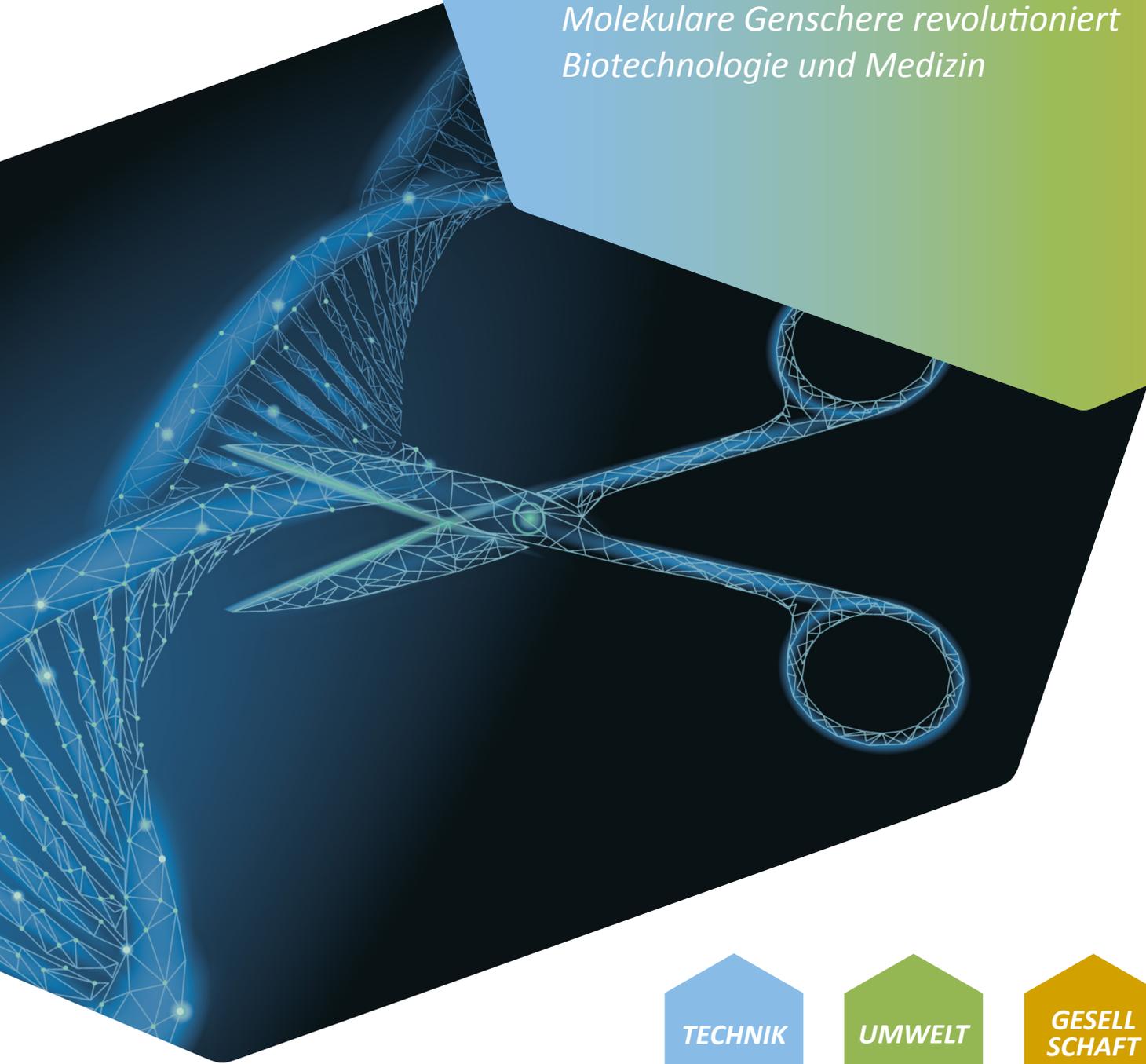


COGNITIVE BRIEFING

# CRISPR/Cas

*Molekulare Genschere revolutioniert  
Biotechnologie und Medizin*



TECHNIK

UMWELT

GESELL  
SCHAFT

# CRISPR/Cas

## Molekulare Genschere revolutioniert Biotechnologie und Medizin

Iris Réthy-Jensen

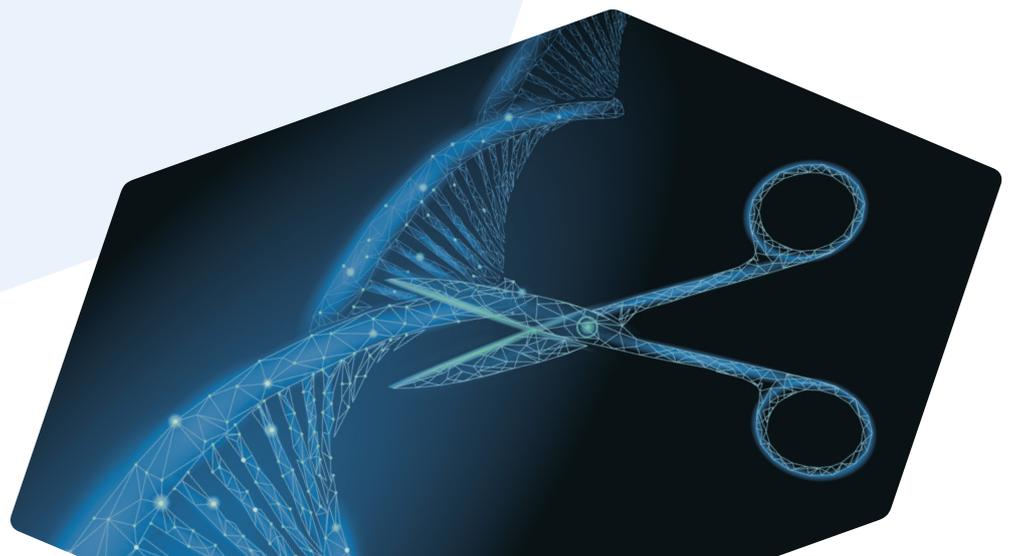
Sie gilt als eine der wichtigsten Neuentwicklungen der modernen Biologie und hat das Potential, die Welt dramatisch zu verändern – die Genschere CRISPR/Cas. Durch dieses molekularbiologische Verfahren lässt sich Erbsubstanz auf relativ einfachem Wege spezifisch editieren, schnell und preiswert. Dies gilt für die DNA von Mikroorganismen, Pflanzen und Tieren, aber auch von Menschen. Die Grundlagen dieser revolutionären Technologie wurden erst vor wenigen Jahren entwickelt und 2020 durch einen Nobelpreis in Chemie ausgezeichnet.

Der Einsatz neuer Methoden wie CRISPR/Cas eröffnet vor allem in Medizin und Biotechnologie völlig neue Potentiale. Doch was ist, wenn es *unabsichtlich* zu einem Laborunfall kommt und ein heute genverändertes Bakterium die Pandemie von morgen auslöst? Was ist, wenn die Genschere missbraucht wird, um eine Person oder eine Gruppe von Menschen durch ein „individuelles Virus“ *absichtlich* zu gefährden, statt zu heilen? Was