7. Statuskonferenz „Bioenergie. Flexibel und integriert in die nächste Epoche!“
am 20.-21. November 2017 in Leipzig

ThermoFlex - Nachgärer als Wärmespeicher für flexible Biogasanlagen

Ingolf Seick, Hochschule Magdeburg-Stendal

- Überblick Verbundprojekt
- Motivation und Zielstellung
- Verfahrenskonzept
- Anwendungspotenzial / Anwendungsbeispiel
- Untersuchungen zur Temperaturtoleranz der Prozessbiologie
- Zusammenfassung und Ausblick

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Überblick Verbundprojekt

DLR Projektträger

- Verbundprojekt: „Interne Wärmespeicherung für eine verbesserte Wärmenutzung und Effizienz bei der flexiblen Stromproduktion von Biogasanlagen“
- Laufzeit: 01.02.2016 – 30.04.2018
- Gefördert vom BMBF im Programm KMU innovativ (Projektträger DLR)

bue Anlagentechnik GmbH©
Ihr Partner für Erneuerbare Energien

Hochschule Magdeburg • Stendal

GMBU Gesellschaft zur Förderung von Medizin-, Bio- und Umwelttechnologien e.V.

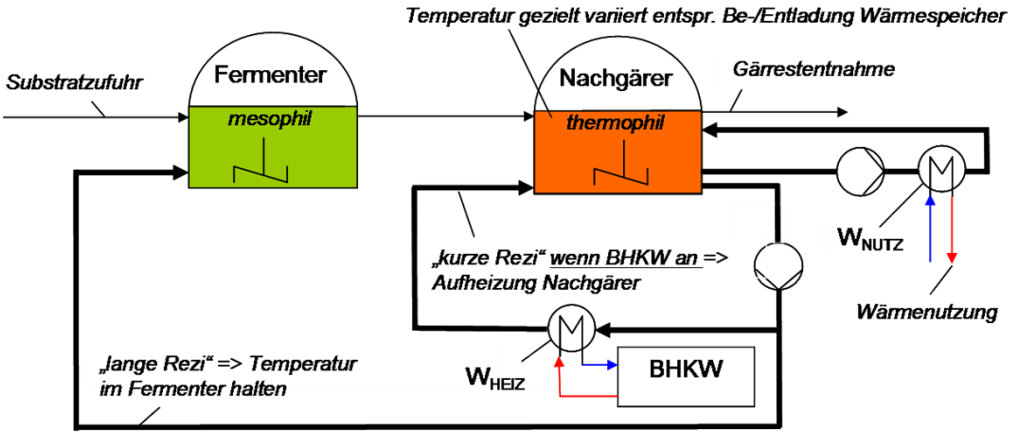
Büro CORDES+WINTERBERG Technische Bioprozesse Biogas/Energie

THORSIS TECHNOLOGIES

ThermoFlex - Motivation und Zielstellung

- Ziel: Flexibilisierung von BGA ohne zusätzlichen Wärmespeicher
- Wärmespeicherung im Nachgärer (geringere Investitionskosten)
- Große Wärmemengen bereits bei geringen T-Variationen
- Thermophiles T-Niveau (ca. 50-60°C) ermöglicht Wärmenutzungen
- Schwach belastete Nachgärer tolerieren gezielte T-Variation
- Hauptfermenter weiterhin mesophil mit T ≈ konstant
- Begünstigt Hygienisierung

