



8 FRAGEN ZUM THEMA HITZESTRESS

INHALT

1

Welche wirtschaftlichen Kosten entstehen durch Hitzestress?

[Mehr erfahren](#)

5

Warum erhöhen Schweine bei Hitzestress ihre Wasseraufnahme?

[Mehr erfahren](#)

2

In welchen Ländern besteht die höchste Hitzestress-Gefahr?

[Mehr erfahren](#)

6

Warum beeinträchtigt Hitzestress die Darmintegrität?

[Mehr erfahren](#)

3

Was sind die Folgen von Hitzestress?

[Mehr erfahren](#)

7

Wie wirkt sich Hitzestress auf den Energiestoffwechsel von Schweinen aus?

[Mehr erfahren](#)

4

Warum lässt sich eine reduzierte Futteraufnahme beobachten?

[Mehr erfahren](#)

8

Wie kann die Fütterung dazu beitragen, die Auswirkungen von Hitzestress zu verringern?

[Mehr erfahren](#)

FAZIT:

- Hitzestress wird aufgrund der weltweit ansteigenden Temperaturen in der Schweineproduktion zu einem zunehmenden Problem, das für die Schweineindustrie jährlich Verluste in Millionenhöhe bedeutet
- Schweine passen ihr Verhalten an, um den Hitzestress besser bewältigen zu können. Dazu reduzieren sie ihre Futteraufnahme, was folglich ihr Wachstum verlangsamt. Dies hat unter anderem eine Unterversorgung des Darms und eine Verlangsamung des Verdauungsprozesses zur Folge
- Futterkonzepte einschließlich der Rationsgestaltung sowie Lösungen, die zur Aufrechterhaltung einer optimalen Darmintegrität und -funktion beitragen, sind von großem Interesse. LEVUCCELL SB hat in diesem Zusammenhang positive Ergebnisse gezeigt



Bruno BERTAUD

Technical manager Yeast derivatives
& Swine solutions

AUTOR

WELCHE WIRTSCHAFTLICHEN KOSTEN ENTSTEHEN DURCH HITZSTRESS?

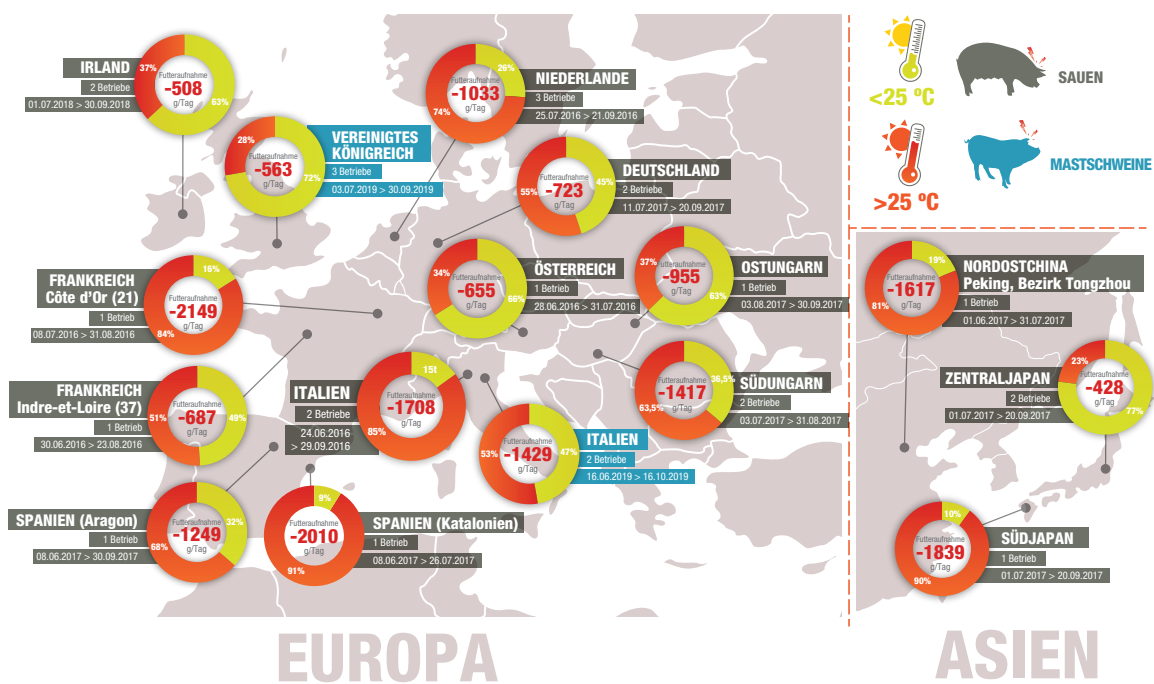
1

Die globalen wirtschaftlichen Auswirkungen von Hitzestress auf die Schweineproduktion lassen sich nur schwer genau bestimmen. Dies liegt vor allem daran, dass sich Hitzestress sowohl auf Sauen und Ferkel als auch auf das Wachstum und die Schlachtkörperzusammensetzung von Schweinen auswirken kann. Einer 2010 von Pollman durchgeführten Studie zufolge liegen die wirtschaftlichen Auswirkungen von Hitzestress auf Sauen in der US-Schweineindustrie jährlich bereits bei 450 Millionen US-Dollar, wobei diese Zahlen lediglich die geringere Leistung der Sauen berücksichtigen.

IN WELCHEN LÄNDERN BESTEHT DIE HÖCHSTE HITZSTRESS-GEFAHR?

2

Die Vermeidung von Hitzestress wird von Jahr zu Jahr wichtiger, vor allem aufgrund des Klimawandels, aber auch, weil die Schweinefleischproduktion an einigen Standorten zugenommen hat, an denen tropische und subtropische Bedingungen die negativen Auswirkungen von Hitzestress auf die Tiere maximieren (Ross *et al.*, 2015).



Die mit Hitzestress verbundene reduzierte Futteraufnahme von ausgewachsenen Schweinen, die ad libitum gefüttert worden waren, wurde mit einer Gleichung aus der Literatur berechnet (Quiniou *et al.*, 2000).

