

**SCHLUSSBERICHT DES FÖRDERVEREIN BIOÖKONOMIEFORSCHUNG
ZUM FORSCHUNGSPROJEKT**

**„Genetische Verbesserung von Effizienzmerkmalen bei
Schweinen zur Reduktion von Nährstoffausscheidun-
gen“
- EffiPig -**

Zuwendungsempfänger: Förderverein Bioökonomieforschung e.V.

Vorhabenbezeichnung: EffiPig - Genetische Verbesserung von Effizienzmerkmalen bei
Schweinen zur Reduktion von Nährstoffausscheidungen

Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2021 – 30.04.2025 (Bewilligungszeitraum)

Projektpartner:



Universität Bonn, Abteilung Tierzucht (Verbundkoordinator)

Endenicher Allee 15
53115 Bonn



Universität Bonn, Abteilung Tierernährung

Endenicher Allee 15
53115 Bonn



Max Rubner-Institut - Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel, Institut für Sicherheit und Qualität bei Fleisch

E.-C.-Baumann-Straße 20
95326 Kulmbach



Förderverein Bioökonomieforschung e.V. (FBF)

Adenauerallee 174
53113 Bonn



Bundeshybridzuchtprogramm GmbH (BHZP)

An der Wassermühle 8
21368 Dahlenburg-Ellringen

I. KURZE DARSTELLUNG

1. Aufgabenstellung

Ziel des EffiPig-Projekts war es, verschiedene Schweineherkünfte auf die Nährstoffeffizienz zu untersuchen und mögliche Konsequenzen einer reduzierten Nährstoffversorgung zu beurteilen. Dabei sollen vier aufeinander aufbauende Teilprojekte (TP) bearbeitet werden:

TP1: 2000 Schweine werden unter derzeit üblicher oder unter stark reduzierter N/P-Nährstoffversorgung leistungsgeprüft. Neben den üblichen Merkmalen der Fleischleistung werden Fettsäuremuster, Ebergeruch im Speck sowie Knochendichte und -zusammensetzung erfasst.

TP2: Um die Verdaulichkeit von N und P möglichst exakt zu bestimmen, wird bei einer repräsentativen Stichprobe von 400 Tieren ein unverdaulicher Marker dem Futter beige-mischt. mithilfe der Ergebnisse der Leistungsprüfung und der Nährstoffverdaulichkeit dieser Tiere soll eine Schätzformel für die N- und P-Verdaulichkeit entwickelt werden.

TP3: Die aus TP2 abgeleitete Formel wird genutzt, um die Nährstoffverdaulichkeit der nicht in TP2 untersuchten Schweine zu schätzen. Die erfassten Informationen in den 2 Fütterungsgruppen erlauben es, die Auswirkungen der reduzierten N/P Versorgung auf die Leistungen und Gesundheit der Tiere sowie mögliche Genotyp×Umwelt - Interaktionen zu beurteilen. Damit wird es ermöglicht, Zuchteber zu identifizieren, deren Nachkommen besonders für reduzierte N-/P-Versorgungssysteme geeignet sind. mithilfe von Genotypinformationen aller untersuchten Tiere soll die genetische Beeinflussung der erhobenen Merkmale untersucht werden.

TP4: Die Erkenntnisse des Projekts werden in Workshops, Anwenderseminaren und Pressemitteilungen den Zuchtorganisationen und Herdbuchverbänden präsentiert.

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Projektvorhaben wurde initiativ bei der BLE im Jahr 2018 vorgestellt, und am 14.12.2020 wurde die Projektskizze zur Vorlage des Projektantrags im Zweckvorhaben der Landwirtschaftlichen Rentenbank aufgefördert.

Obwohl seit der Entwicklung der Idee des Projekts bis hin zur Durchführung bereits fünf Jahre vergangen sind, sind die Aspekte der Nachhaltigkeit und des Klimaschutzes sowie die Unterstützung von Umbau- und Effizienzmaßnahmen in der Tierhaltung nach wie vor von zentraler Bedeutung. Somit zählen sie zu den förderpolitischen Zielen des Bundesministeriums für Landwirtschaft, Ernährung und Heimat (BMLEH, 2025).

Bereits 2020, mit der Einführung der Vorgaben der neuen Düngeverordnung, hat die Effizienz der Nährstoffverwertung (Synonym: Nährstoffeffizienz) in der Schweineproduktion an Bedeutung gewonnen. Insbesondere in viehintensiven Gebieten steht der Landwirt vor der Herausforderung, vor allem die Stickstoff- (N) und Phosphor- (P) Ausscheidungen der Tiere weiter zu senken. Das EffiPig-Projekt liefert Erkenntnisse zur Verbesserung der Nährstoffnutzungseffizienz bei Schweinen und leistet somit einen Beitrag zum Ressourcen- und Tiererschutz, welche eine zentrale Rolle in den förderpolitischen Zielen des BMLEH spielen.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt startete am 01.04.2021 mit einer geplanten Laufzeit von drei Jahren. Das Projekt wurde bis 30.4.2025 verlängert.

Die folgende Beschreibung fokussiert sich auf alle vier Teilprojekte (TP) und die Arbeitspakete, an denen der FBF beteiligt war.

Arbeitspaket Teilprojekt I (AP_{TP1}): Erfassung der Restfutteraufnahme – Bedeutung der Genotyp×Umwelt-Interaktion

AP_{ITW1}: Auftrag: Leistungsprüfung von 800 Schweinen in Schwarzenau

Für die Durchführung der Leistungsprüfung wurde in Kooperation mit Mitgliedsorganisationen des FBF e.V. bei der LfL in Schwarzenau durchgeführt. Dazu fanden in AP_{FBF1} Absprachen zur Anpaarungsplanung im Mai 2021 statt. Der Projektpartner FBF e.V. stellte in Absprache mit den Mitgliedsorganisationen den Kontakt zur LPA Schwarzenau her und führte erste Absprachen zur Anpaarungsplanung und zum Versuchsdesign. Für die Belegungen an Sauen eines Prüfbetriebes wurden 24 verschiedene KB-Eber ausgewählt. Die Durchführung der Leistungsprüfung erfolgte in 8 Durchgängen mit jeweils 60 männlichen und 60 weiblichen heranwachsenden Schweinen. Darüber hinaus wurde mit der LfL Schwarzenau in enger Kooperation die Futtermittelration der zwei-phasigen Mast sowie die N/P-reduzierte Rationsgestaltung der Versuchsgruppe abgestimmt.

