

© **Schwerpunkt »Tiere und die Transformation der Landwirtschaft«**

## Neue Gentechnik bei Nutztieren

Weltweiter Boom auf Kosten von Tierwohl und Nachhaltigkeit

von Zsofia Hock

*Mit der Entdeckung der Genschere CRISPR/Cas haben sich neue Dimensionen der gentechnischen Manipulation aufgetan. In der EU wird die Deregulierung der neuen Gentechnikpflanzen angestreut. Die geplanten Lockerungen könnten der Türöffner für CRISPR-Tiere werden. Denn auch in diesem Bereich verursacht das neue Werkzeug einen regelrechten Boom. Die neue Labortechnik macht die Erzeugung gentechnisch veränderter Wirbeltiere leichter, günstiger und schneller. Bis dato sind noch keine dieser Tiere in der EU zugelassen. Anders in Japan und den USA, wo bereits zwei Fischarten bzw. erste CRISPR-Rinder – ohne nennenswerte Risikoprüfung – eine Marktzulassung erhalten haben. Der folgende Beitrag stellt den Stand der Entwicklung vor und bewertet diese mit Blick auf Tierwohl, Umwelt- und Gesundheitsaspekte.*

Noch nie wurden so viele verschiedene Tierarten für Forschung und Züchtung gentechnisch verändert. Die Anwendungsgebiete reichen von der Medizin über Landwirtschaft bis zu Naturschutzzwecken, aber auch bei Heimtieren soll die Genomeditierung zum Einsatz kommen. Die Notwendigkeit, global gültige Richtlinien zum Einsatz neuer Gentechnikwerkzeuge bei Tieren zu erarbeiten, wird dabei immer dringlicher.

### Magere Bilanz bei alter Gentechnik

Das erste gentechnisch veränderte (GV) Wirbeltier, eine Maus, wurde vor gut 40 Jahren geboren. Zwischen 1985 und 2015 folgten mindestens 70 Vorhaben, in denen Forschende versuchten, das Erbgut von Nutztieren mit Methoden der klassischen Gentechnik zu optimieren<sup>1</sup> Mit bescheidenem Erfolg. In den USA wurde Ende 2020 einzig das GalSafe-Schwein der Firma Revivicor zugelassen. Sein Fleisch soll auch für Menschen essbar sein, die eine Allergie gegen Schweinefleisch haben.<sup>2</sup> Relevanz haben die GV-Schweine aber primär für die Humanmedizin; so werden etwa Nerven von Embryonen der GalSafe-Schweine als Transplantate bei Menschen mit Nervenverletzungen erprobt.

Die Gründe für die magere Bilanz der klassischen Gentechnik sind vielfältig. Der Transfer artfremder Gene blieb mühselig und oft waren die gentechnisch veränderten Tiere krank und fortpflanzungsunfähig.

Zudem fehlten nützliche Genkonstrukte, mit denen sich das Erbgut der Nutztiere für die industrielle Haltung optimieren ließ. Da Investoren wegen der ablehnenden Haltung der Bevölkerung kaum Hoffnung auf Markterfolg sahen, flossen zudem nur wenige private und öffentliche Gelder in die Entwicklung von gentechnisch veränderten Nutztieren.

### Bringt CRISPR den Durchbruch?

Mit dem Aufkommen der Genomeditierung lassen sich Veränderungen vermeintlich schneller und günstiger erzeugen, vor allem wenn es um die meistverwendete Methode, das Ausschalten bestimmter Gene (Gen-Knockout) geht. Diese Schnelligkeit macht die Gentechnologie wieder attraktiv für Investoren.

Für den Zeitraum von 2012 bis 2021 lassen sich auf der Suchmaschine für wissenschaftliche Literatur Google Scholar 113 Projekte mit genomeditierten Nutztieren finden. Am weitest häufigsten sind Versuche mit Schweinen, gefolgt von Rindern, Schafen, Ziegen und Geflügel. Der größte Teil der Forschungsprojekte im Bereich der Nutztierzucht zielt auf erhöhte Produktivität ab, sei es eine höhere Fleischproduktion (35 Prozent der 113 identifizierten Projekte) oder mehr Milch, Eier oder Wolle (Tab. 1).<sup>3</sup> Für die erhöhte Fleischproduktion wird meistens das sog. MSTN-Gen ausgeschaltet, das natürlicherweise das Muskelwachstum hemmt (siehe unten).

