

Umwelt

Umweltwirkung von landwirtschaftlichen Gebäuden

Dunja Dux, Martina Alig und Daniel Herzog, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Tänikon, CH-8356 Ettenhausen
Auskünfte: Dunja Dux, E-Mail: dunja.dux@art.admin.ch, Tel. +41 52 368 31 31

Zusammenfassung

Ökobilanzierungen basieren auf einer Vielzahl von Datenbanken in den Bereichen Energie, Transport, Entsorgung, Chemikalien, landwirtschaftliche Prozesse und Einrichtungen. Die Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART hat die landwirtschaftsspezifischen Daten im Bereich der Gebäude erweitert. Der Vergleich von vier verschiedenen Milchviehställen zeigt, dass mit der Wahl eines Mehrgebäudelaufstalls in einfacher Konstruktionsart die Umweltwirkungen in der Inputgruppe Gebäude auf gut einen Viertel (Energiebedarf, Treibhauspotenzial) bis auf gut die Hälfte (terrestrische Ökotoxizität nach dem Centrum voor Milieukunde Leiden) eines isolierten Anbindestalls reduziert werden können. Aus den Resultaten ist ersichtlich, dass nicht nur die Materialmenge, sondern auch die Materialart einen grossen Einfluss auf die Höhe der Umweltwirkungen hat. In einzelbetrieblichen Ökobilanzen tragen die Gebäude bei drei untersuchten Betriebstypen mit Tierhaltung 11 bis 17 Prozent zur Umweltwirkung Energiebedarf bei. Somit stellen sie neben den Primärenergieträgern, und dem Futtermittel- und Tierzukauf bei Veredlungsbetrieben, eine der wichtigsten Inputgruppen dar.

Die Ökobilanz stellt eine systematische Analyse der Umweltwirkungen von Produkten respektive Prozessen während ihres gesamten Lebenswegs dar. Eine Ökobilanz besteht gemäss der ISO-Norm 14040 (ISO 2006) aus vier Phasen:

- 1. Festlegung Ziel und Untersuchungsrahmen:** Definition Produkt, Systemgrenze und produktspezifische Grösse (funktionelle Einheit)
- 2. Sachbilanz:** Zusammenstellung aller Inputs in das und Outputs aus dem System ohne Wertung
- 3. Wirkungsabschätzung:** Gewichtung der Sachbilanz in verschiedenen Umweltwirkungen
- 4. Auswertung:** Resultatanalyse und Schlussfolgerungen

Die Methode wurde ursprünglich für industrielle Prozesse definiert. In den letzten Jahren hat die Forschungsanstalt

Agroscope Reckenholz-Tänikon ART die Ökobilanzmethode SALCA (Swiss Agricultural Life Cycle Assessment) für die Anwendung in der Landwirtschaft entwickelt (Gaillard *et al.* 2008). Dabei mussten für die Sachbilanz unter anderem Datenbanken für landwirtschaftsspezifische Prozesse, Produkte und Einrichtungen definiert werden. Diese Datenbanken nennt man Ökoinventare. Allgemeine Ökoinventare stehen mit der Datenbank Ecoinvent (Ecoinvent Centre 2007) zur Verfügung.

Zur Ermittlung der Umweltwirkung landwirtschaftlicher Gebäude waren bis vor kurzem keine spezifischen Datenban-

ken verfügbar. Darum mussten in früheren Ökobilanz-Studien landwirtschaftlicher Betriebe Ökoinventare von Industriebauwerken verwendet werden. ART erstellte zur Verbesserung der Datengrundlage landwirtschaftsspezifische Ökoinventare für 63 verschiedene Gebäudetypen – vom Milchvieh-Anbindestall über die Remise bis hin zur Lagerhalle mit Kühlung.

Gebäude belasten Ökobilanz langfristig

Gebäude belasten die Umwelt massgebend über ihren ganzen Lebenszyklus, von der Ressourcengewinnung über die Herstellung der Baumaterialien, die Konstruktion und Nutzung bis zum Rückbau (Lalive d'Epinay 2000). Der Lebenszyklus eines Gebäudes kann in drei Phasen geteilt werden (Tab. 1).