ist, wenn Attentäter oder Terroristen mit CRISPR/Cas neuartige biologische Waffen entwickeln und zum Einsatz bringen? In Zeiten zunehmender geopolitischer Spannungen und Konflikte sind solche Szenarien ernstzunehmende Risiken.

Noch fallen neue Züchtungsverfahren wie die Genschere CRISPR/Cas in der EU unter strenge Gentechnikgesetze. Zahlreiche Länder der Welt haben die Auflagen für einfache genomeditierte Pflanzen jedoch bereits gelockert – u.a. die USA, Kanada, Russland und Indien, aber auch die Schweiz und England.

Nun will auch die *EU-Kommission* bestimmte Gentechnikvorgaben abschwächen. Geplant ist ein neuer Rechtsrahmen zum Umgang mit gentechnisch veränderten Pflanzen, die mit neuen Züchtungsverfahren äußerst präzise und punktgenau modifiziert werden – in der Regel, ohne dabei neue Gene auf Dauer in das Erbgut einzufügen.

Wie die revolutionäre CRISPR/Cas-Technologie konkret funktioniert, welche Potentiale (aber auch Risiken) die molekulare Genschere als neues **Universalwerkzeug der Biotechnologie** mit sich bringt und welche weiteren Anwendungsgebiete es jenseits der Landwirtschaft gibt, steht im Fokus der vorliegenden Analyse. Darüber hinaus wird erörtert, was der eingeschlagene Weg für Verbraucher, Unternehmer und Investoren konkret bedeutet.