## Kommerzielle Interessen an CRISPR-Tieren nehmen zu

Die Hoffnung auf schnelle Zuchterfolge hat dazu geführt, dass vermehrt öffentliche Gelder in die Entwicklung von GV-Nutztieren fließen.<sup>4</sup> Vor allem China investiert viel in entsprechende Vorhaben.<sup>5</sup> Führend sind auch die USA und Grossbritannien. EU-Länder befinden sich ganz unten beim Länder-Ranking. Dies liegt daran, dass in der EU die Herstellung genomeditierter Tiere noch verboten ist. Doch andere Länder – darunter auch Japan, Kanada, Brasilien, Argentinien und Australien – haben ihre Richtlinien bereits gelockert.

In Ländern mit einer lascheren Regulierung treiben mehrere Firmen die Entwicklung voran. Die zwei aktivsten: der britische Konzern Genus und das US-Unternehmen Recombinetics. Beide stehen bereits mit Zulassungsbehörden in Kontakt, um ihre GV-Nutztiere auf den Markt zu bringen. Genus will etwa Schweine lancieren, die resistent gegen das PRRS-Virus sind – ein Virus, das weltweit schwere Schäden durch Reproduktionsstörungen bei Sauen und Atemwegserkrankungen bei Ferkeln verursacht. In den USA wurde ein Zulassungsantrag für die resistenten CRISPR-Schweine eingereicht.<sup>6</sup> In China, dem weltweit größten Produzenten und Importeur von Schweinefleisch, kooperiert Genus mit dem Fleisch-

konzern Beijing Capital Agribusiness und hofft auf eine baldige Zulassung.

Recombinetics und seine Tochterfirma Acceligen haben die Märkte Nord- und Südamerikas und Australiens im Visier.<sup>7</sup> In Argentinien wollen sie hornlose Kühe auf den Markt bringen.<sup>8</sup> In den USA wurden 2022 bereits die ersten CRISPR-Rinder mit kurzem, glatten Fell zugelassen. Diese sollen unter anderem hitzetolerant sein und somit auch bei höheren Temperaturen zu einer effizienten Fleischproduktion beitragen. Wie berechtigt der Eingriff ist und ob es Bedarf für derartige Tiere gibt, ist fraglich. Die erwünschten Merkmale können zudem auch mit konventioneller Zucht erreicht werden.

In den USA sind zudem Schweine vorgesehen, die keine Hoden bilden.<sup>9</sup> Dies soll die Kastration männlicher Ferkel überflüssig machen und den Ebergeruch bei Schweinefleisch verhindern.

### Bedenkliche Deregulierungen ...

Wie schon bei Pflanzen, die mithilfe der Neuen Gentechnik (NGT-Pflanzen) produziert werden, könnte sich die Schleuse auch bald für Tiere öffnen. Denn die Konzerne wollen ihre tierischen Produkte auch in Europa ohne umfassende Sicherheitstests und ohne Kennzeichnung verkaufen. Die Vorteile der Deregulierung für die Konzerne sind klar: geringere Kosten für Sicherheitstests. Besonders wichtig auch: Die Abschaffung einer Kennzeichnungspflicht für Fleisch, Milch oder Eier soll helfen, die Ablehnung bei den Konsumierenden gegenüber Gentechnik zu umgehen. Doch damit gerät die Wahlfreiheit der Konsumierenden bei allen tierischen Lebensmitteln in Gefahr.

Welche Risiken und Nebenwirkungen sich aus den neuen Gentechikanwendungen ergeben und was der neue Schub an genomeditierten Tieren für die Umwelt, die Konsument:innen und die Tiere selbst bedeutet, ist kaum absehbar. Werden die vorgeschriebenen Sicherheitsprüfungen gelockert oder gänzlich den Firmen überlassen, dürfte zudem auch die Sicherheit der Produkte von genomeditierten Nutztieren nicht immer gewährleistet sein. Dass diese Bedenken nicht aus der Luft gegriffen sind, zeigt sich an den folgenden Beispielen: Erstens kann im Erbgut der Tiere ungewollt genetisches Material zurückbleiben, das während des Herstellungsprozesses in die Tierzellen gelangt.<sup>10</sup> Ein Beispiel hierfür ist der von Recombinetics hergestellte hornlose Bulle namens Buri. Das Tier wurde von der Firma als 100-prozentig frei von fremdem Genmaterial angekündigt. Doch bei einer Kontrolle entdeckten Forschende der US-Lebensmittelbehörde FDA, dass Buri in seinem Erbgut neben der Änderung, die zur Hornlosigkeit führt, zusätzlich auch Antibiotikaresistenzgene aus Bakterien besass. Diese stammten