Im Normalfall wird eine Lebensdauer von 50 Jahren angenommen. Eine tiefere Lebensdauer wurde Gebäuden unterstellt, die aufgrund des schnellen technischen Fortschritts oder starker Belastung deutlich früher zu ersetzen sind.

Gemäss dem Ansatz der Ecoinvent-Datenbank (Ecoinvent Center 2007), werden die Ökoinventare für Gebäude unterteilt in Infrastruktur- und Betriebs-

Tab. 1. Die drei Phasen des Lebenszyklus eines Gebäudes

Bauphase	Baumaterial, Bauarbeiten, Transporte
Nutzungsphase	Gebäudeunterhalt, Energie, Wasser, Hilfsstoffe
Entsorgungsphase	Rückbau, Transporte, Recycling, Verbrennung, Deponie

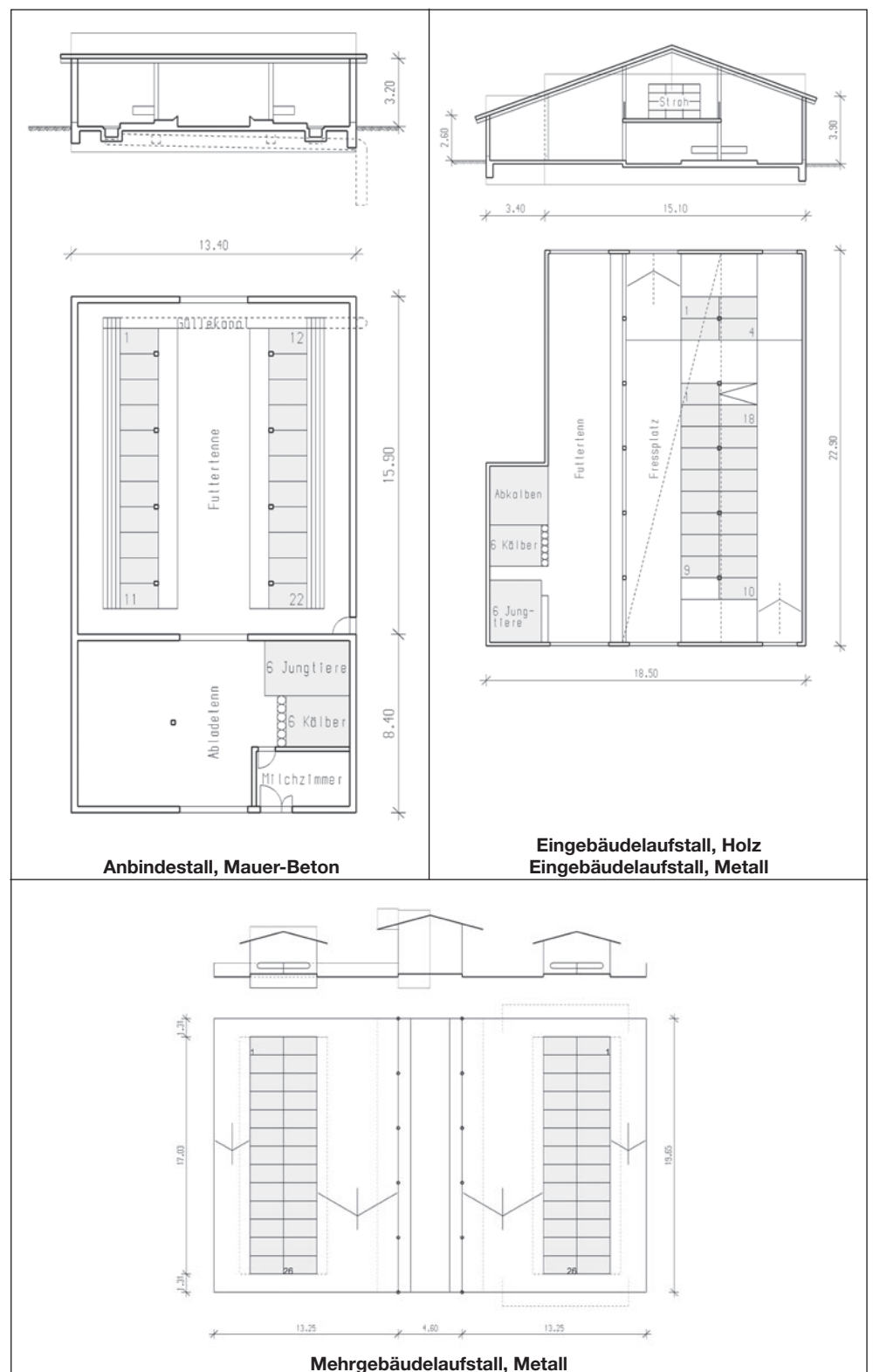
module. Das Infrastrukturmodul erstreckt sich über die gesamte Lebensdauer von der Bau- bis zur Entsorgungsphase. Berücksichtigt sind Baumaterialien, Transport, Bauarbeiten und Entsorgung bei Erstellung, Reparatur und Ersatz. Nicht enthalten ist der Energie- und Wasserbedarf zum Betrieb des Gebäudes während der Nutzungsphase.

