrag [m3] * Abbaugrad [\%] = Biogasertrag neu [m3]$$

Formel 4: Biogasertrag neu

$$Biogasertrag neu [m3] * Dichte Biogas [t/m3] = Biogasertrag [t]$$

Formel 5: Biogasertrag [t]

$$Biogasertrag neu [m3] * Methangehalt [\%] = Methanertrag [m3]$$

Formel 6: Methanertrag Input

Der Heizwert von Methan beträgt 9.97 kWh/m³ CH₄ (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), o. J.)(Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), o. J.). Damit und anhand der Methangesamtmenge kann die daraus resultierende Energie in kWh berechnet werden (Formel 7; Abbildung 21). Bei dem thermischen und elektrischen Wirkungsgrad wurde ein Erfahrungswert eingesetzt.

In einem weiteren Reiter des Tools (Abbildung 21) werden die hydraulische Verweilzeit (HRT) und die Raumbelastung (ORL) berechnet. Für die Berechnung der HRT und ORL müssen die Arbeitsvolumen



eingetragen werden, oder umgekehrt. Die HRT (Formel 8) sowie die ORL (Formel 9) werden sowohl für die einzelnen Arbeitsvolumen als auch für das Gesamtsystem berechnet.

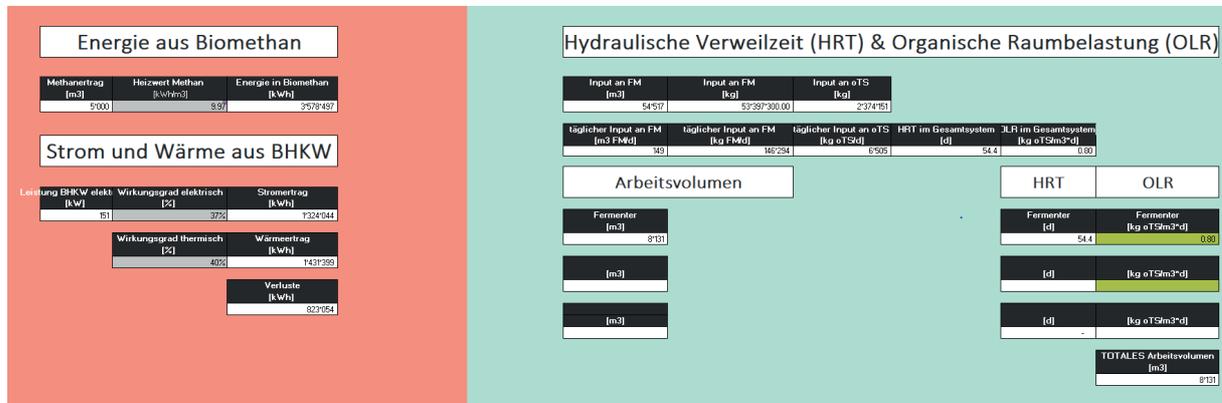


Abbildung 21: Berechnungen zum Energieertrag, Verweilzeit und Raumbelastung.

$$\frac{\text{produzierte elektrische Energie im BHKW inkl. Eigenstrom [kWh]}}{\frac{\text{elektrischer Wirkungsgrad [\%]} \times \text{Heizwert Methan [kWh/m}^3\text{]}}{\text{elektrischer Wirkungsgrad [\%]}}} = \text{Methanertrag [m}^3\text{]}$$

Formel 7: Methanertrag errechnet über die BHKW-Stromerzeugung

$$\frac{\text{Arbeitsvolumen [m}^3\text{]}}{\text{Input FM [m}^3\text{] / gewählter Zeitraum [d]}} = \text{HRT [d]}$$

Formel 8: hydraulische Verweilzeit

$$\frac{\text{Input oTS [t] * 1000kg/t / gewählter Zeitraum [d]}}{\text{Arbeitsvolumen [m}^3\text{]}} = \text{ORL [kg oTS/ m}^3\text{ * d]}$$

Formel 9: organische Raumbelastung

Die Ergebnisse werden automatisch berechnet und zeigen in einem ersten Schritt das Ergebnis für die gesamte Region. Im Anschluss werden die einzelbetrieblichen Daten erfasst. Daraus errechnen sich dann die Energieerträge und Nährstoffmengen für den Einzelbetrieb vor- und nach Separation sowie das Energiepotenzial und die Massenflüsse für die regionale Biogasanlage aus der festen Phase.

➔ Für die Dimensionierung wurde ein Excel-Tool entwickelt, geprüft und eingesetzt. Damit lassen sich nun erstmalig die Stoff- und Energiemengen, sowie die dazu notwendigen Dimensionen der Verwertungsanlagen bestimmen. Die Daten für beide Projektregionen wurden eingegeben und berechnet. Im Rahmen der Evaluation im Dezember 2021 werden diese verifiziert und im Abschlussbericht präsentiert.



4.9 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit von Vergärungsanlagen ergibt sich als Differenz von Einnahmen und Ausgaben. Die Einnahmen können aus der Gasverwertung (Strom- und Wärmeverkauf) oder aus Nebenprodukten wie Gebühren aus der Grüngutentsorgung, CO₂-Kompensation, Substitution von Dünger- oder Einstreu-Produkten stammen. Aufgrund des hohen Wasseranteils in Gülle ist die Gasausbeute beschränkt. Dieses Manko kann ohne weitere Massnahmen im besten Fall durch die Grösse der Anlage kompensiert werden. Standorte für Grossanlagen sind schwer zu finden, da diese grosse Güllemengen benötigen, was wiederum einen hohen Transportaufwand und damit Akzeptanzprobleme nach sich ziehen kann.

Eine Alternative bietet die Separierung der Rohgülle, d.h. die Trennung in einen Flüssig- und einen Festanteil. Die Feststoffe bieten gegenüber Rohgülle verschiedene Vorteile für eine Vergärung., Einerseits weisen sie einen merklich höheren Gehalt vergärbare Substanzen auf, was eine höhere Gasmenge pro Tonne ergibt und es andererseits erlaubt, mehr vergärbare Substanz zu transportieren.

Auf der Ausgabenseite fällen die Anlageninvestition am meisten ins Gewicht. Je dezentraler und je kleiner die Anlagen, umso höher werden die Kosten pro produzierte Einheit (kWh Strom, kWh Wärme, m³ Biogas bzw. Biomethan etc.). Ob, zu welchem Anteil und in welcher Zeit die Investition amortisiert und verzinst werden kann, wird in den einzelnen Beispielen berechnet.

Basierend auf dem Hofdüngerpotenzial kann eine optimale Anzahl an Kleinanlagen und Regionalanlagen zusammengestellt werden. Für die betrachteten Regionen wurden jeweils die technisch realisierbaren Varianten berechnet. In der Realität hängt die Umsetzung stark vom Entscheid der Beteiligten ab.

Bei den hofseitigen Anlagen, die primär zur Deckung des energetischen Eigenbedarfs angedacht sind, stellt sich anstatt der Wirtschaftlichkeit die Frage der Konkurrenzfähigkeit mit bestehenden Systemen und/oder Energieträgern. Wenn die Biogasanlage beispielsweise als Ersatz für eine bestehende Erdöl- oder Erdgasheizung installiert wird, ist ein Kostenvergleich und nicht eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung angebracht. Auch hier müssen zur Beurteilung Co-Benefits wie ökologische Aspekte und Vorteile der Unabhängigkeit etc. miteinbezogen werden. Genauso stellt sich bei der Nutzung von Biogas oder Biomethan zu Mobilitätszwecken die Frage nach dem Vergleich der Treibstoffkosten und -qualität.

Folgende Annahmen und Parameter wurden für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen der regionalen Anlagen berücksichtigt:

Investition

Anlagekosten für die Biogasanlage (BHKW, Gasbrenner, Einspeisung ins Erdgasnetz oder andere Verwertungen) aus Literatur oder vom Hersteller. Je nach Beispiel zusätzliche Investitionen für Bodenleitungen, Güllekasten bzw. Nachgärlager, Separierung, Projektierungskosten und Montage sowie Reserven. Je nach Gemeinde oder Kanton gibt es Förderbeiträge an die Investitionskosten.

Erträge

Gülleanfall jährlich, der zur Verfügung steht. Der daraus resultierende Gasertrag, gesamter Energieertrag und der notwendige Eigenbedarf.

- Angenommener Wirkungsgrad für Wärme aus einem BHKW: 50 %
- Angenommener Wirkungsgrad für Strom aus dem BHKW: 40 %
- Angenommener Wirkungsgrad für Wärme aus einem Gasbrenner: 90 %



Einnahmen

- Strom- bzw. Wärmeverkauf ins Netz
- Eigenbedarf Strom
- Eigenverbrauch Wärme in eigenen Gebäuden bzw. Wärmeverkauf
- Substitution Stroh als Einstreuersatz auf Basis getrocknetem Separatoren-Feststoff
- weitere Einnahmen (z.B. Zertifikate, individuelle Benefits)

Ausgaben

- Personalaufwand (Betreiber)
- Unterhalt und Reparaturen der Anlage
- Abschreibungen (je nach Variante 20 Jahre auf EK oder Return on Investment als Grad der Wirtschaftlichkeit auf die getätigte Investition)

Neben den aufgelisteten Parametern können weitere Faktoren für oder gegen den Bauentscheid einer Biogasanlage sprechen. Es wurde versucht, regionale Benefits zu eruieren, die sich auf die Wirtschaftlichkeit auswirken oder einen Investitionsentscheid fördern.

Benefits

Mögliche Benefits sind:

- Einfluss auf Klima: CO₂-Zertifikate, regionale Klimaneutralität, Energiestadt, Naturparkkonzepte etc.,
- Förderung von erneuerbaren, Substitution von fossilen Energieträgern: regional, auf ein Produkt spezifisch, überregional etc.,
- Autonomiebestrebungen: Deckung von Energieeigenbedarf,
- Verwertung von Grüngut oder anderer Biomassesortimente und
- Optimierung der regionale Hofdüngerverwertung.

→ **Über die Bandbreite möglicher Benefits besteht wenig konkretes Knowhow – es beschränkt sich stark v.a. auf spezifische Anlagen. Ohne diese zusätzlichen Benefits, kann die Wirtschaftlichkeit nur mit hohen Investitionsbeihilfen erreicht werden.**



5 Fallstudien

5.1 Waldkirch

5.1.1 Potenzial

Strukturelle Eigenschaften

Waldkirch liegt gemäss Produktionskataster in landwirtschaftlicher Tal- und Hügelizeone. Die landwirtschaftliche Nutzfläche (1'815 ha) deckt 58 % der gesamten Gemeindefläche ab und prägt somit die Landschaft massgeblich. Die Fläche wird von 110 landwirtschaftlichen Betrieben bewirtschaftet (also durchschnittlich ca. 17 ha pro Betrieb). Der Anteil an Biobetrieben ist mit 7 % relativ tief bzw. halb so hoch, wie der Schweizer Durchschnitt von 14 %.

Hofdünger

Total werden in Waldkirch etwa 4'700 GVE Nutztiere gehalten. Im Schnitt werden 43 GVE pro Betrieb gehalten, d.h. diese Gemeinde ist für die Schweiz von vergleichsweise grossen Strukturen geprägt. Als Vergleich sind es in der Schweiz aktuell durchschnittlich ca. 30 GVE pro Betrieb mit Nutztierhaltung. Der Schwerpunkt der Landwirtschaft liegt in der Rindvieh- und Schweinehaltung (Abbildung 22). Es gibt aber auch Betriebe, die sich auf die Geflügelhaltung spezialisiert haben.

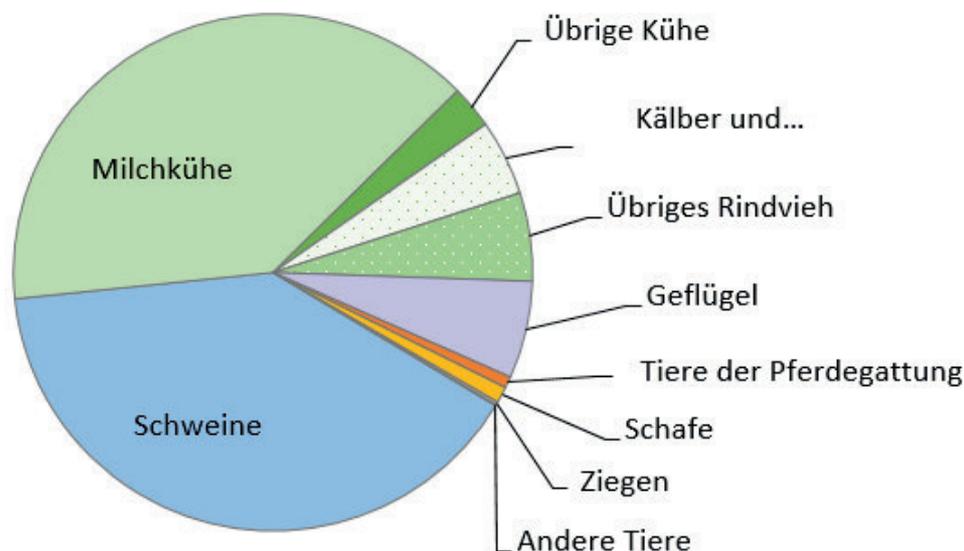


Abbildung 22: Verteilung der Nutztierhaltung nach Anzahl GVE in der Gemeinde Waldkirch im Jahr 2018

Das gesamte theoretische Hofdünger-Potenzial der Gemeinde Waldkirch beträgt ca. 122'600 GJ Primärenergie oder umgerechnet knapp 44'240 GJ potenzieller Biogasertrag pro Jahr (Tabelle 2, links). Wenn man Weidegangverluste berücksichtigt, verringert sich das theoretische Potenzial um total durchschnittlich 15 %, d.h. es sind noch ca. 104'070 GJ Primärenergie Hofdünger pro Jahr verfügbar (Tabelle 2, rechts). Durch Umwandlung dieser Biomasse in Vergärungsanlagen könnten bis zu 37'600 GJ Biogas erzeugt werden. Diese Biogasmenge entspricht dem Energieinhalt von über einer Million Liter Benzin.

Gemäss Erstabklärungen des Regionskoordinators, besitzen die Landwirte, die sich am Projekt beteiligen möchten, total 3'700 GVE, bestehend aus Rindvieh, Schweine und Geflügel, was fast 80 % des totalen Hofdünger-Potenzials der Gemeinde entspricht.

Tabelle 2: Theoretisches Hofdünger-Potenzial und Potenzial nach Abzug von Weidegangverlusten der Gemeinde Waldkirch im Jahr 2018, aufgeteilt nach Tierart.

	Theoretisches Potenzial			Verfügbares Potenzial (abz. Weidegangverluste)		
	Primärenergie [GJ]	Pot. Biomethan- ertrag [Nm ³]	Pot. Biomethan- ertrag [GJ]	Primärenergie [GJ]	Pot. Biomethan- ertrag [Nm ³]	Pot. Biomethan- ertrag [GJ]
Rindvieh	93'878	886'379	31'806	79'383	749'518	26'895
Geflügel	2'882	39'519	1'418	2'882	39'519	1'418
Schweine	4'763	57'834	2'075	4'763	57'834	2'075
Pferde	17'639	209'988	7'535	14'026	166'978	5'992
Schafe	464	5'299	190	373	4'259	153
Ziegen	2'964	33'869	1'215	2'647	30'245	1'085
TOTAL	122'590	1'232'888	44'239	104'074	1'048'353	37'617

Ernterückstände

Die Landschaft von Waldkirch ist geprägt von Wiesen. Mehr als die Hälfte der Gemeindefläche ist von Grünflächen bedeckt: total ca. 1'700 ha oder über 94 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche sind Wiesen und Weiden (Verteilung siehe Abbildung 23).

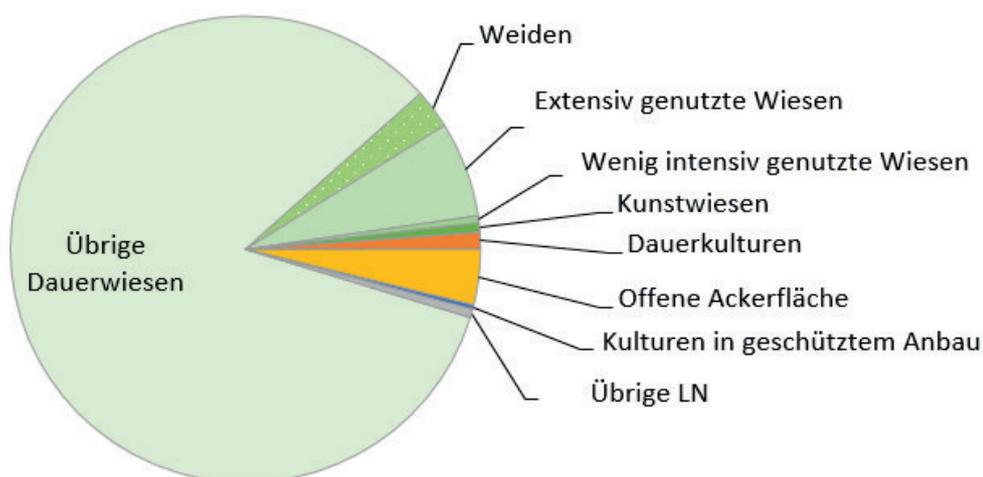


Abbildung 23: Verteilung der landwirtschaftlichen Nutzfläche (LN) der Gemeinde Waldkirch im Jahr 2018.

Das gesamte theoretische Potenzial von Ernterückständen in der Gemeinde Waldkirch beträgt ca. 253 GJ Primärenergie oder umgerechnet 106 GJ potenzieller Biogasertrag pro Jahr (Tabelle 3).

Fast die Hälfte dieses Potenzials stammt aus Rückständen von Ackerpflanzen (Stängel, Blätter) wie Raps-, Sonnenblumen- und Freilandgemüse sowie auch aus Kartoffelkraut, welches in Anbetracht des technischen und logistischen Mehraufwands heute kaum greifbar ist. Getreidespreu könnte hingegen



mit verhältnismässig geringem Aufwand gewonnen werden (Marti, 2013; Streit, 2011). Streit, 2011). Der potenzielle Biogasertrag von Getreidespreu ist bedeutend und beträgt 49 GJ pro Jahr.

Tabelle 3: Theoretisches Potenzial von landwirtschaftlichen Ernterückständen in der Gemeinde Waldkirch im Jahr 2018, aufgeteilt nach Nebenprodukten

	Primärenergie [GJ]	Pot. Biomethanertrag [Nm ³]	Pot. Biomethanertrag [GJ]
Getreide (Spreu)	138	1'359	49
Freilandgemüse (Stängel / Blätter)	36	359	13
Raps (Stängel / Blätter)	60	968	35
Sonnenblumen (Stängel / Blätter)	20	265	9
Kartoffelkraut	18	1'249	45
Lein (Stängel / Blätter)	6	86	3
TOTAL	253	2'950	106

Weitere vergärbare Biomasse (Co-Substrate)

Gemäss Angaben der Gemeinde Waldkirch sind im Jahr 2020 etwa 393 Tonnen Grüngut gesammelt worden. Das so gesammelte Grüngut wurde einer Kompostieranlage zugeführt bzw. ausschliesslich stofflich und nicht energetisch genutzt. Diese Biomasse entspricht einem potenziellen Biomethanertrag von ca. 1'600 GJ (Tabelle 4).

Tabelle 4: Energieinhalt des im Jahr 2020 in der Gemeinde Waldkirch gesammelten Grüngutes

Primärenergie [GJ]	Pot. Biomethanertrag [Nm ³]	Pot. Biomethanertrag [GJ]
2'080	45'019	1'615

→ In Waldkirch beträgt das gesamte theoretische Potenzial von Hofdünger 44'240 GJ potenzieller Biomethanertrag pro Jahr. Wenn man Weidegangverluste berücksichtigt sind es noch ca. 37'000 GJ pro Jahr. Das theoretische Potenzial von Ernterückständen ist vergleichsweise vernachlässigbar klein. So beträgt der potenzielle Biogasertrag von Getreidespreu nur 49 GJ pro Jahr.

5.1.2 Ökologie

Im Einzugsgebiet möglicher Biogasanlagen befinden sich keine nennenswerten d.h. sensiblen Ökosysteme, die tangiert wären. Dort, wo allenfalls Gülleleitungen zu Einsatz kommen könnten, würden diese Naturschutzgebiete ausgespart.

Die örtliche Naturschutzgruppe steht einen Bau von Biogasanlagen generell positiv gegenüber. Sie erhoffen sich eine geruchsärmere Gülleausbringung sowie eine höhere Stickstoffeffizienz beim Hofdünger.

→ Die generelle Haltung aus ökologischer Sicht ist zustimmend, es werden die positiven Synergien gesehen.



5.1.3 Nährstoffmanagement

Gemäss HODUFLU hat die Gemeinde Waldkirch im Jahr 2018 total ca. 4'650 m³ Gülle importiert, jedoch während derselben Periode über 13'050 m³ Gülle und 348 t Mist exportiert (siehe Tabelle 5). Somit ist der Netto-Export der Gemeinde sehr gross (ca. 37 Tonnen Stickstoff und 22 Tonnen Phosphor pro Jahr).