**Tab. 1: Mögliche mit Genomeditierung erzeugbare Eigenschaften bei Nutztieren**

Nutztier	Eigenschaften
Schwein	Mehr Fleisch, Kältetoleranz, mageres Fleisch, feinere Marmorierung, schnelleres Wachstum, bessere Futtermittelverwertung, verbessertes Ausbluten, Milch mit Laktoferrin, Geschlechtsumwandlung, Resistenzen gegen Afrikanische Schweinepest, gegen klassische Schweinepest, gegen PRRS, gegen TGE, gegen PED, Keimzellostigkeit
Rind/Kuh	Mehr Fleisch, Hitzetoleranz, Hornlosigkeit, Geschlechtsumwandlung, Resistenzen gegen Tuberkulose, laktosearme Milch, allergenarme Milch, allergenarmes Fleisch, Keimzellostigkeit
Huhn	Mehr Fleisch, weniger Bauchfett, Sterilität, Geschlechtsidentifizierung, allergenarme Eier, Resistenz gegen Leukose
Schaf	Mehr Fleisch, mehr Nachkommen, mehr gelbes Fett, erhöhtes Wachstum, längere Haare, Resistenz gegen das Jaagsiekt Schaf-Retrovirus (JSRV), Keimzellostigkeit, kürzere Schwanzlänge
Ziege	Mehr Fleisch, mehr Nachkommen, mehr Wolle, Resistenz gegen Scrapie, Keimzellostigkeit, allergenarme Milch, »gesünderes« Fleisch
Kaninchen	Mehr Fleisch
Wachtel	Mehr Fleisch

Erläuterung: PED: Porzine Epizootische Diarrhoe; PRRS: Porzines reproduktives und respiratorisches Syndrom; TGE: Transmissible Gastroenteritis.

aus dem Genomeditierungsprozess und sind wesentlich im Erbgut des Tieres zurückgeblieben.<sup>11</sup> Der geplante Aufbau einer Herde ist gestoppt worden.

Zweitens funktionieren die Werkzeuge der Genomeditierung nicht fehlerfrei und können deshalb im Erbgut der Tiere unbeabsichtigte Veränderungen hinterlassen. Diese können unter anderem zur Bildung gänzlich neuer Proteine führen oder dazu, dass einzelne, bereits vorhandene Proteine weniger oder mehr produziert werden als zuvor. Dies könnte die Lebensmittelsicherheit negativ beeinflussen, weswegen sogar Mitarbeitende der US-Lebensmittelbehörde FDA dafür plädierten, Produkte genomeditierter Tiere einer staatlichen Sicherheitsprüfung zu unterziehen.<sup>12</sup>

### ... auf Kosten des Tierwohls

#### *Klonen*

Die unbeabsichtigten Änderungen des Erbguts können auch Gesundheit und Wohlbefinden der editierten Tiere negativ beeinflussen.<sup>13</sup> Besonders wenn die Genomeditierung in Kombination mit dem Klonen angewandt wird, was in den meisten Fällen zutrifft:<sup>14</sup> Projekte, bei denen neue Gene ins Erbgut von Tieren eingefügt werden, nutzen fast zu 90 Prozent die Klontechnik. Werden hingegen vorhandene Gene ausgeschaltet, sind es rund 50 Prozent. Auch nach 25 Jahren Anwendung ist das Klonen immer noch sehr ineffizient. Nur gerade ein bis fünf Prozent der mühselig und nicht ohne Tierleid in ein Leihmuttertier übertragenen Klonembryonen führen zu Nachkommen und diese leiden oft an gesundheitlichen Problemen, z. B. an Herz- oder Leberversagen, Immunschwäche und

Atmungsproblemen.<sup>15</sup> Auch diese Umstände führen zur kritischen Haltung der Bevölkerung gegenüber der Klontechnik. In der EU hat das Parlament einen Gesetzesentwurf vorgelegt, der das Klonen von Nutztieren und die Nutzung von Klonnachkommen verbieten wollte.<sup>16</sup> Der Entwurf wurde jedoch 2020 zurückgezogen.<sup>17</sup> Der Grund dafür: »Keine absehbare Einigung«. Denn die Mitgliedstaaten konnten sich nicht darauf einigen, ob – wie vom Parlament vorgeschlagen – das Verbot auch Sperma und tierische Erzeugnisse von Nachkommen von Klonen umfassen sollte.