Für ausgewählte Gebäude steht ein Betriebsmodul zur Verfügung. Es bezieht sich auf ein Jahr Betrieb des entsprechenden Gebäudes: der Verbrauch von Energie, Wasser und anderen Hilfsstoffen ist definiert. Die Gebäudehülle wird als Bruchteil des Infrastrukturmoduls entsprechend der angenommenen Lebensdauer einbezogen.

Ökoinventare: vom Bau bis zur Entsorgung

Die Berechnungen der Materialmengen für den Bau eines landwirtschaftlichen Gebäude(teil)s beruhen auf dem Preisbaukasten von Hilty *et al.* (2007), einer Bauelementsammlung für die Berechnung von Investitionen und Jahreskosten landwirtschaftlicher Betriebsgebäude. Der Preisbaukasten unterteilt die Gebäude in einzelne Elemente. Die Elemente können individuell zu einer Baulösung zusammengefügt werden.

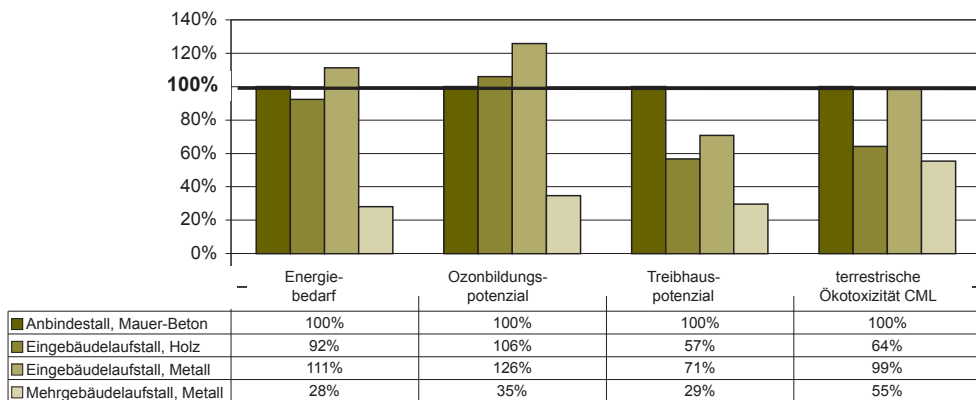
Die Baulösung definiert, welche Elemente des Preisbaukastens in welcher Menge für den gewünschten Gebäudeteil benötigt werden. Um den Materialaufwand für diesen Gebäudeteil zu berechnen, wurde die Materialmenge der einzelnen Elemente bestimmt. Mit Hilfe der Reparaturkosten und Abschreibungsdauer, die im Preisbaukasten für jedes Element definiert sind, wurde der Materialaufwand für Reparatur und Ersatz über die gesamte Lebensdauer des Gebäudes berechnet. Die Entsorgung der anfallenden Baumate-



rialien bei Reparatur und Ersatz sowie der Abbruch des gesamten Gebäudes am Ende seiner Lebensdauer wurden über den Materialverbrauch in der Bau- und Nutzungsphase festgelegt. Aufgrund der Materialart und