Da die Leistungsprüfung beim Schwein in Schwarzenau zu Routineabläufen gehört, war es möglich, die Ferkel aus bereits bestehenden Anpaarungen, die in dem Versuchsvorhaben entsprachen, in EffiPig zu untersuchen. Die Einstellungen der Ferkel der ersten zwei Durchgänge erfolgten ab dem 29.07.2021 und die Leistungsprüfung sowie die damit verbundene Aufteilung der Vollgeschwister in die Kontroll- und Versuchsgruppen schlossen sich ab dem 27.09.2021 an. Die nachfolgenden Durchgänge wurden im halbjährlichen Abstand aufgestellt. Die letzten Schlachtungen erfolgten im März und April 2023. Die Durchführung der Leistungsprüfung der angestrebten 800 Schweine des Versuchsdesigns des Projekts (Aufteilung der Vollgeschwister nach Geschlecht und Versuchsgruppe) konnte in der Projektlaufzeit abgeschlossen werden.

Arbeitspaket Teilprojekt II (AP_{TPII}): Verifikation von Methoden zur Erfassung der Nährstoffeffizienz

AP_{ITW2}: Leistungsprüfung von 200 Tieren auf dem Campus Frankenforst und Auftrag der Leistungsprüfung von 200 Tieren auf Haus Düsse

Neben der Leistungsprüfung in Gruppen wurden in TP II, zusätzlich 2×200 Tiere einzeln aufgestellt, um Informationen zur tierindividuellen Futteraufnahme und Kotproben zu sammeln. Auf Haus Düsse wurden Landrasse-Eber analog zu den Ebern der BHZP untersucht und auf dem Campus Frankenforst (CFF) Kreuzungstiere der Tiere Piétrain×Landrasse - Sau geprüft und beprobt. Die Auswahl der Landrasse-Ferkel erfolgt durch den Projektpartner BHZP. Für die Erzeugung der CFF Ferkel wurden in Abstimmung mit den Mitgliedern des FBF und den Kolleg*innen des LfL Bayern KB-Eber ausgewählt. Diese Ferkel wurden auf dem Campus Frankenforst durch den Einsatz von Piétrain-KB-Ebern erzeugt. Ein Teil dieser Vatertiere wurde stationsübergreifend eingesetzt, sodass eine genetische Verknüpfung der Datensätze CFF und Schwarzenau gewährleistet ist.

AP_{ITW3}: Kotsammlung (Frankenforst und Haus Düsse)

Die Sammlung der Kotproben erfolgte auf Haus Düsse und dem Campus Frankenforst, da nur dort eine tierindividuelle Aufstallung möglich war. Aus Tierschutzgründen hatten alle Tiere während der Mastperiode die Möglichkeit, ihre Artgenossen zu sehen, zu hören und zu riechen. Die Kotproben wurden sieben Tage nach der Umstellung auf ein neues Futtermittel gesammelt. An fünf aufeinanderfolgenden Tagen wurden vormittags und nachmittags Kotproben von jedem Tier gesammelt. Die Anzahl der Sammeltermine orientierte sich an den Fütterungsarten in den Stationen der BHZP und Schwarzenau. Auf Haus Düsse wurde eine 3-phasige Mast realisiert, sodass zu drei Terminen (Vormast, Mittelmast und Endmast) Kotproben gesammelt wurden, da die Tiere bei der BHZP im Rahmen der Leistungsprüfungen des Zuchtprogramms eine multi-phasen Mast durchlaufen. Eine Multi-phasenmast war aus technischen Gründen auf Haus Düsse nicht umsetzbar, sodass mit einer 3-phasigen Mast versucht wurde, sich diesem Konzept anzunähern. Auf dem Campus Frankenforst erfolgte in Anlehnung an die Leistungsprüfung in Schwarzenau eine 2-phasigen Mast. Die Durchführung der anfallenden Tätigkeiten einschließlich Kotprobensammlung wurde in diesem AP aktiv durch den FBF unterstützt. Die Aufgaben umfassten neben der Vorbereitung der Materialien für die Probensammlung, die Beurteilung der Tiere während des Tierversuchs, die Rückwägen der Futtermittel, die tierindividuelle Kotprobensammlung sowie die Verarbeitung der Kotproben. Die tierindividuelle Kotprobensammlung konnte zeitverzögert umgesetzt werden. Insgesamt wurden 965 Kotproben gesammelt (570 auf Haus Düsse und 395 auf dem Campus Frankenforst).

AP_{ITW6}: Analyse der Fleischbeschaffenheitsmerkmale

Die Indikatoren der Fleischbeschaffenheit - Tropfsaftverlust, Auftauverlust, Kochverlust sowie Zartheit (ermittelt durch Scherkraftmessung) und intramuskulärer Fettanteil - wurden im ITW-Labor der Tierzucht untersucht. Die Verarbeitung und Vorbereitung der Proben zur Messung des Tropfsaftverlusts erfolgte 24 Stunden nach der Schlachtung. Hierzu wurde aus den am Schlachthof gesammelten 3-Rippen-Kotelett-Stücken der rechten Schlachtkörperhälfte der Rückmuskel herausgelöst und zwei Muskelscheiben für die Erfassung des Tropfsaftverlusts und des intramuskulären Fettgehalts (IMF) vorbereitet. Der Tropfsaftverlust wurde nach 48 Stunden mit der Bag-Methode (Honikel 1998) erfasst. Anschließend wurden die Proben eingefroren und bis zur weiteren Verarbeitung eingelagert. Zur Erfassung der Zartheit des Fleisches wurden die Proben aufgetaut und gemäß eines Standardprotokolls gekocht. Ergänzend wurden die Auftau- und Kochverluste ermittelt. Das Merkmal Zartheit wurde mittels Scherkraftmessungen (Instron 4301) zweifach erfasst.