#### *Leistungssteigerung/Qualzucht*

Leistungssteigerungen, wie sie bei den meisten Forschungsprojekten mit der Neuen Gentechnik erzielt werden (Tab. 1), verstärken die Tendenz, Tierzucht und -haltung zu industrialisieren und Tiere zu reinen Produktionsfaktoren zu machen. Zudem führen solche Ansätze oft zu kranken Tieren. Wird etwa bei Schweinen das Gen, das für die Produktion von Myostatin (ein Protein, welches das Muskelwachstum bremst) zuständig ist, ausgeschaltet, produzieren die Tiere zwar einen hohen Anteil an besonders geschätzten Fleischstücken. Der Eingriff führt aber auch zu Tieren mit abnormalen Beinen, die innerhalb weniger Tage nach der Geburt sterben.<sup>18</sup>

#### *Tierfreundliche Ziele?*

Auch als »tierfreundlich« angepriesene Ziele wie Hornlosigkeit, Krankheitsresistenzen oder ein Umgehen der Kastration müssen hinterfragt werden. Denn oft dienen sie nicht dem Wohlergehen der Tiere. Viel-

### Gentechnik-Lachs: eine Erfolgsgeschichte?

2015 wurde der mit herkömmlicher Gentechnik hergestellte, schnell wachsende AquaAdvantage-Lachs des US-Unternehmens AquaBounty als erstes gentechnisch verändertes Tier in den USA und danach auch in Kanada und Brasilien zum Verzehr und Verkauf zugelassen.<sup>19</sup> Unter Verbraucherschutz- und Umweltorganisationen erntete die Zulassung viel Kritik. Neben gesundheitlichen Bedenken sind vor allem die möglichen ökologischen Folgen besorgniserregend. Denn GV-Lachse können lokale Fischpopulationen gefährden, wenn sie in freie Gewässer entkommen.

Dass diese Vorbehalte nicht aus der Luft gegriffen waren, zeigte ein Bericht von Anfang 2023, der AquaBounty schwerwiegende Verstöße gegen die Sicherheitsvorschriften vorwarf. Die Firma kündigte schliesslich an, die Produktion seines umstrittenen GV-Atlantklachses auf der kanadischen Prince-Edward-Insel einzustellen. Der Haupt-

grund: Das erste GV-Nutztier hat es anscheinend schwer, einen Markt zu finden. Ganz aufgegeben hat das Unternehmen aber nicht: Gentechnisch veränderte Lachseier für die Aufzucht will das Unternehmen in seiner verbleibenden Fabrik in Indiana (USA) weiterhin produzieren.

Das Erbgut von Lachs soll auch mit der Neuen Gentechnik in zahlreichen Vorhaben für die Haltung in den engen Netzkäfigen konfiguriert werden. Um zu verhindern, dass entwichene GV-Zuchtlachse sich mit Wildlachsen paaren, sollen die Zuchtlachse mit CRISPR steril gemacht werden.<sup>20</sup> Nicht zuletzt schützen solche patentierbaren Fische aber lediglich die Eigentumsrechte der Zuchtfirmen. Andere Projekte wollen das Tier resistent machen gegen die parasitische Seelaus<sup>21</sup> oder die durch ein Virus verursachte, tödliche Pankreasnekrose<sup>22</sup>. Ein weiteres Projekt will CRISPR-Lachse herstellen, die trotz pflanzlicher Nahrung viel gesunde Omega-3-Fettsäure bilden.<sup>23</sup>

mehr werden durch solche Genomeditierungen die Nutztiere für die Bedingungen der industriellen Haltungssysteme optimiert;<sup>24</sup> der Anreiz, tierfreundlichere Haltungsbedingungen zu entwickeln, wird dadurch empfindlich geschwächt.<sup>25</sup> Zudem gibt es Eigenschaften wie die Hornlosigkeit auch ohne Gentechnik.

Diese Entwicklungen stehen im Widerspruch zur wachsenden gesellschaftlichen Besorgnis um das Wohlergehen industriell gehaltener Nutztiere und auch zur Forderung, den Verzehr tierischer Erzeugnisse zu reduzieren, um die Ursachen der Klima- und Biodiversitätskrise aktiv zu bekämpfen.