-mengen konnte der Transport der Baumaterialien vom Zentrallager zum Standort und der in der Bauphase benötigte Energieverbrauch (Strom, Treibstoff) abgeschätzt werden. Diese Liste der benötigten Bau-

Abb. 1. Baupläne der vier betrachteten Milchviehställe. Die beiden Eingebäudelaufställe, Holz und Metall, unterscheiden sich nur in der Materialwahl.



100%=Anbindestall, Mauer-Beton

Abb. 2. Vergleich von vier Milchviehställen bezüglich der vier relevanten Umweltwirkungen gemäss Nemecek et al. (2005). Der Anbindestall wird als Basis mit 100 % dargestellt, die andern drei Ställe als prozentuale Anteile davon. CML = Umweltwirkung berechnet nach der Methode des Centrum voor Milieukunde Leiden.

materialien, Energieträgern, Entsorgungsprozessen und Landnutzungsdaten wurde anschliessend mit der Ecoinvent-Datenbank (Ecoinvent Centre 2007) verknüpft, damit die eigentlichen Gebäudeinventare berechnet werden konnten. Die Daten sind pro funktionelle Einheit dargestellt, die je nach Gebäudetyp unterschiedlich festgelegt ist. Rindviehställe sind beispielsweise in der funktionellen Einheit Grossviehplätze (GVP) berechnet.

Umweltwirkung hängt von vielen Faktoren ab

Die Höhe der Umweltbelastung eines Gebäudes hängt von verschiedenen Faktoren ab:

- Konstruktionsart (z. B. Me-

tall-, Holz- oder Mauer-Beton-Konstruktion; Isolation)

- Bauart (geschlossene oder offene Gebäude)
- Genutzte Fläche pro funktionelle Einheit
- Einzelne Materialien: stark umweltbelastend oder in grossen Mengen verwendet

Gebäude tragen vorwiegend zu den Umweltwirkungen Energiebedarf, Ozonbildungspotenzial, Treibhauspotenzial und terrestrische Ökotoxizität gemäss dem Centrum voor Milieukunde Leiden (CML) bei.

Resultate am Beispiel von Milchviehställen

Aus der grossen Palette der erstellten Gebäudeinventare seien hier beispielhaft folgende vier

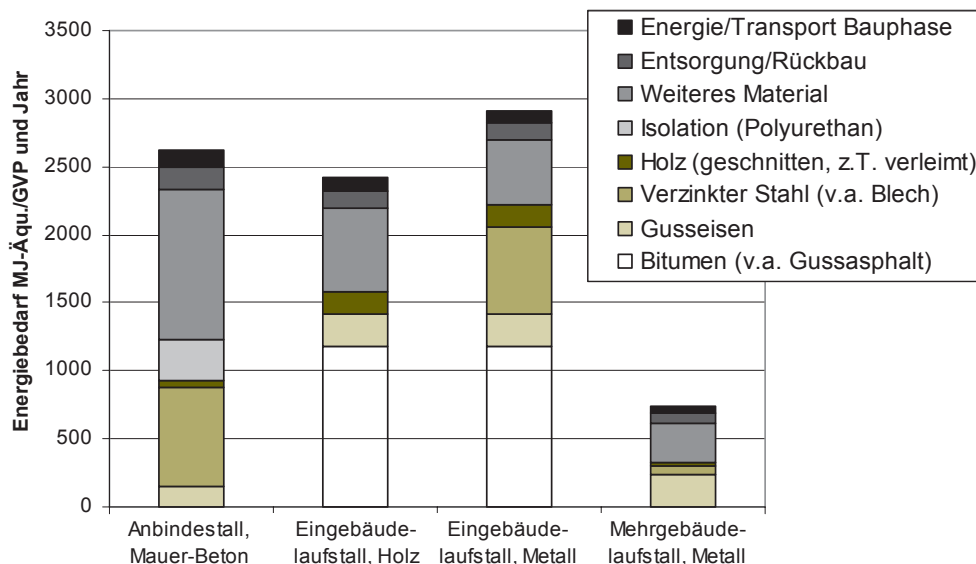
verschiedenen Milchviehställe genauer betrachtet:

- Anbindestall, Mauer-Beton-Konstruktion, isoliert (Anbindestall, Mauer-Beton)
- Eingebäudelaufstall mit Liegeboxen, Holzkonstruktion, nicht isoliert (Eingebäudelaufstall, Holz)
- Eingebäudelaufstall mit Liegeboxen, Metallhülle, Tragekonstruktion Holz, nicht isoliert (Eingebäudelaufstall, Metall)
- Mehrgebäudelaufstall mit Liegeboxen, Metallhülle, Tragekonstruktion Holz, nicht isoliert (Mehrgebäudelaufstall, Metall)

In diesen Inventaren nicht beinhaltet sind die Hofdüngerlager, Melkeinrichtungen, Futterlager sowie der Energiebedarf für den Betrieb. Die Baupläne sind in Abb. 1 dargestellt.

Abbildung 2 zeigt die für Gebäude relevanten Umweltwirkungen. Der Mehrgebäude-stall hat in allen vier Umweltwirkungen den niedrigsten Wert. Er besteht aufgrund seiner einfachen Konstruktionsweise aus zirka der halben Materialmenge der beiden Eingebäudelaufställe und ungefähr einem Viertel des Anbindestalls. Obwohl der Anbindestall etwa doppelt so viel Material bindet wie die beiden Eingebäudelaufställe, sind die Umweltwirkungen doch ähnlich hoch (92–126 % des Anbindestalls). Dies weist darauf hin, dass die Art der Materialien einen grossen Einfluss auf die Höhe der Umweltwirkungen hat. So tragen Metallhülle, wie Profilblech für Dach und Fassade beim Eingebäudelaufstall Metall und beim Anbindestall, oder Gussasphalt im Laufbereich der Eingebäudelaufställe sowie die Isolation, wie zum Beispiel Polyurethan beim Anbindestall, stark zum Energiebedarf bei (Tab. 2, Abb. 3). Einen erheblichen Anteil am Ozonbildungspoten-

Abb. 3. Aufteilung des jährlichen Energiebedarfs in MJ-Äquivalent pro Grossviehplatz (GVP) von vier Milchviehställen in verschiedene Baumaterialien, den Energieverbrauch für Bauphase und Transport sowie der Entsorgung.



Tab. 2. Der jährliche Energiebedarf in MJ-Äquivalent pro Grossviehplatz (GVP) von vier Milchviehställen (exklusiv Hofdüngerlager, Futterlager, Melkeinrichtungen und Energieverbrauch Betrieb).

Stalltyp	Anbindestall, Mauer-Beton	Eingebäude-laufstall, Holz	Eingebäude-laufstall, Metall	Mehrgebäude-laufstall, Metall
Total Energiebedarf	2625	2420	2916	736
davon Bitumen (v.a. Gussasphalt)	0	1178	1178	0
davon Gusseisen	157	244	244	234
davon verzinkter Stahl (v.a. Blech)	716	0	634	61
davon Holz (geschnitten, z.T. verleimt)	60	163	164	28
davon Isolation (Polyurethan)	296	0	0	4
davon weiteres Material	1107	614	474	285
davon Entsorgung/Rückbau	157	125	123	73
davon Energie/Transport Bauphase	132	96	99	51

Einheit: MJ-Äquivalent pro GVE und Jahr

zial bilden neben Gussasphalt, Metallkonstruktionen und Isolation auch Holzkonstruktionen und -bretter.

