

## Digitale Simulation von Konzepten und Handlungsoptionen zur Verminderung von Stickstoffemissionen in der Schweinehaltung: das Serious Game *pigNplay*

Christian Post<sup>1</sup>, Sabrina Elsholz<sup>1</sup>, Alexandra Reith<sup>2</sup>, Marco Rieckmann<sup>2</sup>, Gero Corzilius<sup>3</sup>, Barbara Grabkowsky<sup>3</sup>, Stefan Christ<sup>4</sup>, Joachim Hertzberg<sup>4</sup>, Sarah Reddig<sup>5</sup>, Annika Greven<sup>5</sup>, Justus von Geibler<sup>5</sup> und Imke Traulsen<sup>1</sup>

**Abstract:** Das Serious Game *pigNplay* ermöglicht als ein digitales Werkzeug für (angehende) Landwirt/-innen das Kennenlernen, Bewerten und virtuelle Ausprobieren von Optionen zur Stickstoffreduktion in der Schweinehaltung. Dazu gehören z.B. bauliche oder technische Möglichkeiten sowie Managementmaßnahmen inkl. ihrer ökonomischen und ökologischen Wirkungen. Grundlage ist eine digitale Simulation einer Betriebsumwelt für verschiedene Haltungssysteme, die anhand von integrierten Schätzgleichungen und etablierten Kennzahlen modelliert werden. Somit kann das Serious Game komplexe Zusammenhänge von Stickstoffkreisläufen vermitteln und die Übertragung der erworbenen Kenntnisse auf die landwirtschaftliche Praxis fördern.

**Keywords:** Ammoniak, Ausbildung, Bildung für nachhaltige Entwicklung, Modellierung

### 1 Einleitung

Die Landwirtschaft in Deutschland steht vor zunehmenden ökologischen Herausforderungen. Dazu gehört insbesondere der Umgang mit klimatischen Veränderungen. Gleichzeitig besteht für die Landwirtschaft Anpassungsbedarf, da sie einer der Hauptverursachenden von Emissionen mit Auswirkungen auf bestehende Ökosysteme und das globale Klima ist. Neben ihrem Einfluss auf die Erderwärmung führen Nährstoffüberschüsse und Emissionen aus der Tierhaltung, insbesondere Stickstoffverbindungen, u.a. zu Nitratbelastungen von Gewässern und einer reduzierten Biodiversität. Regionen, die aktuell durch intensive Landwirtschaft und eine hohe Dichte an schweinehaltenden Betrieben geprägt sind, wie z.B. das Oldenburger Münsterland, werden sich in Zukunft den Anforderungen der Reduktion von Emissionen und dem Wandel von Klima und der Gesellschaft stellen müssen. Solche Regionen besitzen dabei das Potenzial, als Modellregion für eine Transformation zu fungieren. In diesem Kontext ist die Entwicklung von Kompetenzen ange-

---

<sup>1</sup> Systeme der Nutztierhaltung, Georg-August-Universität Göttingen, Albrecht-Thaer-Weg 3, 37075 Göttingen, christian.post@uni-goettingen.de

<sup>2</sup> Universität Vechta, Fakultät I, Fachbereich Erziehungswissenschaften, Arbeitsbereich Hochschuldidaktik, Driverstraße 22, 49377 Vechta

<sup>3</sup> Verbund Transformationsforschung agrar Niedersachsen, Universität Vechta, Driverstraße 22, 49377 Vechta

<sup>4</sup> Deutsches Forschungszentrum für künstliche Intelligenz (DFKI), Berghoffstraße 11, 49090 Osnabrück

<sup>5</sup> Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, Döppersberg 19, 42103 Wuppertal