### CRISPR bei Speisefischen

Auch bei Fischen wird seit Mitte der 1990er-Jahre mit Gentechnik experimentiert – mit ebenfalls bescheidenem Erfolg. Einzig ein Lachs, dem ein artfremdes Wachstumsgen ins Erbgut eingefügt wurde, erhielt in mehreren Ländern Nord- und Südamerikas seit 2015 eine Zulassung, die später zum Teil revidiert wurde (siehe Kasten).

Neu sind jedoch etwa 40 Genomeditierungsprojekte mit Fischen. Vorreiter sind die USA, China, Japan und Norwegen. Im Fokus stehen dabei kommerziell interessante Eigenschaften, wie Wachstum und Gewicht, gefolgt von verbesserter Krankheitsresistenz. In Japan sind bereits zwei CRISPR-Fischarten zugelassen worden: eine Seebrasse,<sup>26</sup> bei der ein Gen inaktiviert wurde, welches das Muskelwachstum kontrolliert, und ein Tigerkugelfisch,<sup>27</sup> bei dem das Gen ausge-

schaltet wurde, das den Appetit der Fische drosselt. Somit können beide Fischarten schneller wachsen als ihre gentechnikfreien Artgenossen. Dies soll zur Senkung der Produktionskosten beitragen. Da die Fische in Japan als »risikofrei« eingestuft werden, wird auf eine obligatorische, umfangreiche Risikoprüfung verzichtet. Dass das blockierte Gen an vielen anderen Stoffwechselprozessen beteiligt ist, weshalb CRISPR-Kugelfische an den Folgen des gentechnischen Eingriffes leiden könnten, scheint die Herstellenden bzw. die Behörden nicht zu interessieren.

In Ländern mit einer lascheren Regulierung ist bald mit einer Reihe von Kommerzialisierungen von GV-Fischen zu rechnen. Dies dürfte zur Folge haben, dass Fischerzeugnisse ohne Kennzeichnung und – besonders gravierend – ohne vorherige staatliche Sicherheitsprüfung, auch in Europa in den Verkauf gelangen könnten. Dabei werden nicht nur die potenziellen Risiken, sondern auch ethische Fragen zum Tierwohl vernachlässigt.

Der Boom bei der Entwicklung genomeditierter Nutztiere, die letztendlich darauf abzielt, die intensive Haltung von Tieren zu erleichtern, fällt ironischerweise in eine Zeit, in der die gesellschaftliche Besorgnis um das Tierwohl wächst und immer mehr Stimmen aus Wissenschaft und Politik artgerechte Haltungsbedingungen, eine Abkehr von der Massentierhaltung und eine Reduzierung des Fleischkonsums fordern. Besonders auch, da die negativen Auswirkungen der weiterhin wachsenden Nachfrage nach Fleisch- und Milchprodukten auf Klima und Biodiversität immer

### Folgerungen & Forderungen

- Sicherheitsprüfungen dürfen nicht allein den Herstellerfirmen überlassen werden, da sonst die Sicherheit der Produkte von genomeditierten Nutztieren nicht gewährleistet werden kann. Denn Auswirkungen der Eingriffe mit der neuen Gentechnik auf die menschliche und tierische Gesundheit sowie auf die Umwelt sind unvorhersehbar. Ein umfassender, prozessbasierter Risikobewertung gemäß dem in der EU geltenden Vorsorgeprinzip ist daher unerlässlich.
- Das Klonen von Nutztieren und die Nutzung von Klonnachkommen muss verboten werden: Diese Prozesse sind sehr belastend und haben massive negative Auswirkungen auf die Gesundheit und das Wohlbefinden der Tiere.
- Auch scheinbar tierfreundliche Ansätze wie Hornlosigkeit, Krankheitsresistenz oder Beeinflussung der geschlechtlichen Ausprägung fördern eher die intensive Tierzucht- und -haltung oder legitimieren ihr Fortbestehen, als dass sie dem Wohlergehen der Tiere dienlich wären.
- Das Tierwohl könnte bei einer Deregulierung einen massiven Rückschlag erleiden. Denn der größte Teil der Forschungsprojekte im Bereich der Nutztierzucht zielt auf eine erhöhte Produktion ab, sei es eine Ertragssteigerung bei Fleisch, Milch, Eiern oder bei Wolle.
- Die gentechnische Veränderung von wenigen, genetisch verarmten Hochleistungsrassen verstärkt Klimakrise und Biodiversitätsverlust. Anstatt Symptombekämpfung mit kurzfristig wirkenden Technologien braucht es eine gründliche Ursachenanalyse und vermehrte Förderung von systemorientierten, nachhaltigen Lösungsansätzen für mehr Resilienz, Nachhaltigkeit und Versorgungssicherheit.
- Darunter fällt auch die Förderung der biologischen und gentechnikfreien Züchtung. Eine möglichst große genetische Vielfalt durch eine Vielzahl an Rassen sowie vielfältige Züchtungs- und Haltungssysteme sorgen für eine optimale lokale Anpassung und (Klima-)Resilienz.