Mit Abstand den grössten Teil des Energiebedarfs (83–92 %) stellt das für Bau, Reparatur und Ersatz eingesetzte Baumaterial dar. Der Energieverbrauch in der Bauphase und für den Transport trägt 3,4 bis 7,0 Prozent zum Gesamtenergiebedarf bei. Die Entsorgung der Baumaterialien bei Reparatur, Ersatz und beim Rückbau des Gebäudes deckt einen Anteil von 4,2 bis 9,8 Prozent des Energiebedarfs.

Anwendung der Ökoinventare

Die neu in SALCA integrierten Ökoinventare für Gebäude konnten für die Berechnung von einzelbetrieblichen Ökobilanzen im Projekt «Zentrale Auswertung von Ökobilanzen landwirtschaftlicher Betriebe» angewendet werden. Die Analyse von 59 Betrieben zeigt, dass die Gebäude je nach Betriebstyp zwischen 11 und 17 Prozent zur Umweltwirkung «Energiebedarf» beitragen (Tab. 3). Dies ist neben den Energieträgern, und bei Veredlungsbetrieben dem Futtermittel- und Tierzukauf, einer der wichtigsten In-

putgruppen. In einer früheren Studie einzelbetrieblicher Ökobilanzen (Rossier und Gaillard 2004), in der für die Gebäude noch Industrie-Ökoinventare verwendet werden mussten, haben die Gebäude bei den Verkehrsmilchbetrieben durchschnittlich 32 Prozent des Energiebedarfs ausgemacht.

Die Stalltypen sind bei den

drei untersuchten Betriebstypen mit Milchviehhaltung wie folgt verteilt:

Verkehrsmilchbetriebe: elf Anbindeställe, sieben Eingebäude-laufställe (davon drei Betriebe mit beiden Stalltypen), keine Mehrgebäudelaufställe, 19 weitere Stalltypen

Kombiniert Verkehrsmilch/Ackerbau: fünf Anbindeställe, ein Eingebäude-

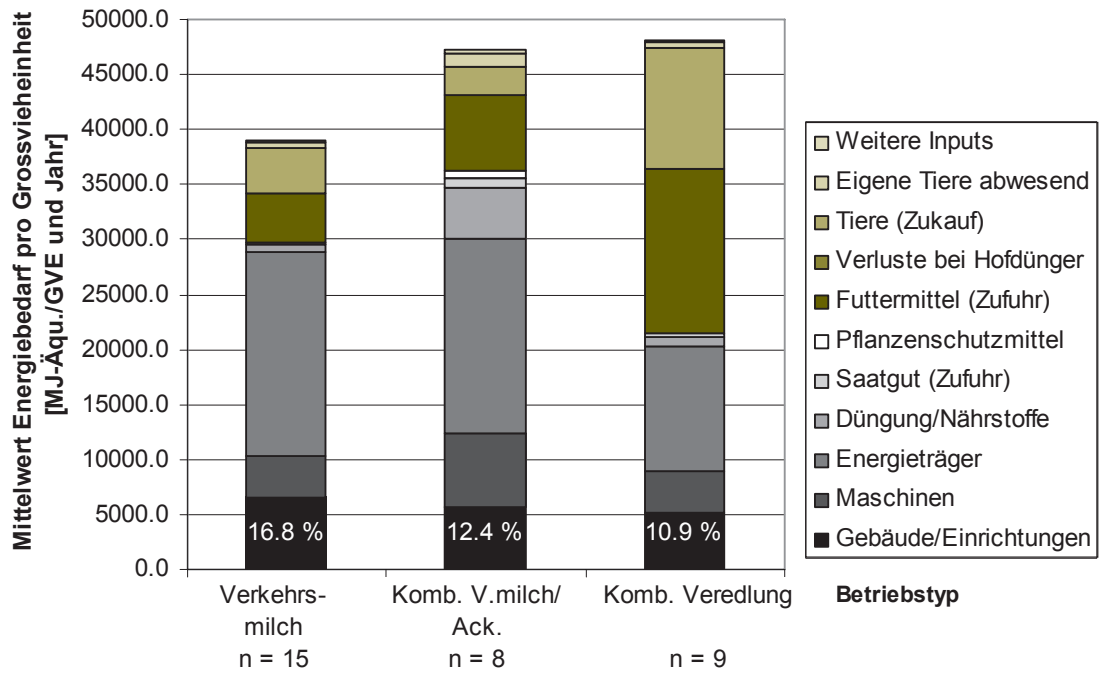
Tab. 3. Mittelwerte des Energiebedarfs in MJ-Äquivalent pro Grossvieheinheit und Jahr für drei verschiedene Betriebstypen: Verkehrsmilch, Kombiniert Verkehrsmilch/Ackerbau und Kombiniert Veredlung. Die Aufteilung in die verschiedenen Inputgruppen zeigt den Anteil der Gebäude an der gesamten Umweltwirkung.