## Thesen:

- ⇒ Seit ihrer Entdeckung im Jahr 2012 hat sich die CRISPR/Cas-Methode zu einem bedeutenden **Universalwerkzeug** der Biotechnologie entwickelt und wirkt als **Innovationsbeschleuniger** von Forschung und Entwicklung in Medizin, Pharmaindustrie, Landwirtschaft und Nahrungsmittel-Systemen.
- ⇒ Mit der „Genschere“ CRISPR/Cas ist die Menschheit erstmals im Besitz eines universell einsetzbaren Werkzeugs zum Schneiden und gezielten Verändern von Erbsubstanz – von Mikroorganismen, Pflanzen, und Tieren, aber auch von menschlichen Genomen.
- ⇒ Damit könnten in Zukunft Erb- und Infektionskrankheiten sowie Krebs gelindert oder gar geheilt werden, die Widerstandsfähigkeit von Pflanzen gegenüber Trockenheit, Schädlingen und Krankheiten erhöht, der Einsatz von Düngemitteln und Pestiziden reduziert und Ernterträge für eine wachsende Weltbevölkerung maximiert werden.
- ⇒ Angesichts der aktuellen globalen Spannungen bei gleichzeitiger Zunahme von Großmacht- und Systemkonflikten ist nicht überall auf der Welt von einem wohlmeinend-friedlichen Gebrauch der CRISPR/Cas-Technologie auszugehen.
- ⇒ **Risikoszenarien** reichen von Bioterrorismus durch Viren und Substanzen, die für bestimmte Personen oder Gruppen gezüchtet werden, über potentiell pandemische Viren, die absichtlich (oder unabsichtlich) freigesetzt werden, bis hin zu CRISPR/Cas-basierten Neurowaffen und Designerorganismen für den militärischen Einsatz.
- ⇒ Die Kombination der „Genschere“ mit neuen (und ebenfalls exponentiell voranschreitenden) Entwicklungen im **Bereich Künstlicher Intelligenz** wird das technologische und wirtschaftliche Potential von CRISPR/Cas in nächster Zeit massiv ausweiten und beschleunigen.
- ⇒ Auch in der breiten Öffentlichkeit rückt die CRISPR-Technologie durch folgende Meilensteine zunehmend in den Fokus:
  - Im Sommer 2023 gab die EU-Kommission ihr Vorhaben zur Lockerung des europäischen Gentechnik-Gesetzes bekannt. Damit folgt sie einer international beobachtbaren Entwicklung, gentechnisch veränderte Pflanzen nicht mehr als solche zu kennzeichnen (z.B. USA, Kanada, Russland, Großbritannien).
  - Mitte November 2023 hat Großbritannien die weltweit erste Marktzulassung für eine CRISPR/Cas-basierte Therapie erteilt: „Casgevy (Exa-cel)“ des Schweizer Genschere-Spezialisten CRISPR Therapeutics und Vertex Pharmaceuticals. Die US-Gesundheitsbehörde folgte im Dezember 2023.

- ⇒ Eine breite und einfache Anwendbarkeit, hohe Präzision und enorme Schnelligkeit zeichnen die Technologie aus, wodurch sich insbesondere im Bereich der Forschung Arbeitsaufwand und Kosten erheblich verringern und Effizienz erhöhen lassen.
- ⇒ Die Genschere ist allerdings nicht fehlerfrei und unbeabsichtigte Mutationen, sogenannte „Off-Target-Effekte“, sind möglich; dies eröffnet eine Reihe theoretisch möglicher Risikoszenarien.
- ⇒ Dominiert wird der Markt für CRISPR von den USA, die allein bis 2019 mehr als 5.000 Patente angemeldet haben. So viele erreichen die drei nachfolgend Platzierten – Europa, China und Australien – noch nicht einmal zusammen! Die Summe der europäischen Patente betrug bis 2019 nur 40 % der US-amerikanischen!<sup>1</sup>
- ⇒ Die **Wachstumsaussichten** für den CRISPR-Markt sind **vielversprechend**: Bis 2028 soll der weltweite Markt für CRISPR voraussichtlich auf 7,1 Mrd. USD steigen<sup>2</sup> – für den Zeitraum zwischen 2023 und 2030 wird eine jährliche Wachstumsrate (CAGR) von 17,15 % prognostiziert. Haupttreiber soll der Agrarsektor sein, mit einer CAGR von über 21,13 %.<sup>3</sup>
- ⇒ Infolge möglicher Netzwerk- und Abstrahleffekte der CRISPR-Technologie – in neue Anwendungsbereiche und **bislang unbekannte Einsatzmöglichkeiten** – könnte jedoch der davon ausgehende Wachstumsimpuls die derzeitigen Schätzungen auch deutlich übertreffen.
- ⇒ Neue Länder aus Fernost (insbesondere China und Japan) und Europa mischen den bislang stark US-dominierten Markt auf; es ist davon auszugehen, dass CRISPR-basierte Anwendungen insbesondere in **Kombination mit KI** stark an Dynamik gewinnen werden.
- ⇒ Gleichzeitig ist aber auch mit vielfältigen Risikoszenarien zu rechnen, die aus einer **missbräuchlichen Anwendung** der CRISPR/Cas-Technologie erwachsen können; getrieben etwa durch skrupellose „Rogue States“ (wie Nordkorea, Iran oder Syrien), aber auch durch ambitionierte Forscher oder selbsternannte „Gendesigner“.

# 1 Potential, die Welt zu verändern

Das CRISPR/Cas-System, auch bekannt als Genschere, ist eine „der wichtigsten Entdeckungen der modernen Biologie“<sup>4</sup>. Laut CRISPR-Entdeckerin *Jennifer Doudna* hat die Genschere das Potential, die Welt zu verändern.<sup>5</sup> Denn:

- ▶ „The discovery of Crispr function (...) has revolutionized genetic engineering by giving to the world the most powerful and precise tool for targeted genome editing.“<sup>6</sup>

Seit ihrer Entdeckung vor etwas mehr als einem Jahrzehnt hat sich die CRISPR/Cas-Methode innerhalb der Biotechnologie zu einem echten „Gamechanger“ entwickelt:

- ▶ „CRISPR stellt einfach alles auf den Kopf“<sup>7</sup> und ist „der Schlüssel zu einer Innovationsbeschleunigung“<sup>8</sup> von Forschung und Entwicklung in Medizin, Pharmaindustrie, Landwirtschaft und Ernährung.