Abbildung 1

Zeit unter Hitzestressbedingungen und damit verbundene potenziell reduzierte Futteraufnahme (Lallemand Animal Nutrition, unveröffentlicht)

Physiologisch gesehen sind Schweine weniger hitzetolerant als andere Nutztierarten (Cottrell *et al.*, 2015). **Eines der ersten sichtbaren Anzeichen von Hitzestress bei Schweinen ist eine reduzierte Futteraufnahme.** Das veränderte Fressverhalten bei Hitzebelastung ermöglicht dem Tier, seine eigene, durch den Verdauungsprozess bedingte metabolische Wärmeproduktion zu reduzieren (Baumgard und Rhoads, 2013). In Ländern, in denen es im Sommer bekanntermaßen heiß ist, besteht die Gefahr von Hitzestress. Dies wird jedoch auch zunehmend zu einem

Problem für Länder in nördlicheren Breiten, wie die Niederlande, Deutschland, Irland und andere, die als gemäßigte Klimazonen gelten. Aber das Klima ist nicht der einzige Faktor. Auch die relative Luftfeuchtigkeit spielt eine Rolle. So können beispielsweise Sauen schon bei Temperaturen unter 25 °C und Mastschweine bei einer Stalltemperatur von über 25 °C unter Hitzestress leiden. Daher sind gut durchdachte Stallgebäude und Haltungssysteme für die Vermeidung von Hitzestress von entscheidender Bedeutung.

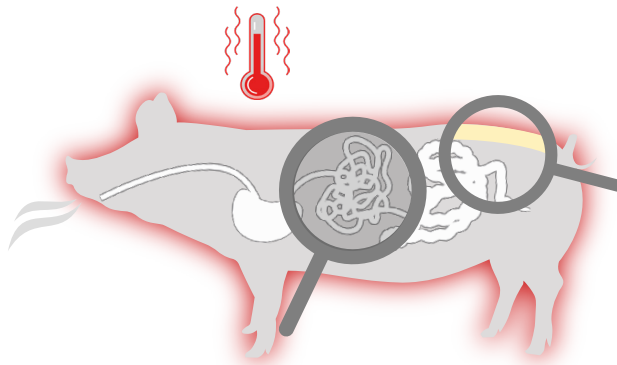
WAS SIND DIE FOLGEN VON HITZESTRESS?

3

Neben einer reduzierten Futteraufnahme wirkt sich Hitzestress auch auf die Schlachtkörperzusammensetzung aus, kann den Insulinstoffwechsel beeinflussen, die Darmgesundheit beeinträchtigen – und die Reproduktionsleistung verringern (Liu *et al.*, 2022). **Eine reduzierte Futteraufnahme ist der Hauptgrund für eine verminderte Wachstumsleistung.** Es liegt jedoch auch auf der Hand, dass Hitzestress eine Umstellung der Nährstoffverwertung bewirkt und daher zu einer Schlachtkörperzusammensetzung führen kann, die mehr Fett- und weniger Magerfleischgewebe aufweist, da weniger Muskel- und mehr Fettgewebe abgelagert wird (Collin *et al.*, 2001).

ÄUSSERLICH SICHTBARE ANZEICHEN

- erhöhte Atemfrequenz
- Bradykardie (verlangsamter Herzschlag)
- erhöhte Körpertemperatur



STOFFWECHSEL

- erhöhter Plasmainsulinspiegel
- veränderte Schlachtkörperzusammensetzung: mehr Fett- und weniger Magerfleischgewebe
- erhöhte Wasseraufnahme

REPRODUKTION

Unfruchtbarkeit: frühzeitiger Abort, verminderte Samen- und Eizellenqualität, verändertes Östrusintervall

DARMGESUNDHEIT

- gestörte Funktion der Darmbarriere
- veränderte Zusammensetzung der intestinalen Mikrobiota
- erhöhte Krankheitsanfälligkeit
- erhöhte Sterblichkeit

FUTTERAUFNAHME UND WACHSTUM

- reduzierte Futteraufnahme
- langsame Gewichtszunahme

Abbildung 2

Allgemeine Folgen von Hitzestress

WARUM LÄSST SICH EINE REDUZIERTER FUTTERAUFNAHME BEOBACHTEN?

4

In der einschlägigen Literatur ist umfassend belegt, dass der Anstieg der Umgebungstemperatur mit einer reduzierten Futteraufnahme bei Schweinen einhergeht. Le Dividich *et al.* (1998) berichteten, dass die Reduktion der verzehrten Futtermenge mit jedem Grad Temperaturanstieg auf 40 bis 80 g Futter pro Tag geschätzt werden kann, wobei Faktoren wie Rasse, Körpergewichtsbereich und Futter eine Rolle spielen. Je höher die Temperatur, desto geringer ist die Futteraufnahme. Wenn die Tiere Hitze ausgesetzt sind, verringert sich die tägliche Zeit für die Futteraufnahme und sie verbringen weniger Zeit am Futtertrog (Quiniou *et al.*, 2000).

Bei Hitzestress kommt es zu einer reduzierten Futteraufnahme, um die körpereigene Wärmeproduktion zu verringern (Baumgard und Rhoads, 2013). Dieser Effekt ist in den letzten Jahren aufgrund der genetischen Selektion für Wachstums- und Schlachtkörpermerkmale, die die Wärmeempfindlichkeit von Schweinen erhöht haben, besonders deutlich geworden (Renaudeau *et al.*, 2011).