Zur Erfassung des IMF wurden die eingelagerten Proben aufgetaut, eine definierte Menge feingemahlen (gemust) und mithilfe des VOSS FoodScan™ Lab auf Basis von MIR-Spektraldatenmessungen analysiert. Bei hohen Probenmengen wurden diese durch Mitarbeiter des FBF unterstützt. Insgesamt wurden am ITW die Daten von 1306 Fleischproben erfasst und hinsichtlich ihrer Merkmale der Fleischbeschaffenheit untersucht.

AP_{ITW9}: Freilegung der Knochen

Die nach der Schlachtung gesammelten Pfoten wurden ins ITW gebracht und dort zunächst eingelagert. Anschließend wurden die Knochen Metacarpus 3 und 4 (MC3 und 4) aus der Pfote manuell extrahiert. Im nächsten Schritt wurden die Länge und die Breite an der dünnsten Stelle (subjektiv) sowie das Gewicht erfasst. Zusätzlich wurden die Proben fotografiert, um Auffälligkeiten und die Probennummer zu dokumentieren (Abbildung 1).

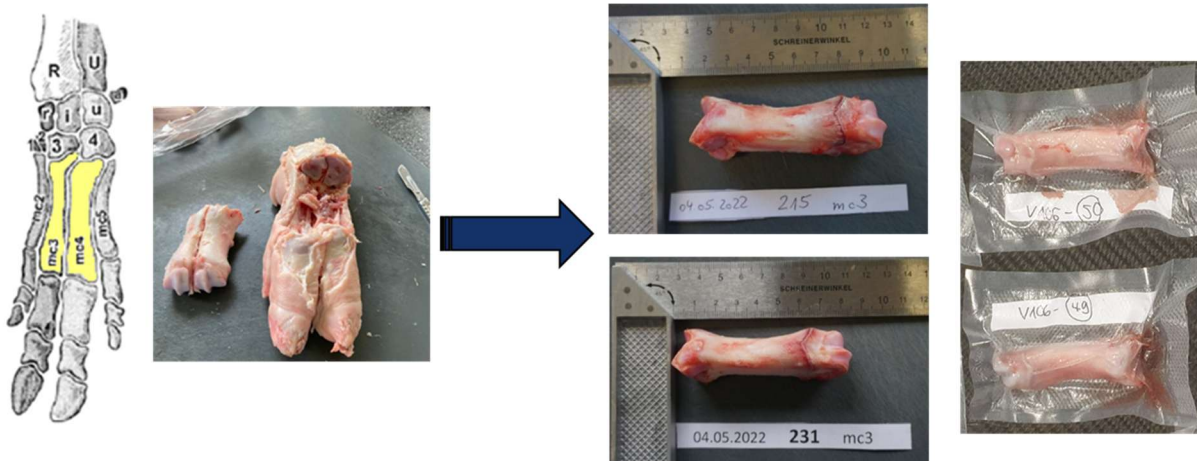


Abbildung 1 Extraktion der Metacarpalknochen 3 und 4 aus dem rechten Vorderfuß eines Mastschweins

Zur erneuten Einlagerung und zum späteren Versand der Proben an den Projektpartner MRI wurden die Proben vakuiert. Während der Projektphase erhielt das hauptverantwortliche ITW-Team personelle Unterstützung durch Mitarbeitende des FBF bei der Präparation der Knochen. Insgesamt wurden 2045 Pfoten bearbeitet. Dabei mussten 54 Proben verworfen werden, da sie entweder zu kurz vom Schlachtkörper abgetrennt worden waren oder sie im Schlachtprozess stark beschädigt wurden. Darüber hinaus wurden 100 Proben aus den späteren Auswertungen ausgeschlossen werden, da eine eindeutige Zuordnung der Probennummern nicht möglich war. Dabei handelte es sich vor allem um Proben, die im kommerziellen Schlachthof der Firma Westfleisch eG gesammelt wurden. Die hohen Geschwindigkeiten des Schlachtbands führten in diesen Fällen zu diesen Fehlern.

Arbeitspaket Teilprojekt III (AP_{TPIII}): Auswertung der im Projekt erhobenen Daten, genomische Untersuchungen und Beurteilung der Konsequenzen einer Nährstoffreduzierten Versorgung

Die Auswertungen erfolgten beim Projektpartner ITW, der FBF unterstützte die Bewertung und Interpretation der erzielten Ergebnisse durch die Darstellung der Ergebnisse in der Fachgruppe Genom Schwein.

Arbeitspaket Teilprojekt IV (AP_{TPIII}): Wissenstransfer der Erkenntnisse

AP_{FBF/BHZP/MRI/TW1}: Wissenstransfer (Anwenderworkshop)

Der FBF übernahm im Rahmen des TP4 die Verantwortung für den Wissenstransfer in die Praxis. Ein zentrales Element dabei war der kontinuierliche Austausch innerhalb der Fachgruppe „Genom Schwein“, in der Zwischenergebnisse und methodische Ansätze regelmäßig diskutiert wurden. Darüber hinaus wurden die Fortschritte und Erkenntnisse des Projekts jährlich im Rahmen der Mitgliederversammlungen des FBF vorgestellt und zur Diskussion gestellt.