Tabelle 5: Hofdünger-Verschiebungen der Gemeinde Waldkirch im Jahr 2018 gemäss HODUFLU: Biomasse-, Stickstoff- und Phosphor- Mengen

Flüsse	Menge m ³ Gülle	Menge t Mist	Stickstoff (N) in kg	Phosphor (P ₂ O ₅) in kg
Innerhalb der Gemeinde	4'199	13	16'193	6'132
Import in die Gemeinde	4'647	0	15'673	7'002
Export aus der Gemeinde	13'066	348	52'780	29'136
Bilanz der Gemeinde:	+8'419	+348	+37'107	+22'134

→ Die Nährstoffbilanz der Gemeinde Waldkirch ist stark unausgewogen: Es wird deutlich mehr Hofdünger aus der Gemeinde exportiert als importiert wird.

5.1.4 Rechtliche Situation

Davon ausgehend, dass in der Region (Gemeindegebiet Waldkirch) verschieden grosse Anlagen möglich wären, unterscheiden sich die rechtlichen Ausgangssituationen. Für die grössere, regionale Anlage mit über 5'000 m³/a braucht es einen UVB. Die kleineren Containeranlagen, von unter 4'000 m³/a, wäre kein UVB notwendig. Ansonsten gelten die gleichen Rahmenbedingungen, welche unter 4.44.4 genannt wurden.

Eine kantonale Besonderheit ist die Regelung, dass häusliche Abwässer, die in die Güllelagergruben zwischengelagert werden, nicht in einer BGA vergoren werden dürfen. Diese Abwässer müssen entweder separat gelagert und aufs Feld ausgebracht oder separat entsorgt werden (Kläranlage),

→ Kleinere Containeranlagen können ohne, grössere Regionalanlagen nur mit einem UVB genehmigt werden.

5.1.5 Politische Situation

Die Gemeinde Waldkirch ist Energiestadt und ist daher interessiert an der Bereitstellung von Erneuerbarer Energie. Da auch die Landwirtschaft in der Gemeinde eine tragende Rolle spielt, wird der Bau einer oder mehrerer Biogasanlage generell befürwortet. Da bis jetzt noch keine BGA auf dem Gemeindegebiet stehen, würde ein Pilotkonzept für weitere Anlagen einen Vorteil bringen.

→ Als Energiestadt steht man dem Bau von Biogasanlagen generell positiv gegenüber.



5.1.6 Soziale Strukturen und Netzwerk

In der Gemeinde Waldkirch ist die Einstellung der Schlüsselakteure Landwirte und Gemeinde als grundsätzlich positiv zu bewerten, wobei auf der politischen Ebene das grössere Interesse sowie der grössere Einfluss auf eine potenzielle Implementierung von NETZ auf der Ebene des Kantons beziehungsweise der Bundesebene zu verorten sind. Die Rolle «Betreiber der regionalen Anlage» ist noch nicht abschliessend geklärt und innerhalb des sozialen Netzwerks definiert, mögliche Manifestationen wären der Betrieb durch einen individuellen Landwirt, kooperativ zwischen Gemeinde und Landwirten oder durch externe Betreiber. Diese Rolle wird primär durch den potenziellen Standort einer NETZ-Anlage definiert, bei dessen Festlegung rechtliche, politische und technische Faktoren eine zentrale Rolle spielen. Zusätzlich zu den im Systemmodell der sozialen Strukturen definierten Schlüsselakteuren spielt auch die Käseerei der Gemeinde eine potenziell wichtige Rolle als Substratlieferant bzw. Energieabnehmer (Wärme), womit direkter Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Anlage genommen wird.

Die sozialen Einflussfaktoren auf der kulturell-kognitiven Ebene können als positiv bewertet werden: einerseits existiert in der Gemeinde eine Tradition von Genossenschaften, welche den Grundstein einer Kooperation zum Betrieb von NETZ bilden können, andererseits ist es für die Landwirte vorstellbar, ihre Rolle auf die Funktion von Energielieferanten auszuweiten, wobei finanzieller Mehrwert sowie ein möglichst unkomplizierter Betrieb zentrale Anforderungen darstellen. Auf der sozial-normativen Ebene ist die Bewertung ebenso positiv: die Landwirte sind tendenziell für den Bau von Biogasanlagen offen, wobei anzumerken ist, dass durch eine vererbungs-basierte Rollenzuteilung beim Generationenwechsel eher Personen mit konservativer Einstellung die Rolle von Landwirten übernehmen, wobei durchaus auch Ausnahmen aufzufinden sind. Regulative soziale Einflussfaktoren sind neutral bis eher negativ zu bewerten, hier sind die wahrgenommene Komplexität der notwendigen Zulassungsverfahren sowie Wissen über gegenwärtig oder zukünftig verfügbare Förderinstrumente zentral.

Die beiden (sozialen) Hauptentscheidungen über den Bau der hofseitigen Biogasanlage sowie über das wirtschaftliche Verhältnis zur regionalen Anlage werden von den betroffenen Akteuren, insbesondere den Landwirten parallel getroffen und sind stark voneinander abhängig. Wichtig ist hierbei, dass der Entscheidungs- und Formalprozess (vereinfacht dargestellt auf Abbildung 15) sowie die zentralen damit zusammenhängenden Handlungen, wie die Standortsuche, Machbarkeitsstudien sowie die technische und wirtschaftliche Detailplanung gut abgestimmt und koordiniert werden.

→ **Die Einstellung der Schlüsselakteure ist als grundsätzlich positiv zu bewerten, wobei das grössere Interesse an einer Implementierung von NETZ auf der Ebene des Kantons beziehungsweise der Bundesebene zu verorten ist. Die sozialen Einflussfaktoren auf der kulturell-kognitiven Ebene können ebenfalls als positiv bewertet werden.**

5.1.7 Technologie und Technik

Für die Umsetzung im Gebiet Waldkirch wären aufgrund des Potentials mehrere Anlagen realisierbar. Verfolgt man das Konzept NETZ wäre eine regionale, grössere Anlage und ein oder mehrere kleinere Dünggülleanlagen möglich.

Dabei kann die grössere Anlage ein Rührkessel sein, der auch die Feststoffe vergären kann und für die Kleinalanlagen werden Container-Hochleistungsbioreaktoren eingesetzt. Je nach Akzeptanz der Betreiber wäre eine Gülleleitung zwischen den einzelnen Weilern denkbar, sofern die Höhenunterschiede nicht allzu gross sind. Die Feststoffe könnten über eine mobile Separierung oder verschiedene kleiner Hofanlagen erfolgen. Eine Übersicht über die Region gibt die Karte in 5.1.9Abbildung 27.



- Im Zentrum steht ein Rührkessel als Regionalanlage, der die Feststoffe mitvergären kann, sowie ein oder mehrere kleine Hofanlagen auf Containerbasis (Hochleistungsreaktoren für Dünngülle).

5.1.8 Dimensionierung

Das im Kapitel 5.1.1 ausgewiesene, nachhaltige Gesamtpotenzial für Hofdünger und Ernterückstände in der Region Waldkirch liegt bei 37'723 GJ Biomethan pro Jahr. Dies entspricht 10'480'000 kWh Energie. Das berechnete Gesamtpotenzial aus der für die Region eruierten Substrate von 31 Betrieben (siehe Stand der Umsetzung) ergibt jährlich etwa 13'300 GJ bzw. 3'700'000 kWh. Somit wäre in der Region Waldkirch durch die LAVEBA in einem ersten Schritt etwa 35 % des ausgewiesenen, nachhaltigen Gesamtpotenzials konkret greifbar.

In der nachfolgenden Tabelle (Tabelle 6) sind die wichtigsten Dimensionierungsgrössen für das Gesamtpotenzial der 31 Landwirtschaftsbetriebe ersichtlich. Das Gesamtpotenzial der Betriebe wird durch den geplanten, flächendeckenden Separationsschritt vor der Vergärung in eine feste (Mist, Separatorenmist) und flüssige Fraktion (Dünngülle) aufgetrennt. Die Tabelle zeigt im oberen Teil die zu erwartenden Resultate der Fest-Flüssig-Trennung auf der Ebene Frischmasse (FS), Trockensubstanz (TS), organische Trockensubstanz (oTS), Biomethanertrag (BMY), Energie und Leistung sowie auf der Ebene der Nährstoffelemente Stickstoff (N), Phosphor (P) und Kali (K). Im unteren Teil der Tabelle sind die relevantesten Dimensionierungsgrössen für entsprechende Gesamtanlagen (unsepariert, fest, flüssig) aufgeführt: hydraulische Verweilzeit (HRT), organische Raumbelastung (B_R) und Fermenter-Nutzvolumen (V_R).

Tabelle 6: Dimensionierungsgrössen für eine Vergärungsanlage zur Nutzung des jährlichen Gesamtpotenzials von 31 Landwirtschaftsbetrieben in der Region Waldkirch

Grösse	Einheit	gesamt	fest	flüssig
Input Frischmasse	[t/a]	53'397	4'592	48'805
TS-Gehalt Frischmasse	[%]	5.3	26.9	3.3
oTS-Anteil der TS	[%]	78	88	69
Spezifischer Biogasertrag	[m ³ STP t ⁻¹ oTS]	282	267	297
Methangehalt im Biogas	[%]	65	65	65
Biomethanertrag	[m ³ STP]	370'888	154'764	216'123
Energie im Biomethan	[GJ]	13'312	5'555	7'757
Energie im Biomethan	[kWh]	3'697'749	1'543'000	2'154'749
Leistung im Biomethan	[kW _{ch}]	422	176	246
Leistung elektrisch (BHKW)	[kW _{el}]	156	65	91
Leistung thermisch (BHKW)	[kW _{th}]	224	93	130
Stickstoff N	[kg]	148'978	12'324	136'655
Phosphor P	[kg]	52'864	13'819	39'044
Kali K	[kg]	168'522	9'905	158'617
Hydraulische Verweilzeit HRT	[d]	70	70	20
Organische Raumbelastung B_R	[kg oTS d ⁻¹ m ⁻³]	0.6	2.0	1.2
Fermenter-Nutzvolumen V_R	[m ³]	10'455	1'468	2'674

Bezogen auf das Gewicht der Frischmasse der Hofdünger gehen bei der Separation ca. 91 % in die flüssige Fraktion. Rund 57 % der TS und 51 % der oTS liegen in der Dünngülle vor, woraus 58 % der



Biogasenergie gewonnen werden kann. Der N-Anteil in der Dünngülle macht gemäss groben Abschätzungen 92 % aus, der P-Anteil beträgt 74 % und der K-Anteil 94 %.

Option Gesamtanlage, keine Fest-Flüssig-Trennung der Ausgangssubstrate

Würde auf dem Betrieb mit den grössten Mengen (ca. 7'000 t/a) eine Gesamtanlage realisiert, müssten jährlich von den anderen Betrieben gut 46'000 Tonnen Hofdünger auf die Anlage transportiert werden. Dies entspricht einer durchschnittlichen Tagemenge von 126 Tonnen oder ca. 6 Tankwagen à 21 Tonnen.

Die entsprechende Anlage würde bei 70 Tagen Verweilzeit und mesophilen Gärtemperaturen (~37 °C) gemäss einen Abbaugrad der vergärbaren Biomasse von mindestens 97 % erreichen (Allen et al., 2016)(Allen et al., 2016). Dazu wären gut 10'000 m³ Gärvolumen notwendig. Die organische Raumbelastung der entsprechenden Anlage läge bei tiefen 0.6 kg oTS d⁻¹ m⁻¹, was einer sehr geringen Auslastung eines landwirtschaftlichen Rührkessel-Fermenters entspräche.

Bei einer Verstromung des Biogases in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) könnte mit dem produzierten Biogas der Strombedarf von über 1'800 Personen, die in einem 4-Personenhaushalt mit einem Verbrauch von jährlich 3'000 kWh leben, gedeckt werden.

Regionale Vergärungsanlage, fest, gemäss NETZ-Konzept

Das Grobkonzept NETZ sieht vor, nur die feste Fraktion auf einer regionalen Vergärungsanlage zu verarbeiten, während die Dünngülle hofseitig verwertet wird. Jährlich müssten so lediglich 4'600 Tonnen Mist auf die regionale Vergärungsanlage transportiert werden. Dies entspricht ca. 10% der Gesamtmenge. Die durchschnittliche Tagemenge von 12.6 Tonnen würde mit ca. 0.5 Wechselcontainer à 38 Kubikmeter transportiert werden können.

Die entsprechende Anlage würde bei 70 Tagen Verweilzeit und mesophilen Gärtemperaturen (~37 °C) gemäss Allen et al. (2016)(2016) einen Abbaugrad der vergärbaren Biomasse von mindestens 97 % erreichen. Dazu wären etwa 1'500 m³ Gärvolumen notwendig. Die organische Raumbelastung einer entsprechenden Anlage läge bei 2.0 kg oTS d⁻¹ m⁻³, was für Pfropfenstrom-Reaktoren eine tiefe Belastung bedeuten würde und für Perkulations-Reaktorsysteme keine Bedeutung hätte. Der TS-Gehalt im Input läge bei ca. 11% TS/FS und wäre daher gut geeignet für eine Flüssigfermentation.

Bei einer Verstromung des Biogases in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) könnte damit der Strombedarf von 760 Personen, die in einem 4-Personenhaushalt mit einem Verbrauch von jährlich 3'000 kWh leben, gedeckt werden.

Option regionale Vergärungsanlage, flüssig

Würden die 4'600 Tonnen Feststoffe (Mist) auf dem Betrieb mit den grössten Flüssig-Mengen verarbeitet werden (7'000 t/a Gülle), könnte dort ein Flüssigreaktorsystem, z.B. Rührkessel-Fermenter realisiert werden.

Die entsprechende Anlage würde bei 70 Tagen Verweilzeit und mesophilen Gärtemperaturen einen Abbaugrad der vergärbaren Biomasse von mindestens 97 % erreichen (Allen et al., 2016). Dazu wären knapp 2'200 m³ Gärvolumen notwendig. Die organische Raumbelastung läge bei tiefen 1.4 kg oTS d⁻¹ m⁻³, was einer geringen Auslastung eines Rührkessel-Fermenters entspräche. Die entsprechende Anlage würde bei 70 Tagen Verweilzeit und mesophilen Gärtemperaturen einen Abbaugrad der vergärbaren Biomasse von mindestens 97 % erreichen (Allen et al., 2016). Dazu wären knapp 2'200 m³ Gärvolumen notwendig. Die organische Raumbelastung läge bei tiefen 1.4 kg oTS d⁻¹ m⁻³, was einer geringen Auslastung eines Rührkessel-Fermenters entspräche.



Bei einer Verstromung des Biogases in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) könnte damit der Strombedarf von 225 Personen, die in einem 4-Personenhaushalt mit einem Verbrauch von jährlich 3'000 kWh leben, gedeckt werden.

Hofseitige Kleinbiogasanlagen, flüssig, gemäss NETZ-Konzept

Das NETZ sieht vor, nur die feste Fraktion auf einer regionalen Vergärungsanlage zu verarbeiten und die flüssigen Anteile (Dünngülle), welche rund 90% der Gesamtmenge ausmacht, in einer hofseitigen Flüssig-Kleinbiogasanlage energetisch zu nutzen. In der Region Waldkirch wurden 29 Landwirtschaftsbetriebe mit flüssigen Hofdüngern hinsichtlich ihres Energiepotenzials untersucht.

In nachfolgender Abbildung 24 ist die chemische Leistung im hofseitig produzierten Biogas pro Betrieb für das Gesamtsubstrat (rot) und den separierten Flüssiganteil (orange) nach Grösse aufgetragen. Das NETZ-Konzept konzentriert sich dabei ausschliesslich auf die flüssigen Anteile.

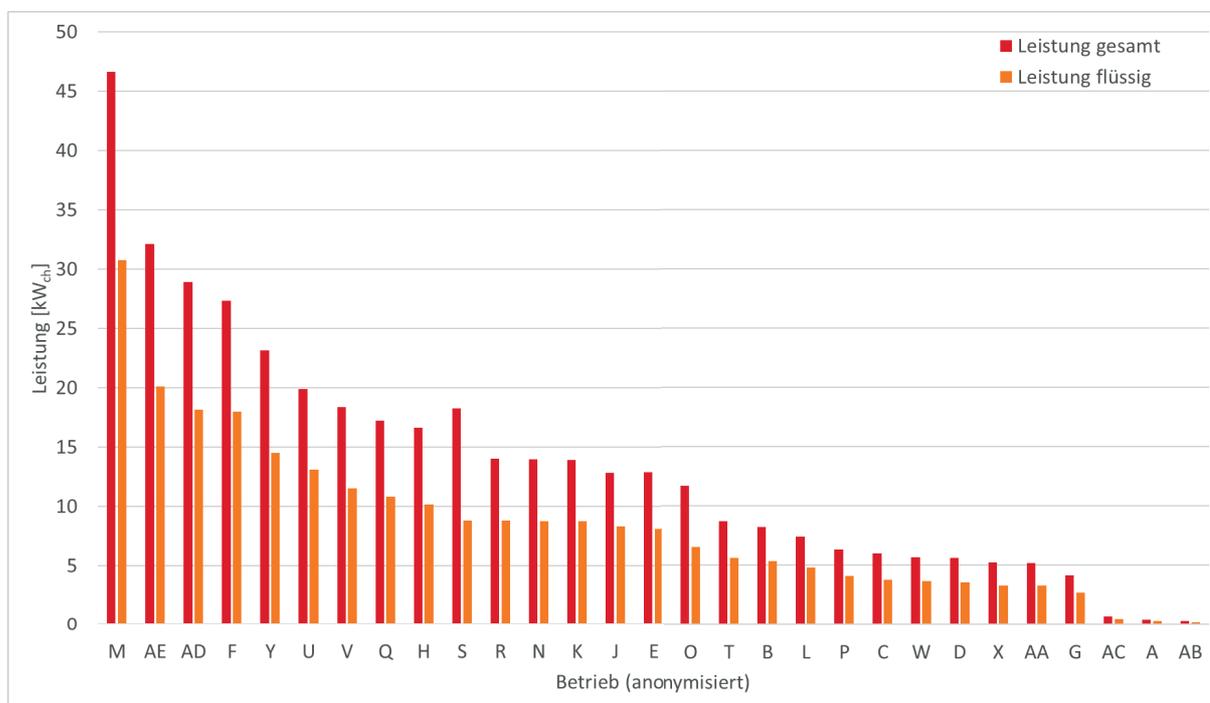


Abbildung 24: Leistung im Biogas der gesamten (rot) und flüssigen (orange) Fraktion pro Betrieb und Jahr bei hofseitiger Verwertung

26 der 29 Betriebe weisen ein potenzielles Biogas-Energiepotenzial im flüssigen Anteil von 2.7-30.7 kW_{ch} aus, die drei restlichen Betriebe (A, AB und AC) sind sehr klein und würden lediglich 0.2-0.4 kW_{ch} erneuerbare Energie generieren. Der Mittelwert aller Betriebe liegt bei 8.5 kW_{ch} (Abbildung 24).

Die Nutzung des Biogases bzw. Biomethans ist den örtlichen Gegebenheiten bzw. dem individuellen Bedarf der einzelnen Betriebe anzupassen. Dies übertrifft den Detaillierungsgrad dieser Studie erheblich, weshalb hier in einem ersten Schritt mögliche Varianten aufgezeigt und diskutiert werden:

Bei dieser Grössenordnung ist eine Verstromung des Biogases vermutlich wenig reizvoll. Eine Nutzung für Warmwasser und Heizenergie mittels Erdgas- bzw. Biogasbrenner könnte jedoch eine gangbare Lösung sein. In der nachfolgenden Abbildung ist deshalb die Bereitstellung des Wärmebedarfs von An-



zahl Personen pro Betrieb dargestellt. Diese leitet sich her aus dem Heizenergie- und Warmwasserbedarf eines durchschnittlichen 4-Personen-Einfamilienhauses ab (140 m² EFH, Altbau saniert), welches jährlich 14'000 kWh beträgt: 11'000 kWh Heizenergie plus 3'000 kWh Warmwasser. Pro Person entspricht das einer Energiemenge von jährlich 3'500 kWh respektive einer durchschnittlichen Leistung von 0.4 kW (400 Watt).

Als mögliche Alternative könnte das Biogas direkt als Treibstoff verwendet werden. Die Nutzung von Rohbiogas als Treibstoff ist technisch gesehen noch nicht weit verbreitet und auf dem Markt sind solche Fahrzeuge kaum zu finden. Eine Aufreinigung des Biogases zu reinem Biomethan ist für so kleine Mengen sehr teuer, weshalb eine Nutzung in Erdgas- bzw. Biomethanautos oder die Einspeisung ins Erdgasnetz bis dato wirtschaftlich wenig attraktiv ist. Nichtsdestotrotz wird nachfolgend das energetische Potenzial der Nutzung von Biogas bzw. Biomethan als Treibstoff kurz aufgezeigt. Dazu wurden folgende Annahmen getroffen: Der Verbrauch eines Erdgas-PWs liegt bei 10.8 Liter pro 100 km, während 1 Liter Biomethan einen Energieinhalt von 6.8 kWh aufweist. Pro Fahr-Kilometer werden folglich 0.734 kWh benötigt. Bei durchschnittlich 13'500 Jahreskilometer eines PWs benötigt ein entsprechendes Fahrzeug knapp 10'000 kWh im Jahr.