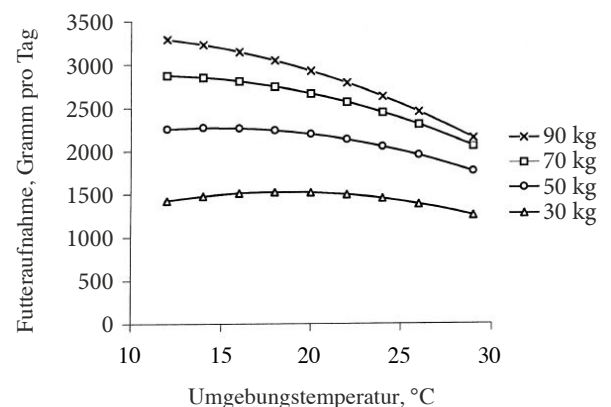


Abbildung 3

Veränderung der Futteraufnahme (VFI) in Abhängigkeit von Temperatur (T) und Körpergewicht (BW), berechnet nach der Gleichung:

$$VFI = 1264 + 73,6 BW - 0,26 BW^2 + 117 T - 2,40 T^2 - 0,95 T \times BW$$

(Quiniou *et al.*, 2000)

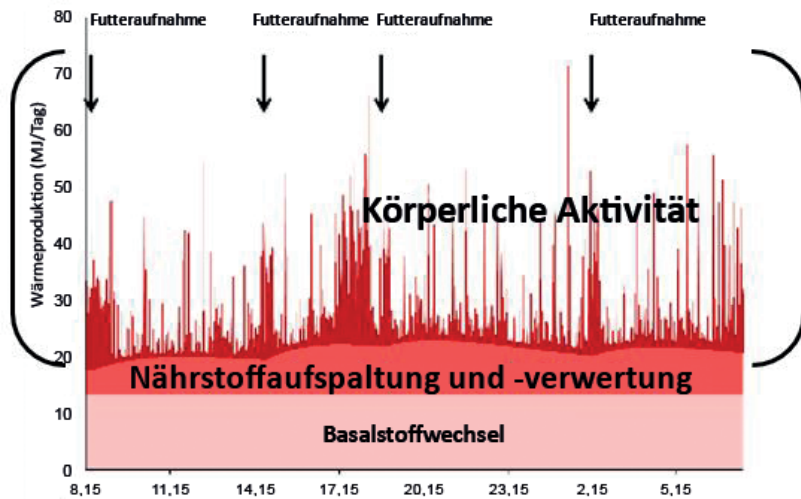


Abbildung 4

Variierende Wärmeproduktion in Abhängigkeit von Fressaktivität und -verhalten (Serviento, 2022)

Bei Hitzestress reduzieren die Schweine ihre Aktivität, um die Wärmeproduktion zu verringern



WARUM ERHÖHEN SCHWEINE BEI HITZESTRESS IHRE WASSERAUFNAHME?

5

Wasser spielt eine entscheidende Rolle beim Wärmeaustausch zur Temperaturregulierung und bei der Aufrechterhaltung eines ausgeglichenen Wasserhaushalts. **Bei Hitzestress ist die Verdunstung der wichtigste Mechanismus zur Wärmeableitung.** Hohe Umgebungstemperaturen erhöhen den Wasserbedarf von Schweinen. Steigt beispielsweise die Umgebungstemperatur von 20 °C auf 29 °C an, verdoppelt sich der Wasserbedarf der Sau von 4 auf 8 l/kg aufgenommenes Futter (Renaudeau *et al.*, 2001). Bei der Atmung findet ein Wasseraustausch durch Verdunstung vom Körper an die Umgebung statt (der sogenannte latente Wärmeverlust), der zur Senkung

der Körpertemperatur beiträgt. Dieser Prozess hängt von der Umgebungstemperatur und dem Gradienten der relativen Feuchtigkeit ab. **Dabei kommt der Prozess schnell an seine Grenzen, selbst wenn die Schweine ihre Wasseraufnahme erhöhen** und somit mehr Wasser über den Urin ausscheiden, um Körperwärme abzuführen (Renaudeau *et al.*, 2008). Die Temperatur des Wassers spielt ebenfalls eine nicht zu unterschätzende Rolle für die Wirksamkeit des Wärmeaustauschmechanismus. Die Versorgung der Sauen mit Wasser, das eine Temperatur von 15 °C anstelle von 22 °C aufwies, verbesserte die Leistung von laktierenden Sauen und ihren Ferkeln in Hitzestressperioden (Jeon *et al.*, 2006).

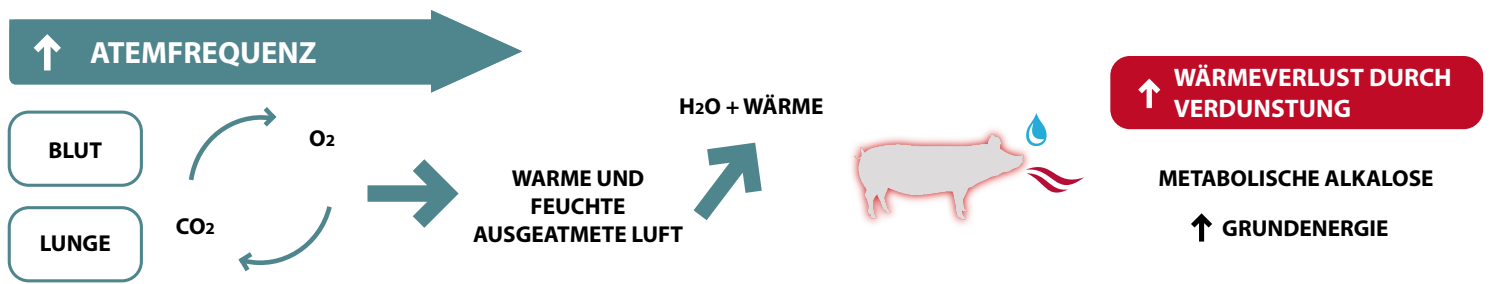


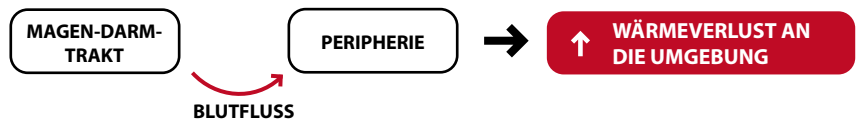
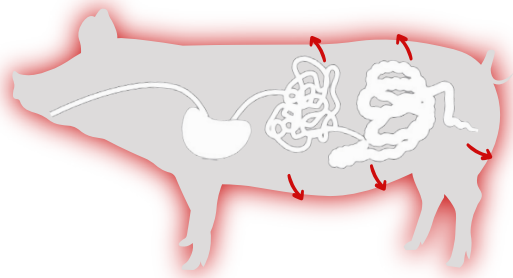
Abbildung 6