ThermoFlex - Verfahrenskonzept



Anwendungspotenzial

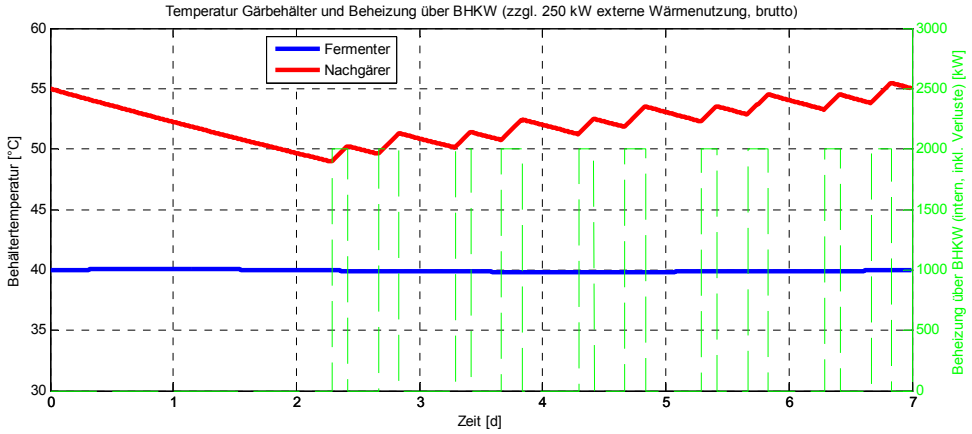
- Wesentliche Voraussetzungen BGA
  - Nassvergärung, mehrstufig (Fermenter / Nachgärer)
  - Vor-Ort-Verstromung
  - Flexibilisierung (Fahrplanbetrieb / bedarfsorientierte Stromeinspeisung)
  - bauliche Randbedingungen (T-Beständigkeit / Wärmedämmung NG)
- Relevante Wärmenutzungsmöglichkeiten (verfügbares T-Niveau < 60°C !)
  - Gewächshausbeheizungen
  - Stallbeheizungen
  - Trocknungsprozesse
  - (Niedertemperatur-)Nahwärmenetze (z.B. Lieferung Grundlast-Wärme)
  - ...

Anwendungsbeispiel

- Einfache Beispielsimulation Wärmemanagement (1 Woche, z.B. Spätherbst)
- Fiktives „Extrem-Szenario 5fach-Überbauung“
- Bemessungsleistung: 500 kW_{el}
- Installierte Leistung (BHKW): 2500 kW_{el}
- Abnahme externe Wärmesenke: konst. 200 kW_{th}
  - Hauptfermenter 3000 m³, T_{soll} = 40°C
  - Nachgärer 3000 m³, T_{soll} = 55°C
  - T_U= 8°C, Behälterdämmung: 0,3 W/(Km²), Ao/V=0,5
  - Verluste → Heizung: 20%, Wärmebrücken: 10%, ext. Wärmenutzung: 20%
  - Substratinput: i. M. 36 Mg/d (30 % Gülle)
  - Rezirkulation: ca. 130 m³/d

Anwendungsbeispiel

- BHKW z. B. zwei Tage aus (WE), dann an fünf Tagen insges. 7 h/d
- Berechnete T-Verläufe Fermenter und Nachgärer



→ **<u>ΔT im Nachgärer von ca. 1...2,5 K/d deckt Wärmebedarf voll ab</u>**

Temperaturtoleranz der Prozessbiologie - Grundlagen

- Technisch relevante T-Bereiche Methangärung:
  - 25 - 45°C … mesophil (optimal: 37 - 42°C)
  - 45 - 65°C … thermophil (optimal: 50 - 60°C)
- Entwicklung (Misch-)Biozönose zwischen T-Bereichen fließend [FNR16]
- Lehrbuchwissen: ΔT max. ±4 K/d mesophil bzw. ±1K/d thermophil [EDE12]
- Recherchen Stand Wissenschaft und Technik
  - auf T-Erhöhungen reagieren MO sensibler (Zellschädigung)
  - als auf T-Senkungen (Reduzierung Aktivität entspr. Arrhenius)
  - Ausnahme: wenn T (nach kurzer Absenkung) wieder auf Adaptions-T erhöht
  - T-Niveau bestimmt Einfluss ΔT auf Bioprozess
  - je höher org. B_R, desto empfindlicher reagiert Prozessbiologie auf ΔT

Büro CORDES+WINTERBERG Technische Bioprozesse Biogas/Energie

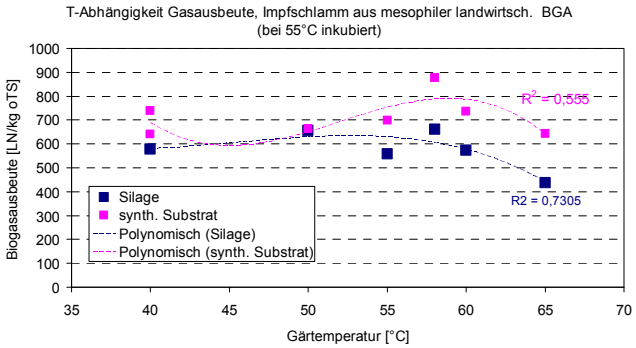
→ Ergebnisse Forschung und Praxis meist bzgl. Hauptfermenter

<u>→ ThermoFlex-Verfahren zielt auf Nachgärer ab (nur noch geringe Belastung)</u>

GMBU Gesellschaft zur Förderung von Medizin-, Bio- und Umwelttechnologien e.V.