In Abbildung 25 ist die produzierte Biogas-Energiemenge auf den Heiz- & Warmwasserbedarf von Anzahl Personen eines 4-Personen-Haushalts (linke Skala), sowie auf den Treibstoffverbrauch von Anzahl Personenwagen (rechte Skala) umgerechnet:

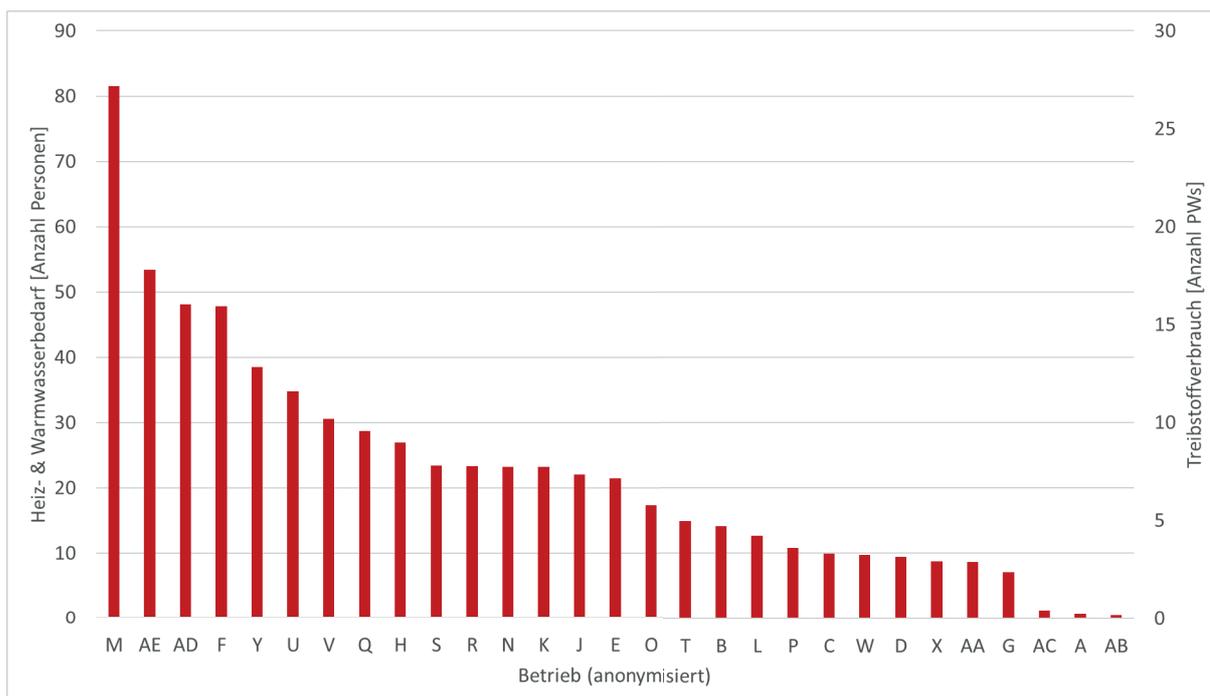


Abbildung 25: Mögliche Bereitstellung von Heiz- und Warmwasserenergie oder Treibstoff pro Betrieb

Für die hofseitige Vergärung der Dünngülle bieten sich zwei unterschiedliche Reaktor-Systeme an:

- Rührkessel-Fermenter
- Festbett-Fermenter

Der Rührkessel besticht durch seine einfache, robuste und günstige Bauweise und kann für landwirtschaftliche, feststoffarme Substrate auf eine wartungsarme und etablierte Technik zurückgreifen. Ein Hauptnachteil ist die Kopplung der hydraulischen Verweilzeit (HRT, Substratverweilzeit) mit der



Schlammverweilzeit (SRT, Biozönose-Verweilzeit), wodurch kürzere hydraulische Verweilzeiten von < 12-15 Tagen ohne Rückhaltung der Biozönose nicht möglich sind. Für die Dimensionierung dieses Systems wurden deshalb durchschnittlich 20 Tage eingesetzt. Gemäss den kinetischen Daten in Allen et al. (2016) beträgt der Abbaugrad von Hofdüngern nach 20 Tagen zwischen 63 und 95 %. Für separierte Dünggülle kann daher angenommen werden, dass der Abbaugrad eher im oberen Bereich, also zwischen 80 und 95 % liegt.

Im technisch aufwendigeren Festbett-Fermenter wird die Biozönose zurückgehalten, wodurch die SRT von der HRT entkoppelt sind. Dadurch kann die Substratverweilzeit im Prinzip beliebig kurz gewählt werden. Bei 10 Tagen beträgt der Abbaugrad von Hofdüngern je nach Art des Hofdüngers noch 39-78 % (Allen et al., 2016), für separierte Dünggülle vermutlich ca. 60-78 %. Im Vergleich zum Rührkessel-Reaktor sind daher geringere Fermenter-Nutzvolumina möglich. Die nachfolgende Grafik (Abbildung 26) zeigt die benötigten Volumina für die gewählten hydraulischen Verweilzeiten von 20 Tagen im Rührkessel-Fermenter (rot) und von 10 Tagen im Festbett-Reaktor (orange) für die 29 untersuchten Betriebe mit flüssigen Substraten.

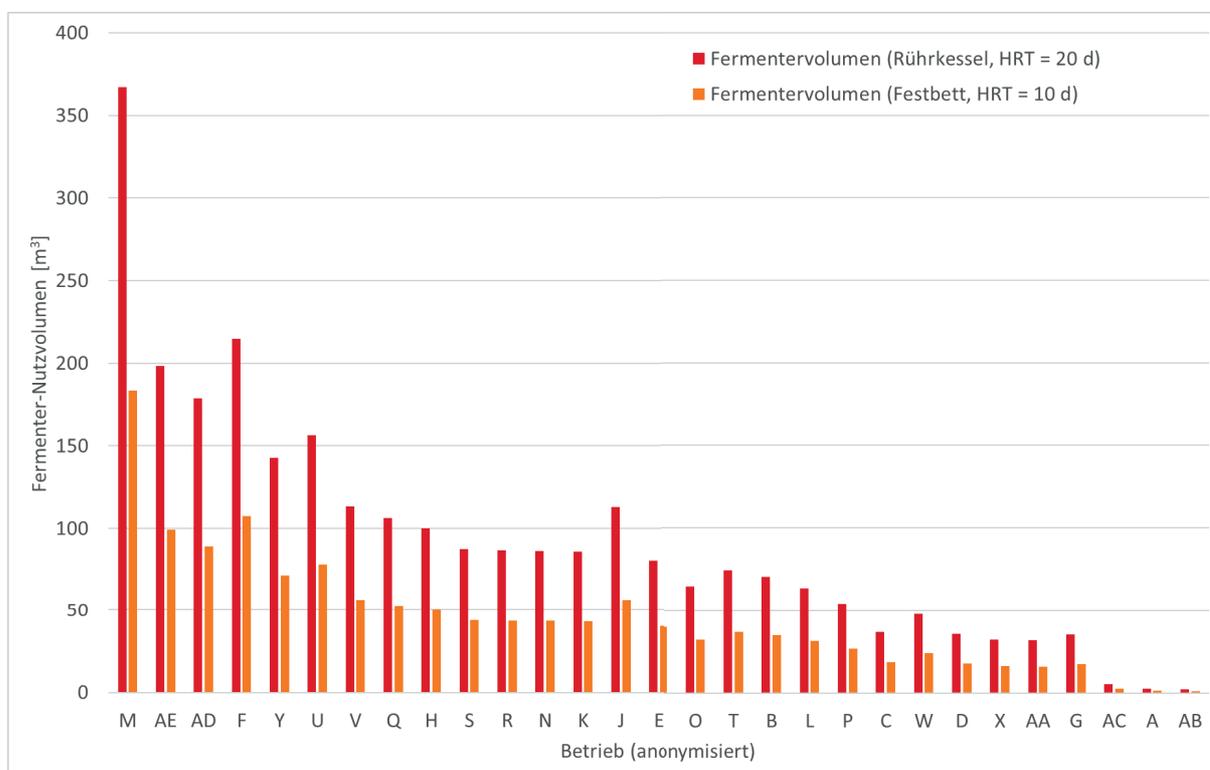


Abbildung 26: Fermenter-Nutzvolumen bei der Verwendung von Rührkessel- oder Festbettreaktoren

- Im Rahmen dieses Vorprojekts konnten in der Region Waldkirch die Daten von 31 Landwirtschaftsbetrieben eruiert und hinsichtlich ihres Biogaspotenzials analysiert werden. Damit konnte vorerst etwa ein Drittel des verfügbaren Potenzials greifbar gemacht werden.
- Die Dimensionierung des NETZ-Konzepts liefert für die Region Waldkirch realistische, für die Herstellung und Nutzung erneuerbarer Energiequellen aus Hofdünger geeignete Grössenordnungen:
 - Das verfügbare Potenzial aus landwirtschaftlichen Feststoffen der einzelnen Regionen Bernhardtzell, Hohfirst, und Laubbach entspricht je der Grössenordnung einer



vergleichsweise kleinen, landwirtschaftlichen Schweizer Biogasanlage. Die Produktion von Biogas alleine aus den Mistanteilen könnte Ökostrom zur Versorgung von knapp 200 Personenhaushalten liefern und zusätzlich den Heiz- und Warmwasserbedarf mit erneuerbarer Wärme von knapp 60 Einfamilienhäusern decken.

- Die hofseitig produzierte Biogasenergie würde mit durchschnittlich 8'500 Watt und einer Schwankungsbreite von 2'700-30'700 Watt in einer idealen Grössenordnung für eine hofinterne Deckung des energetischen Eigenbedarfs liegen. Damit könnte durchschnittlich beispielsweise der Heiz- und Warmwasserbedarf von etwa 21 Personen oder der Treibstoffverbrauch von über 7 Personenwagen gedeckt werden.
- Das durchschnittlich benötigte Fermentervolumen von je nach Anlagentyp ca. 46-92 m³ sowie auch das entsprechende, benötigte Biogasspeichervolumen für z.B. 24 Stunden in der Grössenordnung von 30 m³ würde sich ideal für eine standardisierte, containerisierte, modulare Biogasanlage anbieten.

5.1.9 Wirtschaftlichkeit

Die Region Waldkirch verfügt aufgrund der vorherrschenden Grünlandnutzung über ein gut nutzbares Güllepotential (siehe Kap. 5.1.1).

Die Karte (Abbildung 27) zeigt den nutzbaren Anfall an Gülle/Biomasse auf den einzelnen Betrieben. Aufgrund der Verteilung bietet es sich an, eine zentrale Anlage (für Feststoffe und Gülle) am Standort 15 zu installieren. Hier befindet sich ein Schweinemastbetrieb mit rund 5'000 m³ Schweinegülle, der auch über den notwendigen Platz für die Installation der Biogasanlage verfügt. Die umliegenden Betriebe 31 und 43 weisen eine jährliche Gülleproduktion von 1'700 bzw. 2'300 m³ auf.

Somit sind folgende Güllmengen vorhanden:

- Rindergülle: 37'000 m³/a
- Schweinegülle: 16'000 m³/a
- Mist: 1'800 t/a

Beim Einsatz einer Separierung auf den betrachteten Betrieben ergeben sich bei rund 10 % Feststoffausbeute folgende Zahlen:

- 3'700 t Feststoff (aus Rindergülle)

Daraus errechnet sich die Summe 5'500 t (1'800 t + 3'700 t) fest für die Regionalanlage. Aus direkter Nachbarschaft (Betriebe 31&43) lassen sich mit dem Schweinemastbetrieb weitere 9'000 m³ erzielen. Insgesamt fallen damit 5'500 und 9'000 t = 14'500 t vergärbare Material an. Genutzt werden könnte diese Menge in einer zentralen Rührkesselanlage. Die erreichbare Leistung aus der separierten flüssigen Phase setzt sich je Betrieb wie folgt zusammen:

- Betrieb 15: 17.25 kW_{el}
- Betrieb 31: 7.25 kW_{el}
- Betrieb 43: 10.00 kW_{el}

Die Summe ergibt 33 kW_{el} aus separierter flüssiger Gülle. Hinzu kommen die 150 kW_{el} aus Feststoff.

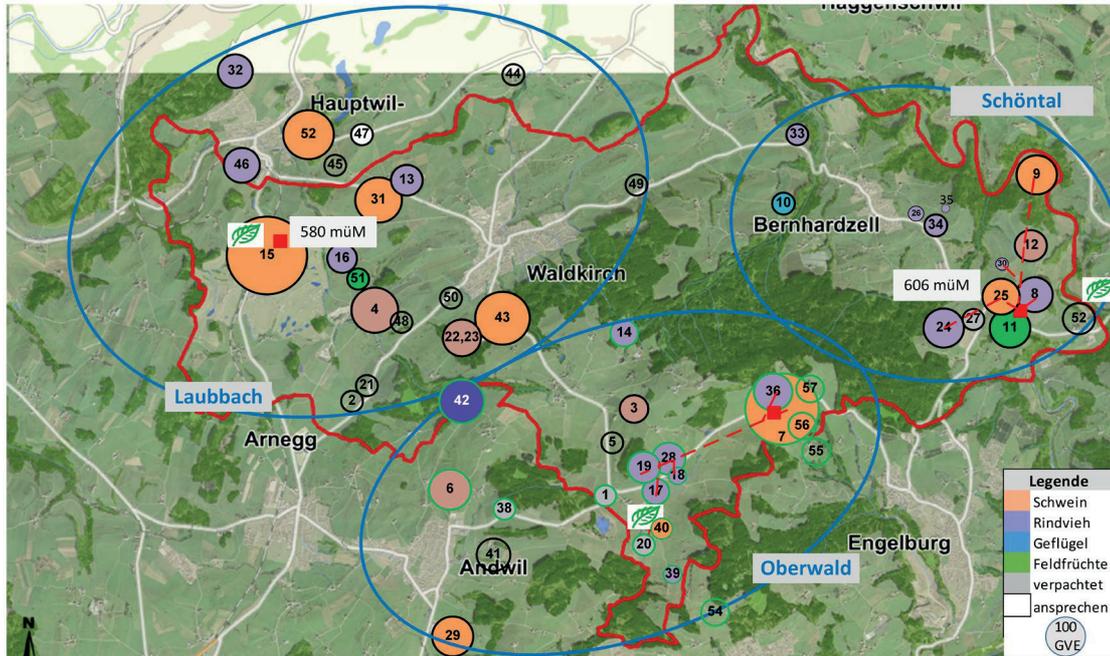


Abbildung 27: Übersichtskarte Region Waldkirch mit Tierbeständen

Insgesamt kann damit eine 200 kW_{el.} BHKW-Anlage betrieben werden. Eine solche Anlage wurde im Bericht Raus-Rein von Meier, Hersener, Allensbach et al. 2018 beschrieben (Meier et al., 2018). Die Investitionskosten für diesen Anlagentyp belaufen sich auf rund CHF 3 Mio. Die Anlage wird auf 20 Jahre abgeschrieben und kann unter den getroffenen Annahmen wirtschaftlich betrieben werden.

Alle weiteren Betriebe könnten mit Kleinanlagen analog der Standardanlage fürs Safiental ihre Gülle verwerten. Die Feststoffe können ebenfalls in die regionale Anlage geliefert werden oder sie trocknen die Feststoffe mit einem Gasbrenner und können so Einstreu substituieren. Alternativ kann ein kleines BHKW betrieben werden, um einen Teil des Betriebsstromverbrauchs zu decken. Die Wirtschaftlichkeit und Möglichkeiten der Kleinanlagen sind in der Fallstudie Safiental (5.2.9) erwähnt.

Die Regionalanlage entspricht von der Auslegung der Anlage C aus dem Bericht RAUS-REIN (Meier et al., 2018). Sie weist eine Investitionssumme von rund CHF 3 Mio. aus und entspricht der für Waldkirch errechneten, praktikablen Anlagenkapazität von 14'500 t Gülle/a. Zur Vergleichbarkeit werden aber dieselben Einspeisepreise und Zuschüsse wie im Safiental (Kanton GR) verwendet. Weiter wird angenommen, dass alle Wärme an eine benachbarte Käserei verkauft werden kann.



Tabelle 7: Investitionsrechnung für die regionale Biogasanlage

Investition				
Biogas Anlage	2'990'000	CHF		
Bodenleitungen mit Pumpe		CHF		
Güllekasten 2'000 m3		CHF		
Projektkosten und Montage		CHF		
Reserve		CHF		
Summe	2'990'000	CHF		

Ertrag				
Güleeertrag jährlich	14'500	m3		
Gasertrag jährlich	594'500	m3	41	Nm3 / m3 Gülle
Energieertrag total	3'567'000	kWh	6	kWh / Nm3 Gas
Eigenbedarf Energie (Heizung Anlage)	101'500	kWh	7	kWh / Nm3 Düngülle
Ertrag Wärme aus BHKW	1'732'750	kWh	50	% Wirkungsgrad
Ertrag Strom aus BHKW	1'386'200	kWh	40	% Wirkungsgrad

Einnahmen				
Eigenbedarf Strom	152'482	kWh	11%	
Einsparungen Eigenbedarf Strom	0	CHF	0.25	/kWh
Einsparungen Stroh für Einstreu	0	CHF		100 T. x 250.-
Wärmeverkauf	190'603		0.11	/kWh th
Verkauf Strom Markt+Zulage	308'430	CHF	0.250 0	/kWh el.
Einnahmen	499'032	CHF		

Ausgaben				
Personalaufwand	80'000	CHF		Anlage C
Unterhalt der Anlage	250'000	CHF		pro Jahr
Abschreibungen	59'800	CHF	20	EK in 20 Jahren
Ausgaben	389'800	CHF		



Wirtschaftlichkeit				
Investition	2'990'000	CHF		
Bund/Kanton	1'794'000	CHF	60	%
		CHF	0	% vom Restbetrag
Eigenkapital	1'196'000	CHF		
Überschuss (EBITDA)	109'232	CHF		
Return of Invest (ROI)	11	Jahre		

→ Unter der Annahme von 60% Investitionsbeihilfe und des vollständigen Wärmeverkaufs könnte die Regionalanlage wirtschaftlich betrieben werden.

5.1.10 Stand der Umsetzung

Laubbach

Eine Biogasanlage würde neben Käserei und Schweinemast errichtet werden, was bedeutet, dass die bestehende G/I Zone für die beiden Betriebe erweitert werden müsste. Auf dem gleichen Grundstück, aber neben der vorgesehenen Fläche für die BGA, gibt es ein Projekt von LAVEBA für den Neubau einer Graastrocknerei. Da LAVEBA ihr Projekt der Graastrocknungsanlage nicht mit einer Biogasanlage belasten wollte, gab es Stallorder das Projekt der BGA nicht aktiv weiter zu verfolgen. Da auch keinem der umliegenden Landwirte das Projekt BGA Laubbach wirklich wichtig war, wurden die Abklärungen für diesen Standort nach kurzer Zeit eingestellt.

Während der Abklärungen zu dieser Studie fand in Waldkirch eine grosse Zonenplanrevision statt. Das Projekt der Graastrocknerei, resp. die Umzonung dafür, sollte in die Zonenplanrevision aufgenommen werden. Das Baubewilligungsverfahren erfolgt später und ist unabhängig davon. Das bedeutet für die Biogasanlage, dass für das BGA-Projekt während den nächsten 5 bis 6 Jahren keine Umzonung des Grundstücks aufgrund der Planbeständigkeit beantragt werden kann. Dieser Standort ist deshalb in den nächsten Jahren nicht realisierbar.

Bernhardzell

Das Schöntal im Dorfteil Bernhardzell ist ein kompaktes Landwirtschaftsgebiet mit ca. 12 Betrieben, davon ist einer ein Beerenproduzent. Ein Landwirt im Zentrum des Gebiets hat von Anfang an Interesse am Betrieb einer BGA kundgetan. Der vorgesehene Standort stiess beim Amt Raumentwicklung und Geoinformation (AREG) des Kantons aber auf Widerstand, da er nach Ansicht des AREG zu weit vom bestehenden Stallgebäude entfernt war (betriebliche Unterordnung). Es war einiges an Überzeugungsarbeit notwendig, damit der Standort im Grundsatz akzeptiert wurde. Eine weitere Hürde war die unbefriedigende Situation der Ein- und Ausfahrt auf die Hauptstrasse. Dies wurde als Killerkriterium identifiziert. Daher wurde bereits in den Vorabklärungen eine Lösungsansatz skizziert und mit den zuständigen Behörden besprochen. Für diese Anlage wurde auch eine Bachelorarbeit zum Thema «automatisiertes GülleNetz (Tarik Ilhan, U.Baier, OST/ZHAW) erarbeitet.



Da der Landwirt stark mit anderen Themen beschäftigt war (Betriebsgemeinschaft, Stallumbauten) und auch andere Biogasanlagenkonzepte zur Sprache kamen, wurden die weiteren Abklärungen gestoppt, bis die Situation geklärt ist.