Latenter Wärmeverlust: Hecheln und Verdunstung zum Ableiten von Wärme

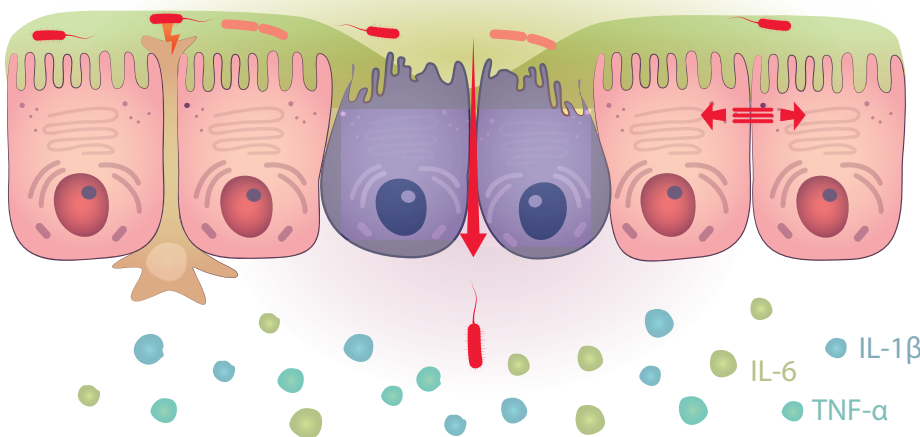
WARUM BEEINTRÄCHTIGT HITZESTRESS DIE DARMINTEGRITÄT?

6

Bei Hitzestress wird der **Blutfluss an die Hautoberfläche umgeleitet, um den Wärmeaustausch durch Konvektion, Konduktion und Strahlung zu maximieren** (sogenannte sensible Wärmeverluste). Die Folge davon ist eine **Verengung der Gefäße im Magen-Darm-Trakt**, um den Blutfluss in den peripheren Kreislauf umzuleiten (Tang *et al.*, 2022), was wiederum die **Integrität des Darmepithels beeinträchtigt** (Lambert, 2009). Die Folge ist eine verminderte Nährstoffaufnahme, welche ebenfalls zu einer verminderten Wachstumsleistung und einer reduzierten Futteraufnahme beiträgt.



HYPOXIE, OXIDATIVE SCHÄDIGUNG, ↑ DURCHLÄSSIGKEIT DER DARMWAND



- geschwächte Darmintegrität und gestörte Funktion der Darmbarriere
- Translokation von bakteriellen Endotoxinen in den Blutkreislauf
- Aktivierung von Entzündungsreaktionen

Abbildung 7

Umleitung des Blutflusses und damit verbundene Folgen für die Darmbarriere

Cui und Gu (2015) und Varasteh *et al.* (2015) berichten, dass Hitzestress die Darmintegrität schwächt und die Durchlässigkeit des Epithels für Krankheitserreger und deren Toxine erhöht. Dies führt zu einer Entzündungsreaktion, zur Produktion von Zytokinen (einschließlich IL-6, IL-1beta und TNF-alpha) und – in schwereren Fällen – zu einem sogenannten „leaky gut“ (durchlässigen Darm) und Durchfall. Gabler *et al.* (2018) haben außerdem gezeigt, dass **die zirkulierenden Endotoxine aufgrund der höheren intestinalen Permeabilität bei Schweinen, die Hitzestress ausgesetzt sind, um 50 % zunehmen und die Translokation der Erreger eine systemische Entzündung auslösen kann.**

Die Entzündungsreaktion ist auch für eine Verringerung der Energienutzung für die Wachstumsleistung verantwortlich.

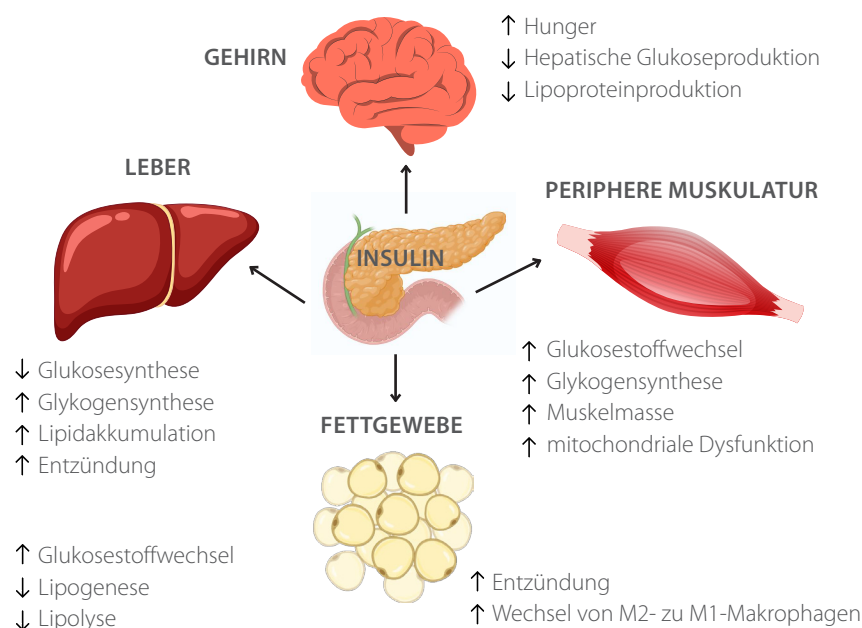
Neben einer Entzündung reduziert Hitzestress auch die standardisierte ileale Verdaulichkeit einiger Aminosäuren wie Histidin (92,5-90 %) oder Arginin (94-92 %), wie von Morales *et al.* (2016) belegt, wirkt sich aber nicht auf die Fettverdaulichkeit aus (Kellner *et al.*, 2016). Daher kommt es zu einer Beeinträchtigung der Wachstumsleistung und der Schlachtkörperzusammensetzung von Schweinen, die Hitzestress ausgesetzt sind.

WIE WIRKT SICH HITZESTRESS AUF DEN ENERGIESTOFFWECHSEL VON SCHWEINEN AUS?

