Bei der programmiertechnischen Umsetzung des Biogasbilanzierungsmodells wurden zum Teil sowohl Modellkomponenten von REPRO (z. B. Energie- und $CO_2$-Bilanzierung im Pflanzenbau, dynamische Humusbilanzierung) als auch des Moduls Milchviehhaltung (z. B. Futterbau und -lagerung) verwendet und weiterentwickelt.

## 3.1 Betriebsbilanzierungsmodell REPRO

Das betriebliche Bilanzierungsmodell REPRO wird seit dem Jahr 1996 entwickelt (HÜLSBERGEN 2003). Das Grundmodell wurde seither um neue Modellkomponenten erweitert und kontinuierlich weiterentwickelt (HÜLSBERGEN U. KÜSTERMANN 2007; KÜSTERMANN et al. 2008; SIEBRECHT 2009; KÜSTERMANN et al. 2010; KÜSTERMANN et al. 2013; FRANK 2014). Das Anwendungsgebiet von REPRO liegt in der Analyse, Bewertung und Optimierung landwirtschaftlicher Betriebssysteme. Hierbei wird das vornehmliche Ziel verfolgt, wissenschaftlich fundierte Analysen und Bewertungen von Umweltwirkungen landwirtschaftlicher Betriebssysteme in Abhängigkeit vom Standort und der Bewirtschaftung durchzuführen. Als Modelleingangsdaten werden detaillierte, einzelbetrieblich erfasste Bewirtschaftungs- und Standortdaten verwendet. Im Modell sind umfangreiche Standardwerte und Modellparameter hinterlegt.

REPRO wurde so konzipiert, dass die gesamtbetrieblichen Interaktionen zwischen den Teilsystemen Boden, Pflanzenbau und Tierhaltung abgebildet werden. Sowohl diese Teilsysteme als auch die jeweiligen Subsysteme sind durch Stoff- und Energieflüsse miteinander verbunden, wodurch die innerbetrieblichen Stoffkreisläufe dargestellt werden können. Die Teilsysteme sind hierbei über Hierarchieebenen aufgebaut, wobei im Pflanzenbau der Teilschlag[16] und in der Tierhaltung der Stallbereich bzw. die Herde die kleinsten Untersuchungsebenen darstellen. Eine niedrigere Ebene ist stets als Teil der nächsthöheren Ebene anzusehen (z. B. der Teilschlag stellt einen Teil des Schlages und der Schlag wiederum einen Teil der Fruchtfolge dar).

Das Teilsystem Biogasanlage wurde bisher in REPRO nicht abgebildet. Eine betriebliche Biogasanlage kann allerdings stofflich und energetisch sehr eng mit den Teilbereichen Pflanzenbau bzw. Tierhaltung (Erzeugung von Energiepflanzen bzw. Wirtschaftsdüngern) und Boden (u. a. Ausbringung von Biogasgärrest) verbunden sein.

Stoff- und Energieflüsse die in das (Teil-)Betriebssystem eintreten, werden als Inputs und solche, die das (Teil-)Betriebssystem verlassen, als Outputs bezeichnet. Ein Output einer niedrigeren Teilsystemebene stellt folglich einen Input in die nächsthöhere Teilsystemebene dar. Dabei stellt der landwirtschaftliche Betrieb die räumliche und ein Bewirtschaftungsjahr die zeitliche Systemgrenze dar.

Das Modell REPRO ist modular aufgebaut und enthält ein relationales Datenbanksystem (Standort-, Bewirtschaftungs- und Modelldaten), Bilanzierungsmethoden (Nährstoff-, Humus-, Energie- und Treibhausgasbilanzierung), empirische Modelle (z. B. Bestimmung der potenziellen Nitratauswaschung), Schnittstellen zu geographischen Informationssystemen sowie Bewertungsverfahren (Indikatoren, Zielwerte, Normalisierungs- und Netzdiagrammtechnik) (Abbildung 4). Das landwirtschaftliche Bilanzierungsmodell ist mit den drei Arbeitsbereichen Betriebssystem, Analysen und Bewertungen so strukturiert, dass die Abbildung des Betriebssystems vom Analyse- und Bewertungsverfahren getrennt ist (HÜLSBERGEN 2009).

[16] Der Teil eines Schlages, der einheitlich (mit gleichem Produktionsverfahren) bewirtschaftet wird – die kleinste in REPRO betrachtete Fläche.