hender und praktizierender Landwirt/-innen im Bereich Umwelthandeln unter Berücksichtigung des Zusammenspiels ökologischer, ökonomischer und gesellschaftlicher Aspekte von zentraler Bedeutung. Es ist bereits eine Vielzahl von Maßnahmen zur Stickstoffemissionsreduktion in den Bereichen des Stallbaus, der Fütterung und des Managements bekannt [EDV11]. Konkrete Emissionsreduktionen können jedoch aufgrund der heterogenen Betriebsstrukturen nur erreicht werden, wenn die individuellen Bedürfnisse und Hemmnisse des jeweiligen Betriebs berücksichtigt werden. Eine innovative Möglichkeit hierfür sind digitale Lernspiele (Serious Games), die Lern-, Ausbildungs- und Wissensinhalte miteinander verknüpfen und dabei den Ansprüchen einer Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) gerecht werden [Ri21]. Ziel des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Projektes *pigNplay* ist die Entwicklung eines solchen Serious Games, in dem die Spielenden virtuelle Szenarien erleben und dabei Optionen und Maßnahmen erproben können, um ihre Handlungskompetenzen zu erweitern und eigene Handlungsbereitschaft für eine nachhaltige Transformation der Schweinehaltung auf- und auszubauen. In diesem Beitrag sollen der Aufbau des Serious Games und die Datengrundlage zur Modellierung der schweinehaltenden Betriebe dargestellt und diskutiert werden.

## 2 Methodik

Die Entwicklung und die prototypische Anwendung des Spiels erfolgt in Zusammenarbeit mit den Expert/-innen und Landwirt/-innen basierend auf dem Living Lab Ansatz [Li13] so praxisnah wie möglich. Im Folgenden werden der Spielaufbau und die Grundlagen zur Modellierung für die Bereiche Fütterung, Güllelagerung und -ausbringung erläutert.

### 2.1 Aufbau des Serious Games

Das übergeordnete Spielkonzept unterscheidet zwei Arten des Spielflusses. Zunächst treffen die Spielenden in geführten Szenarien („Tutorials“) auf einzelne Problemstellungen, welche sie mit einem jeweils angepassten Maßnahmenkatalog lösen können. Diese Tutorials folgen dabei einer rahmengebenden Erzählung, um Ursachen, Mechanismen und Wirkungen komplexer Zusammenhänge abzubilden. Weiterhin umfasst das Konzept hinsichtlich der Handlungsmöglichkeiten zur Stickstoffemissionsreduktion ein „offenes Spiel“, dessen Intention eine möglichst realitätsnahe Darstellung gängiger Praktiken auf Landwirtschaftsbetrieben ist. Hierbei werden auch Wechselwirkungen zwischen eigenen Maßnahmen und äußeren Faktoren dargestellt.

Didaktisches Leitmotiv ist die Ermöglichung der spielerischen Auseinandersetzung mit komplexen Sachverhalten. Zentral ist in beiden Spielmodi („Tutorial“ und „offenes Spiel“) der simulierte und individuell gestaltbare Schweinemastbetrieb, der in eine Spielumwelt eingebettet ist, die der agrarischen Intensivregion des Oldenburger Münsterlandes nachempfunden ist. Die Spielumwelt umfasst dabei zahlreiche für die Aspekte des Umwelt- und Klimaschutzes, der Wirtschaftlichkeit und des Tierschutzes relevante Akteure

und ihre Interaktionen mit dem Betrieb. Dazu zählen die wirtschaftlich vor- und nachgelagerten Bereiche, andere landwirtschaftliche Betriebe, der Einzelhandel und die Verbraucher/-innen. Neben der Einbettung dieser Bereiche wird eine zeitliche Komponente in das Serious Game integriert, die sich u.a. an existierenden Prognosemodellen für die deutsche Nutztierhaltung bis 2040 bzw. 2050 orientiert [DEB21; WKT17]. Dies ermöglicht eine dynamische Veränderung von externen Faktoren wie Erzeugerpreisen, Ernährungsgewohnheiten, politischen Forderungen oder klimatischen Bedingungen. Durch den Grad an Veränderung dieser Faktoren ist es möglich, verschiedene „Schwierigkeitsgrade“ im Serious Game anzubieten, welche ein mehr oder weniger starkes Maß an Anpassung von den Spielenden an die entsprechenden Umgebungsbedingungen erfordern.