Wie *Doudna* betont, gewährt uns die Genschere „the power to control our species' genetic future“.<sup>9</sup> Wie disruptiv und ethisch-moralisch fragwürdig diese Kraft jedoch auch eingesetzt werden kann, hat der chinesische Wissenschaftler *He Jiankui* bereits vor fünf Jahren der Weltöffentlichkeit vor Augen geführt:

Im November 2018 gab *He Jiankui* die Geburt von drei „Designerbabys“ bekannt, deren Erbgut er kurz nach der künstlichen Befruchtung mit der CRISPR-Technologie verändert hatte, um sie vor einer Ansteckung mit HIV zu schützen. Damit hatte er in die menschliche Keimbahn eingegriffen und weltweit eine heftige Ethikdebatte ausgelöst. *He* wurde in China zu drei Jahren Haft verurteilt und sein Fall macht Eines mehr als deutlich:

- ▶ Erstmals in der Geschichte ist die Menschheit im Besitz eines niederschweligen und universal einsetzbaren Werkzeuges zum Schneiden und gezielten Verändern von Genomen – auch von menschlichen Genomen. Selbst ethisch bedenkliche Eingriffe in die Keimbahn, deren Auswirkungen nicht auf das jeweilige Individuum begrenzt bleiben, sondern sich auch langfristig auf Nachkommen auswirken, sind mit diesem Werkzeug möglich.

**CRISPR/Cas** ist eine Methode zur Genom-Editierung und die Kurzform von **C**lustered **R**egularly **I**nterspaced **S**hort **P**alindromic **R**epeats (gruppierte kurze palindromische Wiederholungen mit regelmäßigen Abständen) und **C**RISPR-assoziertes Protein. Besser bekannt ist die 2012 von *Emmanuelle Charpentier* und *Jennifer Doudna* entdeckte CRISPR/Cas-Technologie als „Genschere“, weil sie mit hoher Präzision das Erbgut – also die DNA – von Menschen, Tieren, Pflanzen und Mikroorganismen verändern kann. Der Bioingenieur *Feng Zhang* vom *Massachusetts Institute of Technology (MIT)* veröffentlichte nur wenige Monate nach *Charpentier* und *Doudna* eine Arbeit, in der er beschreibt, wie sich CRISPR auch außerhalb eines Bakteriums nutzen lässt. Zwischen den Forschern läuft nach wie vor ein Patentstreit. 2020 wurden die beiden Entdeckerinnen, die Französin *Charpentier* und *Doudna* aus den USA, mit dem Nobelpreis für Chemie ausgezeichnet.

Die gesamtgesellschaftliche Verantwortung ist immens, wie auch Forscherin *Jennifer Doudna* betont:



*„The power to control our species’ genetic future is awesome and terrifying. Deciding how to handle it may be the biggest challenge we have ever faced.“*

*Jennifer Doudna*, CRISPR-Entdeckerin,  
zitiert nach Future Today Institute (2023, Tech Trends)



Eine missbräuchliche Verwendung der CRISPR/Cas-Technologie – getrieben etwa durch skrupellose „Rogue States“ (wie Nordkorea, Iran oder Syrien), aber auch durch ambitionierte Forscher oder selbsternannte „Gendesigner“ – lässt sich nicht ausschließen. Dies birgt ein zusätzliches und kaum kalkulierbares Risiko mit einer niedrigen Einstiegshürde.

Die CRISPR-Technologie ist nämlich nicht nur einfach zu handhaben und leicht zu lernen, sondern auch kostengünstig und in einigen Ländern frei verkäuflich. Sogenannte „DIY Genetic Engineering Sets“ gibt es etwa im Onlineshop der US-amerikanischen Firma *The ODIN*. Dort kostet das CRISPR-Starter-Kit weniger als 50 US-Dollar und enthält laut Beschreibung alles, was selbst Laien für präzise Genveränderungen in den eigenen vier Wänden benötigen.<sup>10</sup> Firmeninhaber und Biohacker *Jo Zayner* ist nämlich überzeugt:

- ▶ *„... the future is going to be dominated by genetic engineering and consumer genetic design will be a big part of that. We are making that happen by creating kits and tools that allow anyone to make unique and usable organisms at home or in a lab or anywhere.“<sup>11</sup>*

Von einem wohlmeinend-friedlichen Gebrauch der Technologie ist jedoch nicht überall auf der Welt auszugehen. Diese Tatsache gilt in Fachkreisen als **ernstzunehmende Herausforderung** für die nationale und auch weltweite Sicherheit. Bereits 2016 warnte *James Clapper* in seiner Funktion als *Director of National Intelligence* der USA:

- ▶ *„Research in genome editing conducted by countries with different regulatory or ethical standards than those of Western countries probably increases the risk of the creation of potentially harmful biological agents or products.“*
- ▶ *Given the broad distribution, low cost, and accelerated pace of development of this dual-use technology, its deliberate or unintentional misuse might lead to far-reaching economic and national security implications.“<sup>12</sup>*

Diese Warnung, die angesichts der aktuellen Zunahme regionaler Kriege und grundlegender Großmachtkonflikte virulenter ist als je zuvor, wird aus Wissenschaftskreisen bestätigt:



*„The weaponization of the scientific and technological breakthroughs stemming from human genome research presents a serious global security challenge.“*

*Dr. Yelena Biberman*, zitiert nach Georgetown Journal of International Affairs (2023, Gene Editing)



Vielfältige Risikoszenarien sind denkbar und reichen von Bioterrorismus durch Viren und Substanzen, die für bestimmte Personen oder Gruppen gezüchtet werden, über potentiell pandemische Viren, die absichtlich (oder unabsichtlich) freigesetzt werden, bis hin zu CRISPR/Cas-basierten Neurowaffen und Designerorganismen wie „genetically enhanced soldiers“<sup>13</sup> für den militärischen Einsatz.

Die relativ geringen Kosten der CRISPR/Cas-Technologie machen deren Einsatzbarkeit auch für militärische Zwecke äußerst „attraktiv“. Grundsätzlich gilt dabei folgende alarmierende Feststellung, mit nachhaltig disruptivem Potential und globaler Tragweite:

- ▶ *„... there is frequent and relatively easy „spillover“ from the medical silo to dual- and direct-use arenas of weapon development and production.“<sup>14</sup>*

## 2 Vielfalt: Anwendungsbereiche der Genschere

Für ihre Entdeckung erhielt die Biochemikerin *Jennifer Doudna* aus den USA gemeinsam mit der Französin *Emmanuelle Charpentier* 2020 den Nobelpreis in Chemie. *Claes Gustafsson*, Vorsitzender des Nobelausschusses für Chemie, begründete die Entscheidung des Komitees mit diesen Worten:

- ▶ „In diesem genetischen Werkzeug steckt eine enorme Kraft, die uns alle betrifft. Sie hat nicht nur die Grundlagenforschung revolutioniert, sie führte auch zu innovativen Pflanzen und wird zu bahnbrechenden neuen medizinischen Behandlungen führen.“<sup>15</sup>

CRISPR-Entdeckerin *Jennifer Doudna* formuliert den Anspruch hinter der neuen Technologie wie folgt:

- ▶ „We might be nearing the beginning of the end of genetic diseases.“<sup>16</sup>

Jüngste Meldungen machen insbesondere Menschen, die an **Erbkrankheiten** wie Sichelzellanämie oder Beta-Thalassämie erkrankt sind, Hoffnungen auf Linderung – vielleicht sogar Heilung. Denn obwohl die Ursachen der beiden Krankheiten seit Jahren bekannt sind, gibt es bisher keine effiziente Behandlungsmethode für die 20 Millionen Sichelzellanämiepatienten weltweit.<sup>17</sup> Das könnte sich in Zukunft ändern: Mitte November 2023 hat Großbritannien die weltweit erste Marktzulassung einer CRISPR/Cas-basierten Therapie erteilt: *Casgevy (Exa-cel)* des Schweizer Genschere-Spezialisten *CRISPR Therapeutics* und seinem Entwicklungspartner *Vertex Pharmaceuticals*.<sup>18</sup>



„Die Zulassung [von Casgevy] ist ein großer Durchbruch, ein Meilenstein für das ganze Feld des Genome Editings.“

Toni Cathomen, Direktor des Instituts für Transfusionsmedizin und Gentherapie am Universitätsklinikum Freiburg, zitiert nach Wirtschaftswoche (2023, Neue Ära)



Aktuell prüft auch die US-Gesundheitsbehörde *FDA* diese CRISPR/Cas-basierte Therapie. Im Dezember ließ sie die Anwendung von *Casgevy (Exa-cel)* bei der Sichelzellanämie zu. Für Beta-Thalassämie wird die Entscheidung bis Ende März 2024 erwartet.<sup>19</sup> Für eine weitere Erbkrankheit, die so genannte Hypercholesterinämie, steht die Zulassung eines Medikaments bevor; dieses soll das Risiko dieser Patientengruppe senken, an einem Herzinfarkt zu sterben.<sup>20</sup>

*Doudna* (2021) ist überzeugt:

- ▶ „Mit diesem Werkzeug [CRISPR] können wir potenziell Tausende genetisch bedingter Krankheiten behandeln. (...) Und ich bin zuversichtlich, dass am Ende dabei eine Behandlungsmethode herauskommt, die für jeden, der sie braucht, zugänglich und bezahlbar ist.“<sup>21</sup>

Hoffnungen auf Durchbrüche in der **Medizin** machen sich auch andere Patienten, denn die Liste klinischer Studien, bei denen die CRISPR-Technologie zum Einsatz kommt, wird immer länger: Weltweit gibt es inzwischen rund 60 klinische Studien – darunter auch diverse Zell- und Gentherapien gegen **Krebs**.<sup>22</sup>