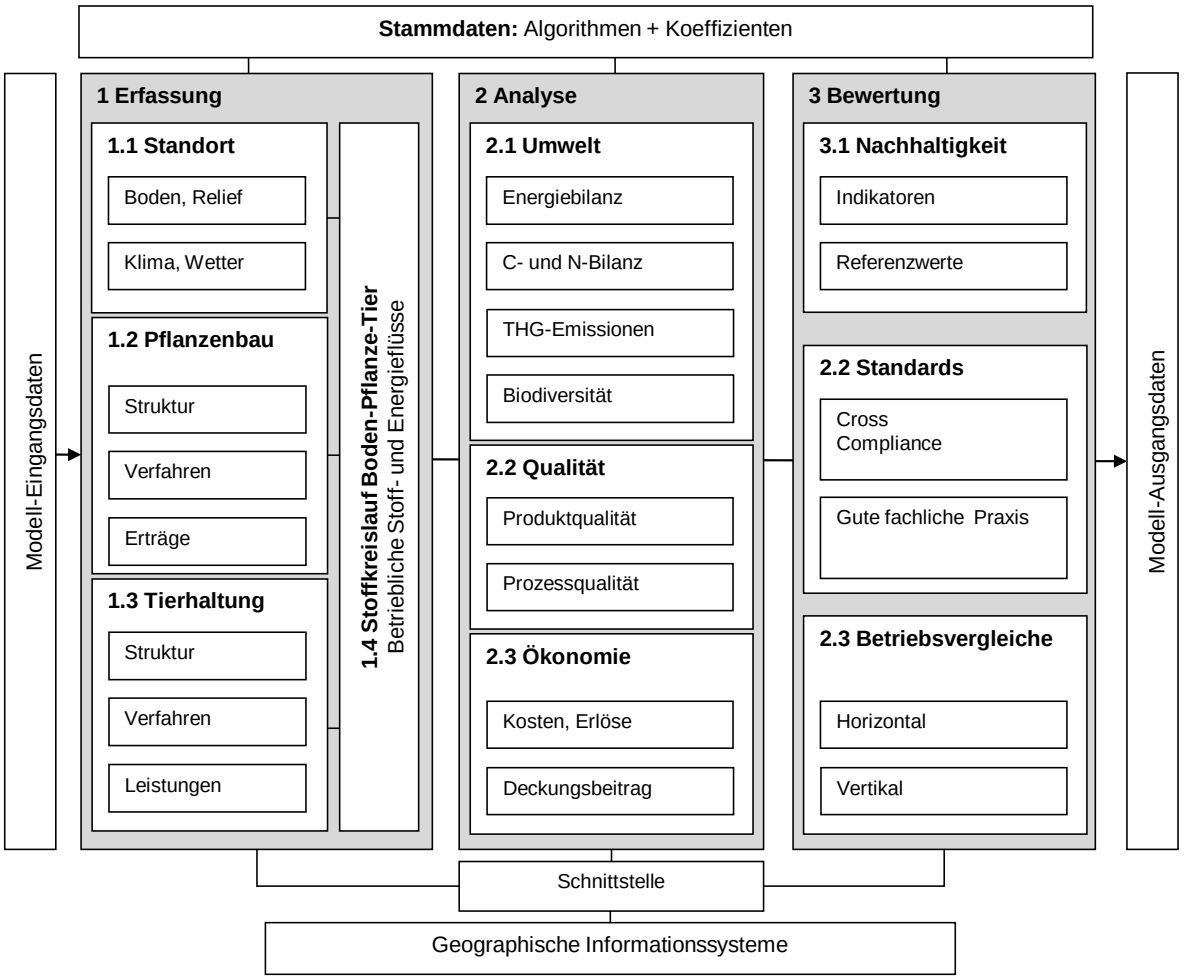


**Abbildung 4: Struktur des Modells REPRO**

vgl. HÜLSBERGEN (2009)

Im Modell REPRO sind verschiedene Indikatoren integriert, die Aussagen zu unterschiedlichen Umweltwirkungsbereichen ermöglichen. Zu den ökologischen Indikatoren[17] zählen unter anderem