Der Abschlussworkshop mit dem Titel „Genetische Verbesserung von Effizienzmerkmalen beim Schwein zur Reduktion von Nährstoffausscheidungen“ fand am 24. März 2025 im Anthroposophischen Zentrum in Kassel statt. Bei diesem Workshop präsentierten alle Projektpartner die Ergebnisse des Projekts. Darüber hinaus stellten zwei externe Referenten aus den Fachdisziplinen Tierernährung und Tierzucht weitere ergänzende Projekte vor, die sich ebenfalls mit den Themen Nährstoffreduktion in der Fütterung sowie genomischer und mikrobieller Forschung zur N-Effizienz beim Schwein befassten. Alle Projektpartner nahmen aktiv am Abschlussworkshop teil und stellten die Details der Arbeitspakete des Projekts einschließlich der bisher erzielten Ergebnisse vor. Der Workshop wurde von Seiten des FBF organisiert. Der Abschlussworkshop war ein wichtiger Beitrag, um die ersten Ergebnisse des Projekts zu präsentieren. Insbesondere die abschließende Diskussion zwischen Wissenschaftlern und Praktikern verdeutlichte die Wichtigkeit des Themas sowie die vielen offenen Fragestellungen – sowohl wissenschaftlicher als auch wirtschaftlicher Natur. Zudem wurden bei der Auswertung der Daten wichtige Anregungen gegeben, die in den zum Teil bereits gestarteten Folgeprojekten umzusetzen sind.

Bereits zu Beginn des Projekts wurde am 5. November 2021 eine Pressemitteilung veröffentlicht, um auf das Vorhaben aufmerksam zu machen. Eine weitere Pressemitteilung erschien zum Projektende im Mai 2025. Beide Veröffentlichungen sowie weiterführende Informationen wurden auf der offiziellen Homepage des FBF bereitgestellt ([Link zur Webseite](#)).

Ergebnisse des Projekts wurden zudem mit Unterstützung des FBF auf mehreren wissenschaftlichen Tagungen präsentiert, wodurch eine zusätzliche Verbreitung in der Fachwelt gewährleistet wurde. Der Wissenstransfer in die Zuchtorganisationen erfolgt nicht nur während der Projektlaufzeit, sondern wird auch darüber hinaus nachhaltig fortgeführt.

4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Erfassung der Nährstoffeffizienz

Die effiziente Umsetzung von Futter in körpereigenes Protein und Fett ist die Grundlage für eine wirtschaftliche und umweltschonende Schweineproduktion (Stern et al. 2005).

Üblicherweise wird die Futtereffizienz mit dem Merkmal „Futtermittelverbrauch je kg Zuwachs“ mit der praxisüblichen Bezeichnung FVW erfasst (BRS e.V. 2019). Dieses Merkmal charakteri-

siert das Verhältnis zwischen der aufgenommenen Futtermenge und dem Zuwachs an Körpermasse. Eine Bewertung bzw. Rangierung der Tiere im Merkmal FVW ist bei Verabreichung eines einheitlichen, standardisierten Futters möglich. Diese Voraussetzung ist bei der stationären Geschwister-/Nachkommen-Prüfung von Mastschweinen gemäß der Richtlinie für die Stationsprüfung auf Mastleistung, Schlachtkörperwert und Fleischbeschaffenheit beim Schwein (BRS e.V. 2019) erfüllt. Bei dieser Prüfung werden Schweine mit einem einheitlichen, hochwertigen Futter gemästet (BRS e.V. 2019). Die aufgenommene Futtermenge erlaubt somit eine mehr oder weniger eindeutige Aussage über die aufgenommene Menge an Nährstoffen. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Verdaulichkeit und Umsetzbarkeit gleicher Futtermittel (Getreide) sehr unterschiedlich sein können (siehe z.B. Rosenfelder et al. 2016) und die Kalkulation der Nährstoffeffizienz somit bei der Annahme konstanter Inhalts- bzw. Nährstoffe fehlerhaft sein kann. Darüber hinaus ist die Abschätzung der Zusammensetzung des Schlachtkörpers (Fett, Muskelfleisch) insbesondere beim lebenden Tier nur relativ ungenau oder mit sehr großem experimentellem Aufwand möglich.

In verschiedenen Übersichtsreferaten (Kennedy et al. 1993, Gilbert et al. 2017) wurde darauf hingewiesen, dass eine verbesserte Nährstoffeffizienz sowohl durch eine reduzierte Aufnahme als auch durch eine veränderte Schlachtkörperzusammensetzung erreicht werden kann. Aus diesem Grund sind die Verhältnismerkmale der Nährstoffeffizienz züchterisch nur schwer zu beeinflussen. Idealerweise ließe sich die Nährstoffeffizienz eines Tieres durch eine exakte Erfassung der Nährstoffaufnahme und -ausscheidung sowie der Zusammensetzung des Zuwachses bestimmen. Eine solche Messung wäre im Rahmen eines Exaktversuchs nur mit hohem technischem Aufwand realisierbar. Für umfangreiche Routineuntersuchungen im Rahmen von Leistungsprüfungen innerhalb kommerzieller Zuchtprogramme sind solche direkten, aufwändigen Messungen jedoch nur bedingt geeignet.

Alternativ bietet sich die Erfassung der sogenannten Restfutteraufnahme (**Residual Feed Intake, RFI**) an. Dabei wird die tatsächliche Nährstoff- bzw. Futtereffizienz unter Berücksichtigung der erfassten Nährstoffaufnahme und der geschätzten Körperzusammensetzung berechnet (Koch et al. 1963; Gilbert et al. 2017). Die RFI wird als die Differenz zwischen der tatsächlichen Energieaufnahme und der auf Grundlage von Erhaltungs- und Leistungsbedarf geschätzten Energieaufnahme definiert (Koch et al. 1963; Kennedy et al. 1993).