deutlicher sichtbar werden und sich schmerzhaft bemerkbar machen. Die Notwendigkeit, Lösungsansätze zu entwickeln, die einen echten Paradigmenwechsel hin zu wirklicher Nachhaltigkeit in der Tierhaltung bewirken können, wird daher immer dringlicher. Die Entwicklung genomeditierter Nutztiere ist hierfür kein geeigneter Ansatz.

#### Das Thema im Kritischen Agrarbericht

- ▶ Mareike Imken und Benny Haerlin: Gene Drives. Die neue Gentechnik zum Umbau der Evolution. In: Der kritische Agrarbericht 2020, S. 305-310.
- ▶ Christoph Then: Gentechnik oder nicht? Neue Züchtungsverfahren bei Pflanzen und Tieren. In: Der kritische Agrarbericht 2015, S. 253-258.
- ▶ Christoph Then: Neues aus dem Gentechnik-Zoo. Erste Zulassung von gentechnisch veränderten Nutztieren in Europa wird erwartet. In: Der kritische Agrarbericht 2014, S. 257-261.
- ▶ Anita Idel: Science oder Fiction? 25 Jahre Klonforschung an Tieren – aktueller Stand und Perspektiven. In: Der kritische Agrarbericht 2009, S. 221-227.

#### Anmerkungen

- 1 G. Laible, J. Wei and S. Wagner: Improving livestock for agriculture – Technological progress from random transgenesis to precision genome editing heralds a new era. In: *Biotechnology Journal* 10/1 (2015), pp.109-120.
- 2 E. Dolgin: First GM pigs for allergies. Could xenotransplants be next? In: *Nature Biotechnology* 39/4 (2021), pp. 397-400.
- 3 Zu vergleichbaren Ergebnissen kommt auch die von der EFSA herausgegebene Studie von A. L. van Eenennaam: New genomic techniques (NGT) in animals and their agri/food/feed products. EFSA Supporting Publications 20/9 (2023).
- 4 A. L. van Eenennaam et al.: Genetic engineering of livestock: The opportunity cost of regulatory delay. In: *Annual Review of Animal Biosciences* 9 (2021), pp. 453-478.
- 5 J. Cohen: The CRISPR animal kingdom. In: *Science* 365 (2019), pp. 426-429.
- 6 Genus: Our strategic progress: Genus R&D 2021 ([www.genusplc.com/about-us/our-strategic-progress/genus-rd/](http://www.genusplc.com/about-us/our-strategic-progress/genus-rd/)).
- 7 H. Ledford: Gene-edited animal creators look beyond US market. In: *Nature* 566 (2019), pp. 433-435.
- 8 USDA Argentina: Agricultural biotechnology annual. Attaché Report (GAIN). 2021 ([www.fas.usda.gov/data/argentina-agricultural-biotechnology-annual-4](http://www.fas.usda.gov/data/argentina-agricultural-biotechnology-annual-4)).
- 9 T. S. Sonstegard, S. Fahrenkrug and D. Carlson: Precision animal breeding to make genetically castrated animals for improved animal welfare and alternative breeding applications. In: *Journal of Animal Science* 95 (2017), 149.
- 10 L. R. Epstein et al.: CRISPR, animals, and FDA oversight: Building a path to success. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 118/22 (2021), e2004831117. – A. L. Norris et al.: Template plasmid integration in germline genome-edited cattle. In: *Nature Biotechnology* 38/2 (2020), pp. 163-164.
- 11 M. Lema: Regulatory assessment of off-target changes and spurious DNA insertions in gene-edited organisms for agri-food use. In: *Journal of Regulatory Science* 9/1 (2021), pp. 1-15.
- 12 S. M. Solomon: Genome editing in animals: Why FDA regulation matters. In: *Nature Biotechnology* 38/2 (2020), pp. 142-143.
- 13 J. Bailey: Genetic modification of animals: Scientific and ethical issues. In: K. Herrmann and K. Jayne (Eds.): *Animal experimentation: Working towards a paradigm change*. In: Brill Human