Batchgärtests - Überblick

- Aussagen zum max. Gas- und Methanertrag und zur Prozesskinetik i. Z. m. Gärtemperatur (40 - 65°C), verschied. Substrate/Impfschlämme [GMBU17]
- Thermophil voradaptierte Impfschlämme von landwirtschaftlicher, mesophil betriebener BGA
- Testsubstrate: Maissilage der o.g. BGA, mikrokristalline Zellulose und synthetische Substratlösung (L-Cystein, Harnstoff, mikrokristalline Zellulose, Stärke, K-P-Puffer, Spurenelemente und Vitamine)



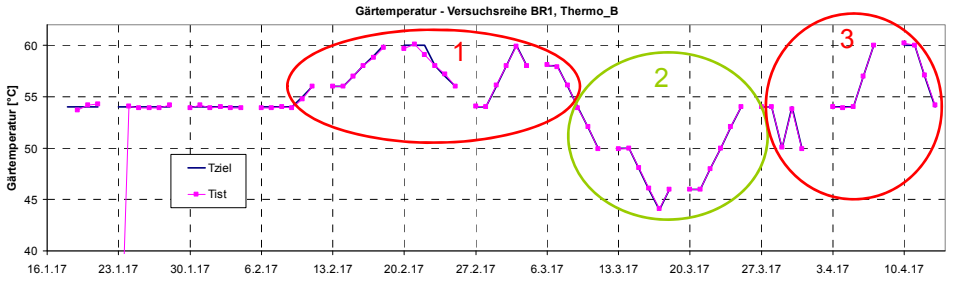
Hochschule Magdeburg • Stendal

Semi-kontinuierliche Gärversuche – Versuchsaufbau

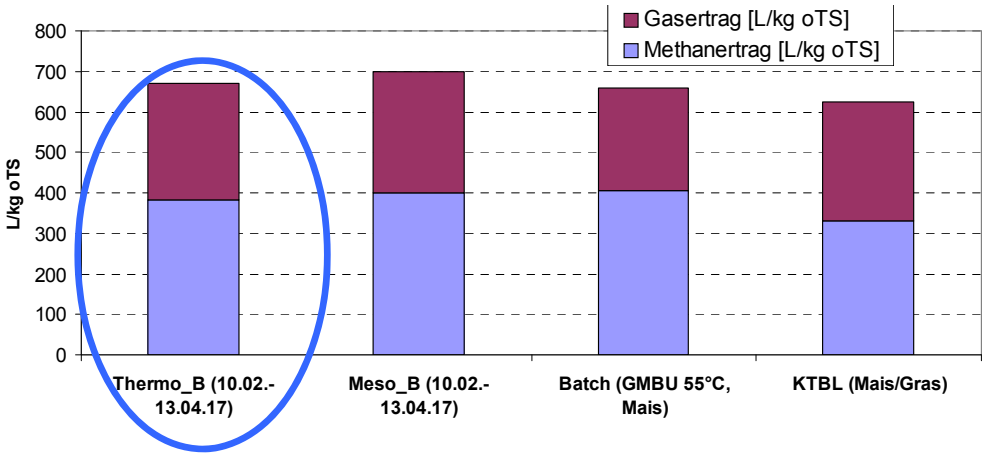
- Vorversuche [SEI17] mit synthet. Substrat in Gärflaschen („System I“)
- Hauptversuche (Herbst 2016 und Winter/Frühjahr 2017) mit „System II“
  - „Biogasomat“ (2 x 5L)
  - Mantelheizung, Rührwerk
  - 1 x mesophil (40°C)
  - 1 x thermophil (ΔT in Tagesschritten)
  - Impfschlamm von landw. BGA
  - Maissilage (Herbst 2016)
  - Mais-/Grassil. (Winter/Frühjahr 2017)
  - Fütterung und Gasanalyse i.d.R. 1xtgl. (außer sonntags)
  - Gasmenge (gravimetrisch)
  - Gasanalyse (CH_4, CO_2, H_2S, O_2)