7

Hitzestress kann Auswirkungen auf die Schlachtkörperzusammensetzung haben. Ferkel sind im Allgemeinen weniger betroffen als schwerere Schweine (Christon, 1988), und es ist ganz offensichtlich, dass **Hitzestress die Zusammensetzung des Schlachtkörpers verändert, mit mehr Fett- und weniger Magerfleischgewebeanteil** (Close *et al.*, 1971; Versteegen *et al.*, 1978; Heath 1983, Bridges *et al.*, 1998; Collin *et al.*, 2001). Dies ist auf eine veränderte Hierarchie der normalen Nährstoffverwertung zurückzuführen, die auch eine verminderte Wachstumsleistung zur Folge hat (Ross *et al.*, 2015).

Insulin spielt ebenfalls eine wichtige Rolle bei der Thermoregulation von Schweinen, die Hitzestress ausgesetzt sind. (Baumgard und Rhoads, 2013). Es hat sich insbesondere gezeigt, dass Hitzestress die Insulinsensitivität verringert (Yuen *et al.*, 2013; Liu *et al.*, 2017; Cottrell *et al.*, 2019), was unter anderem zu Veränderungen im Fressverhalten der Schweine führen kann. Bei Hitzestress neigen Schweine dazu, die aufgenommene Futtermenge und die Häufigkeit der Nahrungsaufnahme zu reduzieren, was sich negativ auf die Wachstumsleistung auswirkt.



SCHON GEWUSST?



AUSWIRKUNGEN VON HITZESTRESS AUF DIE MIKROBIOTA

Es ist mittlerweile gut dokumentiert, dass die Darmmikrobiota mit dem zentralen Nervensystem und dem Verhalten eng verbunden ist, indem sie wichtige physiologische Funktionen erfüllt (Kraimi *et al.*, 2019). Dies wird auch als Darm-Hirn-Achse bezeichnet. Die Mikrobiota ist unter anderem an der Wärmeakklimatisierung beteiligt, und die fäkale Mikrobiota von wachsenden Schweinen wird durch Hitzestress beeinträchtigt (Le Sciellour *et al.*, 2019).

Abbildung 8

Insulin ist ein wichtiger Regulator für Stoffwechsel und Organfunktionen (Yee, L.D., 2020)

WIE KANN DIE FÜTTERUNG DAZU BEITRAGEN, DIE AUSWIRKUNGEN VON HITZESTRESS ZU VERRINGERN?

8

Bei Konzepten zur Verringerung der negativen Auswirkungen von Hitzestress bei Schweinen sollte ein **ganzheitlicher Ansatz zur Anwendung kommen, der das Management des Umfeldes** und insbesondere der Stallgebäude (Isolation, Lufttemperatur, Kühlsysteme usw.) einschließt. Die Auswahl von Rassen mit **genetischen Merkmalen**, die weniger empfindlich auf Hitzestress reagieren, sowie geeignete **Futterkonzepte sollten ebenfalls berücksichtigt werden**. Bei der Regulierung der Wärmeproduktion auf Stoffwechselebene spielt das Futter eine nicht zu unterschätzende Rolle. Der **Thermic Effect of Feeding (TEF, thermischer Effekt der Fütterung)** zeigt auf, in welchem Maße das Futter den

Kalorienverbrauch – ausgedrückt in Wärme – erhöht, und zwar aufgrund der zur Verdauung, Aufnahme und Verstoffwechslung der Nährstoffe erforderlichen Energie. Schweinefutter bestehen aus drei Hauptkategorien von Makronährstoffen: Kohlenhydraten, Proteinen und Fetten. Jeder Makronährstoff durchläuft einen anderen Stoffwechselprozess, in dem er während des Verdauungsprozesses vor der Aufnahme aufgespalten wird. Einige dieser Stoffwechselprozesse sind effizienter als andere. Je effizienter sie sind, desto weniger Energie geht in Form von Wärme verloren und desto weniger Wärme produzieren die Schweine.

PROTEIN



Futterkonzepte zur Verringerung der Auswirkungen von Hitzestress beinhalten Veränderungen des Fett-, Protein- und Fasergehalts in der Nahrung. **So führt beispielsweise eine Reduktion des Proteingehalts im Futter aufgrund einer Verringerung des Proteinverdauungsstoffwechsels zu einer Verringerung der postprandialen thermogenen Reaktion** und reduziert somit die negativen Auswirkungen von Hitzestress (Dunshea *et al.*, 2007).

FASER



Erhöhte Mengen an Faser erzeugen durch die Fermentation im Dickdarm Wärme und verringern das Körpergewicht von Sauen, die Hitzestress ausgesetzt sind (Renaudeau *et al.*, 2003). Bei der Verdauung und Assimilation von Fett entsteht im Vergleich zu Protein oder Faser weniger Wärme. Futterformulierungen mit einem erhöhten Fettgehalt und einem reduzierten Anteil an Nahrungsprotein und Faser tragen zu einem geringeren thermischen Effekt der Futtermittel bei.



ANTIOXIDANTIEN

Andere Futterkonzepte können in Betracht gezogen werden, wie z. B. die **Verwendung von antioxidativ wirksamen Zusätzen, Chrom und/oder Betain**. Mehrere Autoren (Rhoads *et al.*, 2013; Montilla *et al.*, 2013, 2014; Liu *et al.*, 2015a) haben einen Zusammenhang zwischen Hitzestress und **oxidativem Stress** bei Schweinen nachgewiesen. Bei Hitzestress wird ein Ungleichgewicht zwischen der Produktion von freien Radikalen (reaktive Sauerstoffspezies) und der antioxidativen Kapazität beobachtet, und in diesem Zusammenhang tragen Antioxidantien dazu bei, oxidative Schäden zu lindern.



CHROM

Chrom, das dem Futter während der Sommermonate zugesetzt wird, verringert die negativen Auswirkungen von Hitzestress (Hung *et al.*, 2010, 2015). Chrom erhöht die Insulinsensitivität, indem es die Bindung von Insulin an die Zellrezeptoren verstärkt. Eine Chromsupplementierung senkt auch den Plasmacortisolspiegel bei Tieren, die Hitzestress ausgesetzt sind (Chang und Mowat, 1992; Samanta *et al.*, 2008; Zha *et al.*, 2009; Hung *et al.*, 2014). Cortisol wirkt als Insulinantagonist. Eine Senkung des Cortisolspiegels trägt zur Verringerung der Glukosekonzentration im Blutplasma bei und verbessert die Glukoseverwertung in den peripheren Geweben, was wiederum eine bessere Insulinsensitivität bedeutet.