- Animal Studies Series 22 (2019), pp. 443-479. [Stimmt die Zuordnung? Von der FDA ist in Anm. 12 zumindest im Titel die Rede!]
- 14 I. V. Perisse et al.: Improvements in gene editing technology boost its applications in livestock. In: *Frontiers in Genetics* 11 (2020), 614688.
  - 15 C. Gouveia et al.: Lessons learned from somatic cell nuclear transfer. In: *International Journal of Molecular Sciences* 21/7 (2020), 2314. – P. Mrowiec and M. Bugno-Poniewierska: Technical, biological and molecular aspects of somatic cell nuclear transfer—a review. *Annals of Animal Science* 2021 (DOI: 10.2478/a0as-2021-0009=).
  - 16 EU-Parlament: Klone von Tieren, die für landwirtschaftliche Zwecke gehalten und reproduziert werden. Brüssel 2015 ([www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-8-2015-0285\\_DE.html](http://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-8-2015-0285_DE.html)).
  - 17 [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.C\\_.2020.321.01.0037.01.ENG](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.C_.2020.321.01.0037.01.ENG).
  - 18 Y. Zou et al.: An FBXO40 knockout generated by CRISPR/Cas9 causes muscle hypertrophy in pigs without detectable pathological effects. In: *Biochemical and Biophysical Research Communications* 498/4 (2018), pp. 940-945.
  - 19 H. Ledford: Transgenic salmon leaps to the dinner table. In: *Nature* 527/7579 (2015), pp. 417-419. – E. Waltz: First genetically engineered salmon sold in Canada. In: *Nature News* 548/7666 (2017), 148.
  - 20 A. Wargelius et al.: *Dnd* knockout ablates germ cells and demonstrates germ cell independent sex differentiation in Atlantic salmon. In: *Scientific Reports* 6/1 (2016), 21284. – H. Güralp et al.: Rescue of germ cells in *dnd* crispant embryos opens the possibility to produce inherited sterility in Atlantic salmon. In: *Scientific Reports* 10/1 (2020), 18042.
  - 21 Nofima 2021 CrispResist: Harnessing cross-species variation in sea lice resistance (<https://nofima.com/projects/crispresist/>).
  - 22 J. Pavelin et al.: The *nedd-8* activating enzyme gene underlies genetic resistance to infectious pancreatic necrosis virus in Atlantic salmon. In: *Genomics* 113/6 (2021), pp. 3842-3850.
  - 23 Y. Jin et al.: Targeted mutagenesis of  $\Delta 5$  and  $\Delta 6$  fatty acyl desaturases induce dysregulation of lipid metabolism in Atlantic salmon (*Salmo salar*). In: *BMC Genomics* 21 (2020), 805.
  - 24 J. Cotter and D. Perls: Genetically engineered animals: From lab to factory farm. Friends of the Earth U.S. 2019. ([https://1bps6437g98c169ioy1drtgz-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2019/09/FOE\\_GManimalsReport\\_Final-Print-1.pdf](https://1bps6437g98c169ioy1drtgz-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2019/09/FOE_GManimalsReport_Final-Print-1.pdf)).
  - 25 A. Lang et al.: Genome Editing – Interdisziplinäre Technikfolgenabschätzung. TA-SWISS 70/2019 (<https://vdf.ch/genome-editing-interdisziplinare-technikfolgenabschätzung.html>).
  - 26 B. Hunter: Japanisches Unternehmen will Genom-editierte Fische auf den Markt bringen. In: *Sumikai-Magazin* vom 20. September 2021 (<https://sumikai.com/nachrichten-aus-japan/gesundheit-wissenschaft/japanisches-unternehmen-will-genom-editiert-fische-auf-den-markt-bringen-299374/>).
  - 27 Japan embraces CRISPR-edited fish. In: *Nature Biotechnology* 40/1 (2022), 10.



**Dr. Zsafia Hock**

Biologin und wissenschaftliche Mitarbeiterin der Schweizer Allianz Gentechfrei (SAG).