Hohfirst

Das Gebiet Hohfirst/Oberwald ist eine Hochebene, ca. 200 Höhenmeter über dem Dorfkern und den anderen beiden BGA-Gebieten. In diesem Gebiet hat es ca. 15 interessierte Landwirte. Auch hier wird primär Viehwirtschaft betrieben. Der Initiator hat hier seinen Betrieb. Erste Vorabklärungen zeigten, dass sein Betrieb als Standort für eine überbetriebliche Anlage nicht geeignet ist. Er hat den Betrieb am westlichen Rand des Weilers Hohfirst. Die Nähe zu Wohnliegenschaften und einem Restaurant, aber auch die räumlich eingeschränkte Situation auf dem Hof selber, machen es sehr schwierig dort eine Biogasanlage zu realisieren, die deutlich mehr als nur den eigenen Hofdünger verarbeitet. Deshalb musste für die Gemeinschaftsanlage ein anderer Standort gesucht werden. Gleichzeitig wurde in einer Machbarkeitsstudie abgeklärt, ob sich eine kleine Biogasanlage, nur für den eigenen Hofdünger, sowie Schweinegülle, welche auf seinen Wiesen ausgebracht wird, darstellen lässt. Das produzierte Biogas soll als «eingeschränkte Einspeisung, d.h. ohne Aufbereitung» in das Erdgasnetz abgegeben werden. Das Konzept kann unter gewissen Bedingungen wirtschaftlich dargestellt werden.

Für die Gemeinschaftsanlage wurde ein neuer Standort beim neu errichteten Schweinemastbetrieb «Sonnenhof» am Ostrand des Gebietes gefunden. Für diesen Standort wurde eine Machbarkeitsstudie erarbeitet und im September 21 fertig gestellt. Die Machbarkeit zeichnet ein positives Bild, obschon einige bauliche Schwierigkeiten gelöst werden müssen.

Praktisch gleichzeitig mit dem Abschluss der Machbarkeitsstudie hat sich der bodengegebende Schweinemäster finanziell anderweitig engagiert, so dass ein Investment in die Biogasanlage nicht mehr möglich ist. Ohne sein Engagement ist der Bau der Anlage auf seinem Grund nicht möglich.

Erfahrungen:

- Betriebsdatenerfassung ist mitunter langwierig. Die Landwirte sind administrativ nicht immer gut aufgestellt und das Interesse ist nicht bei jedem gleich gross.
- Vorgehen: Fragebogen per Mail oder per Post zustellen und telefonisch nachhaken. Ein Besuch vor Ort ist notwendig.
- Im Winter haben die meisten Landwirte mehr Zeit für solche Sachen → unbedingt nutzen
- Interesse bei den Landwirten ist grundsätzlich vorhanden, aber es besteht grosser Informationsbedarf
- Die Schlepplauschpflicht fördert die Entwicklung des Biogasanlagenbaus
- Biogasanlagen zur Biomethaneinspeisung können auch ohne Fördergelder im grossen Stil wirtschaftlich dargestellt werden, da sich Biogas mit Herkunftsnachweis zu entsprechenden Preisen verkaufen lässt
- Die vielfältigen Rahmenbedingungen für landwirtschaftliche Biogasanlagen, vor Allem aus dem Bereich Raumplanung und Bodenrecht, bringen viele Projekte zu Fall. Oft ist es nicht ein einziges Kriterium, sondern die Summe vieler kleiner Auflagen. So ist es z.B. nicht möglich auf einem Betrieb, welcher aufgegeben wurde, und an einen Nachbarbetrieb verpachtet ist, eine Biogasanlage zu errichten, auch wenn sie sich baulich und technisch perfekt in den Betrieb integrieren liesse.



→ Was würde helfen:

Biogas- oder Biomassekonzepte auf Stufe Kanton oder Wahlkreis/Bezirk welche auch konsequent verfolgt und bewirtschaftet werden.

- **Beratungsstellen für Biogas, welche erste Abklärungen mit den Landwirten machen, Infoveranstaltungen organisieren und erste Ansprechpartner für Interessierte sind.**
- **Anerkennen das Biogasanlagen ein wichtiger Bestandteil der Energiewende sind und dies in den Energiestrategien des Bundes und der Kantone so festgehalten wird und das auch im Gesetzeswerk entsprechend festgehalten wird.**
- **Wohlvollende Begleitung der Projekte durch die Behörden.**



5.2 Safiental

5.2.1 Potenzial

Strukturelle Eigenschaften

Safiental liegt gemäss Produktionskataster in der landwirtschaftlichen Bergzone. 30 % der Gemeinde ist bewaldet und 13 % (oder 1'940 ha) wird landwirtschaftlich genutzt. Bewirtschaftet wird diese Fläche von rund 70 landwirtschaftlichen Betrieben (also ca. 28 ha pro Betrieb), wobei sich die Anzahl Betriebe in den letzten 50 Jahren fast halbiert hat. Mehr als die Hälfte (61 %) der landwirtschaftlichen Betriebe werden nach den Richtlinien des biologischen Landbaus bewirtschaftet.

Die Landwirtschaft in den Bergen ist stark von den saisonalen Rhythmen getrieben. Im späten Frühjahr darf das Vieh auf die Weiden und im Juni werden die Tiere auf die, über den Mähwiesen gelegenen Alpen gebracht. Das Sömmerungsgebiet wird nicht zur landwirtschaftlichen Nutzfläche gezählt. Es ist zu erwähnen, dass das Sömmerungsgebiet gemäss BLW nicht zur landwirtschaftlichen Nutzfläche gezählt wird.

Hofdünger

Total werden in Safiental fast 1'700 GVE gehalten. Der Schwerpunkt der Landwirtschaft liegt in der Rinderhaltung. Die Mutterkuh- und die Milchkuhhaltung sind die wichtigsten Betriebsformen, aber es gibt auch Betriebe, die sich auf die Schaf-, Lama- oder Pferdehaltung spezialisiert haben (Abbildung 28). Auf den meisten Höfen werden häufig auch ein paar Geflügel und andere Kleintiere gehalten (wahrscheinlich hauptsächlich für den Eigenbedarf). Im Schnitt werden nur 24 GVE pro Betrieb gehalten, d.h. die Gemeinde ist von relativ kleinen Strukturen geprägt. Als Vergleich sind es in der Schweiz aktuell durchschnittlich ca. 30 GVE pro Betrieb mit Nutztierhaltung.

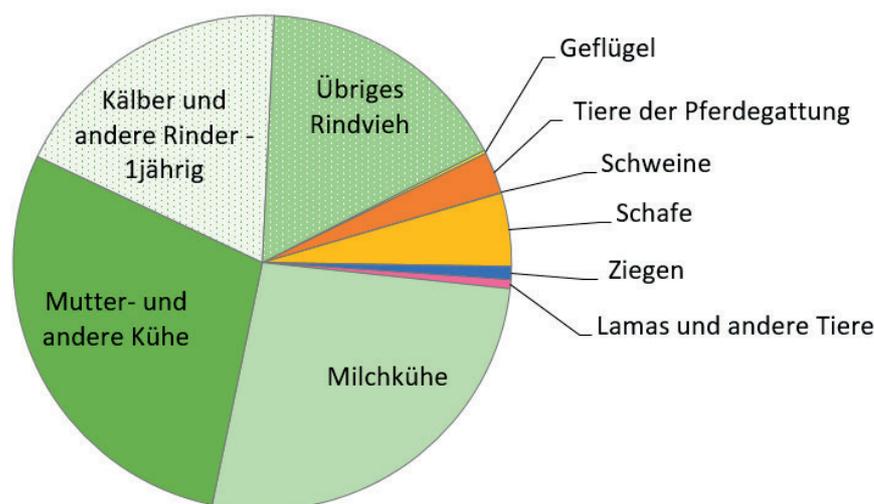


Abbildung 28: Verteilung der Nutztierhaltung nach Anzahl GVE in der Gemeinde Safiental im Jahr 2018.

Das gesamte theoretische Hofdünger-Potenzial der Gemeinde Safiental beträgt ca. 69'700 GJ Primärenergie oder umgerechnet knapp 25'900 GJ potenzieller Biogasertrag pro Jahr (Tabelle 8, links). Wenn man Weidegangverluste berücksichtigt, verringert sich das theoretische Potenzial um total durchschnittlich 18 % d.h. es sind noch ca. 57'100 GJ Primärenergie Hofdünger pro Jahr verfügbar (Tabelle 8,

rechts). Durch Umwandlung dieser Biomasse in Vergärungsanlagen könnten bis zu ca. 21'200 GJ Biogas erzeugt werden. Diese Biogasmenge entspricht dem Energieinhalt von ca. 662'000 Litern Benzin.

Gemäss Erstabklärungen des Regionskoordinators, besitzen die Landwirte, die sich am Projekt beteiligen möchten, etwa 240 Rindvieh GVE oder ca. 14 % des Hofdünger-Potenzials der Gemeinde.

Tabelle 8: Theoretisches Hofdünger-Potenzial und Potenzial nach Abzug von Weidegangverlusten der Gemeinde Safiental im Jahr 2018, aufgeteilt nach Tierart

	Theoretisches Potenzial			Potenzial nach Abzug von Weidegangverlusten		
	Primärenergie [GJ]	Pot. Biometan-ertrag [Nm ³]	Pot. Biometan-ertrag [GJ]	Primärenergie [GJ]	Pot. Biometan-ertrag [Nm ³]	Pot. Biometan-ertrag [GJ]
Rindvieh	55'519	553'695	19'868	45'720	455'969	16'361
Geflügel	46	630	23	46	630	23
Schweine	3	40	1	3	40	1
Pferde	7'862	95'472	3'426	6'252	75'917	2'724
Ziegen	5'591	63'893	2'293	4'494	51'353	1'843
Schafe	652	7'450	267	582	6,653	238
TOTAL	69'673	721'178	25'878	57'096	590'561	21'191

Ernterückstände

Safiental ist eine Grünfläche-Region: Über 98 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche sind Weiden und Wiesen (1'900 ha, Verteilung siehe Abbildung 29). In der Berglandwirtschaft sind dies ökologisch sehr wertvolle Flächen. Für einige der Wiesen und Weiden bestehen Naturschutzverträge, um die wertvolle Artenvielfalt mit vielen verschiedenen Gräsern, Kräutern und Blumen zu erhalten. Während der Sömmerungszeit des Viehs auf Alpen und Weiden widmen sich die Landwirte der Heuernte. Da es in den Bergregionen meistens steil ist, wird noch viel von Hand gemäht. Mit einer Fläche von ca. 13 ha ist Ackerbau in der Gemeinde Safiental nur in den Ortschaften Valendas und Versam zu finden, wo vorwiegend Futtermais (ca. 10 ha), alte Getreidesorten (2 ha) und Kartoffeln (1 ha) angebaut werden.

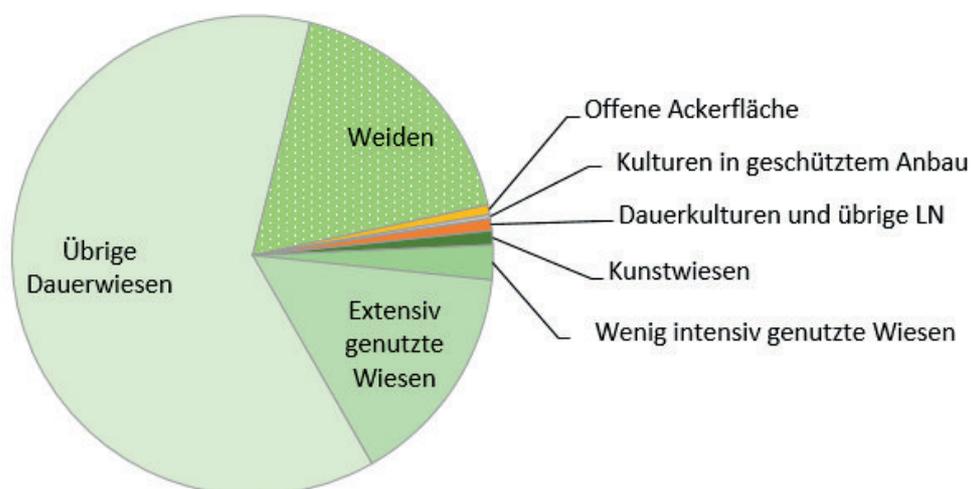


Abbildung 29: Verteilung der landwirtschaftlichen Nutzfläche (LN) der Gemeinde Safiental im Jahr 2018.



Das gesamte theoretische Potenzial von Ernterückständen in der Gemeinde Safiental beträgt ca. 50 GJ Primärenergie oder umgerechnet 19 GJ potenzieller Biogasertrag pro Jahr (Tabelle 9). Die grosse Mehrheit macht jedoch Kartoffelkraut aus, die bei den aktuellen Ernteverfahren mehrheitlich vernichtet werden. In Anbetracht des technischen und logistischen Mehraufwands für die Mobilisierung dieser Biomasse ist eine energetische Nutzung heute kaum realisierbar. Die Ernte übriger Rückstände von strohliefernden Ackerpflanzen (Stängel, Blätter) wäre technisch möglicherweise durchführbar, erweist sich jedoch unter Berücksichtigung aktueller Randbedingungen (Ernteverfahren, konkurrierende Nutzung, saisonaler Anfall, Logistik und Kosten) als schwierig. Getreidespreu, die heute ungenutzt auf den Feldern liegen bleibt, könnte hingegen mit relativ geringem Mehraufwand gewonnen werden (Marti, 2013; Streit, 2011). Der potenzielle Biogasertrag von Getreidespreu beträgt 1.5 GJ pro Jahr.

Tabelle 9: Theoretisches Potenzial von landwirtschaftlichen Ernterückständen in der Gemeinde Safiental im Jahr 2018, aufgeteilt nach Nebenprodukt.

	Primärenergie [GJ]	Pot. Biomethanertrag [Nm ³]	Pot. Biomethanertrag [GJ]
Getreide (Spreu)	4.5	43.1	1.5
Freilandgemüse (Stängel / Blätter)	7.9	78.3	2.8
Kartoffelkraut	37.4	411.6	14.8
TOTAL	49.8	533.0	19.1

→ In Safiental beträgt das gesamte theoretische Potenzial von Hofdünger ca. 25'900 GJ potenzieller Biomethanertrag pro Jahr. Wenn man Weidegangverluste berücksichtigt sind es noch ca. 21'200 GJ pro Jahr. Das Potenzial von Ernterückständen ist vergleichsweise vernachlässigbar klein. So beträgt der potenzielle Biogasertrag von Getreidespreu nur 1.5 GJ pro Jahr.

5.2.2 Ökologie

Die Anlage würde im Dorf Valendas erstellt werden. Es sind keine empfindlichen Ökosysteme betroffen. Wichtig ist jedoch, dass die Anlage nicht zusätzliche Geruchs- oder Lärmemissionen verursacht. Die Landwirtschaft ist Teil des Dorfes, trotzdem möchte man keine weiteren Emissionen, die sich negativ auf den Tourismus auswirken würden. Naturschutzgebiete sind keine betroffen.

Als positiv gesehen werden die Synergieeffekte wie geruchsärmere Gülle, bessere Stickstoffeffizienz der Hofdünger und allenfalls geringere Transporte beim Bau einer Gülleleitung zwischen den beteiligten Betrieben.

Zudem kann die Abwärme sinnvoll eingesetzt werden – sei es für die Trocknung von Feststoffe als Einstreuersatz oder für die Produktion von Wintergemüse.

Der grösste Benefit dürfte in der grösseren Lagerkapazität für Gülle bestehen, da so ein ökologischerer und gezielterer Einsatz von Hofdünger bewerkstelligt werden kann.

→ Aus ökologischer Sicht werden die genannten Synergieeffekt positiv gesehen.



5.2.3 Nährstoffmanagement

In Safiental gibt es nur zwei HODUFLU-Einträge, wobei es lediglich um kleine Mengen von Rindvieh-Mist und -Gülle geht. Dies spricht für eine ausgewogene Nährstoffbilanz, wo kaum Hofdüngerimporte oder -exporte nötig oder aus Kostengründen möglich sind.

Da die meisten Tiere im Sommer auf der Alp sind, besteht in dieser Zeit kein Nährstoffüberschuss. Im Winter hingegen sind die Tiere in den Ställen und die Güllelager sind eher knapp bemessen. Bei langen Wintern oder späten Schneeeinbrüchen kann die Kapazität der Lager an ihre Grenzen kommen. Hier würde ein gemeinsames Güllelager mit Gülleleitung zu einer zentralen Anlage (BGA) von Vorteil sein. Zudem können durch die Separierung in einem geringen Mass die Lager entlastet werden, indem die Feststoffe separat gelagert oder direkt zu Einstreu weiterverarbeitet werden (Trocknung).

Durch die Separierung verbessert sich auch die Ausbringung. Da vermehrt Schleppschlauchverteiler zum Einsatz kommen, verstopfen diese mit Dünngülle weniger und die Gülle kann besser in die Böden infiltrieren. Damit verbessert sich auch die Geruchsproblematik, da die Gülle weniger lang an der Oberfläche verweilt und von den Pflanzen besser (effizientere N-Aufnahme) aufgenommen wird. Zudem verringert sich das Transportvolumen, da Dünngülle nicht mit Wasser verdünnt werden muss (weniger Transporte).

- Eine Biogasanlage mit zentralem Güllelager kann die Nährstoffsituation verbessern, da die Nährstoffe gezielter und besser auf den Pflanzenbedarf abgestimmt, ausgebracht werden können.

5.2.4 Rechtliche Situation

Aufgrund der positiven Einstellung der Gemeinde und der involvierten Beteiligten sind Einsprache eher unwahrscheinlich. Die Grösse der Anlage liegt bei rund 4'000 m³/a und ist somit von einem UVB befreit. Im Übrigen gelten die gleichen rechtlichen Voraussetzungen wie in 4.4. beschrieben.

- Aufgrund der Grösse ist kein UVB notwendig.

5.2.5 Politische Situation

Die Gemeinde Safiental und der Naturpark Beverin unterstützen die Idee einer Biogasanlage im Rahmen ihrer Möglichkeiten. Sie sind Träger des Projektes zur regionalen Entwicklung (PRE) Safiental, welches mit dem Teilprojekt «Agrarenergie» in Koordination mit dem Projekt NETZ die Realisierung einer wirtschaftlich betreibbaren Anlage zur Vergärung von Gülle anstrebt. Der Bau einer Pilotanlage würde von der Gemeinde positiv begrüsst. Der Entscheid obliegt aber bei den Betreibern. Eine breitere Abstützung des Risikos würde einen positiven Entscheid begünstigen.

- Die Gemeinde ist initiativ und unterstützt die Idee einer Biogasanlage.

5.2.6 Soziale Strukturen und Netzwerk

In der Gemeinde Safiental ist die Einstellung der Schlüsselakteure Landwirte und Gemeinde als tendenziell positiv zu bewerten, wobei die Rolle der Betreiber einer Biogasanlage im Rahmen des in Unterkapitel 5.2.5. beschriebenen PRE-Projekts geklärt werden müsste. Im sozialen Gefüge der Gemeinde



wird eine weitere Schlüsselrolle vom Naturpark Beverin eingenommen, dessen Vertreter eine Koordinations- und Kommunikationsfunktion einnehmen. Das PRE-Projekt könnte diese Koordinationsfunktion unterstützen und den Rahmen eines auf den Aufbau einer NETZ-Anlage fokussierten sozialen Netzwerks bilden. Die Rolle des Kantons als Schlüsselakteur ist eher abgeschwächt, hier ist zu bemerken, dass kein kantonales Biomassekonzept, welches einen regulativen Einflussfaktor darstellen könnte, existiert.

Die kulturell-kognitiven Einflussfaktoren sind ebenso als tendenziell positiv zu bewerten: während die Rollen der Schlüsselakteure eher als gesetzt angesehen werden, besteht durchaus Potential zur Kooperation mit dem Zweck der Risikominimierung sowie der Erarbeitung von Synergien in Form von «win-win» Situationen (Zugang zu Materialien, Lagerung), des Weiteren signalisiert die Gemeinde als Akteur eine Präferenz zu kooperativen Entwicklungen («man könnte etwas gemeinsam machen»). Gegenwärtig existiert jedoch kein Bauernverband in der Gemeinde, welcher diese Kooperation koordinieren könnte. Die Einflussfaktoren auf der sozial-normativen Ebene sind eher neutral: einerseits haben die Landwirte keine fundamentalen Vorbehalte gegenüber der Implementierung von erneuerbaren Energietechnologien, andererseits besteht ein starker Fokus auf eine Minimierung der Faktoren Kosten und Aufwand sowie ein im Rahmen des abgehaltenen Workshops offen geäussertes Bedarfe nach mehr Informationen über technische, finanzielle und regulative Charakteristika von Netz. Energieersparnisse sind in der Gemeinde Safiental wegen sehr niedriger regionalen Energiepreise nicht als relevanter Faktor anzusehen. Die regulativen sozialen Einflussfaktoren sind im Allgemeinen durch einen Mangel an Information beeinflusst – während die Implementierung einer hofseitigen Anlage als unproblematisch wahrgenommen wird, sind gegenwärtig nicht genügend Informationen über die mit dem Aufbau einer regionalen Anlage verbundenen regulatorischen Prozesse verfügbar.

Zu den Hauptentscheidungen über den Bau der hofseitigen Biogasanlage sowie über das wirtschaftliche Verhältnis zur regionalen Anlage können im Moment keine vertieften Aussagen getroffen werden, da eine Implementierung von NETZ in der Gemeinde Safiental verglichen mit der Fallstudie Waldkirch eher auf einer Ideenebene existiert. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass im Fall einer Projektumsetzung ein ähnlicher paralleler Entscheidungsprozess eingeleitet werden würde.