BETAIN

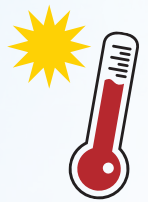
Betain ist an der osmotischen Regulation beteiligt und spielt bei verschiedenen Stoffwechselreaktionen eine wichtige Rolle. So kann Betain den Energiebedarf für die Pumpmechanismen der Zellionen senken und führt zu einer Ganzkörper-Energieeinsparung von etwa 8 % (Cronje, 2005) sowie einer verringerten metabolischen Wärmeproduktion.



DARMGESUNDHEITSKONZEPT

Andere Futterkonzepte, die die Integrität des Darms beeinflussen, sollten ebenfalls in Betracht gezogen werden, da viele der negativen Folgen von Hitzestress die Darmstruktur beeinträchtigen. Durch eine positive Wirkung auf die Integrität des Darms, aber auch durch verschiedene andere Mechanismen, hat der Zusatz von *Saccharomyces cerevisiae boulardii* (CNCM I-1079, LEVUCCELL SB) zum Futter bei Schweinen während Hitzestressperioden positive Ergebnisse bei der Verringerung der negativen Auswirkungen von Hitzestress gezeigt.

LEBENDHEFE VERBESSERT DIE WIDERSTANDSFÄHIGKEIT VON SCHWEINEN BEI HITZESTRESS



HITZESTRESS - WAS SIND DIE FOLGEN?

Wenn Schweine über einen längeren Zeitraum hinweg Hitzestress ausgesetzt sind, lässt sich in der Regel eine verringerte Futtermittelaufnahme beobachten.

Da sie nur begrenzt in der Lage sind, Wärme abzuführen, verändern sie aufgrund des Thermic Effect of Feeding (TEF) ihr Fressverhalten, um die Wärmeproduktion ihres Körpers zu begrenzen.

Die wichtigsten physiologischen Folgen von Hitzestress sind eine gestörte Barrierefunktion des Darms, Störungen des Hormonsystems, veränderte Thermoregulationsreaktionen ...

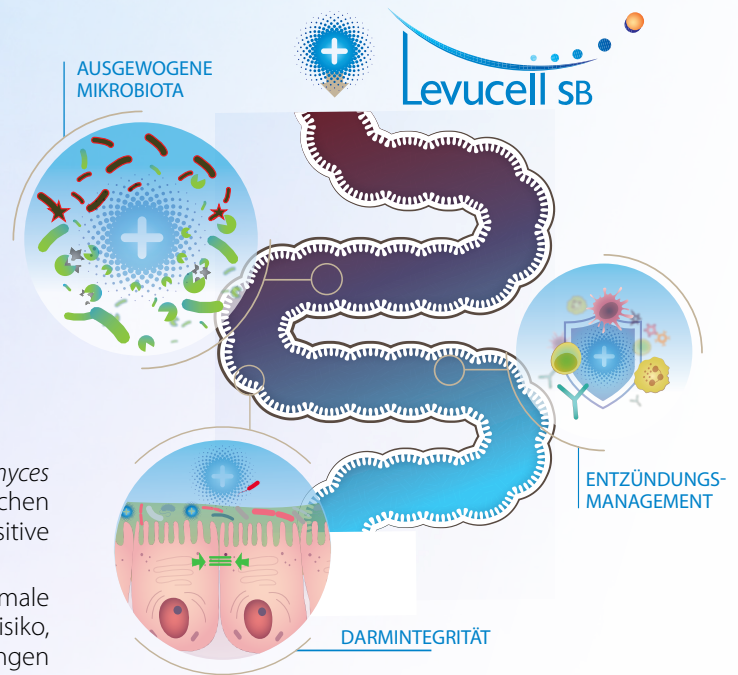
Die Sensibilität gegenüber Insulin, einem Schlüsselhormon, das an der Regulierung zahlreicher Stoffwechselprozesse wie dem Energiestoffwechsel beteiligt ist, kann bei Hitzestress ebenfalls beeinträchtigt sein.

SPEZIFISCHE PROBIOTISCHE HEFE

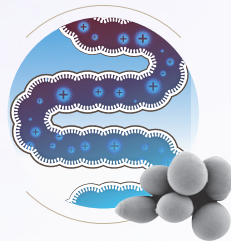
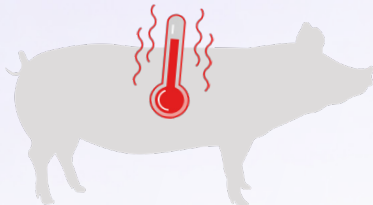
LEVUCCELL SB ist die spezifische probiotische Hefe *Saccharomyces cerevisiae boulardii* CNCM I-1079. In mehr als 50 wissenschaftlichen Veröffentlichungen zu Futtermitteln für Monogastrier wurde ihre positive Wirkung auf die Darmgesundheit dokumentiert.

Unter Hitzestressbedingungen trägt **LEVUCCELL SB** dazu bei, die optimale Integrität der Darmbarriere aufrechtzuerhalten, und verringert das Risiko, dass Endotoxine von Krankheitserregern in den Blutkreislauf gelangen und Entzündungen hervorrufen.

Schweine, die **LEVUCCELL SB** als Futterzusatz erhalten, kommen besser mit Hitzestress zurecht. Sie zeigen eine verbesserte Laktationsleistung, und die Mastschweine setzen das Futter effizienter in Wachstum um.