Bei **Infektionskrankheiten** wie HIV, für die es mittlerweile zwar Behandlungsmöglichkeiten, aber keine Heilung gibt, könnte die Genschere ebenfalls den erhofften Durchbruch für neue Therapien bringen. In den USA werden zur Zeit die ersten drei HIV-Patienten behandelt.<sup>23</sup> CRISPR-basierte Antibiotika sind wiederum beim Kampf gegen steigende **Antibiotikaresistenzen** vielversprechend.<sup>24</sup> Vielleicht lassen sich in entfernter Zukunft sogar **Alterungsprozesse** aufhalten oder gar umkehren.<sup>25</sup>

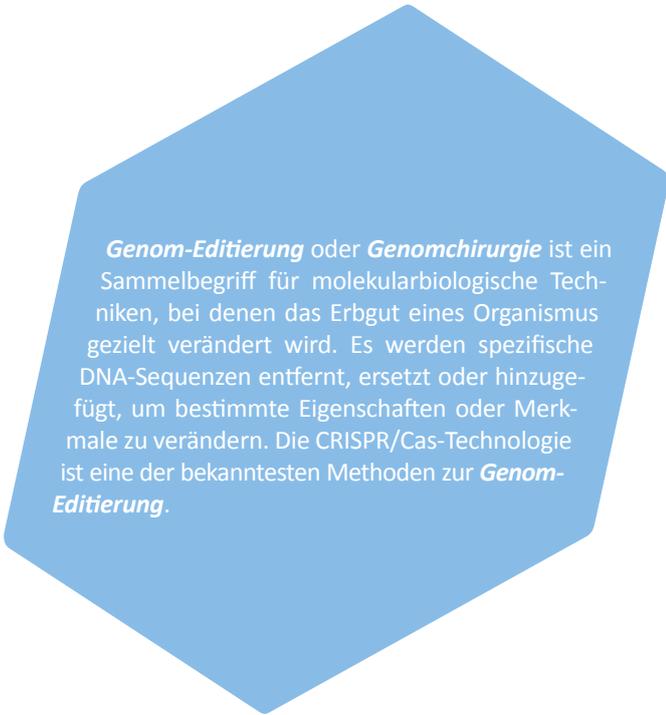
Die Zukunftstrends „**Langlebigkeit**“ und „**Alternative Food**“ (vgl. Folgeseite) hat das *FERI Cognitive Finance Institute* bereits ausführlich analysiert:



Von Interesse ist die Genschere auch für **Landwirtschaft und Ernährung**. Immer häufiger gefährden Starkregen, Hagel und Dürre sowie andere extreme Klimaereignisse weltweit Ernten, da sich traditionell angebaute Nutzpflanzensorten nicht schnell genug an die sich wandelnden Bedingungen anpassen können. Diese Verschärfungen bedrohen nicht nur große Teile der traditionellen Landwirtschaft, sie sind auch zentraler Risikofaktor für die Ernährung einer wachsenden Weltbevölkerung und werden die kommenden Jahrzehnte entscheidend prägen. Folglich werden alternative Wege der Nahrungsmittelproduktion in Zukunft immer wichtiger.

Neuartige Verfahren und innovative Techniken können dabei eine wesentliche Rolle spielen, denn:

- ▶ „*The (...) CRISPR-Cas genome editing technology has altered plant molecular biology beyond all expectations.*“<sup>26</sup>



**Genom-Editierung** oder **Genomchirurgie** ist ein Sammelbegriff für molekularbiologische Techniken, bei denen das Erbgut eines Organismus gezielt verändert wird. Es werden spezifische DNA-Sequenzen entfernt, ersetzt oder hinzugefügt, um bestimmte Eigenschaften oder Merkmale zu verändern. Die CRISPR/Cas-Technologie ist eine der bekanntesten Methoden zur **Genom-Editierung**.

Ist bekannt, welches Gen für eine bestimmte Eigenschaft verantwortlich ist, kann die Genschere das verantwortliche Gen ausschalten oder gezielt verändern – in der Regel ohne neue Gene auf Dauer in das Erbgut einzufügen. Dadurch lässt sich beispielsweise die Widerstandsfähigkeit von Pflanzen gegenüber Trockenheit, Schädlingen und Krankheiten erhöhen und der Einsatz von Düngemitteln und Pestiziden reduzieren, ohne dass sich die erzeugte Variante von natürlichen Mutationen unterscheidet, die tagtäglich in Organismen zufällig geschehen.