- **Es besteht das Potential zur Kooperation zwecks Risikominimierung sowie der Erarbeitung von Synergien. Gegenwärtig existiert jedoch kein Bauernverband in der Gemeinde, welcher diese Kooperation koordinieren könnte. Die Landwirte haben keine fundamentalen Vorbehalte gegenüber der Implementierung, es besteht aber ein starker Fokus auf eine Minimierung der Faktoren Kosten und Aufwand.**

5.2.7 Technologie und Technik

Im Vordergrund steht hier eine Containeranlage vom Typ FLEXBIO mit einer Verarbeitungskapazität von 4'000 m³/a. Dünngülle. Eine Separierung und Gülleleitung ergänzen das System. Die Abwärme wird zur Trocknung der Feststoffe aus der Separierung genutzt. Damit kann Einstreu aus Stroh substituiert werden. Eine weitere Möglichkeit der Wärmenutzung wäre ein Gewächshaus für Wintergemüse. Die Anlage kann aufgrund der Alpung nur in der übrigen Zeit (v.a. Winter) betrieben werden.

- **Eine Hochleistungs-Biogas-Anlage zur Dünngüllevergärung dient als Herzstück und wird mit einer Trocknungsanlage, Gülleleitung und einem grösseren zentralen Güllelager kombiniert**



5.2.8 Dimensionierung

Das im Kapitel 5.1.1 ausgewiesene, verfügbare Gesamtpotenzial für Hofdünger und Ernterückstände in der Region Waldkirch liegt bei 21'210 GJ Biomethan pro Jahr. Dies entspricht 5'890'000 kWh Energie. Das berechnete Gesamtpotenzial aus der für Valendas eruierten Substrate von 9 Betrieben (siehe Stand der Umsetzung) ergibt jährlich etwa 2'100 GJ bzw. 570'000 kWh. Somit wären in der Region Safiental durch die GRegion in einem ersten Schritt etwa 10 % des ausgewiesenen, verfügbaren Gesamtpotenzials konkret greifbar.

In der nachfolgenden

Tabelle 10 Tabelle 9 sind die wichtigsten Dimensionierungsgrößen für das Gesamtpotenzial der 9 Landwirtschaftsbetriebe ersichtlich. Das Gesamtpotenzial der Betriebe wird durch den geplanten, flächendeckenden Separationsschritt vor der Vergärung in eine feste (Mist, Separatorenmist) und flüssige Fraktion (Dünggülle) aufgetrennt. Die Tabelle zeigt im oberen Teil die zu erwartenden Resultate der Fest-Flüssig-Trennung auf der Ebene Frischmasse (FS), Trockensubstanz (TS), organische Trockensubstanz (oTS), Biomethanertrag (BMY), Energie und Leistung sowie auf der Ebene der Nährstoffelemente Stickstoff (N), Phosphor (P) und Kali (K). Im unteren Teil der Tabelle sind die relevantesten Dimensionierungsgrößen für entsprechende Gesamtanlagen (unsepariert, fest, flüssig) aufgeführt: hydraulische Verweilzeit (HRT), organische Raumbelastung (BR) und Fermenter-Nutzvolumen (V_R).

Tabelle 10: Dimensionierungsgrößen für eine Vergärungsanlage zur Nutzung des jährlichen Gesamtpotenzials von 9 Landwirtschaftsbetrieben in der Region Valendas, Safiental

Grösse	Einheit	gesamt	fest	flüssig
Input Frischmasse	[t/a]	4'650	777	3'873
TS-Gehalt Frischmasse	[%]	8.5	26.1	5.0
oTS-Anteil der TS	[%]	79	86	71
Spezifischer Biogasertrag	[m ³ STP t ⁻¹ oTS]	337	342	329
Methangehalt im Biogas	[%]	55	50	61
Biomethanertrag	[m ³ STP]	57'420	30'180	27'240
Energie im Biomethan	[GJ]	2'061	1'083	978
Energie im Biomethan	[kWh]	572'477	300'894	271'583
Leistung im Biomethan	[kW _{ch}]	65	34	31
Leistung elektrisch (BHKW)	[kW _{el}]	24	13	11
Leistung thermisch (BHKW)	[kW _{th}]	35	18	16
Stickstoff N	[kg]	12'974	2'130	10'849
Phosphor P	[kg]	4'604	1'505	3'098
Kali K	[kg]	14'675	2'090	12'586
Hydraulische Verweilzeit HRT	[d]	70	70	20
Organische Raumbelastung BR	[kg oTS d ⁻¹ m ⁻³]	0.9	1.9	1.8
Fermenter-Nutzvolumen V _R	[m ³]	935	249	212

Bezogen auf das Gewicht der Frischmasse der Hofdünger gehen bei der Separation ca. 83 % in die flüssige Fraktion. Rund 49 % der TS und 44 % der oTS liegen in der Dünggülle vor, woraus 47 % der Biogasenergie gewonnen werden kann. Der N-Anteil in der Dünggülle macht gemäss groben Abschätzungen 84 % aus, der P-Anteil beträgt 67 % und der K-Anteil 86 %.



Option Gesamtanlage, keine Fest-Flüssig-Trennung der Ausgangssubstrate

Würde auf dem Betrieb mit den grössten Mengen (ca. 1'300 t/a) eine Gesamtanlage realisiert, müssten jährlich von den anderen Betrieben gut 3'400 Tonnen Hofdünger auf die Anlage transportiert werden. Dies entspricht einer durchschnittlichen Wochenmenge von 65 Tonnen oder ca. 3 Tankwagen à 21 - 22 Tonnen pro Woche.

Die entsprechende Anlage würde bei 70 Tagen Verweilzeit und mesophilen Gärtemperaturen ($\sim 37^{\circ}\text{C}$) gemäss Allen et al. (2016) einen Abbaugrad der vergärbaren Biomasse von mindestens 97 % erreichen. Dazu wären gut 900 m^3 Gärvolumen notwendig. Die organische Raumbelastung der entsprechenden Anlage läge bei tiefen $0.9\text{ kg oTS d}^{-1}\text{ m}^{-3}$, was einer sehr geringen Auslastung eines landwirtschaftlichen Rührkessel-Fermenters entspräche.

Bei einer Verstromung des Biogases in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) könnte mit dem produzierten Biogas der Strombedarf von über 70 Personen, die in einem 4-Personenhaushalt mit einem Verbrauch von jährlich 3'000 kWh leben, gedeckt werden.

Regionale Vergärungsanlage, fest, gemäss NETZ-Konzept

Das Grobkonzept NETZ sieht vor, nur die feste Fraktion auf einer regionalen Vergärungsanlage zu verarbeiten, während die Dünngülle hofseitig verwertet wird. Jährlich müssten so lediglich knapp 800 Tonnen Mist auf die regionale Vergärungsanlage transportiert werden. Dies entspricht ca. 17 % der Gesamtmenge. Die durchschnittliche Wochenmenge von 25 Tonnen würde mit ca. 0.7 Wechselcontainern à 38 Kubikmeter pro Woche transportiert werden können.

Die entsprechende Anlage würde bei 70 Tagen hydraulischer Verweilzeit und mesophilen Gärtemperaturen ($\sim 37^{\circ}\text{C}$) einen Abbaugrad der vergärbaren Biomasse von mindestens 97% erreichen (Allen et al., 2016). Dazu wären etwa 250 m^3 Gärvolumen notwendig. Die organische Raumbelastung einer entsprechenden Anlage läge bei $1.9\text{ kg oTS d}^{-1}\text{ m}^{-3}$, was für Pfropfenstrom-Reaktoren eine tiefe Belastung bedeuten würde und für Perkolations-Reaktorsysteme keine Bedeutung hätte.

Bei einer Verstromung des Biogases in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) könnte damit der Strombedarf von 37 Personen, die in einem 4-Personenhaushalt mit einem Verbrauch von jährlich 3'000 kWh leben, gedeckt werden.

Option regionale Vergärungsanlage, flüssig

Würden die 777 Tonnen Feststoffe (Mist) auf dem Betrieb mit den grössten Flüssig-Mengen verarbeitet werden ($1'280\text{ t/a}$ Vollgülle), könnte dort ein Flüssigreaktorsystem, z.B. Rührkessel-Fermenter realisiert werden.

Die entsprechende Anlage würde bei 70 Tagen Verweilzeit und mesophilen Gärtemperaturen einen Abbaugrad der vergärbaren Biomasse von mindestens 97 % erreichen (Allen et al., 2016). Dazu wären gut 350 m^3 Gärvolumen notwendig. Die organische Raumbelastung läge bei tiefen $1.6\text{ kg oTS d}^{-1}\text{ m}^{-3}$, was einer geringen Auslastung eines Rührkessel-Fermenters entspräche. Der TS-Gehalt im Input läge bei ca. 13 % TS/FS und wäre daher gut geeignet für eine Flüssigfermentation.

Bei einer Verstromung des Biogases in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) könnte damit der Strombedarf von 45 Personen, die in einem 4-Personenhaushalt mit einem Verbrauch von jährlich 3'000 kWh leben, gedeckt werden.

Hofseitige Kleinbiogasanlagen, flüssig, gemäss NETZ-Konzept

Das NETZ sieht vor, nur die feste Fraktion auf einer regionalen Vergärungsanlage zu verarbeiten und die flüssigen Anteile (Dünngülle), welche etwa 83 % der Gesamtmenge ausmacht, in einer hofseitigen

Flüssig-Kleinbiogasanlage energetisch zu nutzen. In der Region Valendas, Safiental wurden 9 Landwirtschaftsbetriebe mit flüssigen Hofdüngern hinsichtlich ihres Energiepotenzials untersucht.

In Abbildung 30 ist die chemische Leistung im hofseitig produzierten Biogas pro Betrieb für das Gesamtsubstrat (rot) und den separierten Flüssiganteil (orange) nach Grösse aufgetragen. Das NETZ-Konzept konzentriert sich dabei ausschliesslich auf die flüssigen Anteile.

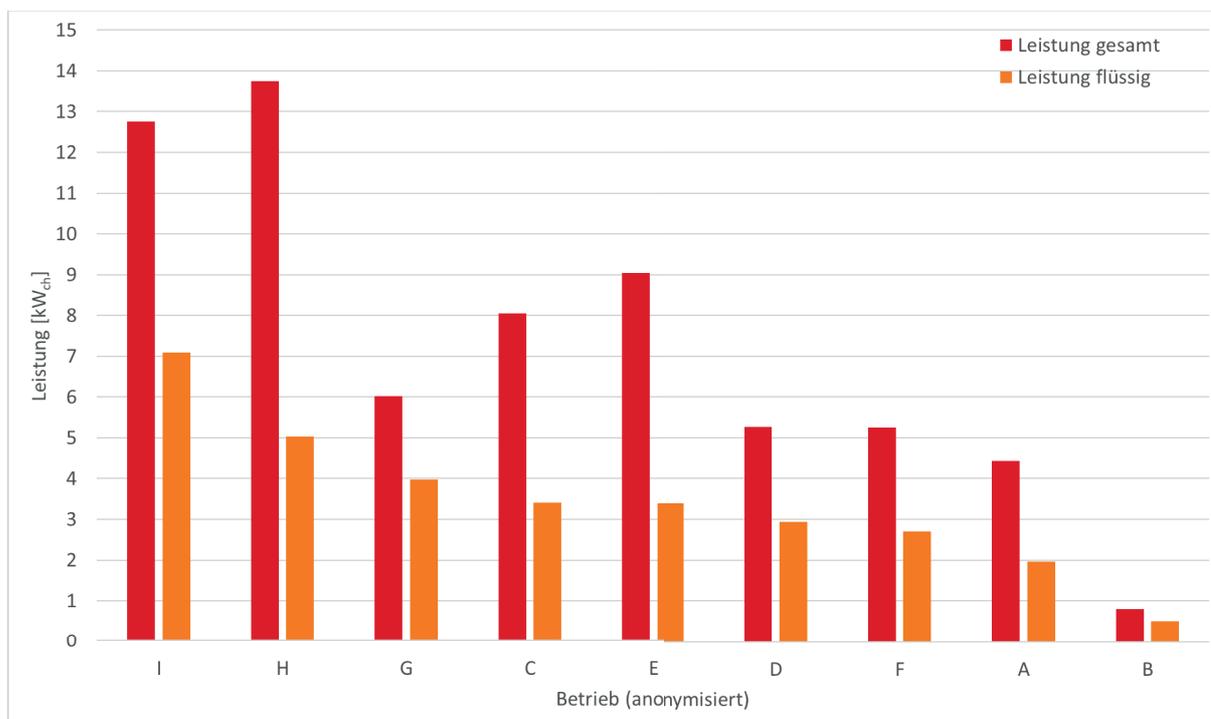


Abbildung 30: Leistung im Biogas der gesamten (rot) und flüssigen (orange) Fraktion pro Betrieb und Jahr bei hofseitiger Verwertung

8 der 9 Betriebe weisen ein potenzielles Biogas-Energiepotenzial im flüssigen Anteil von 2.0-7.1 kW_{ch} aus, der neunte Betrieb (B) ist sehr klein und würde lediglich 0.5 kW_{ch} erneuerbare Energie generieren. Der Mittelwert aller Betriebe liegt bei 3.4 kW_{ch}. Die Nutzung des Biogases bzw. Biomethans ist den örtlichen Gegebenheiten bzw. dem individuellen Bedarf der einzelnen Betriebe anzupassen. Dies übertrifft den Detaillierungsgrad dieser Studie erheblich, weshalb hier in einem ersten Schritt mögliche Varianten aufgezeigt und diskutiert werden:

Bei dieser Grössenordnung ist eine Verstromung des Biogases wenig reizvoll. Eine Nutzung für Warmwasser und Heizenergie mittels Erdgas- bzw. Biogasbrenner könnte jedoch eine gangbare Lösung sein. In der nachfolgenden Abbildung ist deshalb die Bereitstellung des Wärmebedarfs von Anzahl Personen pro Betrieb dargestellt. Diese leitet sich her aus dem Heizenergie- und Warmwasserbedarf eines durchschnittlichen 4-Personen-Einfamilienhauses ab (140 m² EFH, Altbau saniert), welches jährlich 14'000 kWh beträgt: 11'000 kWh Heizenergie plus 3'000 kWh Warmwasser. Pro Person entspricht das einer Energiemenge von jährlich 3'500 kWh respektive einer durchschnittlichen Leistung von 0.4 kW (400 Watt). Als mögliche Alternative könnte das Biogas direkt als Treibstoff verwendet werden. Die Nutzung von Rohbiogas als Treibstoff ist technisch gesehen noch nicht weit verbreitet und auf dem Markt sind solche Fahrzeuge kaum zu finden. Eine Aufreinigung des Biogases zu reinem Biomethan ist für so kleine Mengen sehr teuer, weshalb eine Nutzung in Erdgas- bzw. Biomethanautos oder die Einspeisung



ins Erdgasnetz bis dato wirtschaftlich wenig attraktiv ist. Nichtsdestotrotz wird nachfolgend das energetische Potenzial der Nutzung von Biogas bzw. Biomethan als Treibstoff kurz aufgezeigt. Dazu wurden folgende Annahmen getroffen: Der Verbrauch eines Erdgas-PWs liegt bei 10.8 Liter pro 100 km, während 1 Liter Biomethan einen Energieinhalt von 6.8 kWh aufweist. Pro Fahr-Kilometer werden folglich 0.734 kWh benötigt. Bei durchschnittlich 13'500 Jahreskilometer eines PWs benötigt ein entsprechendes Fahrzeug knapp 10'000 kWh im Jahr.

In Abbildung 31 ist die produzierte Biogas-Energiemenge auf den Heiz- & Warmwasserbedarf von Anzahl Personen eines 4-Personen-Haushalts (linke Skala), sowie auf den Treibstoffverbrauch von Anzahl Personenwagen (rechte Skala) umgerechnet:

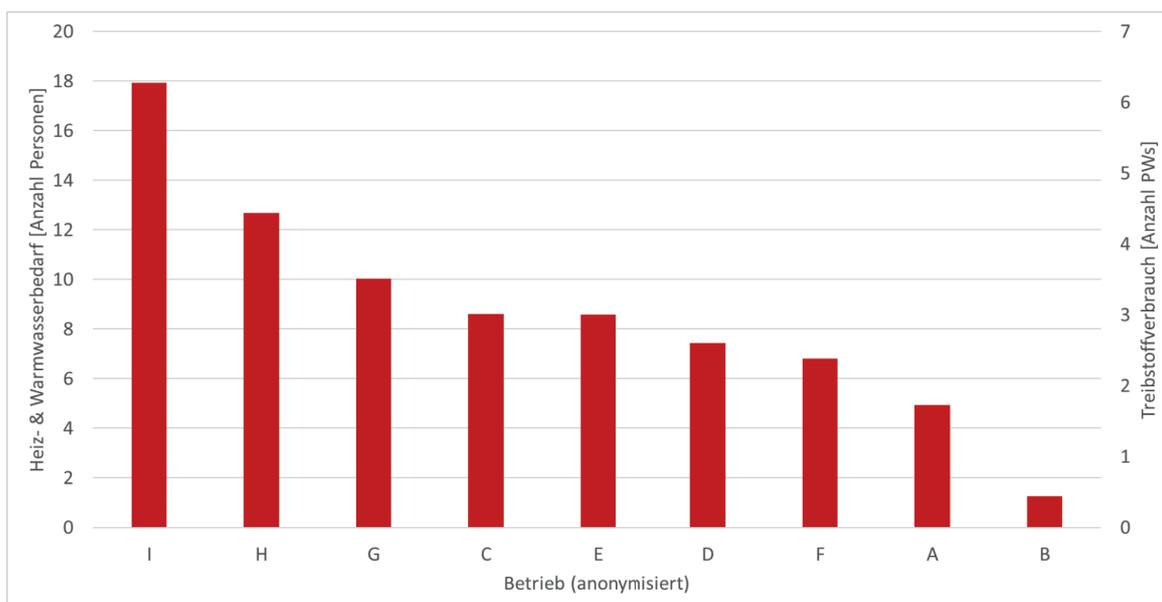


Abbildung 31: Mögliche Bereitstellung von Heiz- und Warmwasserenergie oder Treibstoff pro Betrieb

Für die hofseitige Vergärung der Dünngülle bieten sich zwei unterschiedliche Reaktor-Systeme an:

- Rührkessel-Fermenter
- Festbett-Fermenter

Der Rührkessel besticht durch seine einfache, robuste und günstige Bauweise und kann für landwirtschaftliche, feststoffarme Substrate auf eine wartungsarme und etablierte Technik zurückgreifen. Ein Hauptnachteil ist die Kopplung der hydraulischen Verweilzeit (HRT, Substratverweilzeit) mit der Schlammverweilzeit (SRT, Biozönose-Verweilzeit), wodurch kürzere hydraulische Verweilzeiten von < 12-15 Tagen ohne Rückhaltung der Biozönose nicht möglich sind. Für die Dimensionierung dieses Systems wurden deshalb durchschnittlich 20 Tage eingesetzt. Gemäss den kinetischen Daten in Allen et al. (2016) beträgt der Abbaugrad von Hofdüngern nach 20 Tagen zwischen 63 und 95 %. Für separierte Dünngülle kann daher angenommen werden, dass der Abbaugrad eher im oberen Bereich, also zwischen 80 und 95 % liegt.

Im technisch aufwendigeren Festbett-Fermenter wird die Biozönose zurückgehalten, wodurch die SRT von der HRT entkoppelt sind. Dadurch kann die Substratverweilzeit im Prinzip beliebig kurz gewählt werden. Bei 10 Tagen beträgt der Abbaugrad von Hofdüngern je nach Art des Hofdüngers noch 39-78 % (Allen et al., 2016), für separierte Dünngülle vermutlich ca. 60-78 %. Im Vergleich zum Rührkessel-



Reaktor sind daher geringere Fermenter-Nutzvolumina möglich. Abbildung 32 zeigt die benötigten Volumina für die gewählten hydraulischen Verweilzeiten von 20 Tagen im Rührkessel-Fermenter (rot) und von 10 Tagen im Festbett-Reaktor (orange) für die 9 untersuchten Betriebe.