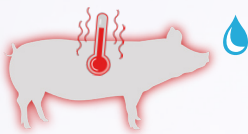
DIE WIRKUNG VON LEVUCCELL SB BEI HITZESTRESS



Aufrechterhaltung von gesunden Darmfunktionen

Anpassungen der metabolischen Reaktion

Insulinsensitivität ↑



Thermoregulatorische Reaktion

Wasseraufnahme ↑
Körpertemperatur ↓



Erhöhung der Wärmeabgabekapazität

Schweine können die Wärme besser abführen



Anpassung des Fressverhaltens

Schweine, die zusätzlich **LEVUCCELL SB** erhalten, fressen häufiger und nehmen dabei kleinere Futtermengen zu sich, was eine erhöhte tägliche Futtermittelaufnahme zur Folge hat

LEVUCCELL SB
VORTEILE
BEI HITZESTRESS



FUTTER-
AUFNAHME



ENERGIE-
EFFIZIENZ



LAKTATIONS- UND
WACHSTUMSLEISTUNG

INSGESAMT BESSERE
ANPASSUNG AN
HITZESTRESS

LITERATURHINWEISE

- Baumgard L.H. and Rhoads R.P., 2013. Effects of heat stress on postabsorptive metabolism and energetics. *Annu. Rev. Anim. Biosci.* 1:311-337. doi: 10.1146/annurev-animal-031412-103644.
- Bridges T.C., Turner L.W., Gates R.S., 1998. Economic evaluation of misting-cooling systems for growing/finishing swine through modelling. *Applied Engineering in Agriculture* 14, 425-430. doi: 10.13031/2013.19398.
- Chang X., Mowat D.N., 1992. Supplemental chromium for stressed and growing feeder calves. *Journal of Animal Science* 70, 559-565.
- Christon R., 1998. The effect of tropical ambient temperature on growth and metabolism in pigs. *Journal of Animal Science* 66, 3112-3123.
- Close W.H., Mount L.E., Start I.B., 1971. The influence of environmental temperature and plane of nutrition on heat losses from groups of growing pigs. *Animal Production* 13, 285-294. Doi: 10.1017/S000335610002972X.
- Collin A., Lebreton Y., Fillaut M., Vincent A., Thomas F., Herpin P., 2001. Effects of exposure to high temperature and feeding level on regional blood flow and oxidative capacity of tissues in piglets. *Experimental Physiology* 86, 83-91.
- Cottrell J.J., Liu F., Hung A.T., DiGiacomo K., Chauhan S.S., Leury B.J., Furness J.B., Celi P. and Dunshea F.R., 2015. Nutritional strategies to alleviate heat stress in pigs. *Animal Production Science* 55, 1391-1402. doi: 10.1071/AN15255.
- Cronje P., 2005. Heat stress in livestock – the role of the gut in its aetiology and a potential role for betaine in its alleviation. *Recent Advances in Animal Nutrition in Australia* 15, 107-122.
- Cui Y. and Gu X., 2015. Proteomic changes of the porcine small intestine in response to chronic heat stress. *J. Mol. Endocrinol.* 55, 277-93.
- Dunshea F.R., Ostrowska E., Ferrari J.M., Gill H.S., 2007. Dairy proteins and the regulation of satiety and obesity. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 47, 1051-1058. doi: 10.1071/EA06263.
- Gabler N.K., Radcliffe J.S., Spencer J.D., Weibel D.M., Spurlock M.E., 2009. Feeding long-chain n-3 polyunsaturated fatty acids during gestation increases intestinal glucose absorption potentially via the acute activation of AMPK. *The Journal of Nutritional Biochemistry* 20, 17-25. doi: 10.1016/j.jnutbio.2007.11.009.
- Heath M.E., 1983. The effects of rearing-temperature on body composition in young pigs. *Comparative Biochemistry and Physiology* 76, 363-366. doi: 10.1016/0300-9629(83)90338-9.
- Hung T.Y., Leury B.J., Lien T.F., Lu J.J., Dunshea F.R., 2010. Potential of nanochromium to improve body composition and performance of pigs. In '14th AAAP animal science congress proceedings'. Pp. 108-112. (AAAP Animal Science Congress: Pingtung, Taiwan).
- Hung A., Leury B., Sabin M., Collins C., Dunshea F., 2014. Dietary nanochromium tripicolinate increases feed intake and decreases plasma cortisol in finisher gilts during summer. *Tropical Animal Health and Production* 46, 1483-1489. doi: 10.1007/s11250-014-0673-7.
- Hunt A.T., Leury B.J., Sabin M.A., Lien T.F., Dunshea F.R., 2015. Dietary chromium picolinate of varying particle size improves carcass characteristics and insulin sensitivity in finishing pigs fed low- and high-fat diets. *Animal Production Science* 55, 454-460. doi: 10.1071/AN12255.
- Jeon J.H., Yeon S.C., Choi Y.H., Min W., Kim S., Chang H.H., 2006. Effects of chilled drinking water on the performance of lactating sows and their litters during high ambient temperatures under farm conditions. *Livestock Science* 105.
- Kellner T.A., Baumgard L.H., Prusa K.J., Gabler N.K., Patience J.F., 2016. Does heat stress alter the pig's response to dietary fat? *Journal of Animal Science* 94, 4688-4703.
- Kerr B.J., Yen J. T., Nienaber J. A., Easter R. A., 2003. Influences of dietary protein level, amino acid supplementation and environmental temperature on performance, body composition, organ weights and total heat production of growing pigs. *Journal of the Animal Science* 81, 1998-2007.
- Kraimi N., Dawkins M., Gebhardt-Henrich S.G. et al., 2019. Influence of the microbiota-gut-brain axis on behavior and welfare in farm animals: A review. *Physiol. Behav.* 210, 112658.
- Labussiere E., Achard C.S., Dubois S., Combes S., Castex M., Renaudeau D., 2022. Thermal heat acclimation in live yeast supplemented pigs. *The British Journal of Nutrition.* doi: 10.1017/S0007114521001756.
- Lambert G.P., 2009. Stress-induced gastrointestinal barrier dysfunction and its inflammatory effects. *J. Anim. Sci.* 87: 101-8.
- Le Dividich J., Noblet J., Herpin P., van Milgen J., Quiniou N., 1998. Thermoregulation. In: Wiseman J, Varley MA, Chadwick JP (Eds.), *Proc. Of the 58th Easter School in Agricultural Science, Progress in pig Science*, Nottingham University Press, pp. 229-264.
- Le Scellour M., Zemb O., Hochu I. et al., 2019. Effect of chronic and acute heat challenges on fecal microbiota composition, production, and thermoregulation traits in growing pigs 1,2. *J. Anim. Sci.* 97, 3845-3858.