Unter den stationären Bedingungen der Leistungsprüfung können die aufgenommene Nährstoffmenge sowie das Lebend- bzw. Schlachtgewicht exakt erfasst werden. Mithilfe von Hilfsmerkmalen wie der Rückenspeckdicke und der Muskelfläche kann der Körperzuwachs bzw. die Körperzusammensetzung am lebenden und geschlachteten Tier mit zufriedenstellender Genauigkeit abgeschätzt werden. Gemeinsam mit dem Lebend- oder Schlachtgewicht des Tieres lässt sich mit diesen Informationen der Erhaltungs- und Produktionsbedarf je Tier annäherungsweise vorhersagen. Somit sind die Kausalkomponenten zur Berechnung der RFI verfügbar und erlauben eine Kalkulation potenziell umweltbelastender Nährstoffverluste.

Genotyp×Umwelt-Interaktionen (GUI)

Wie oben bereits erwähnt, lassen sich die Merkmale der Nährstoffverwertung bei Verabreichung unterschiedlicher Futtermittel nur bedingt miteinander vergleichen. Unterschiede im

Niveau produktionsrelevanter Merkmale lassen sich hingegen mithilfe von Fütterungsversuchen relativ zuverlässig abbilden. Aus züchterischer Sicht äußert sich das Problem der Nährstoffeffizienz bei Verabreichung unterschiedlicher Futtermittel in Form möglicher GUI. Aus der Literatur und eigenen Untersuchungen (Tholen et al. 1998; Rothschild 2011) ist bekannt, dass insbesondere das Merkmal FVW bei Verabreichung der üblichen, stationären Standardfuttermittel eine mittlere bis hohe Erblichkeit aufweist. Somit kann eine züchterische Verbesserung der Nährstoffeffizienz erreicht werden. Unklar ist jedoch, ob die Rangierung von Zuchtieren bei der Verfütterung von Futtermitteln mit unterschiedlicher Zusammensetzung und Qualität zum gleichen Ergebnis führt. Solche, als GUI bezeichneten Effekte wurden bei Merkmalen der Mastleistung (Zunahme) u.a. in den Untersuchungen von Tholen et al. (1998) und Merks (2001) nachgewiesen.

Die Genetik der Restfutteraufnahme und Nährstoffeffizienz

Die genetischen Grundlagen des Merkmals RFI wurden bisher vor allem in Reinzuchtlinien beim Schwein untersucht. Die Erblichkeit (h^2) liegt generell bei einem mittleren Niveau von 0,3 bis 0,4 und ist somit höher als die h^2 der Futtermittelverwertung, die ebenfalls in den folgenden Studien untersucht wurde (Do et al. 2013; Gilbert et al. 2017). Eine Selektion auf eine reduzierte RFI kann zu einer effizienteren Energieausnutzung führen, ohne das für den Leistungsbedarf notwendige Futteraufnahmevermögen zu beeinträchtigen (Kennedy et al. 1993).

Im Gegensatz zum RFI sind die genetischen Grundlagen der N- und P-Effizienz beim Schwein bisher wenig erforscht. In der Studie von Saintilan et al. (2013) wurden Schweine der Rassen Landrasse, Large White und Piétrain untersucht. Die h^2 für die Merkmale der N- und P-Ausscheidung lagen mit Werten zwischen 0,29 und 0,41 in einem mittleren Bereich. Die N- und P-Ausscheidung wurden mit den Schätzformeln nach Dourmad et al. (2002) und Guillou et al. (1993) berechnet. Shirali et al. (2012) untersuchten F_2 -Kreuzungstiere und schätzten die Anteile der N-Ausscheidung mit der ‚Deuterium-Dilutionstechnik‘. Die Erblichkeiten lagen auf einem ähnlichen Niveau.

In beiden Untersuchungen wurden die phänotypischen und genetischen Beziehungen zur Mast- und Schlachtleistung berechnet. Die phänotypische und genetische Beziehung der N- und P-Ausscheidung zur FVW lag bei $r_g=0,97$ bis 0,99 (Shirali et al. 2012; Saintilan et al. 2013). Diese hohen Korrelationen sind vor dem Hintergrund des eingesetzten standardisierten Futters mit hoher Nährstoffverfügbarkeit zu erklären. Die Beziehung zur Restfutteraufnahme hingegen variierte deutlich stärker zwischen den jeweiligen Rassen und lag bei $r_g=0,38$ und 0,86.

Darüber hinaus stellten Saintilan et al. (2013) mittlere bis hohe negative genetische Korrelationen zwischen dem Merkmal Magerfleischanteil und den N- und P-Ausscheidungsraten fest. Die größten Unterschiede wurden zwischen Tieren der Landrasse mit r_g zwischen -0,85 und -0,75 und sowie Tieren der Rasse Piétrain mit r_g zwischen -0,40 und -0,26 beobachtet. Ähnliche Ergebnisse wurden für das Merkmal tägliche Zunahme erzielt. Es wurden auch positive genetische Korrelationen für Merkmale der Futteraufnahme und Rückenspeckdicke berechnet, wobei sich ebenfalls deutliche Unterschiede zwischen den Rassen zeigten.

Um Genomregionen zu identifizieren, die einen Einfluss auf den RFI haben wurden bisher fünf QTL- oder GWA-Studien durchgeführt (Fan et al. 2010; Onteru et al. 2013; Do et al. 2014a; Do et al. 2014b; Sanchez et al. 2014). In diesen Studien wurden entweder über mehrere Generationen hinweg auf RFI selektiert Linien (Fan et al. 2010; Onteru et al. 2013) oder Reinzuchtlinien (Do et al. 2014b; Do et al. 2014a; Sanchez et al. 2014) untersucht. In diesen Arbeiten wurde eine große Anzahl von Genen mit relevanten Effekten auf den RFI gefunden, sodass die Autoren eine polygene Vererbung der Nährstoffeffizienz für sehr wahrscheinlich halten.