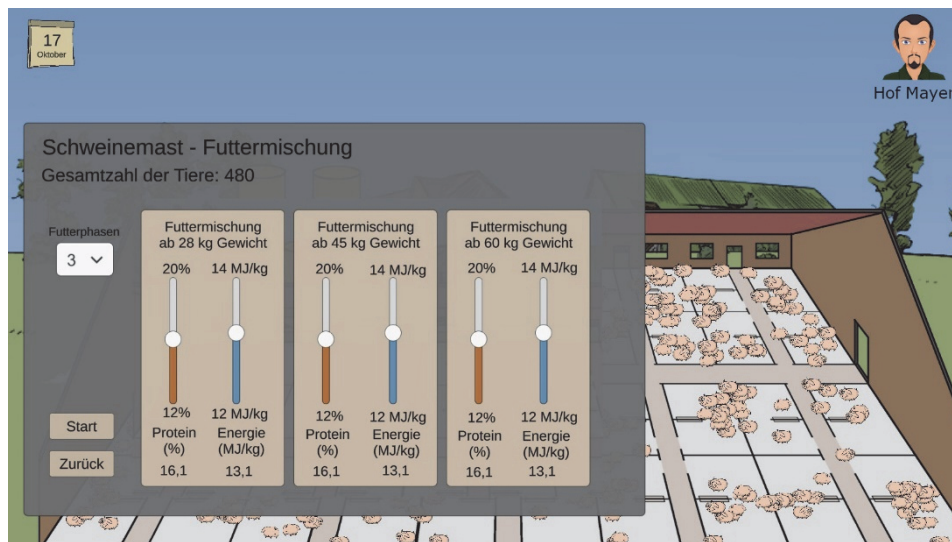


Abb. 1: Exemplarische Spielszene aus dem Prototypen (Visualisierung des Mastdurchgangs mit Einstellung der Futtermischungen pro Mastphase für den Beispielhof „Mayer“)

## 2.2 Modellierung des Betriebes

Die Grundlage für die Darstellung interaktiver Szenarien in der Schweinehaltung ist die Modellierung eines Betriebes und die Identifikation von Indikatoren zur Bewertung ökologischer Konsequenzen. In der Schweinehaltung bilden insbesondere Emissionen von Stickstoff (N) in Form der luftgetragenen Verbindungen Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) und Lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) sowie im Zuge von Umwandlungsprozessen in den Boden und damit in den Wasserkreislauf gelangendes Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) solche kritischen Indikatoren. Daher liegt der Fokus der Modellierung auf der quantitativen Schätzung der Stickstoffflüsse im innerbetrieblichen Nährstoffkreislauf. Hierbei werden für die Analyse, die Darstellung und das Stickstoffmanagement folgende Teilbereiche unterschieden: Futter und Schwein, Gülle oder Mist im Stall/Lager, Ausbringung/Düngung (siehe Tab. 1). Für jeden dieser Bereiche wird

zunächst die Eingangsmenge an Stickstoff festgelegt (Abhängig von der Tierzahl) bzw. die im vorherigen Teilbereich anfallende Stickstoffmenge als Ausgangspunkt genommen. Danach werden anhand vorhandener Schätzgleichungen die in den nächsten Teilbereich übergehende Menge an Stickstoff sowie die entstehenden Emissionen modelliert.

Teilbereich	Eingabeparameter	Ausgabeparameter	Quelle
Futter und Schwein	Lebendmasse	Protein- und Fettansatz	
	Geschlecht	Erhaltungsbedarf	[F106; Ki14]
	Zunahmeniveau	Energiebedarf für Protein- und Fettansatz	
	Umgebungstemperatur		
	Energiebedarf	Futteraufnahme, davon abgeleitet: Protein- bzw. Stickstoffaufnahme	[Ki14]
	Energiegehalt Futter		
	Proteingehalt Futter		
	Futteraufnahme		
	Proteinansatz	Wasseraufnahme	[Ri10a]
	Verhältnis NE/ME <sup>1</sup>		
	Proteinaufnahme	Stickstoffausscheidung (Kot und Harn)	[Ri10a]
	Proteinansatz		
Gülle im Stall/aus dem Stall	Ausgeschiedenes N		
	Luftwechselrate	Aus Kot und Harn entstehendes NH <sub>3</sub>	[Ri10b; AE98]
	Spaltenanteil im Boden Entmistungsintervall		
Güllelagerung	Lagerdauer		
	Abdeckung Oberfläche	Umwandlung NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> zu NH <sub>3</sub>	[De90]
Gülleausbringung	Ausbringtechnik	Umwandlung NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> zu NH <sub>3</sub> bzw. Entstehung von N <sub>2</sub> O	[Cl02]