- Liu F., Celi P., Chauhan S.S., Cottrell J.J., Abrasaldo A., Talukder S., Leury B.J., Dunshea F.R., 2015. Effects of heat stress and antioxidants (selenium or vitamin E) supplementation on oxidative status in growing pigs. In 'proceedings of American Dairy Science Association and American Society of Animal Science Midwest meeting'. (American Dairy Science Association and American Society of Animal Science: Des Moines, IA)
- Liu F., Zhao W., Le H.H., Cottrell J.J., Green M.P., Leury B.J., Dunshea F.R., Bell A.W., 2022. Review: What have we learned about the effects of heat stress on the pig industry? *Animal* 16, 100349. doi: 10.1016/j.animal.2021.100349.
- Montilla S.I.R., Johnson T.P., Pearce S.C., Gardan-Salmon D., Gabler N.K., Ross J.W., Rhoads R.P., Baumgard L.H., Lonergan S.M., Selsby J.T., 2013. Heat stress triggers an antioxidant response in porcine skeletal muscle. *FASEB Journal* 27, 1202-2.
- Montilla S.I.R., Johnson T.P., Pearce S.C., Gardan-Salmon D., Gabler N.K., Ross J.W., Rhoads R.P., Baumgard L.H., Lonergan S.M., Selsby J.T., 2014. Heat stress cause oxidative stress but not inflammatory signaling in porcine skeletal muscle. *Temperature* 1, 42-50. doi: 10.4161/temp.28844.
- Morales A., Hernandez L., Buenabad L., Avelar E., Bernal H., Baumgard L.H., Cervantes M., 2016. Effect of heat stress on the endogenous intestinal loss of amino acids in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 94, 165-72.
- Noblet J., Fortune H., Shi X.S., Dubois S., 1994. Prediction of net energy value of feeds for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 72, 344-354.
- Pollmann D.S., 2010. Seasonal effects on sow herds: industry experience and management strategies. In 'Midwest American Society of Animal Science conference proceedings. Des Moines, IA'
- Quiniou N., Dubois S., Noblet J., 2000. Voluntary feed intake and feeding behavior of group-housed growing pigs are affected by ambient temperature and body weight. *Livestock Production Science* 63, 245-253.
- Renaudeau D., Anaïs C., Noblet J., 2003. Effects of dietary fiber on performance of multiparous lactating sows in a tropical climate. *Journal of Animal Science* 81, 717-725.
- Renaudeau D., Gourdine J.L., Silva B.A.N. and Noblet J., 2008. Nutritional routes to attenuate heat stress in pigs. *Livestock and global climate change. International Conference Proceedings, Hammamet, Tunisia.*
- Renaudeau D., Gourdine J.L., St-Pierre N.R., 2011. A meta-analysis of the effects of high ambient temperature on growth performance of growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science* 89, 2220-2230. doi: 10.2527/jas.2010-3329.
- Renaudeau D., Kerdoncuff M., Anaïs C. and Gourdine J.L., 2008. Effect of temperature level on thermal acclimation in large white growing pigs. *Animal* 2:1619-1626.
- Renaudeau D. and Noblet J., 2001. Effects of exposure to high ambient temperature and dietary protein level on sow milk production and performance of piglets. *J. Anim. Sci.* 79:1540-1548.
- Rhoads R.P., Baumgard L.H., Suagee J.K., Sanders S.R., 2013. Nutritional interventions to alleviate the negative consequences of heat stress. *Adv. Nutr.* 4:267-276. DOI: 10.3945/an.112.003376.
- Ross J.W., Hale B.J., Gabler N.K., Rhoads R.P., Keating A.F., Baumgard L.H., 2015/ Physiological consequences of heat stress in pigs. *Animal Production Science* 55, 1381-1390. doi: 10.1071/AN15267.
- Samanta S., Haldar S., Bahadur V., Ghosh T.K., 2008. Chromium picolinate can ameliorate the negative effects of heat stress and enhance performance, carcass and meat traits in broiler chickens by reducing the circulatory cortisol level. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 88, 787-796. doi: 10.1002/jsfa.3146.
- St-Pierre N.R., Cobanov B., Schnitkey G., 2003. Economic losses from heat stress by US livestock industries. *Journal of Dairy Science* 86, E52-E77. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(03)74040-5.
- Tang S., Xie J., Fang W., Wen X., Yin C., Meng Q., Zhong R., Chen L., Zhang H., 2022. Chronic heat stress induces the disorder of gut transport and immune function associated with endoplasmic reticulum stress in growing pigs. *Animal Nutrition* 11, 228-241.
- Varasteh S., Barber S., Garssen J., Fink-Gremmels J., 2015. Galacto-oligosaccharides exert a protective effect against heat stress in a Caco-2 cell model. *J. Funct. Foods* 16: 265-77.
- Verstegen M.W.A., Brascamp E.W., Vanderhel W., 1978. Growing and fattening of pigs in relation to temperature of housing and feeding level. *Journal of Animal Science* 58, 1-13.
- Yuen K. C. J., Chong L. E., Riddle M. C., 2013. Influence of glucocorticoids and growth hormone on insulin sensitivity in humans. *Diabet. Med.* 30, 651-663. doi: http://doi.org.
- Zha L-Y., Jing-Wen Z., Xin-Wie C., Li-Mei M., Hai-Ji I., 2009. Efficacy of trivalent chromium on growth performance, carcass characteristics and tissue chromium in heat-stressed broiler chicks. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 89, 1782-1786. doi: 10.1002/jsfa.3656.

Lallemand Animal Nutrition engagiert sich für eine optimale Tierleistung und -gesundheit mit speziellen natürlichen mikrobiellen Produkten und Serviceleistungen. Auf der Grundlage solider wissenschaftlicher Kenntnisse, erwiesener Ergebnisse und Know-how entwickelt, produziert und vertreibt Lallemand Animal Nutrition hochwertige Hefe- und Bakterienprodukte wie etwa Probiotika, Siliemittel und Hefederivate. Diese innovativen Lösungen sind vorteilhaft für Ernährung und Wohlbefinden der Tiere und unterstützen das Management von Fütterung und Tierumfeld. Lallemand bietet ein hohes Maß an Expertise, Marktführerschaft und die Selbstverpflichtung, mit langfristigen und profitablen Lösungen seine Partner voranzubringen. Lallemand Animal Nutrition - *Specific for your Success.*