Betriebstyp	Verkehrsmilch	Komb. V.milch/Ack.	Komb. Veredlung
Anzahl Betriebe (Stück)	15	8	9
Total Energiebedarf	39022	47200	48141
davon Gebäude/Einrichtungen	6461	5677	5210
davon Maschinen	3807	6744	3652
davon Energieträger	18542	17577	11362
davon Düngung/Nährstoffe	727	4790	937
davon Saatgut (Zufuhr)	119	765	267
davon Pflanzenschutzmittel	23	647	49
davon Futtermittel (Zufuhr)	4533	6879	15031
davon Verluste bei Hofdünger	0	0	0
davon Tiere (Zukauf)	4164	2642	10983
davon eigene Tiere abwesend	481	1238	486
davon weitere Inputs	165	241	164

Einheit: MJ-Äquivalent pro GVE und Jahr

Quelle: Betriebe der Zentralen Auswertung von Ökobilanzen

Abb. 4. Aufteilung des Energiebedarfs in MJ-Äquivalent pro Grossvieheinheit und Jahr von drei Betriebstypen auf die verschiedenen Inputgruppen eines Landwirtschaftsbetriebs.



Quelle: Betriebe der Zentralen Auswertung von Ökobilanzen

bäudelaufstall, ein Mehrgebäude-laufstall, 15 weitere Stalltypen Kombiniert Veredlung: drei Anbindeställe, vier Eingebäudelaufställe, keine Mehrgebäudelaufställe, 21 weitere Stalltypen

Schlussfolgerungen

Der Energiebedarf eines Landwirtschaftsbetriebs kann durch die Wahl einer wenig umweltbelastenden Konstruktionsart und umweltgerechter Materialien deutlich reduziert werden.

Im Extremfall lässt sich der Energiebedarf auf einen Viertel reduzieren, so zum Beispiel in der Inputgruppe <Gebäude> mit einem Mehrgebäudelaufstall anstelle eines Eingebäudelaufstalls mit Metallhülle. Da Ge-



Abb. 5. Der Mehrgebäudelaufstall erreicht dank seiner einfachen Konstruktionsweise in allen relevanten Umweltwirkungen den niedrigsten Wert.

bäude in Tierhaltungsbetrieben immerhin 11 bis 17 Prozent des Gesamtenergiebedarfs ausmachen, tragen die Entscheidungen beim Bau der Ställe beträchtlich zur Umweltwirkung des Gesamtbetriebs bei.

Mit den neuen Ökoinventaren für Gebäude steht nun eine genauere und praxisgetreue Datengrundlage für die Ökobilanzierung landwirtschaftlicher Betriebe und Prozesse zur Verfügung. Je nach Ausrichtung weiterer Forschungsprojekte im Bereich landwirtschaftlicher Prozesse sind in Zukunft Weiterentwicklungen im Bereich der Betriebsmodule (Energie- und Hilfsstoffverbrauch im Betrieb) nötig.