Tab. 1: Parameter zur Modellierung der Ausscheidung von Stickstoff von Schweinen und der Entstehung stickstoffhaltiger Emissionen von der Stallhaltung bis zur Ausbringung von Wirtschaftsdünger. <sup>1</sup>NE: Netto-Energie, ME: Umsetzbare Energie

Im Kontext des Serious Games werden diese Indikatoren genutzt, um die Auswirkungen veränderter Parameter auf die Gesamt-Stickstoffbilanz eines Betriebs sowie das Verhältnis zwischen Emissionen und dem für die Düngung zur Verfügung stehenden Stickstoff aufzuzeigen, vergleichen zu lassen und einer Bewertung zu unterziehen. Faktoren, die nicht direkt von den Spielenden als Parameter im Spiel beeinflusst werden können, sind das Wachstum der Schweine, deren Futter- und Wasseraufnahme, der Ammoniakgehalt in der Stallluft und die Außentemperatur. Eine beispielhafte Spielszene mit Einstellmöglichkeiten für Futtermischungen eines Mastdurchgangs zeigt Abbildung 1. Neben den Umweltwirkungen werden zur vergleichenden Betrachtung des einzelnen Betriebes ebenfalls ökonomische Aspekte sowie das Tierwohl berücksichtigt. Der ökonomische Bereich des Spiels beinhaltet fixe und variable Kosten der Schweinemast, um sowohl operative als auch strategische unternehmerische Entscheidungen einbringen zu können. Der Einfluss

des Tierwohls fügt sich als weiterer Aspekt, beispielsweise durch die Überprüfung der Einhaltung gesetzlicher Vorgaben [Ti01; Ve18] oder Label von Haltungskonzepten, in das Spielkonzept ein.

### 3 Diskussion und Ausblick

Das Serious Game *pigNplay* verknüpft als interaktives Spiel Eigenschaften einer Simulation auf Grundlage realer Daten mit einem pädagogischen Konzept, das sich an den Zielen einer BNE orientiert. Der Zusatz „Serious“ wird dabei auch durch die Qualität der Modellierung erreicht: Die Aufbereitung modellierter ökologischer sowie ökonomischer Wechselwirkungen ermöglicht das Erleben der Konsequenzen zuvor getroffener Entscheidungen. Im Optimalfall entwickeln sich im Zuge des Spielens erweiterte Handlungskompetenzen, die neue Handlungsmöglichkeiten für die reale landwirtschaftliche Betriebsführung eröffnen. Da sich das Spiel nicht nur mit Wechselwirkungen innerhalb des und ausgehend vom eigenen Betrieb beschäftigt, sondern ebenfalls mit überregionalen Einflüssen durch verschiedene Akteure, werden im Rahmen des Spielkonzeptes sehr unterschiedliche Sichtweisen zum Gegenstand der Auseinandersetzung.

Die spielerische Präsentation von natürlichen, ökonomischen und gesellschaftlichen Prozessen erfordert eine entsprechende wissenschaftlich fundierte Basis an Regressionsmodellen und Zahlen. Für die konventionelle Schweinehaltung in geschlossenen Stallsystemen existiert diese Datenbasis für verschiedenste Kombinationen von Parametern [AE98; Ki14; Ri10a; Ri10b], sodass diese auch im Spiel abgebildet werden können. Dagegen fehlt es bei anderen Haltungssystemen, wie beispielsweise der Haltung mit Außenklimareiz, vor allem für Emissionswerte an belastbaren Zahlen. Dies macht eine Abschätzung unterschiedlicher Maßnahmen, insbesondere in ihrem Zusammenwirken, schwierig. Solide Untersuchungsergebnisse sind jedoch wichtig, damit die Ausgabeparameter auf wissenschaftlich fundierten Werten basieren. Die Entwicklung des Serious Games wurde technisch daher so angelegt, dass nachträgliche Aktualisierungen und Erweiterungen folgen können. Zukünftige Modelle integrieren zu können ist insofern relevant, als dass bislang zwar diverse Versuche zur Emissionsminderung, v.a. durch bauliche Maßnahmen und neue Managementkonzepte durchgeführt wurden und dokumentiert sind [EDV11], die Interaktionen zwischen Einzelmaßnahmen jedoch noch nicht hinreichend untersucht sind.