- Treibhausgasemissionen (KÜSTERMANN et al. 2008; KÜSTERMANN et al. 2013; FRANK 2014; BYSTRICKY 2015),
- Bodenschadverdichtung (RÜCKNAGEL 2007),
- Humusbilanz und Humusversorgung (HÜLSBERGEN 2003; HÜLSBERGEN U. RAHMANN 2013; BÖSWIRTH et al. 2016),
- Stickstoffbilanz und umweltrelevante N-Verluste (HÜLSBERGEN 2003; KÜSTERMANN et al. 2010; BYSTRICKY 2015; BÖSWIRTH et al. 2016),
- Phosphor- und Kaliumbilanz (MÖNICKE et al. 2007),
- Energiebilanz und Energieeffizienz (SIMON et al. 2009; FRANK 2014),
- Pflanzenschutzintensität (HEYER et al. 2005),
- Erosions- und Biodiversitätspotenzial (SIEBRECHT 2009) wie auch
- Landnutzungseffizienz (LIN U. HÜLSBERGEN 2017).

[17] In den aufgeführten Veröffentlichungen werden zum Teil mehrere Indikatoren betrachtet.

## 3.2 Modul Milchviehhaltung

Das Modul Milchviehhaltung weist viele Analogien und Verknüpfungspunkte zum Modul Biogassystem auf; daher wird es hier näher beschrieben.

Auf der Grundlage des Modells REPRO wurde von FRANK (2014) das Modul Milchviehhaltung zur Energie- und Treibhausgasbilanzierung entwickelt. Die Energie- und THG-Bilanzierung des Moduls Milchviehhaltung ist als Prozessanalyse (JONES 1989) aufgebaut. Die Prozessschritte der Michviehhaltung umfassen: Futtererzeugung, Futter- und Einstreulagerung, Haltungssystem, Entmistung und Wirtschaftsdüngerlagerung, Nachzucht und Milchgewinnung.

Das Modul Milchviehhaltung ist so aufgebaut, dass aus dem Modell REPRO die Daten des betrieblichen Futterbaus exportiert und in eine Microsoft Access-Datenbank importiert werden. In dieser Datenbank erfolgt die Bilanzierung des fossilen Energieeinsatzes, die Berechnung der prozess- und produktspezifischen Treibhausgasemissionen der betrieblichen Substrat- bzw. Futtererzeugung sowie der Lachgas-Feldemissionen (nach DÄMMGEN et al. 2009) und der C-Sequestrierung (nach HÜLSBERGEN 2003). Die substrat- bzw. produktspezifischen Ergebnisse auf Ebene der Fruchtarten werden anschließend aus der Access-Datenbank exportiert und in ein darauf aufbauendes Microsoft Excel-Modell importiert. Unter Einbeziehung betriebsindividueller Kennzahlen erfolgt darin die Bilanzierung aller übrigen Prozessschritte des Moduls Milchviehhaltung einschließlich des Allokationsverfahrens.

Aus methodischer und programmiertechnischer Sicht macht es keinen Unterschied, ob die erzeugte pflanzliche Biomasse für eine Milchviehhaltung oder eine Biogasanlage verwendet wird. Daher kann der im Michviehmodul entwickelte Prozessschritt des betrieblichen Futterbaus auch im hier entwickelten Modul Biogassystem Verwendung finden. Da sich die Silolager zur Lagerung der pflanzlichen Biogassubstrate nicht im Typ, sondern meist nur in der Größe bzw. Lagerkapazität von denen der Milchviehhaltung unterscheiden, kann im Modul Biogassystem auch auf Teile des Prozessschrittes des Futter- bzw. Substratlagers aus dem Modul Milchviehhaltung zurückgegriffen werden. Die Bilanzierung der Humusdynamik (C-Sequestrierung) erfolgt in den Modulen Milchviehhaltung und Biogassystem ebenfalls methodisch identisch.

## 3.3 Aufbau des Moduls Biogassystem

Die Umsetzung und Programmierung des Moduls Biogassystem erfolgt in Microsoft-Office Access 2013 und Microsoft-Office Excel 2013 (*.xlsx- bzw. *.accdb-Dateien). Abbildung 5 zeigt die Modellstruktur.

Tobias Böswirth
Entwicklung und Anwendung eines Modells zur Energie- und Treibhausgasbilanzierung landwirtschaftlicher Biogassysteme
2017 / 220 S. / 19x27cm / 24,95 € / ISBN 978-3-89574-922-3
Verlag Dr. Köster, Berlin / www.verlag-koester.de