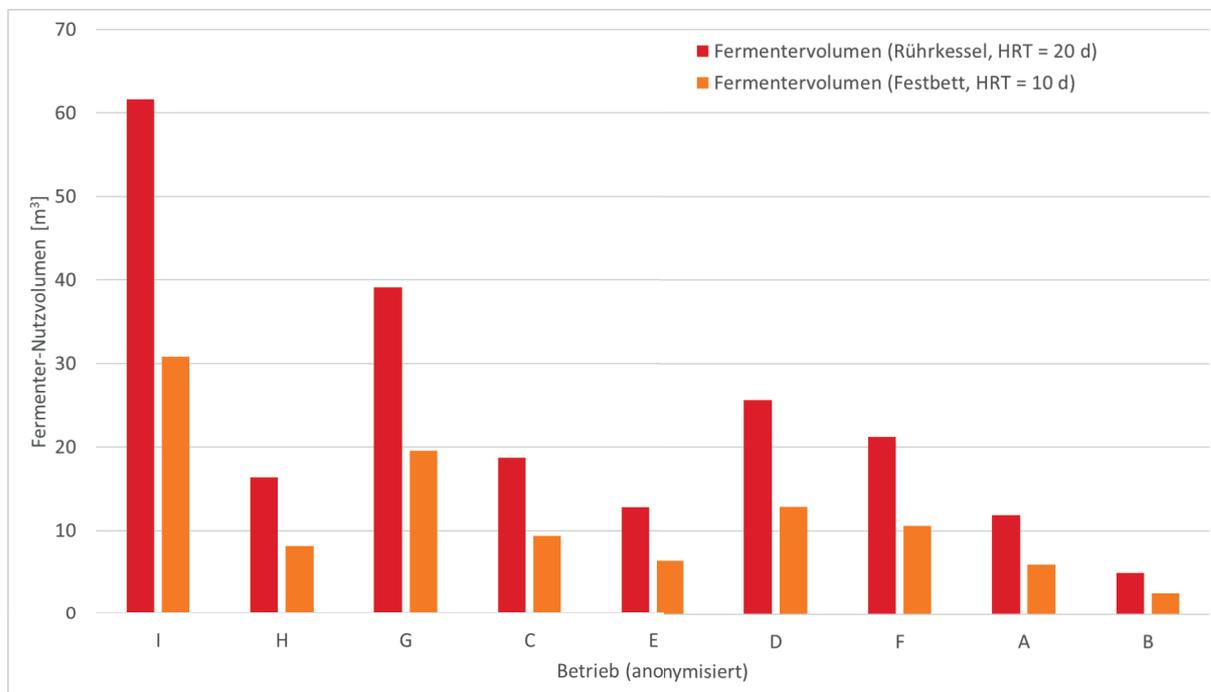


Abbildung 32: Mögliche Bereitstellung von Heiz- und Warmwasserenergie oder Treibstoff pro Betrieb

- ➔ Im Rahmen dieses Vorprojekts konnten in der Region Safiental die Daten von 9 Landwirtschaftsbetrieben eruiert und hinsichtlich ihres Biogaspotenzials analysiert werden. Damit konnte vorerst etwa ein Zehntel des nachhaltigen, nutzbaren Potenzials der Gemeinde greifbar gemacht werden.
- ➔ Die Dimensionierung des NETZ-Konzepts liefert für die Region Safiental realistische, für die Herstellung und Nutzung erneuerbarer Energiequellen aus Hofdünger geringe Grössenordnungen:
 - Das verfügbare, nutzbare Potenzial aus landwirtschaftlichen Feststoffen der Region Valendas, Safiental entspricht der Grössenordnung einer vergleichsweise sehr kleinen, landwirtschaftlichen Biogasanlage. Die Produktion von Biogas alleine aus den Mistanteilen könnte Ökostrom zur Versorgung von etwa 37 4-Personenhaushalten liefern und den Heiz- und Warmwasserbedarf mit erneuerbarer Wärme von etwa 11 Einfamilienhäusern decken.
 - Die hofseitig produzierte Biogasenergie würde mit durchschnittlich 3'400 Watt und einer Schwankungsbreite von 500-7'100 Watt in einer interessanten Grössenordnung für eine hofinterne Deckung des energetischen Eigenbedarfs liegen. Damit könnte beispielsweise durchschnittlich der Heiz- und Warmwasserbedarf von etwa 9 Personen oder der Treibstoffverbrauch von 3 Personenwagen gedeckt werden.
 - Das durchschnittlich benötigte Fermentervolumen von je nach Anlagentyp ca. 12-24 m³ sowie auch das entsprechende, benötigte Biogasspeichervolumen für z.B.



24 Stunden in der Grössenordnung von 14 m³ würde sich ideal für eine standardisierte, containerisierte, modulare Biogasanlage anbieten.

5.2.9 Wirtschaftlichkeit

Die Ausgangslage im Safiental sieht eine erste Anlage in Valendas vor (Abbildung 33). Hier sind aktuell die Bedingungen am besten. Es befinden sich mehrere Betriebe im Dorf und könnten durch eine Gülleleitung angebunden werden. Bei der Anlage handelt es sich um eine Kleinanlage in Containerbauweise, die unkompliziert aufgestellt werden kann, da sie im Gegensatz zu festen Anlagen weniger administrative Gesuche durchlaufen muss. Die Bauern haben ihre Tiere im Sommer auf der Alp, sind im Winter aber auf ausreichend Lagerkapazität angewiesen. Eine Kombination aus gemeinschaftlichem Güllelager und der Biogasanlage wäre ideal. Wenn die Tiere im Winter in den Ställen sind, brauchen sie ausreichend Einstreu. Das Stroh muss aktuell vom Unterland oder gar Ausland importiert werden. Durch die Separierung könnten die eigenen Feststoffe wieder als Einstreu genutzt werden und somit den Stroheinkauf substituieren. Die Trocknung der Feststoffe kann via Biogas sichergestellt werden. Der Gülleertrag liegt nach diesen Annahmen bei 4'000 m³/J.

Im Kanton Graubünden werden 60 % der Investitionskosten übernommen. Zusätzliche noch nicht gerechnete Benefits könnten CO₂-Gutschriften sein, da sowohl die Strohtransporte als auch die Wärmeproduktion klimaneutral erfolgen. Die folgende Rechnung basiert auf den Originalangaben des Anlagenvertriebers. Zu diskutieren wäre die hohe Abschreibungsdauer. I.d.R. können sonst nur bauliche Massnahmen über einen so langen Zeitraum abgeschrieben werden. Da aktuell für diese Hochleistungsanlagen keine langfristigen Erfahrungswerte bestehen, wird diese Variante als ein mögliches **Szenario 1** betrachtet.

Zur Abschätzung möglicher Risiken und um einige Sensitivitäten aufzuzeigen, wurden verschiedene Szenarien für den gleichen Anlagentyp gerechnet.

Szenario 2 geht von höheren Betriebskosten und höheren Abschreibungen aus und erreicht ein ausgeglichenes Betriebsergebnis - die sich ergebende Abschreibungsdauer liegt dann bei rund 26 Jahren.

Szenario 3 basiert auf einer Abschreibung von 40 % der Investitionskosten und verzichtet auf die Berechnung der Einstreutrocknung.

Szenario 4 sieht eine Anlage ohne Gülleleitungen vor (stand alone). Es wird nur Wärme produziert, die auf dem eigenen Betrieb genutzt wird oder verkauft werden kann.

Weitere analoge Anlagen wären in der restlichen Talschaft möglich. Von der Akzeptanz her scheint es jedoch wichtig, eine erste Anlage als Pilot (Leuchtturmeffekt) zu installieren.



Szenario 1: Hochleistungsanlage (Düngüllevergärung in Containerbauweise) FLEXBIO mit einer Verarbeitungskapazität von 4'000 m³/J. Zusätzlich wird die Gülleleitung und die Lagerung von 2'000 m³ einbezogen. Die Anlage produziert neben Strom Abwärme, die zur Trocknung der Feststoffe eingesetzt wird. 60 % der Investitionskosten werden vom Kanton GR übernommen (Daten nach A. Mehli) (Tabelle 11).

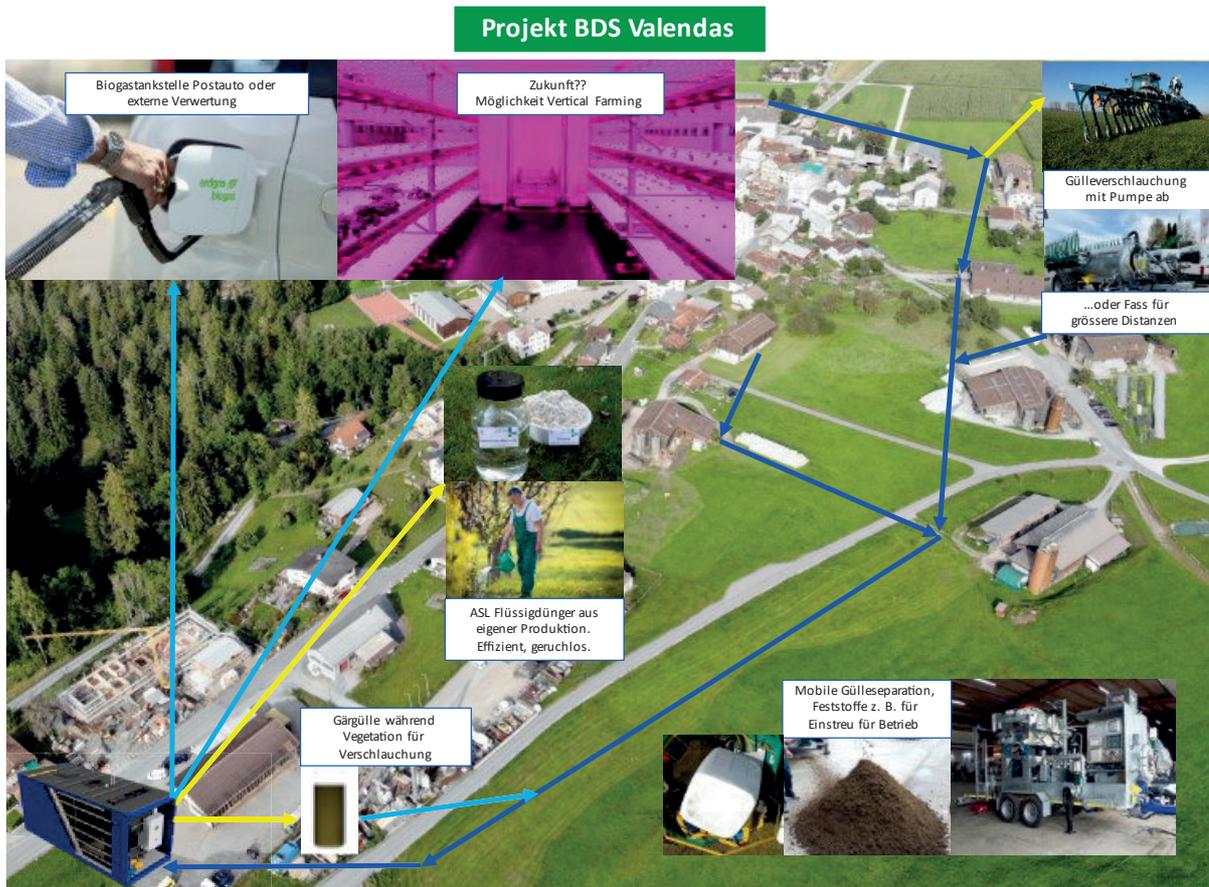


Abbildung 33: Situationsplan Safiental



Tabelle 11: Investitionsrechnung Safiental - Szenario 1 (Datenbasis Andreas Mehli)

Investition				
Biogas Anlage	469'625	CHF		
Bodenleitungen mit Pumpe	200'000	CHF		
Güllekasten 2'000 m3	500'000	CHF		
Projektkosten und Montage	279'480	CHF		
Reserve	100'000	CHF		
Summe	1'549'105	CHF		

Ertrag				
Güleeertrag jährlich	4'000	m3		
Gasertrag jährlich	48'000	m3	12	Nm3 / m3 Gülle
Energieertrag total	288'000	kWh	6	kWh / Nm3 Gas
Eigenbedarf Energie (Heizung Anlage)	28'000	kWh	7	kWh / Nm3 Dünngülle
Ertrag Wärme aus BHKW	143'000	kWh	55	% Wirkungsgrad
Ertrag Strom aus BHKW	78'000	kWh	30	% Wirkungsgrad

Einnahmen				
Eigenbedarf Strom	43'800	kWh		
Einsparungen Eigenbedarf Strom	0	CHF	0.25	/kWh
Einsparungen Stroh für Einstreu	25'000	CHF		100 T. x 250.-
Verkauf Strom Markt+Zulage	8'892	CHF	0.260 0	/kWh
Einnahmen	33'892	CHF		

Ausgaben				
Personalaufwand	5'000	CHF		1/2 Std/Tag x 27.-Fr.
Unterhalt der Anlage	7'500	CHF		pro Jahr
Marketingmassnahmen	500	CHF		pro Jahr
Ausgaben	13'000	CHF		

Wirtschaftlichkeit



Investition	1'549'105	CHF		
Bund/Kanton	929'463	CHF	60	%
		CHF	0	% vom Restbetrag
Eigenkapital	619'642	CHF		
Überschuss (EBITDA)	20'892	CHF		
Return of Invest (ROI)	30	Jahre		

→ Die Abschreibung der Anlage auf 30 Jahre setzt die Annahme einer sehr hohen Lebensdauer der Anlagenkomponenten voraus.

Szenario 2: Höhere Betriebskosten mit Abschreibungen auf 40 % des Investitionsbedarfs und einem ausgeglichenen Betriebsergebnis (26 Jahre) (Tabelle 12).

Tabelle 12: Investitionsrechnung Safiental (Datenbasis: Höhere Betriebskosten)

Investition				
Biogas Anlage	469'625	CHF		
Bodenleitungen mit Pumpe	200'000	CHF		
Güllekasten 2'000 m ³	500'000	CHF		
Projektkosten und Montage	279'480	CHF		
Reserve	100'000	CHF		
Summe	1'549'105	CHF		

Ertrag				
Gülleertrag jährlich	4'000	m ³		
Gasertrag jährlich	48'000	m ³	12	Nm ³ / m ³ Gülle
Personalaufwand	288'000	kWh	6	kWh / Nm ³ Gas
Eigenbedarf Energie (Heizung Anlage)	28'000	kWh	7	kWh / Nm ³ Dünngülle
Ertrag Wärme aus BHKW	143'000	kWh	55	% Wirkungsgrad
Ertrag Strom aus BHKW	78'000	kWh	30	% Wirkungsgrad



Einnahmen				
Eigenbedarf Strom	43'800	kWh		
Einsparungen Eigenbedarf Strom	0	CHF	0.25	/kWh
Einsparungen Stroh für Einstreu	25'000	CHF		100 T. x 250.-
Verkauf Strom Markt+Zulage	8'892	CHF	0.260 0	/kWh
Einnahmen	33'892	CHF		

Ausgaben				
Personalaufwand	5'000	CHF		1/2 Std/Tag x 27.-Fr.
Unterhalt der Anlage	7'500	CHF		pro Jahr
Marketingmassnahmen	500	CHF		pro Jahr
Abschreibungen	20'655	CHF		40 % d. Inv.
Ausgaben	33'655	CHF		

Wirtschaftlichkeit				
Investition	1'549'105	CHF		
Bund/Kanton	929'463	CHF	60	%
		CHF	0	% vom Restbetrag
Eigenkapital	619'642	CHF		
Überschuss (EBITDA)	237	CHF		
Return of Invest (ROI)	kein ROI	Jahre		

→ Das Szenario 2 zeigt im Vergleich zu Szenario 1 auf wie schnell sich die Anlage amortisieren lässt (rund 26 Jahre). Der potenzielle Käufer wird dieses Ergebnis allenfalls mit alternativen Investitionen vergleichen



Szenario 3: Einstreu-Produktion und Wärmeverkauf, höhere Betriebskosten mit Abschreibungen auf 40% des Investitionsbedarfs auf 20 Jahre (Tabelle 13)

Tabelle 13: Investitionsrechnung Safiental (Abschreibung auf 20 Jahre)

Investition				
Biogas Anlage	469'625	CHF		
Bodenleitungen mit Pumpe	200'000	CHF		
Güllekasten 2'000 m3	500'000	CHF		
Projektkosten und Montage	279'480	CHF		
Reserve	100'000	CHF		
Summe	1'549'105	CHF		

Ertrag				
Güleeertrag jährlich	4'000	m3		
Gasertrag jährlich	48'000	m3	12	Nm3 / m3 Gülle
Energieertrag total	288'000	kWh	6	kWh / Nm3 Gas
Eigenbedarf Energie (Heizung Anlage)	28'000	kWh	7	kWh / Nm3 Dünngülle
Ertrag Wärme aus BHKW	143'000	kWh	55	% Wirkungsgrad
Ertrag Strom aus BHKW	78'000	kWh	30	% Wirkungsgrad

Einnahmen				
Eigenbedarf Strom	43'800	kWh		
Einsparungen Eigenbedarf Strom	0	CHF	0.25	/kWh
Einsparungen Stroh für Einstreu	25'000	CHF		100 T. x 250.-
Wärmeverkauf	10'010		0.07	kWh
Verkauf Strom Markt+Zulage	8'892	CHF	0.260	0 /kWh
Einnahmen	43'902	CHF		



Ausgaben				
Personalaufwand	10'000	CHF		½ Std/Tag x 27.-Fr.
Unterhalt der Anlage	10'000	CHF		pro Jahr
Abschreibungen	23'901	CHF		40 % d. Inv.
Ausgaben	43'901	CHF		

Wirtschaftlichkeit				
Investition	1'549'105	CHF		
Bund/Kanton	929'463	CHF	60	%
		CHF	0	% vom Restbetrag
Eigenkapital	619'642	CHF		
Überschuss (EBITDA)	1	CHF		
Return of Invest (ROI)	kein ROI	Jahre		

→ Durch die Annahme eines zusätzlichen Wärmeverkaufs kann die Anlage in 20 Jahren amortisiert werden. Ob die Einnahmen tatsächlich realisiert werden können, ist nicht garantiert. Die Amortisationsdauer ist aber realistischer als bei den vorherigen Szenarien 1 & 2.

Szenario 4: Ohne Einstreu-Produktion, ohne BHKW, ohne Separator. Geringere Betriebskosten mit Abschreibungen auf 40% des Investitionsbedarfs auf 30 Jahre (Tabelle 14).

Tabelle 14: Investitionsrechnung Safiental (Abschreibung 30 Jahre ohne Separation)

Investition				
Biogas Anlage	469'625	CHF		
Bodenleitungen mit Pumpe	200'000	CHF		
Güllekasten 2'000 m ³	500'000	CHF		
Projektkosten und Montage	279'480	CHF		
Reserve	100'000	CHF		
Summe	1'549'105	CHF		



Ertrag				
Gülleertrag jährlich	4'000	m3		
Gasertrag jährlich	48'000	m3	12	Nm3 / m3 Gülle
Energiertrag total	288'000	kWh	6	kWh / Nm3 Gas
Eigenbedarf Energie (Heizung Anlage)	28'000	kWh	7	kWh / Nm3 Dünggülle
Ertrag Wärme aus BHKW	143'000	kWh	55	% Wirkungsgrad
Ertrag Strom aus BHKW	78'000	kWh	30	% Wirkungsgrad

Einnahmen				
Eigenbedarf Strom	43'800	kWh		
Einsparungen Eigenbedarf Strom	0	CHF	0.25	/kWh
Einsparungen Stroh für Einstreu	0	CHF		100 T. x 250.-
Wärmeverkauf	10'010		0.07	kWh
Verkauf Strom Markt+Zulage	8'892	CHF	0.260 0	/kWh
Einnahmen	18'902	CHF		

Ausgaben				
Personalaufwand	10'000	CHF		1/2 Std/Tag x 27.-Fr.
Unterhalt der Anlage	10'000	CHF		pro Jahr
Abschreibungen	30'982	CHF		40 % d. Inv.
Ausgaben	50'982	CHF		

Wirtschaftlichkeit				
Investition	1'549'105	CHF		
Bund/Kanton	929'463	CHF	60	%
		CHF	0	% vom Restbetrag
Eigenkapital	619'642	CHF		
Überschuss (EBITDA)	-32'080	CHF		
Return of Invest (ROI)	kein ROI	Jahre		



- **Wird nur Gas zu Heizzwecken produziert, können zu wenig Einnahmen generiert werden. Die Anlage ist nicht amortisierbar. Bei einem Wärmepreis von Fr. 0.20/kWhth könnte abzüglich des Eigenverbrauchs und den verbleibenden 260'000 kWh die Anlage theoretisch amortisiert werden.**

Bei allen Berechnungen wird mit einer Bezuschussung von 60 % der Investitionskosten (analog der Ausgangslage im Kanton GR) ausgegangen. Ohne eine Bezuschussung bei den Investitionskosten kann kein wirtschaftlicher Betrieb nur mit Gülle und mit den Produkten Strom und Wärme erreicht werden. Es braucht daher Koppel- oder Zusatzprodukte, die sich besser vermarkten lassen.

In Safiental als auch in der Region Waldkirch wären verschiedene Ideen denkbar, die jedoch nicht in der Praxis getestet wurden (Vorstudie):

- Bereitstellung von Netzsystemdienstleistungen z.B. Power to Gas-Technologien oder Flexibilisierung
- Brennstoff bzw. Gasverkauf und Transport in Niederdruckbehältern zu entsprechenden Abnehmern wie Hoteliers, Käsereien, Private. Sie können damit eine klimaneutrale Produktion bereitstellen und allfällige CO₂-Abgaben umgehen.
- Der Handel mit CO₂-Zertifikaten
- Regionale Unterstützung der Anlage, um eine klimaneutrale Ferienregion zu sein.
- Autonomie einer Region, die unabhängig von nicht erneuerbaren, ausländischen Energieträgern sein möchte.
- Treibstoffproduktion für die Region
- Synergien nutzen aus besserer Düngereffizienz, Verminderung von Ammoniakemissionen durch bessere Lagerkapazitäten → erfordert eine regionale konzertierte Zusammenarbeit von Landwirtschaft, Energie und Naturschutz (Landschaftsentwicklungskonzepte) in einer Region.
- Anteil der Kurtaxe als Betriebszuschuss für die Gewährleistung einer klimaneutralen, energieautonomen Ferienregion
- Warmwasser mobil
- Gasflaschen für den Camping- oder Privatbedarf
- Nährstoffproduktion (Gemüsedünger, Gartendünger)
- Grüngutverwertung
- Trocknung (Obst, Feststoffe, Industrie)
- Kühlung durch Nutzung des Wärmeüberschusses (z.B. für Lagerung)

- **Unter den Annahmen von Szenario 1 mit sehr langer Abschreibung und vollständiger Nutzung von Strom und Wärme könnte die Anlage wirtschaftlich betrieben werden. Das Risiko sollte daher breit abgestützt werden.**



5.2.10 Stand der Umsetzung

Die Gemeinde Safiental entstand 2013 aus den ehemaligen Gemeinden Safien, Tenna, Valendas und Versam. Sie ist Teil des Naturpark Beverin, dünn besiedelt (ca. 900 Einwohner auf rund 150 km²) und mit rund 70 Landwirtschaftsbetrieben stark landwirtschaftlich geprägt. Im 14. Jahrhundert wurde das Safiental von Walsern besiedelt und das Siedlungsmuster und die einzelnen Gebäude sind noch heute von deren Art der Landwirtschaft geprägt. Der Schwerpunkt der Landwirtschaft liegt in der Rinderhaltung. Ein laufendes Projekt zur regionalen Entwicklung (PRE) soll einen Betrag leisten zur weiteren Diversifizierung der Landwirtschaftsbetriebe.