Semi-kontinuierliche Gärversuche – Ablauf (System II, Winter/Frühjahr 2017)

- Zufütterung Grassilage ab Mitte Januar 2017
- Ab Anfang Februar je **50% Mais- und Grassilage** → ∑ **1 kg oTS/(m³d)**
- Adaptionstemperatur = **54°C**
- 9 Wochen mit T-Variation (bis Mitte April 2017)
  - 1. 54-60°C mit ΔT ±1 und ±2 K/d → T ≥ Adaptionstemperatur (9.2.-9.3.17)
  - 2. 54-44°C mit ΔT ±2 K/d → T ≤ Adaptions-T / Übergangsbereich (10.-27.3.17)
  - 3. 50-60°C mit ΔT ±3 und ±4 K/d → Temperatur-Stress (28.3.-13.4.17)



Semi-kontinuierliche Gärversuche – Gas-/Methanerträge (System II, Winter/Frühjahr 2017)

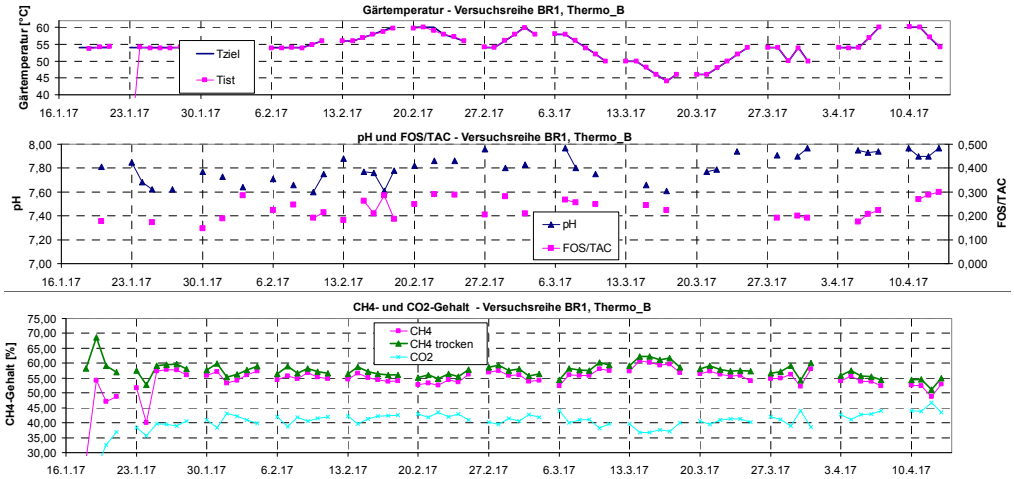


→ Gas- u. Methan-Ausbeuten im thermophilen Milieu mit variablen T im erwarteten Bereich; vgl. [KTBL15] und Batchtests

→ Jedoch < mesophile Referenz

Semi-kontinuierliche Gärversuche – Beispielzeitverläufe (System II, Winter/Frühjahr 2017)

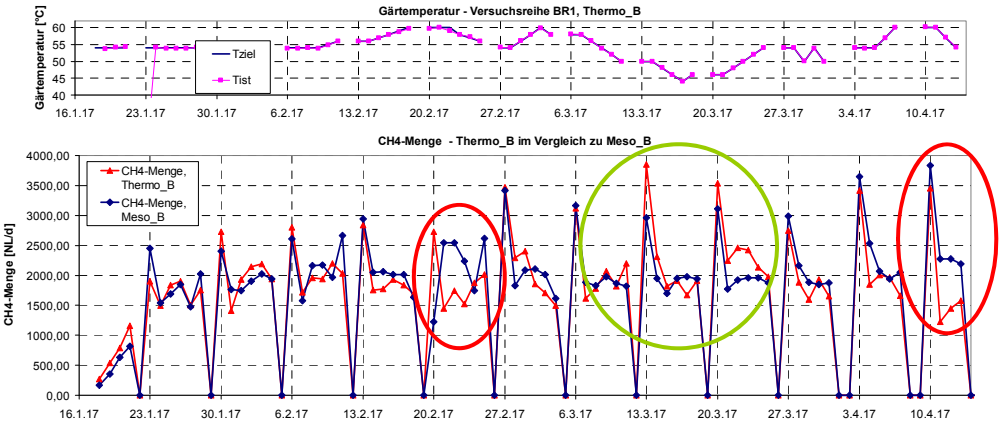
Thermophile Linie => **Prozessstabilität** (pH, FOS/TAC, CH_4-Gehalt)