Nährstoffeffizienz und Tierwohl

Auswahl pflanzlicher Proteinquellen

Bei der Wahl der Futtermittel spielen neben den wirtschaftlichen Aspekten auch die potenziellen Umweltbelastungen der einzelnen Futtermittel eine immer größere Rolle. Dies betrifft insbesondere den Einsatz unterschiedlicher Proteinquellen. Die Sojabohne wird in der Fütterung von Mastschweinen als kostengünstige und hochwertige Proteinquelle umfassend eingesetzt. Der Einsatz von Sojafuttermitteln ist jedoch mittlerweile umstritten, da sie zum Großteil aus Südamerika (Brasilien, Argentinien) importiert werden müssen. In diesen Ländern sind in den vergangenen Jahrzehnten für den Sojabohnenanbau immer mehr Anbauflächen durch die Umwandlung von Wald- und Savannenflächen entstanden, was drastische Auswirkungen auf die Umwelt hat (LUC – land use change) (Steinfeld et al. 2006; Gerber et al. 2013). Aus diesem Grund sind alternative Proteinquellen, die für den Anbau in Deutschland (Europa) geeignet sind, attraktiver und notwendiger. Der Einsatz dieser Futtermittel ist jedoch fraglich, da das Protein im Vergleich zu Sojafuttermitteln eine verminderte Qualität (Aminosäurenmuster) aufweist und zahlreiche antinutritiv wirksame Inhaltsstoffe enthält (Jezierny et al. 2010). Eine umfassende Bilanzierung des Einsatzes alternativer Proteinquellen im Hinblick auf Nährstoffeffizienz und Umweltbelastung ist derzeit noch nicht möglich.

Zusammensetzung des Knochens und Organbefundung am Schlachthof

Die Versorgung der Tiere unterhalb ihres Bedarfes kann zu einer verlängerten Mast und zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen. Studien der Landwirtschaftskammer NRW (Norda et al. 2018) und des Schweinezuchtunternehmens Suisag (Hofer et al. 2018) zeigten, dass die Tiere nicht nur langsamer wuchsen, sondern auch, dass der Anteil verworfener Tiere leicht anstieg. Dabei wurden unterschiedlichste Ursachen beschrieben. In der Praxis lassen sich vor allem Informationen des betrieblichen Gesundheitsmanagements sowie der Organbefunde am Schlachthof nutzen, um das Tierwohl im Rahmen einer reduzierten Versorgung mit Protein zu beurteilen.

Eine veränderte Zusammensetzung der Futtermischungen hinsichtlich Proteingehalt und Komponenten, hat Einfluss auf das Wachstum und die Entwicklung der Tiere (Hinson et al. 2009; Varley et al. 2011; Nethe 2014). Eine veränderte Versorgung könnte sich auf das Knochenwachstum und die damit verbundene Fundamentstabilität auswirken und somit das Tierwohl beeinflussen. Insbesondere die Versorgung mit Calcium (Ca), Phosphor (P) und

Magnesium (Mg) ist für die Zusammensetzung und das Wachstum von Knochen entscheidend. Beim Einsatz einheimischer Futtermittel ist allerdings bekannt, dass die Verfügbarkeit dieser Mineralstoffe eingeschränkt ist (Jeroch et al. 2008).

Fleischqualität: Fettzusammensetzung und Ebergeruchsleitkomponenten

In der Studie von Mörlein und Tholen (2015) wurde das Fettsäuremuster im Speck von Ebern untersucht, die mit einem einheitlichen Futter gemästet wurden und unterschiedliche Skatolkonzentrationen aufwiesen. Dabei zeigte sich, dass der Anteil an mehrfach ungesättigten Fettsäuren (PUFA) im Rückenspeck von Ebern mit sehr niedrigen Skatolgehalten signifikant erhöht war, wohingegen der Anteil an gesättigten Fettsäuren reduziert war. Die Autoren schlussfolgerten, dass neben tierindividuellen Effekten auch die Menge des aufgenommenen Futters die Fettsäurezusammensetzung im Speck erheblich beeinflusst.

In ihrem Übersichtsartikel aus dem Jahre 2008 beschreiben Wood et al. (2008) die Beziehung zwischen der Zusammensetzung von Futtermitteln und der Fleischbeschaffenheit. Insbesondere die Anteile an mehrfach und einfach ungesättigten Fettsäuren im Futter beeinflussen jedoch auch das Fettsäuremuster im Muskel- und Fettgewebe. Zudem haben aber der Fettanteil und dessen Zusammensetzung im Futter einen deutlichen Einfluss auf das Futteraufnahmeverhalten der Tiere und somit auch auf die Schlachtkörperzusammensetzung und die Fleischbeschaffenheit (siehe Henry 1985).

Mit dem ab dem 01.01.2021 geltenden Verbot der betäubungslosen Kastration gewinnt die Ebermast an Bedeutung. In Bezug auf die Fütterungseffizienz sind Eber deutlich besser als Sauen und Kastrate (Merks et al. 2009; Frieden et al. 2014a), so dass eine deutliche Verbesserung der Nährstoffeffizienz zu erwarten ist. Obwohl Eber deutlich effizienter gemästet werden können als Sauen oder Kastrate, sind einige Aspekte bisher ungeklärt. So kann beispielsweise die sensorische Belastung durch den Ebergeruch kann bei Schlachtkörpern von Ebern auftreten. Es konnte jedoch gezeigt werden, dass sich der Ebergeruch durch eine angepasste Fütterung reduzieren lässt (Wesoly und Weiler 2012)

II. KURZFASSUNG

Aufgrund der Vorgaben der neuen Düngeverordnung aus dem Jahr 2020 hat die Nährstoffeffizienz in der Schweineproduktion an Bedeutung gewonnen. Insbesondere in viehintensiven Gebieten stehen Landwirte vor der Herausforderung, die Ausscheidungen von Stickstoff (N) und Phosphor (P) zu reduzieren. Neben fütterungsbedingten Maßnahmen rückt dabei die genetische Verbesserung der Nährstoffeffizienz zunehmend in den Fokus, da sie langfristige und nachhaltige Effekte verspricht. Ziel des Projekts war es, die Nährstoffeffizienz verschiedener Schweineherkünfte unter konventioneller sowie N-/P-reduzierter Fütterung zu untersuchen, mögliche Genotyp×Umwelt-Interaktionen (GUI) zu bewerten und die Konsequenzen für Leistung, Tierwohl, Fleischqualität und Knochenstabilität zu beurteilen. Darüber hinaus sollten genetische Parameter ermittelt und eine Grundlage für züchterische Entscheidungen geschaffen werden.