Potenzial

Als Standort für eine Anlage zur Vergärung von Gülle wird der Standort Valendas favorisiert, weil sich dort auf engem Raum eine hohe Anzahl von Landwirtschaftsbetrieben befindet. Der Geschäftsführer der Gregio AG, Andreas Mehli und Adrian Steiner, Projektentwickler Safiental beim Naturpark Beverin, haben im März 2021 die neun dort ansässigen und grundsätzlich an einem Projekt zur Biogasgewinnung interessierten Landwirte besucht, um die Verhältnisse und Bedürfnisse der verschiedenen Betriebe aufzunehmen. Dabei wurde festgestellt, dass die Betriebe zusammen rund 210 Hektaren Land bewirtschaften und dabei auf den Betrieben zusammen jährlich knapp 4'000 m³ Gülle sowie rund 1'200 m³ Mist anfallen. Weil sämtliche Tiere gesömmert werden, entsteht während der Sömmerszeit auf den Höfen keine Gülle.

Ökologie

Die neun Betriebe sind Teil des eng bebauten Dorfs Valendas. Eine Anlage in unmittelbarer Nähe der Höfe wird deshalb nur zu realisieren sein, wenn die Geruch-, Lärm- oder anderweitige Emissionen minimiert werden können.

Nährstoffmanagement

Die Mehrheit der betrachteten neun Betriebe produziert weniger Dünger, als gebraucht werden könnte. Eine Vermischung der Gülle der verschiedenen Betriebe wird nicht grundsätzlich abgelehnt. Es wäre also möglich, die Gülle der Betriebe (ev. gar mittels Leitungen) zusammen zu führen und eine gemeinsame Biogasanlage zu betreiben. Gülle von weiteren Betrieben könnte zugeführt und wieder abgeholt oder bis zu einer gewissen Masse von den betrachteten Betrieben genutzt werden.

Rechtliche und Politische Situation

Die Gemeinde Safiental und der Naturpark Beverin unterstützen die Idee einer Biogasanlage im Rahmen ihrer Möglichkeiten. Sie sind Träger des Projektes zur regionalen Entwicklung (PRE) Safiental, welches mit dem Teilprojekt «Agrarenergie» in Koordination mit dem Projekt NETZ die Realisierung einer wirtschaftlich betreibbaren Anlage zur Vergärung von Gülle anstrebt.

Soziale Strukturen und Netzwerk

Ende November hat im Rahmen des PRE Safiental ein Anlass mit den beteiligten Landwirten, der Gregio AG sowie Vertretern des Projekts NETZ stattgefunden, an welchem der Entwurf für die möglichen Anlagen und Stoffflüsse diskutiert und das weitere Vorgehen besprochen wurde.

Technik und Dimensionierung

Die aktuelle Diskussionsgrundlage für mögliche Anlagen und Stoffflüsse sieht folgendermassen aus (Abbildung 34):

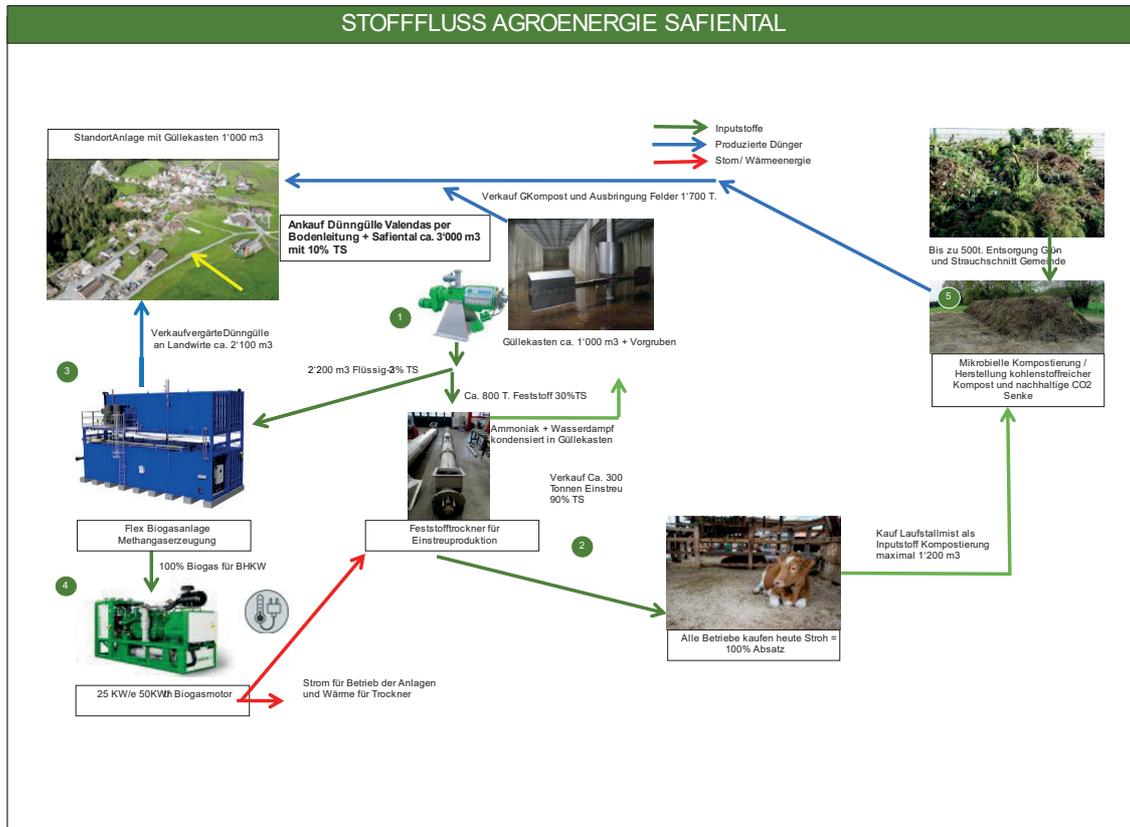


Abbildung 34: Stoffflussschema Safiental

Folgende Elemente zeichnen die geplante Anlage im Safiental aus:

Güllekasten und Separator (Abbildung 35):

- Standort Güllekasten ca. 1'000 m³ und eine Vorgrube mit 100 oder 20 m³
- Geprüft wird ob Bodenleitungen zwischen den Betrieben zweckmässig sind
- Die Gülleleitungen sollen auch als Verteilsystem zur Ausbringung der Gärgülle verwendet werden um Transportkosten zu verringern
- Die Gülle aus den Stallungen muss möglichst frisch sein, deshalb wird eine kleine Vorgrube installiert aus der die Gülle frisch entnommen werden kann.
- Im Sommer erfolgt eine Drosselung des Inputs auf ca. 25 % wegen der Alpeng
- Die Leistung des Separators beträgt 3'000 m³ Vollgülle im Jahr



Abbildung 35: Separator (links), Puffersilo (rechts)

Trockner für Feststoffe / Einstreuproduktion (Abbildung 36)

- Die Güllefeststoffe werden mittels einer Trocknungsschnecke und der Abwärme des BHKW getrocknet, hygienisiert und evtl. zu Pellets gepresst.
- Die Einstreuprodukte substituieren Strohimport und dadurch Transporte und Lagerraum.
- Das anfallende Ammoniak wird zusammen mit dem Wasserdampf kondensiert und in den Güllelecken geleitet. Dies verringert Stickstoffemissionen und verbessert die Düngewirkung der Gärgülle.



Abbildung 36: Trocknungsschnecke (links) und Pellets aus Feststoff (rechts)

Gregio-Flexbio Hofbiogasanlage (Abbildung 37)

- Die Containeranlage wurde 2021 über 7 Monate mit Frischgülle betrieben
- Aufgrund der Verwendung von ausschließlich frischer Gülle ab Stall konnten 40-60 % mehr Biogas erzeugt werden als in der Fachliteratur beschrieben.



- 150 m³ Rohgasproduktion am Tag mit 70 % Methananteil.



Abbildung 37: 40 Fuss Festbettfermenter-Biogasanlage für die Verwertung von Dünggülle.

Biogas BHKW / neue Förderungen im Bereich Biomasse (Abbildung 38Abbildung 37)

- Ab 2023 sind neue Förderungen von maximal 60 % der Investitionssumme für Biogas- und Holzgasanlagen geplant.
- Zusätzlich soll es eine Vergütung je kW/h erzeugten Stroms geben
- Weiter werden Methanemissionsminderungsbeiträge in Aussicht gestellt
- Die Wärme des BHKW soll zum Betrieb des Fermenters und zur Produktion von Einstreu verwendet werden.



Abbildung 38: Blockheizkraftwerk mit einer Leistung von 105 kW = 25 kW_{el.}, 50 kW_{th.}

Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeitsprüfung hat noch zu erfolgen. Von wesentlicher Bedeutung wird dabei die Umsetzung der im März 2022 in die Vernehmlassung geschickten Investitions- und Betriebskostenbeiträge für Biogasanlagen sein.

Vorteile des Projekts im Safiental (Abbildung 37)

- Mehr Lagerkapazitäten für Gülle
- Homogenere, separierte Gülle mit besserer Wirkung, optimal für Schleppschlauch
- Mehr Lagerkapazitäten für Mist
- Bessere Humusbildung mit dem Kompost
- Förderung Kreislaufwirtschaft (Einstreu)
- Beitrag zum Klimaschutz / proaktive Landwirtschaft
- Kostenreduktion durch Zusammenarbeit
- Einsparung von Einstreu / Kreislaufwirtschaft
- Erfreuliches Zusatzeinkommen
- Schaffung und Erhaltung von Arbeitsplätzen



6 Schlussfolgerungen und Handlungsbedarf

Während der Laufzeit des Vorprojekts NETZ wurde noch kein Anlagenkonzept umgesetzt. Aus diesem Grund kann zum Projektabschluss nicht fundiert festgehalten werden, dass dadurch landwirtschaftliche Kooperationsformen und funktionierende Betreibermodelle tatsächlich gefördert werden. In Gesprächen in den Modellregionen mit Projektentwicklern und Landwirten hat sich gezeigt, dass generell Kooperationsbereitschaft und ein hohes Interesse an der Nutzung von Biomasse mittels Biogaserzeugung besteht.

Die theoretische Betrachtung und Gespräche mit Akteuren hat gezeigt, dass durch den Einsatz von effizienten und standardisierten NETZ-Technologien geruchs- und klimarelevante Emissionen und Bewirtschaftungskosten tief gehalten werden, der Nährstoffeinsatz mittels Wirtschaftsdüngern und die Energieproduktion bedarfsgerecht und nachhaltig umgesetzt werden können. Eine erste Umsetzung der NETZ-Projektidee muss diese positiven Effekte unter realen Bedingungen unbedingt bestätigen.

Die im Grundkonzept festgelegten Parameter können die folgt bewertet werden:

Geografische Festlegung

Die geographische Festlegung über die Gemeindeebene hat sich als sehr guter Zugangspunkt in diesem Vorprojekt erwiesen. Zur Umsetzung des NETZ-Konzeptes dürfen die Gemeindegrenzen nicht als starre Strukturen angesehen werden. In beiden Projektregionen zeigte sich, dass ein NETZ auf Gemeindeebene von den Grössenordnungen her zur Nutzung des verfügbaren Hofdüngerpotenzials ideal ist. Es bleibt zu prüfen, ob diese geographische Festlegung auch für weitere Regionen in der Schweiz und im Ausland analog gilt.

Definition der Substrate

Die Potenzialerhebung in den Projektregionen zeigte, dass das grösste Potenzial beim Hofdünger liegt. Landwirtschaftliche Nebenprodukte sind dort nur in geringem Masse verfügbar. Dies führt dazu, dass reine Hofdüngeranlagen eine vergleichsweise hohe Vergütung für die erzeugte Energie und/oder zusätzliche Erträge (Co-Benefits) erhalten müssen. Die Option der Co-Vergärung mit Abfallstoffen ist jedoch ebenfalls möglich und würde die Wirtschaftlichkeit verbessern. In beiden Projektregionen konnte ein gewisses, ungenutztes Potenzial an Co-Substraten ermittelt werden.

Festlegung der Verfahren und Prozesse

Die Gespräche in den Regionen zeigte eine generelle Akzeptanz für die Separationstechnik als technisches Bindeglied zwischen den beiden Anlagentypen. Im Rahmen des Vorprojekts konnte nicht demonstriert werden, ob eine zentrale Organisation der Logistik gut frequentiert, kostengünstig und flexibel umgesetzt werden kann. Dies muss in zukünftigen Demonstrationsprojekten verifiziert werden.

Nutzung bestehender Strukturen

In den Projektregionen Waldkirch und Safiental wurde die Nutzung bestehender Strukturen in der Landwirtschaftszone bezüglich den möglichen Anlagenstandorten positiv bewertet. Sofern es Standorte auf Gemeindeebene gibt (z.B. ARA, Kompostierplätze oder bereits bestehende Biogasanlagen) kann es auch dort Synergien für die Regionalanlage geben. Die Recherchen in den Projektregionen zeigten aber, dass eine Standortwahl zum Teil, nicht zuletzt aufgrund der Zonenkonformität, ausserordentlich schwierig ist. Die Strukturen der Landwirtschaftsbetriebe stehen für das Grundkonzept NETZ im peripheren Zentrum, müssen aber bei einer Umsetzung individuell und im Detail geprüft und bewertet werden.



Der Ansatz der Separierung von Hofdünger erlaubt diese energetisch und nährstoffseitig effizienter zu nutzen. Insbesondere separierte Güllefeststoffe und Mist können wirtschaftlicher transportiert werden und erlauben dadurch eine bessere Energieausbeute im Vergleich zur Rohgülle. Auch bei kleinstrukturierter Landwirtschaft kann das vorhandene Potenzial der Feststoffe somit besser erschlossen werden, als dies heute der Fall ist. Dies begünstigt den Bau und Betrieb eines regionalen Nährstoff- und Energietechnikzentrums. Der regionale Anlagentyp ist nach heutigem Stand am Markt technisch verfügbar.

Dass es bis heute nur sehr wenige dieser regionalen Anlagen gibt, hat unter anderem folgende Gründe:

Potenzial

Die Studien der WSL belegen ein hohes, ungenutztes Potenzial in den Regionen. Als Forschungseinrichtung haben sie beispielsweise exklusiven Zugriff auf Daten zur Verwaltung von Hof- und Recyclingdüngerverschiebungen in der Landwirtschaft (HODUFLU) sowie auf Geoinformationssysteme (GIS), welche der Allgemeinheit aus Datenschutzgründen zum Teil nicht zur Verfügung stehen. Somit kann dadurch nur ein Überblick über die Regionen gegeben werden. Die Daten werden auf einzelbetrieblicher Basis für die Dimensionierung benötigt und müssen gesondert erhoben werden. Unsere Forschungsarbeit zeigte, dass es im Detail eine aufwändige Potenzialerschließung in den Regionen braucht, um das individuelle Potenzial auf den Betrieben zu erfassen. Unsere Ansprechpartner in den Projektregionen Waldkirch und Safiental konnten trotz intensivem Austausch in ihren Regionen nur ca. 1/3 bzw. 1/10 des Potenzials erfassen. In der Praxis bedeutet dies, dass die Bereitschaft zur Beteiligung an einem NETZ nur eingeschränkt vorhanden ist und damit nur ein kleiner Teil des theoretischen Potenzials energetisch genutzt werden kann, falls keine konkreten Anreize oder Vorgaben dafür geschaffen bzw. eingeführt werden.

- **Handlungsbedarf: Um das theoretisch ermittelte Potenzial zu einem hohen Anteil in der Praxis abzurufen, braucht es eine Fachperson, welche über die landwirtschaftliche Struktur und die Abläufe in der Region Bescheid weiss und einen Zugang zu den landwirtschaftlichen Betrieben und Grüngutverarbeitern hat. Dies könnten z.B. Personen aus der landwirtschaftlichen Beratung oder bäuerlichen Organisationen sein. Auf Basis dieser einzelbetrieblichen Informationen kann mit Hilfe des im Rahmen dieses Vorprojekt erstellten Dimensionierungstools ein schneller Überblick über die Potenziale und möglichen Standorte der regionalen Anlagen in der Region gegeben werden.**

Ökologische Einflüsse

In beiden Modellregionen konnten in unseren Studien keine nennenswerten Widerstände oder Hemmnisse bezüglich der ökologischen Einflüsse festgestellt werden. In Gesprächen mit Landwirten und Kommunen wurde offensichtlich, dass die Vorteile der NETZ-Technologie in Bezug auf die Ökologie jedoch zu wenig bekannt sind. Das in den Regionen bestehende Nährstoffmanagement führt zu erheblichen Emissionen aus der Hofdüngerbewirtschaftung. Transport und Geruchsemissionen sind insbesondere in Tourismusregionen ausschlaggebende Argumente.

- **Handlungsbedarf: Die Vorteile der Separierung in Kombination mit dem Bedarf einer geringeren Lagerkapazitäten müssten den Beteiligten (Naturschutz, Anwohner, Betreiber, Entscheidungsträger) besser kommuniziert und demonstriert werden. Es könnten Win-Win-Situationen wie weniger Transporte, weniger Geruch, effizienterer Nährstoffeinsatz, weniger Überdüngung etc. generiert werden.**



Nährstoffmanagement

In den Modellregionen besteht ein historisch gewachsenes Nährstoffmanagement, welches zumeist auf Betriebsbasis umgesetzt wird und die Hofdünger zu wenig effizient einsetzt. Dies hängt einerseits an einer unzureichenden Lagerkapazität und andererseits an der wenig spezifischen Einsatzmöglichkeit der Nährstoffe im Hofdünger. Die betriebliche Au»ksstattung mit Hofdüngerlagern und Ausbringtechnik führt zu einer verringerten Bereitschaft in ein neues Nährstoffmanagement zu investieren. Durch die Separierung ergibt sich die Möglichkeit einer effizienteren Ausbringung der Gülle im Grünland (Schleppschlauchverteiler) und eine Ausweitung der Einsatzgebiete für Gülle, was eine Substitution von mineralischen Düngemitteln ermöglicht und sehr positive Eigenschaften auf die Ökologie hat. Durch den Bau einer regionalen Anlage erweitert sich die Lagerkapazität und damit stehen die Nährstoffe bedarfsge rechter für den Pflanzen- und Futterbau zur Verfügung.

- **Handlungsbedarf: Oft besteht das Dilemma möglichst bald im Jahr Hofdünger auszubringen, da die oft knappen Lagerkapazitäten zum Engpass führen können. Dieser Nachteil schlägt sich aber in keiner Wirtschaftlichkeitsrechnung nieder, da die unzeitgemässe Ausbringung ohne monetäre Folgen bleibt. Neuanlagen müssten daher zwingend das regionale Nährstoffmanagement unterstützen und entlasten. Die Wirkungsweise von Gärdünggülle muss besser kommuniziert und demonstriert werden.**

Rechtliche Situation

Die rechtliche Situation war in beiden Regionen gegeben. Die regionalen Projektpartner berichten aber, dass bei konkreter Planung der Bewilligungsverfahren folgende Hemmnisse bestehen:

- Aktuelle Zonenpläne können nicht zeitnah revidiert werden und verhindern eine optimale Standortwahl bzw. Bauen ausserhalb der Bauzone ist in den Kantonen der Modellregionen auch auf Landwirtschaftsbetrieben nicht ohne weiteres möglich.
 - Die Kenntnisse über die Bewilligungsverfahren (was braucht es alles um solch eine Anlage zu bewilligen?) ist in beiden Modellregionen sehr heterogen. Es besteht Unsicherheit bei den Verantwortlichen und dies führt zu einer starken zeitlichen Verzögerung
 - Bei Ausschöpfung aller rechtlicher Möglichkeiten kann das Bewilligungsverfahren 5-10 Jahre hinausgezögert werden was mögliche Investoren und Betreiber abschreckt.
 - Der zeitliche Horizont der Fördermöglichkeiten (Gültigkeit) stehen im Gegensatz zu den oft langen Genehmigungsverfahren. Alternative Investitionsmöglichkeiten wie z.B. PV-Anlagen oder Immobilien werden dadurch bevorzugt.
- **Handlungsbedarf: Schweizweit braucht es zukünftig transparente und einheitliche Genehmigungsverfahren für regionale und hofseitige Biogasanlagen. Die Schaffung einer Stelle, in welcher unabhängige und erfahrene Personen diese Verfahren begleiten ist notwendig. Die Genehmigungsverfahren müssen innerhalb weniger Monate geprüft und entschieden werden. Nur dadurch wird gewährleistet, dass die notwendigen Investitionen auch tatsächlich in diesem Bereich getätigt werden. Wir empfehlen für solche Genehmigungsverfahren die Schaffung von Präzedenzfällen.**



Politische Situation

In den Modellregionen wurde von politischer Seite her eine grundsätzlich positive Einstellung wahrgenommen. Bei den konkreten Planungen zeigt sich jedoch, dass mangels Erfahrung oft langwierige Abklärungen auf verschiedenen Ebenen z.B. Gemeinde oder Kanton zu erfolgen haben. Die Ziele der Energiestrategie 2050 sind in breiter Form in der Praxis nicht angekommen und es bestehen kaum lokale Umsetzungsstrategien.