Im Rahmen des Projektes zur Entwicklung von *pigNplay* werden die bisher entwickelten Modelle unter Berücksichtigung aktueller wissenschaftlicher Ergebnisse miteinander verknüpft und erweitert. Der modulare und parameterbasierte Entwicklungsansatz gewährleistet eine Anpassung und Erweiterung des Konzeptes bezogen auf Lehrziele, Spielsituationen und unterschiedliche Plattformen. Grundsätzlich ist zudem die Einbeziehung weiterer umweltrelevanter Themenbereiche oder anderer Nutztierarten möglich.

Dieser Beitrag entstand im von der DBU geförderten Projekt „Entwicklung eines systemorientierten Serious Games im Living Lab zur virtuellen Simulation von Konzepten und

Handlungsoptionen zur Verminderung von Stickstoffemissionen in der Schweinehaltung und zur Anpassung der Betriebe an den Klimawandel“ (Aktenzeichen 35488/01-36).

Literaturverzeichnis

- [AE98] Aarnink, A.; Elzing, A.: Dynamic model for ammonia volatilization in housing with partially slatted floors, for fattening pigs. *Livestock Production Science* 53 (2), S. 153-169, 1998.
- [CI02] Clemens, J.; Wolter, M.; Wulf, S.; Ahlgrimm, H.: Methan- und Lachgas-Emissionen bei der Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern. In: Brigitte Eurich-Menden (Hg.): *Emissionen der Tierhaltung (KTBL-Schrift, 406)*, S. 203–214, 2002.
- [De90] De Bode, M.: Vergleich der Ammoniakemissionen aus verschiedenen Flüssigmistlager-systemen. In: *Ammoniak in der Umwelt. Gemeinsames Symposium von KTBL und VDI in der FAL Braunschweig*, S. 34.1 - 34.13, 1990.
- [DEB21] Deblitz, C.; Efken, J.; Banse, M.: Politikfolgenabschätzung zu den Empfehlungen des Kompetenznetzwerks Nutztierhaltung. Johann Heinrich von Thünen-Institut, 2021.
- [EDV11] Eurich-Menden, B.; Döhler, H.; van den Weghe, H.: Ammoniakemissionsfaktoren im landwirtschaftlichen Emissionsinventar - Teil 2: Geflügel und Mastschweine. *Landtechnik* 66 (1), S. 60-63, 2011.
- [Fl06] Flachowsky, G.; Pallauf, J.; Pfeffer, E.; Rodehutscord, M.; Schenkel, H.; Staudacher, W.; Susenbeth, A.: *Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Schweinen*. Frankfurt am Main: DLG Verlag, 2006.
- [Ki14] Kirchgäßner, M.; Stangl, G.; Schwarz, F.; Roth, F.; Südekum, K.; Eder, K.: *Tierernährung. Leitfaden für Studium, Beratung und Praxis*. 14., aktualisierte Aufl. Frankfurt am Main: DLG-Verlag, 2014.
- [Li13] Liedtke, C.; Welfens, M.; Rohn, H.; Nordmann, J.: LIVING LAB. In: *International journal of sustainability in higher education*, 13, 2, S. 106-118, 2012.
- [Ri10a] Rigolot, C.; Espagnol, S.; Pomar, C.; Dourmad, J.: Modelling of manure production by pigs and NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions. Part I: animal excretion and enteric CH<sub>4</sub>, effect of feeding and performance. *Animal* 4 (8), S. 1401-1412, 2010.
- [Ri10b] Rigolot, C.; Espagnol, S.; Robin, P.; Hassouna, M.; Béline, F.; Paillat, J.; Dourmad, J.: Modelling of manure production by pigs and NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions. Part II: effect of animal housing, manure storage and treatment practices. *Animal* 4 (8), S. 1413-1424, 2010.
- [Ri21] Rieckmann, M.: Bildung für nachhaltige Entwicklung. Ziele, didaktische Prinzipien und Methoden. In: *merz – Zeitschrift für Medienpädagogik* 65(04), S. 10–17, 2021.
- [Ti01] TierSchNutzV: Verordnung zum Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere und anderer zur Erzeugung tierischer Produkte gehaltener Tiere bei ihrer Haltung, 2001.
- [WKT17] Wirz, A.; Kasperczyk, N.; Thomas, F.: *Kursbuch Agrarwende 2050 – ökologisierte Landwirtschaft in Deutschland*. Greenpeace e.V., 2017.