→ Prozess bleibt bei pH zw. 7,6...8,0 u. FOS/TAC zw. 0,15...0,3 intakt und stabil

Semi-kontinuierliche Gärversuche – Beispielzeitverläufe (System II, Winter/Frühjahr 2017)

Vergleich mit mesophiler Referenz: => **Tagesmengen Methan**



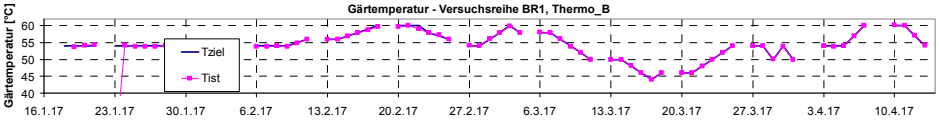
→ erst nach 4 bzw. 5 Tagen bei 60°C signifikanter Rückgang CH_4-Mengen

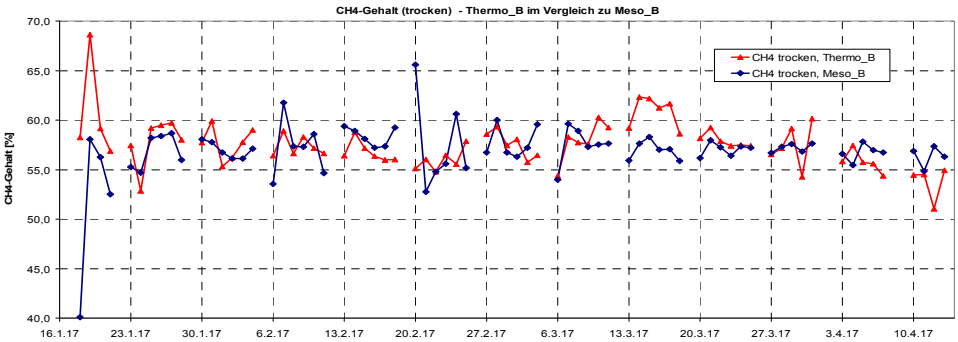
→ Methanmenge im Übergangsbereich (< Adaptions-T) höher als Referenz

→ insgesamt gute Erträge (nur leicht unter mesophiler Referenz)

Semi-kontinuierliche Gärversuche – Beispielzeitverläufe (System II, Winter/Frühjahr 2017)

Vergleich mit mesophiler Referenz: => **Methangehalt**





→ CH_4-Gehalt insges. relativ hoch (i.M. ca. 57%, wie mesophile Referenz)

→ CH_4 auch durch T_{abs} beeinflusst

Zusammenfassung semi-kontinuierliche Gärversuche (bis Frühjahr 2017)

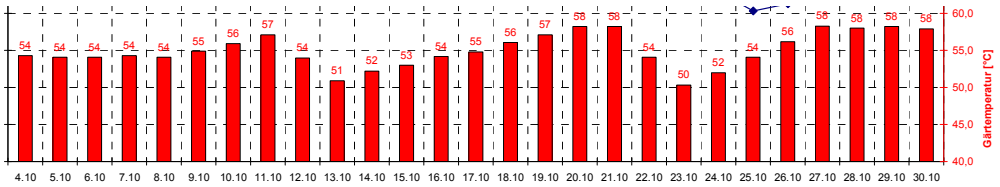
- Adaption mesophiler Impfschlämme an thermophile Bedingungen im Labor in wenigen Wochen gelungen
- Auch im thermophilen Milieu mit variablen Temperaturen hohe Gas- und Methan-Ausbeuten → im Bereich von
  - 600-670 L_N Biogas je kg oTS bzw.
  - 330-380 L_N Methan je kg oTS
- Prozessbiologie blieb intakt und stabil
- ΔT gemäß ThermoFlex-Verfahren (2 bis 3 K/d) bis ca. 58°C bei Vergärung von Mais-/Grassilage mit geringen oTS-Raumbelastungen problemlos