Im Rahmen des Projekts wurden 1073 Landrasse-Eber und 1005 Kreuzungstiere (Piétrain×F1-Sau oder Piétrain×Landrasse-Sau) untersucht. Die Tiere wurden in Gruppen aufgeteilt und unter kontrollierten Bedingungen entweder mit einer konventionellen oder einer deutlich N-/P-reduzierten Ration gemästet. Es wurden Daten zur Futtermittelaufnahme, zur Mast- und Schlachtleistung, zur Fleischqualität, zur Fettsäurezusammensetzung, zu den Knochenparametern sowie umfangreiche Genotypdaten erhoben. In einem Verdaulichkeitsversuch wurden zusätzlich individuelle Kot- und Futtermittelproben zur Erfassung der N- und P-Ausscheidung gesammelt.

Die Ergebnisse zeigen, dass eine Reduzierung des N-Gehaltes im Futter zu einer verringerten N-Ausscheidung führt. Die Leistungsunterschiede zwischen den Fütterungsgruppen waren moderat und rassespezifisch. Zum Nachweis von GUI wurde je nach Fütterungsgruppe ein Merkmal als unterschiedliche Information betrachtet. Die überwiegend hohen genetischen Korrelationen zwischen diesen fütterungsgruppenspezifischen Merkmalen verdeutlichen, dass GUI nur in Ausnahmefällen von Bedeutung sind. Somit ist keine grundlegende Änderung der züchterischen Rangierung von Selektionskandidaten zu erwarten.

Insgesamt zeigt EffiPig, dass sich unter Berücksichtigung genetischer Aspekte der N- und P-Gehalt ohne erkennbare negative Auswirkung auf Leistung und Gesundheit der Tiere reduzieren lässt. Die gewonnenen Daten sind eine wertvolle Grundlage für weiterführende genetische Analysen und die Entwicklung nachhaltiger Zucht- und Fütterungsstrategien.

III. LITERATURVERZEICHNIS

- Bundesministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Heimat (2025): Mit der Fördermaßnahme "Land.Heimat.Innovativ" stärkt das BMLEH die ländlichen Regionen. <https://www.bmleh.de/DE/themen/heimat/foerderung-land-heimat-innovativ.html>, 14.01.2026.
- Do, D. N., T. Ostensen, A. B. Strathe, T. Mark, J. Jensen und H. N. Kadarmideen (2014a): Genome-wide association and systems genetic analyses of residual feed intake, daily feed consumption, backfat and weight gain in pigs. *BMC genetics* **15**, 27.
- Do, D. N., A. B. Strathe, J. Jensen, T. Mark und H. N. Kadarmideen (2013): Genetic parameters for different measures of feed efficiency and related traits in boars of three pig breeds. *J. Anim. Sci.* **91**, 4069–4079.
- Do, D. N., A. B. Strathe, T. Ostensen, S. D. Pant und H. N. Kadarmideen (2014b): Genome-wide association and pathway analysis of feed efficiency in pigs reveal candidate genes and pathways for residual feed intake. *Front. Genet.* **5**, 307.
- Dourmad, J. Y., C. Pomar und D. Massé (2002): Modélisation du flux de composés à risque pour l'environnement dans un élevage. *Journ. Rech. Porcine Fr.*, 183–184.
- Fan, B., S. Lkhagvadorj, W. Cai, J. Young, R. M. Smith, J. C. Dekkers, E. Huff-Lonergan, S. M. Lonergan und M. F. Rothschild (2010): Identification of genetic markers associated with residual feed intake and meat quality traits in the pig. *Meat Sci.* **84**, 645–650.
- Frieden, L., C. Große-Brinkhaus, C. Neuhoff, K. Schellander, C. Looft und E. Tholen (2014): Möglichkeiten zur Reduktion von geschlechtsbedingten Geruchsabweichungen am Schlachtkörper von männlichen, unkastrierten Mastschweinen - Teil 1: Häufigkeit von Ebergeruch bei der Herkunft von Piétrain x Kreuzungssau und Möglichkeiten der haltungsbedingten Beeinflussung. Reduktion Ebergeruch. *Züchtungskunde*, 297–318.
- Gerber, P. J., H. Steinfeld, B. Henderson, A. Mottet, C. Opio, J. Dijkman, A. Falucci, G. Tempio und weitere (2013): Tackling climate change through livestock - A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Gilbert, H., Y. Billon, L. Brossard, J. Faure, P. Gatellier, F. Gondret, E. Labussiere, B. Lebret, L. Lefaucheur, N. Le Floch, I. Louveau, E. Merlot, M.-C. Meunier-Salaun, L. Montagne, P. Mormede, D. Renaudeau, J. Riquet, C. Rogel-Gaillard, J. van Milgen, A. Vincent und J. Noblet (2017): Review: divergent selection for residual feed intake in the growing pig. *Animal*, 1427–1439.
- Guillou, D., J. Y. Dourmad und J. Noblet (1993): Influence de l'alimentation, du stade physiologique et des performances sur les rejets azotés du porc à l'engrais, de la truie et du porcelet. *Journ. Rech. Porcine Fr.*, 307–314.
- Henry, Y. (1985): Dietary factors involved in feed intake regulation in growing pigs: a review. *Livest. Sci.* **12**, 339–354.
- Hinson, R. B., A. P. Schinckel, J. S. Radcliffe, G. L. Allee, A. L. Sutton und B. T. Richert (2009): Effect of feeding reduced crude protein and phosphorus diets on weaning-finishing pig growth performance, carcass characteristics, and bone characteristics. *J. Anim. Sci.* **87**, 1502–1517.
- Hofer, A., P. Spring und P. Stoll (17.08.2018): Auswertung des Versuchs «Prüffutter für die Selektion von Schweinen auf Proteineffizienz».
- Honikel, K. O. (1998): Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Sci.* **49**, 447–457.
- Jeroch, H., W. Drochner und O. Simon (2008): Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere, 2. Aufl. Eugen Ulmer.
- Jezierny, D., R. Mosenthin und E. Bauer (2010): The use of grain legumes as a protein source in pig nutrition: A review. *Anim. Feed Sci. Technol.* **157**, 111–128.
- Kennedy, B. W., J. H. van der Werf und T. H. Meuwissen (1993): Genetic and statistical properties of residual feed intake. *J. Anim. Sci.* **71**, 3239–3250.
- Koch, R. M., L. A. Swinger, D. Chambers und K. E. Gregory (1963): Efficiency of feed use in beef cattle. *J. Anim. Sci.* **22**, 486–494.