- **Handlungsbedarf: Die Integration verschiedener erneuerbarer Energien auf kommunaler Stufe muss in konkreten Strategien münden. Wo es Potenzial für Biogas aus Hofdünger gibt, müssen Anreize zu deren Nutzung geschaffen werden, damit von lokaler, politischer Seite eine proaktive Unterstützung erfolgen kann.**
- **Zusätzlich braucht es vermehrte Informationen über die Themen Biogas- und Nährstoffproduktion bei den Landwirten. Dies kann über Fachzeitschriften, Fernsehberichte, Soziale Medien, Hochschulen, Bildungszentren oder Tag der offenen Türen kommuniziert werden.**

Soziale Strukturen und Netzwerke

Das soziale Gefüge in den Modellregionen ist ein entscheidender Faktor. Grundsätzlich besteht eine positive Einstellung gegenüber biomassebasierten Energieträgern. Werden die Planungen konkreter, werden die Eigeninteressen z.B. Nachbarschaftsstreitigkeiten höher gewichtet und die Ausführung wird dadurch beeinträchtigt. Es gibt derzeit in der Schweiz keine den Autoren bekannte Beispiele für eine gelungene Kooperation solcher Netzwerke für unsere NETZ-Idee, wie man es z.B. von Weide- oder Molkereigenossenschaften kennt.

- **Handlungsbedarf: Bestehende Kooperationen müssen erforscht werden, um Konzepte für eine Kooperation im erneuerbaren Energiebereich zu erarbeiten. Neue Konzepte sind umzusetzen und in der Praxis zu demonstrieren und zu verifizieren, wobei verstärkt kollaborative und co-kreative Methoden wie Reallabore / «Living Labs» zum Einsatz kommen könnten.**

Technologie und Technik

Für die regionale NETZ-Anlage können bestehende Anlagenkonzepte auf dem Markt beschafft und eingesetzt werden. Die angebotenen Vergärverfahren können die vorhandenen Substrate verwerten und sind in den notwendigen Grössenordnungen verfügbar und bewährt.

Für die im NETZ vorgesehenen kleinen, hofseitigen Biogasanlagen besteht nur ein sehr beschränktes Angebot am Markt, die dem Schweizer Standard entsprechen. Bisherige Fördersysteme berücksichtigen Kleinanlagen kaum oder gar nicht. Es bestehen demnach weder Anbieter von standardisierten Systemen noch Erfahrungen im Umgang und mit der Leistungsfähigkeit solcher Kleinanlagen. Technologie und Technik einer kleinen Flüssigvergärungsanlage sind sowohl als Rührkessel-, als auch als Festbett-Reaktoren auf dem internationalen Markt erhältlich und etabliert.

- **Handlungsbedarf: Demonstrationsbedarf besteht vor allem bei kleinen, hofseitigen Biogasanlagen. Es ist notwendig, einfache und robuste Anlagenkonzepte zu entwickeln und im Leuchtturm- bzw. Realmasstab zu betreiben und wissenschaftlich zu begleiten. Die im VP NETZ entwickelten Kriterien lassen sich dadurch mit Zahlen und Informationen praktisch belegen. Eine solche Pilotphase dient als Basis für weitere Entwicklung in der Industrie, um den Schweizer Markt der hofseitigen Biogasanlagen zu erschliessen. Dazu**



braucht es parallel verlässliche Daten, um Finanzierungsmodelle und Umsetzungskonzepte zu entwickeln.

- Technische Lösungen müssten im Detail geplant und untersucht werden. Anhand von Demonstrationsanlagen lassen sich innovative Konzepte insbesondere bei der Gasverwertung aufzeigen. So könnten z.B. im Safiental unter den dort spezifischen Bedingungen beispielsweise in Zusammenarbeit mit Tourismus-Netzwerken neue, technische Konzepte zur Biogas-Verwertung in den Bereichen Abwärme, Kälteerzeugung, Treibstoffbereitstellung, Grill-Gas in Flaschen, Trocknungsverfahren, etc. eingeführt, getestet und bewertet werden.

Dimensionierung

Im Rahmen dieses Vorprojekts wurde ein Dimensionierungstool entwickelt mit dessen Hilfe sich die NETZ-Idee basierend auf den einzelbetrieblichen Potenzialen berechnen und darstellen lässt. Es erlaubt eine optimale Kombination aus regionalen und hofseitigen Anlagen aufzuzeigen. Dieses Tool kann mühelos für die Bewertung weiterer Regionen eingesetzt werden.

Die Berechnungen zeigen, dass sich das energetische Potenzial zu nahezu 50-50 zwischen separierten und flüssigen Hofdüngern aufteilt, während etwa 90 % der Masse in der flüssigen Phase verbleibt. Der grösste Anteil der Hofdünger bleibt folglich auf den Landwirtschaftsbetrieben, worin auch ein beachtlicher Teil der Energie und Nährstoffe enthalten sind, welche vor Ort genutzt werden können. Es wurde angenommen, dass die verfügbaren Hofdünger deshalb frisch verwertet werden. Bei Verlusten durch Lagerung reduziert sich das Ertragspotenzial erheblich. Die Dimensionierung ergab, dass bei regionalen Anlagen marktgängige und auch innovative Konzepte umsetzbar sind. Bei hofseitigen Anlagen wurden die Grösseneinheiten dimensioniert, für die es derzeit in der Schweiz noch keine marktgängige, standardisierte Technologie gibt. Das energetische Potenzial im flüssigen Hofdünger ist bei einzelbetrieblicher Betrachtung in einer optimalen Grössenordnung für die Deckung von Eigenbedarf. Eine Nutzung in bekannten Kraft-Wärme-Koppelungs-Systemen zur Produktion von Strom und Wärmeenergie wird in den wenigsten Fällen zielführend sein. Für die Anlagenkonzepte der hofseitigen Biogasherstellung zur Nutzung der produzierten 10'000-200'000 kWh_{ch} pro Jahr sollen andere Nutzungsvarianten in den Fokus treten:

- Die direkte Verbrennung des Rohbiogases zur Bereitstellung von klimaneutraler Heiz- und Warmwasserenergie sowie zum Kochen. Die analysierten Betriebe in der Region Waldkirch könnten den Bedarf von durchschnittlich 21, in Safental 9 Personen bereitstellen.
 - Die direkte Nutzung des Rohbiogases zu Mobilitätszwecken z.B. für den landwirtschaftlichen Maschinenpark (Traktoren etc.) oder für Personenkraftwagen (PKWs). Die analysierten Betriebe in der Region Waldkirch könnten den Bedarf von durchschnittlich 8, in Safental 3 PKW decken.
 - Die biologische oder chemisch-physikalische Methanisierung des Kohlendioxids im Rohbiogas und die Nutzung des so produzierten Biomethans als Erdgasersatz. Mit erneuerbarem Wasserstoff aus Überschussstrom könnte zusätzlich ca. 40% Biomethan produziert werden.
- Handlungsbedarf: Die Dimensionierung im VP NETZ beruht auf Annahmen, die für hofseitige Kleinanlagen bislang nicht verifiziert sind. Dies betrifft z.B. die Lagerdauer der Rohgülle und damit die Qualität der Hofdünger oder die Verwertungsmöglichkeiten im kleinen Massstab. Über Demonstrationsanlagen muss eine verlässliche Datengrundlage



geschaffen werden, um die Dimensionierung von künftigen, hofseitigen Kleinanlagen zu optimieren. Zudem kann so der Multiplikationseffekt gefördert und unterstützt werden.

Wirtschaftlichkeit

Regionale Anlagen mit Feststoffen können z.B. auf Basis des Fördersystems Graubünden (60% Investitionszuschuss) wirtschaftlich betrieben werden, sofern das Einzugsgebiet im Radius von 5 Kilometern liegt. Bei diesem Systemansatz wird vorausgesetzt, dass Strom und Wärme komplett genutzt werden können (Trocknung der Feststoffe zur Nutzung als Einstreu). Aufgrund der langen Amortisationszeiten braucht es zwingend zusätzlichen Erträge (Co-Benefits). Diese Co-Benefit werden bislang nicht in das Bezahlssystem integriert, da es weltweit kaum relevante Beispiele dazu gibt.

Die hofseitigen Biogasanlagen können auf Basis des gleichen Fördersystems bei einer Stromvergütung von CHF 0.26 nur mit sehr langen Abschreibungsdauern (30 Jahre) knapp wirtschaftlich betrieben werden. Unsere Gespräche mit potenziellen Betreibern von Kleinanlagen zeigen deutlich, dass nur ein sehr geringes Investitionsrisiko akzeptiert wird, da die Betriebe direkt in ihrer Existenz betroffen wären. Andererseits müsste hier bei einer vertiefteren, wirtschaftlichen Betrachtung, ein anderer Blickwinkel auf die hofseitigen Anlagen geworfen werden: Als Ersatztechnologie zur Bereitstellung von Heizenergie (alternatives Heizsystem) oder zur Substitution von fossilen Kraftstoffen sind keine Ansprüche zur Wirtschaftlichkeit des entsprechenden Heizsystems oder Energieträgers zu stellen. Hier muss in einem nächsten Schritt ein Kostenvergleich einer Biogasheizung mit herkömmlichen Heizsystemen (Öl, Erdgas, Wärmepumpe, Holz etc.) gemacht bzw. für die Mobilität ein Vergleich des Biomethans mit herkömmlichen Kraftstoffen (Benzin, Erdgas, Diesel, Biodiesel, Bioethanol, Elektrizität) erarbeitet werden.

Handlungsbedarf:

- **Die Investitionsrisiken müssen für die Betreiber abschätzbar sein – idealerweise werden diese Risiken durch Interessengemeinschaften, Bund, Trägerschaften übernommen.**
- **Es braucht mehr Erfahrungswerte für Kleinanlagen (Bau von Demonstrationsanlagen), da zur Zeit zu wenig Anlagenkonzepte am Markt vorhanden sind.**
- **Allenfalls sind die Förderinstrumente dem regionalen Potential anzupassen (besterschlossenes Potenzial günstiger als schwererreichbares).**
- **Nutzungskonzepte für die vielfältigen Gasverwertungsoptionen sind zu beschreiben und zu testen (z.B. Biogasheizung, Biogasmobilität).**
- **Um zusätzliche Erträge zu generieren, müssen die positiven Effekte (Co-Benefits) der Gülle-
verwertung in Biogasanlagen besser beschrieben werden, um diese im Anschluss zu mone-
tarisieren. Diese Co-Benefits (CO₂-Einsparung, Schliessung Düngemittelkreisläufe, Emissi-
onsminderung, lokale Wertschöpfung etc.) werden bislang zwar diskutiert, sie sind aber bis-
lang nicht vollständig bekannt und erfahren derzeit keine Umsetzung in der Praxis. Die In-
tegration möglicher Co-Benefits muss zukünftig zwingend erforscht und in die Praxisanwen-
dung integriert werden.**
- **In zukünftigen Projekten sollten zusätzlich die Stromgestehungskosten auf Basis integrier-
ter Co-Benefits errechnet werden.**



7 Evaluation und Diskussion Gesamtprojekt

Die im Vorprojekt NETZ gesteckten Projektziele wurden zu einem grossen Teil erreicht. Auf Basis des entwickelten Grundkonzeptes und der Beurteilungskriterien konnten für die Projektregionen Waldkirch und Safiental Strategien und Konzepte zur Erschliessung des energetischen Potenzials von Substraten landwirtschaftlicher Herkunft, insbesondere von Hofdünger erarbeitet werden.

Mit Hilfe der Beurteilungskriterien und des Dimensionierungstools konnten die Stoffströme und die draus resultierenden Energie- und Nährstoffströme in den Projektregionen basierend auf der Separation der Vollgülle berechnet werden. Erstmals ist es nun möglich verschiedene Regionen hinsichtlich Ihres Potenzials zu beurteilen und daraus Anlagenkonzepte abzuleiten. Es zeigte sich eine Diskrepanz zwischen theoretischem Potenzial und dem durch die Projektentwickler ermittelten Potenzial in den Regionen. In der Praxis ist es demnach schwierig und aufwändig mit allen Landwirten in Verbindung zu treten. In der Projektregion Waldkirch liesse sich eine regionale Biogasanlage mit separiertem Feststoff mit derzeit am Markt verfügbarer Technik realisieren wohingegen im kleiner strukturierten Safiental nur eine Kleinanlage mit Vollgülle abgebildet werden konnte. Das energetische Potenzial in der auf den Höfen verbleibenden Dünngülle ist auf einzelbetrieblicher Basis sehr gering. Die dafür notwendigen Anlagentypen sind am Markt derzeit nur in sehr geringem Masse verfügbar und in der Praxis nicht getestet. Eine belastbare Datenbasis für diese Anlagentypen liegt nicht vor. Es zeichnet sich ab, dass zum Betrieb der hofseitigen Biogasanlagen in Zukunft bislang nicht berücksichtigte positive Effekte und/oder Systemdienstleistungen der Biogasproduktion aus Hofdüngern mit in die Betrachtungen einfließen müssen. Neben den technischen und wirtschaftlichen sind auch die weiteren Beurteilungskriterien bei der Umsetzung von entscheidender Bedeutung.

Das ambitionierte Projektziel 60 % des noch nutzbaren, verfügbaren Hofdüngerpotenzials mit Hilfe der NETZ-Idee zu realisieren ist in den gewählten Projektregionen unter den gegebenen Voraussetzungen nicht möglich. Es konnten in Waldkirch 30 % und im Safiental 10 % des theoretischen Potenzials erfasst werden. Um noch mehr Potenzial abzugreifen, braucht es demnach weitaus grössere Anstrengungen, um mit allen Landwirtschaftsbetrieben in Kontakt zu treten und sie von der Idee zu überzeugen und sich zu beteiligen.

Als zentrale zukünftige Aufgabe kann festgehalten werden, dass es gerade für die Kleinanlagen Demonstrationsprojekte zwingend braucht. Derzeit gibt es keine fundierte Datenbasis zur Verifikation der angenommenen Parameter. Demonstrationsprojekte im Praxismassstab könnten dazu beitragen diese Datenbasis zu generieren und darüber hinaus als Leuchtturm zur Wissensvermittlung zu fungieren. Die Projektgruppe empfiehlt die Unterstützung und wissenschaftliche Begleitung solcher Vorhaben in der Praxis.



8 Dissemination

Das Projekt VP NETZ wurde national und international auf verschiedenen Anlässen präsentiert:

- Januar 2019; AlpenForce Disentis, Schweiz
- Mai 2021; BfE Jahrestagung, Schweiz
- September 2021; Progress in Biogas V; Deutschland
- September 2021; Great Cycle; China
- Januar 2022; AlpenForce Disentis, Schweiz
- Juli 2022; 3rd International Scientific Conference on Ecological and Environmental Engineering, Poznan, Poland.

Die Projektinhalte wurden auf den Tagungen mit grossem Interesse wahrgenommen und zahlreiche Diskussionen sind daraus entstanden. Viele Regionen auch ausserhalb der Schweiz kennen diese Problematik und erhoffen sich aus dem Projekt VP NETZ neue Lösungsansätze. Eine Veröffentlichung in Form von wissenschaftlichen als auch Beiträgen in Fachzeitschriften steht noch aus.



Literaturverzeichnis

- Abegg, B., Fuhrer, J., Reynard, E., Sartoris, A., Marty, B., Martinoli, D., Urs, N., Pauli, D., Christoph, R., & Scheurer, T. (2012). *Lösungsansätze für die Schweiz im Konfliktfeld erneuerbare Energien und Raumnutzung*.
- Agroscope-Posieux. (1999). *Fütterungsempfehlungen und Nährwerttabellen für Wiederkäuer*.
- Allen, E., Wall, D. M., Herrmann, C., & Murphy, J. D. (2016). A detailed assessment of resource of biomethane from first, second and third generation substrates. *Renewable Energy*, 87, 656–665.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.10.060>
- BAFU. (2016). *Biogasanlagen in der Landwirtschaft—Ein Modul der Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft*.
- BFE, B. für E. (2019). *Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien—Ausgabe 2018*.
https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/news-und-medien/open-government-data.ex-turl.html/aHR0cHM6Ly9wdWJkYi5iZmUuYWRtaW4uY2gvZGUvc3VjaGU_a2V5d29yZHM9NDA0.html
- BFE, B. für E. (2020a). *Einspeisevergütung*. <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/foerderung/erneuerbare-energien/einspeiseverguetung.html>
- BFE, B. für E. (2020b). *Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien—Ausgabe 2019*.
https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/news-und-medien/open-government-data.ex-turl.html/aHR0cHM6Ly9wdWJkYi5iZmUuYWRtaW4uY2gvZGUvc3VjaGU_a2V5d29yZHM9NDA0.html
- BFS, B. für S. (2020a). *Landwirtschaftsflächen*. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/raum-umwelt/bodennutzung-bedeckung/landwirtschaftsflaechen.html>. geöffnet:
01.12.2021
- BFS, B. für S. (2020b). *Landwirtschaftsflächen*. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/raum-umwelt/bodennutzung-bedeckung/landwirtschaftsflaechen.html>. geöffnet:
10.07.2022



- BLW, B. für L. (2020a). *Agrarbericht 2019—Nutztierhalter und Nutztierbestände*. <https://www.agrarbericht.ch/de/produktion/tierische-produktion/nutztierhalter-und-nutztierbestaende>
- BLW, B. für L. (2020b). *Agrarbericht 2019—Tiere*. <https://www.agrarbericht.ch/de/betrieb/strukturen/tiere>
- BLW, B. für L. (2020c). *Ausgeglichene Düngerbilanz und Bodenuntersuchungen (DZV Art. 13)*. <https://www.blw.admin.ch/blw/de/home/instrumente/direktzahlungen/oekologischer-leistungsnachweis/ausgeglichene-duengerbilanz.html>
- Burg, V., Bowman, G., Haubensak, M., Baier, U., & Thees, O. (2018). Valorization of an untapped resource: Energy and greenhouse gas emissions benefits of converting manure to biogas through anaerobic digestion. *Resources, Conservation and Recycling*, 136, 53–62. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.04.004>
- EnergieSchweiz, P. für S., Gemeinden, Areale und Regionen. (2020). *Was ist eine Energie-Region?* https://www.local-energy.swiss/programme/energie-region/was-ist-eine-energie-region.html#
- Energiestadt. (2022). *Energiestadt*. <https://www.energiestadt.ch/de/energiestadt/energiestadt-programm-131.html#:~:text=Das%20Programm%20Energiestadt%20wurde%201991,erfolgreichsten%20energiepolitischen%20Programme%20der%20Schweiz.>
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR). (o. J.). *Faustzahlen*. <https://biogas.fnr.de/daten-und-fakten/faustzahlen/>
- GRUD. (2017). *Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (GRUD)*.
- Kaltschmitt, M., Hartmann, H., & Hofbauer, H. (Hrsg.). (2016). *Energie aus Biomasse: Grundlagen, Techniken und Verfahren* (3., aktualisierte Aufl. 2016). Springer Vieweg.
- Marquis, C., Glynn, M. A., & Davis, G. F. (2007). Community isomorphism and corporate social action. *Academy of Management Review*, 32(3), 925–945. <https://doi.org/10.5465/amr.2007.25275683>
- Marti, F. (2013). *Récolte des menues-pailles, résultats et expériences de 3 années d'essais à l'HAFL*.



- Meier, U., Hersener, J.-L., Bolli, S., & Anspach, V. (2018). „RAUS - REIN“: Feststoffe „RAUS“ aus der Gülle und „REIN“ in die Vergärung—Neuartiges Konzept zur Verbreitung der Vergärung von Hofdünger in der Schweiz. <https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=38381>
- Streit, B. (2011). *Spreu ist mehr wert, Menue paille – grande valeur*.
- Thees, O., Burg, V., Erni, M., Bowman, G., & Lemm, R. (2017). *Biomassenpotenziale der Schweiz für die energetische Nutzung*. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL.
- Tschumi, D. (2020). *Zielbild klimaneutrale Schweiz 2050* [Map]. Prognos.
- UVEK, E. D. für U., Verkehr, Energie und Kommunikation. (2020a). *Energiestrategie 2050*. <https://www.uvek.admin.ch/uvek/de/home/energie/energiestrategie-2050.html>
- Wikipedia. (2020a). *Safiental GR*. https://de.wikipedia.org/wiki/Safiental_GR
- Wikipedia. (2020b). *Waldkirch SG*. https://de.wikipedia.org/wiki/Waldkirch_SG
- Wirth, S. (2014). Communities matter: Institutional preconditions for community renewable energy. *Energy Policy*, 70, 236–246. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.03.021>