→ **Leistung und Stabilität insgesamt wie erhofft !**

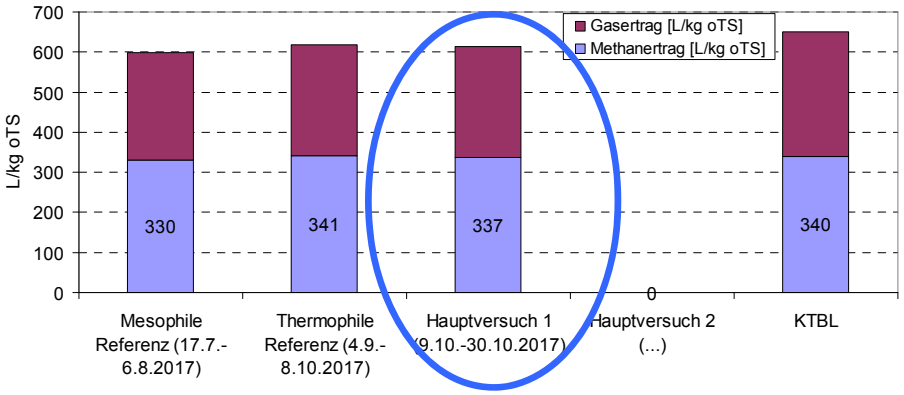
→ **Bestätigt ThermoFlex-Ansatz**

Überblick semi-kontinuierliche Gärversuche („System III“, ab Sommer 2017)

- „Biogasomat“ in Reihe (mesophiler Fermenter → thermophiler Nachgärer)
- Beimpfung mit mesophilem Fermenterschlamm landw. BGA Ende Juni 2017
- Fütterung Maissilage mit 3 kg oTS/(m³d)
- Rezirkulation (Rückführverhältnis = 4)
- Ab August thermophil (Adaption an 54°C)
- T-Variationen entspr. Beispielszenarien Wärmemanagement ab Oktober



Zwischenergebnisse semi-kontinuierliche Gärversuche („System III“, ab Sommer 2017)



→ Gas- und Methan-Ausbeuten Gesamtsystem (auch bei variablen T im Nachgärer) im erwarteten Bereich; vgl. [KTBL15] und Referenz

→ Erträge relativ konstant über alle betrachteten Zeiträume

→ Bioprozess stabil

Ausblick

- Weitere Gärversuche → insbes. mit höherer N-Belastung (60% Rindergülle)
- Detailliertes Verfahrenskonzept / Varianten
- Anwendungsszenarien (abgestimmt auf Flexibilität und Wärmenutzungen)
- Modellbasierte Regelung
- Demonstrationsanlage
- Großtechnische Umsetzung geplant (Folgeprojekt)

Quellen

[CW17] Winterberg, R.: Zweiter Zwischenbericht zum Verbundvorhaben ThermoFlex (Teilprojekt: Referenzsysteme und Übertragbarkeit auf großtechnische Anlagen). Internes Dokument, 08.02.2017.

[EDE12] Eder, B. (Hrsg.): Biogas-Praxis. Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiele, Wirtschaftlichkeit, Umwelt. 5. überarb. Aufl., ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg, 2012.

[FNR16] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Hrsg.): Leitfaden Biogas – Von der Gewinnung zur Nutzung. 7. Auflage, 2016.

[GMBU17] GMBU e.V.: Zweiter Zwischenbericht zum Verbundvorhaben ThermoFlex (Teilprojekt: Systematische experimentelle Untersuchungen von Prozesskinetiken anaerober Biozönosen mit definierter Prozessgrößenvariation, Verfahrensvorschläge). Internes Dokument, 08.02.2017.

[KTBL15] Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL). Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. KTBL-Heft 107, 3. Auflage 2015.

[SEI17] Seick, I.; Wiese, J.: ThermoFlex - Flexible Wärmebereitstellung durch Biogasanlagen. 11. Rostocker Bioenergieforum 22.-23.06.2017. In: Schriftenreihe Umweltingenieurwesen, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Band 68. Hrsg.: M. Nelles, Universität Rostock.