- Merks, J. W. M. (2001): Genetic Improvement at the Commercial Level Compared to Genetic Progress at the Nucleus Level Compared to Genetic Progress at the Nucleus Level. *Proceedings of the National Swine Improvement Federation*, 6–7.
- Merks, J. W. M., Hanenberg, E. H. A. T., S. Bloemhof und E. F. Knol (2009): Genetic opportunities for pork production without castration. *Anim. Welf.* **18**, 539–544.
- Moerlein, D. und E. Tholen (2015): Fatty acid composition of subcutaneous adipose tissue from entire male pigs with extremely divergent levels of boar taint compounds - An exploratory study. *Meat Sci.* **99**, 1–7.
- Nethe, L. (2014): Reduktion des Zusatzes von anorganischem Phosphor im Futter - Auswirkungen auf Mastleistung und Schlachtkörperbewertung von Mastschweinen mit besonderer Betrachtung der Bruchfestigkeit und Zusammensetzung der Knochen. Berlin, Freie Univ., Dissertation.
- Norda, C., T. Scholz, G. Stalljohann, J. Bunge und F. Austermann (2018): Mit N und P bis an die Grenze. *Wochenblatt für Landwirtschaft und Landleben*, 34–36.
- Onteru, S. K., D. M. Gorbach, J. M. Young, D. J. Garrick, J. C. M. Dekkers und M. F. Rothschild (2013): Whole genome association studies of residual feed intake and related traits in the pig. *PloS one* **8**, e61756.
- Rosenfelder, P., M. Eklund, H. K. Spindler, H. Jørgensen, K. E. Knudsen, N. Sauer, J. K. Htoo und R. Mosenthin (2016): Determination of basal ileal endogenous loss and standardized ileal digestibility of amino acids in wheat genotypes by regression analysis for grower pigs. *J. Anim. Sci.* **94**, 313–315.
- Rothschild, M. F. (Hg.) (2011): *The genetics of the pig*, 2. Aufl. CABI.
- Saintilan, R., I. Mérour, L. Brossard, T. Tribout, J. Y. Dourmad, P. Sellier, J. P. Bidanel, J. van Milgen und H. Gilbert (2013): Genetics of residual feed intake in growing pigs: Relationships with production traits, and nitrogen and phosphorus excretion traits. *J. Anim. Sci.* **91**, 2542–2554.
- Sanchez, M.-P., T. Tribout, N. Iannuccelli, M. Bouffaud, B. Servin, A. Tenghe, P. Dehais, N. Muller, M. P. Del Schneider, M.-J. Mercat und others (2014): A genome-wide association study of production traits in a commercial population of Large White pigs: evidence of haplotypes affecting meat quality. *Genet. Sel. Evol.* **46**, 12.
- Shirali, M., A. Doeschl-Wilson, P. W. Knap, C. Duthie, E. Kanis, J. A. M. van Arendonk und R. Roehe (2012): Nitrogen excretion at different stages of growth and its association with production traits in growing pigs. *J. Anim. Sci.* **90**, 1756–1765.
- Steinfeld, H., P. J. Gerber, T. D. Wassenaar, V. Castel und C. de Haan (2006): *Livestock's long shadow: environmental issues and options*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Stern, S., U. Sonesson, S. Gunnarsson, I. Öborn, K.-I. Kumm und T. Nybrant (2005): Sustainable development of food production: A case study on scenarios for pig production. *Ambio* **34**, 402–407.
- Tholen, E., B. Kirstgen, W. Trappmann und K. Schellander (1998): Genotype environmental interactions in a German pig breeding herdbook society using crossbred progeny information. *Archiv fuer Tierzucht (Germany)*.
- Varley, P. F., B. Flynn, J. J. Callan und J. V. O'Doherty (2011): Effect of crude protein and phosphorus level on growth performance, bone mineralisation and phosphorus, calcium and nitrogen utilisation in grower-finisher pigs. *Arch. Anim. Nutr.* **65**, 134–147.
- Wesoly, R. und U. Weiler (2012): Wirkung von Fütterungsmaßnahmen auf die Skatolbildung und die Skatoleinlagerung beim Schwein. *Züchtungskunde*, 412–426.
- Wood, J. D., M. Enser, A. V. Fisher, G. R. Nute, P. R. Sheard, R. I. Richardson, S. I. Hughes und F. M. Whittington (2008): Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Sci.* **78**, 343–358.