Literatur

■ Ecoinvent Centre, 2007. ecoinvent data V2.0, Swiss Centre for

Life Cycle Inventories ecoinvent, www.ecoinvent.ch.

■ Gaillard G., Nemecek Th., Freiermuth R. & Alig M., 2008. SALCA - a standardised LCA tool to assess the environmental impacts of agriculture. *Aspects of Applied Biology* 86: Greening the Food Chain, 1 and 2. London, 2008. 80 S.

■ Hilty R., Van Caenegem L. & Herzog D., 2007. Preisbaukasten – Baukostensammlung für landwirtschaftliche Betriebsgebäude. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon, Ettenhausen. 100 S.

■ ISO, 2006. Umweltmanagement – Ökobilanzen – Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040), 20 S.

■ Lalive d'Épinay A., 2000. Die Umweltverträglichkeit als eine De-

terminante des architektonischen Entwurfs. Diss. ETH Nr. 13610, ETH, Zürich.

■ Nemecek T., Huguenin-Elie O., Dubois D. & Gaillard G., 2005. Ökobilanzierung von Anbausystemen im schweizerischen Acker- und Futterbau. Schriftenreihe der FAL 58, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon, Zürich. 156 S.

■ Rossier D. & Gaillard G., 2004. Ökobilanzierung des Landwirtschaftsbetriebs – Methode und Anwendung in 50 Landwirtschaftsbetrieben. Schriftenreihe der FAL 53, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon, Zürich. 142 S.

RÉSUMÉ

Impacts environnementaux des bâtiments agricoles

Les analyses de cycle de vie se basent sur de nombreuses banques de données dans les domaines de l'énergie, du transport, de l'élimination des déchets, des substances chimiques, des processus et des équipements agricoles. La station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART a élargi la base de données relative aux bâtiments spécifiques à l'agriculture. La comparaison de quatre types de stabulations laitières montre que le choix d'une stabulation libre à plusieurs bâtiments de construction simple permet de réduire les impacts environnementaux de la catégorie d'intrants Bâtiments d'environ un quart (besoin en énergie, potentiel d'effet de serre) jusqu'à environ la moitié (écotoxicité terrestre selon le Centrum voor Milieukunde Leiden) par rapport à une étable à stabulation entravée isolée. Les résultats indiquent que non seulement la quantité de matériel, mais aussi le type de matériel utilisé ont une grande influence sur les impacts environnementaux. Dans les analyses de cycle de vie portant sur des exploitations individuelles, les bâtiments des trois types d'exploitation avec élevage examinés contribuent, à raison de 11 à 17 pour cent, à l'impact environnemental par leur consommation énergétique. Outre les ressources énergétiques primaires et l'achat de fourrages et d'animaux par les exploitations de transformation, les bâtiments représentent donc l'une des principales catégories d'intrants.

SUMMARY

Environmental impact of agricultural buildings

Life-cycle assessments (LCAs) are based on numerous databases in the energy, transport, waste disposal, chemicals, agricultural processes and facilities spheres. Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station ART has expanded the data specifically pertaining to agriculture in the 'buildings' sphere. The comparison of four different dairy barns shows that by opting for a multi-building loose-housing system in a simple design, the environmental impacts in the 'buildings' input group can be reduced to a good quarter (energy demand, global warming potential) to a good half (terrestrial ecotoxicity according to the Centrum voor Milieukunde Leiden) of those of an isolated tied-housing system. From the results, it is evident that it is not just the quantity but the type of materials which exerts a major influence on the level of environmental impacts. In individual-farm LCAs, buildings for the three types of farms with animal husbandry investigated contribute 11 to 17 per cent of the 'environmental impact' energy requirement. Consequently, they represent one of the most important input groups in addition to the primary energy carriers and the purchase of feedstuffs and livestock by pigs/poultry farm types.

Key words: Life Cycle Inventories (LCI), agricultural buildings, Life Cycle Assessment (LCA)