Angesichts des fortschreitenden Klimawandels ist Schnelligkeit gefordert – ein wesentlicher Vorteil der CRISPR/Cas-Technologie. So ist es Wissenschaftlern in den USA gelungen, die Zeit, die eine Pappel zur Blüte braucht, von zehn Jahren auf nur drei Monate zu verkürzen. Solche Bäume können sich wiederum schneller an die sich wandelnden Klimabedingungen wie extreme Hitze, Kälte und Trockenheit anpassen.<sup>27</sup>

Mit der Genschere wurde dürreresistenter Reis gezüchtet und Weizen, der gegen den Schadpilz Mehltau resistent ist. Inzwischen gibt es Äpfel, die nicht braun werden oder Pilze, die Stößen beim Transport standhalten. Sogar der Gehalt an Omega-3-Fettsäuren in Pflanzen konnte mit der CRISPR-Technologie erhöht werden.<sup>28</sup> Die Genschere macht aber auch Menschen mit Nahrungsmittelunverträglichkeiten Hoffnungen: Forscher in Japan und Neuseeland züchten Hühner bzw. Kühe mit dem Ziel, allergenfreie Eier bzw. Milch zu gewinnen, spanische Wissenschaftler wiederum glutenfreien Weizen.<sup>29</sup> Die schnell wachsende Weltbevölkerung kann mit einer Maximierung von Ernteerträgen durch CRISPR rechnen.

**Alarmierendes Risikoszenario**, dessen Folgen für die Stabilität ganzer Ökosysteme irreversibel sein könnten, ist die Freisetzung von sogenannten **Gene-Drive-Organismen**. Solche Organismen werden extra dafür gezüchtet, wildlebende Arten gentechnisch zu verändern, zu ersetzen oder gezielt auszurotten. Das Alarmierende daran ist, dass es sich bereits um erprobte Realität handelt: In Burkina Faso gibt es erste Vorversuche im Feld zur Bekämpfung von Malaria-Mücken.<sup>30</sup>

- ▶ „*Gene-Drives werden als Möglichkeit der Schädlingsbekämpfung in der Landwirtschaft, zur Entfernung invasiver Arten aus sensiblen Ökosystemen und zur Ausrottung oder Veränderung von krankheitsübertragenden Insekten propagiert.*“<sup>31</sup>

Mit dieser Technologie lassen sich neue Gene in das Erbgut wildlebender Tiere einschleusen, die sich dann in der Population verbreiten und die Vererbung an sämtliche Nachkommen erzwingen. Darin liegen erhebliche Risiken:

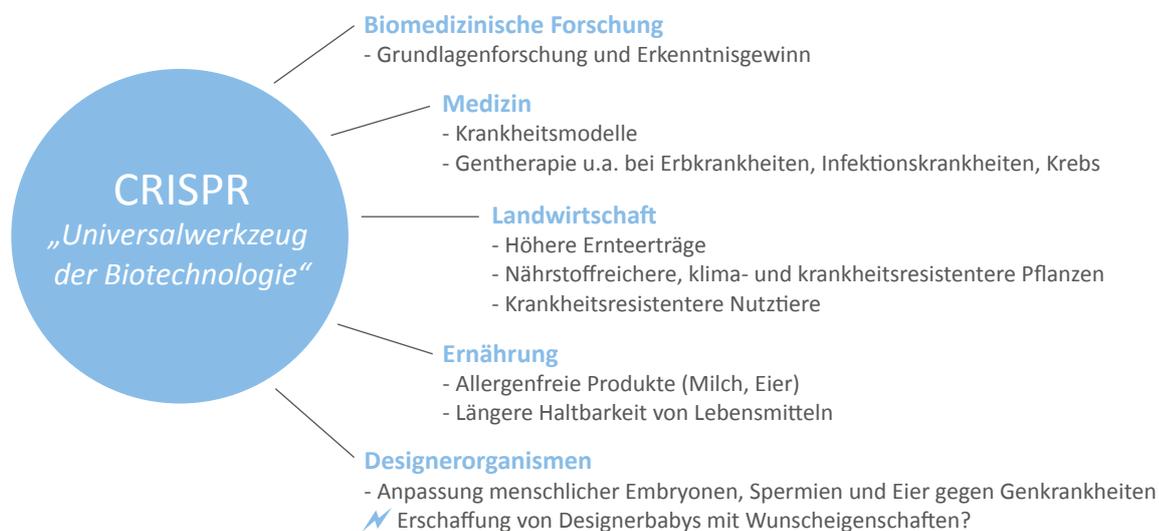
- ▶ „*Im Extremfall könnten damit ganze Arten ausgerottet oder wildlebende Populationen durch gentechnisch veränderte Organismen ersetzt werden.*“<sup>32</sup>

Die möglichen Risiken von **Gene-Drives** sind angesichts des ohnehin rasanten Artensterbens extrem hoch: Zum einen stellt sich die Frage, wer mit welcher Intention über eine Freisetzung entscheidet, zum anderen kann bereits eine leichtfertige oder fehlerhafte Risikoprüfung eine unumkehrbare, unkontrollierte Ausbreitung gentechnisch veränderter Organismen zur Folge haben. Da Wildtierpopulationen keine

Ländergrenzen kennen und invasive Pflanzen- und Tierarten schon heute durch den globalen Handel neue Lebensräume erobern, können die Folgen für uns Menschen und für die Stabilität ganzer Ökosysteme weitreichend und unumkehrbar sein. Denn:

- ▶ „Je mehr Arten aus einem Ökosystem entfernt werden, desto instabiler wird das System, bis es schließlich sogar ganz kollabieren kann.“<sup>43</sup>

Abb. 1: Anwendungsbereiche der CRISPR-Technologie



Quelle: FERI Cognitive Finance Institute, 2023

### 3 Vorhaben: Lockerung des europäischen Gentechnik-Gesetzes

Da bei der CRISPR/Cas-Technologie im Gegensatz zur klassischen Gentechnik keine Fremd-DNA von außen eingeführt wird und die vorgenommene Veränderung auch unter natürlichen Bedingungen durch zufällige Mutation oder herkömmliche Kreuzungszüchtung hätte entstehen können, will auch die *EU-Kommission* bestimmte Gentechnikvorgaben lockern und plant hierfür gegenwärtig einen neuen

Rechtsrahmen zum Umgang mit gentechnisch veränderten Pflanzen. Denn:

- ▶ „NGTs [Neue genomische Techniken] sind innovative Möglichkeiten, unseren Lebensmittelsektor im Sinne des europäischen Grünen Deals und der Strategie Vom Hof auf den Tisch nachhaltiger und krisenbeständiger zu machen.“

- ▶ Sie ermöglichen die präzise und effiziente Entwicklung verbesserter Pflanzensorten, die beispielsweise klima- und schädlingsresistent sind, weniger Düngemittel und Pestizide brauchen oder ertragreicher sind.<sup>34</sup>

Mit großer Geschlossenheit unterstützt die Wissenschaft das Vorhaben der *EU-Kommission*, das europäische Gentechnik-Gesetz „an den wissenschaftlichen und technischen Fortschritt an[zu]passen“, ohne das „hohe Schutzniveau für die Gesundheit von Mensch und Tier sowie für die Umwelt“ aufzugeben.<sup>35</sup>

So fordern beispielsweise die *Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)* und die *Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina* ausdrücklich eine Novellierung des europäischen Gentechnikrechts. Hierzu erklärt *DFG*-Präsidentin *Katja Becker*:

- ▶ „Neue molekulare Züchtungstechniken erlauben eine bisher nie dagewesene Präzision und Effizienz in der Verbesserung von Nutzpflanzen. Dieses Potenzial sollte zur Erreichung der Nachhaltigkeitsziele ausgeschöpft werden. Forschung und Anwendung in Europa können daher nur durch eine neue evidenzbasierte europäische Regelungspraxis gelingen, die den Erfahrungen der letzten Jahrzehnte auch in Bezug auf Chancen und Risiken Rechnung trägt.“<sup>36</sup>

Auch der Weltklimarat *IPCC* betont:

- ▶ „Eine Verbesserung der Genetik ist erforderlich, um Nutzpflanzen und Nutztiere zu züchten, die sowohl die Treibhausgasemissionen senken als auch eine höhere Trockenheits- und Hitzetoleranz besitzen.“<sup>37</sup>

Einig sind sich die Wissenschaftsorganisationen dahingehend, dass die Eigenschaften des erzeugten Produkts und nicht die genutzte Technologie künftig über die Sicherheitsbewertung neuer Pflanzen entscheiden soll.<sup>38</sup>

Umweltorganisationen, Verbraucherschutzverbände und Vertreter des Biolandbaus lehnen das Vorhaben der *EU-Kommission* hingegen aus sehr unterschiedlichen Gründen ab:

- ▶ Nach Ansicht von *foodwatch* fehle Verbrauchern ohne Kennzeichnung eine wichtige Entscheidungshilfe, „ob sie mithilfe von Gentechnik erzeugte Lebensmittel kaufen wollen oder nicht“.<sup>39</sup> Für die Verbraucherschutzorganisation ist das geplante Vorhaben „ein Schlag für die Verbraucherrechte“.<sup>40</sup>
- ▶ Indem sich große internationale Saatgut-Konzerne das genveränderte Saatgut patentieren lassen, geraten Landwirte in immer stärkere Abhängigkeiten, so eine weitere Sorge von *foodwatch*.<sup>41</sup>
- ▶ Das *Bundesamt für Naturschutz* warnt wiederum vor negativen Auswirkungen auf Ökosysteme: „Sollte es beispielsweise gelingen, eine trockenresistente Feldfrucht zu entwickeln, so könnte diese invasiv werden, weil sie auf einmal Habitats besiedeln könnte, in denen sie vorher nicht überleben konnte.“<sup>42</sup> Neue Pflanzenzüchtungen könnten also herkömmliche verdrängen.
- ▶ *Karl Bär*, Grünen-Bundestagsabgeordneter und Agrarökonom, sieht in dem Vorschlag „das Ende der ökologischen Landwirtschaft“.<sup>43</sup> Ähnlich formuliert es *Peter Fichtner* vom *Bayrischen Bauernverband*: „Das Label ‚Ohne Gentechnik‘ wäre von heute auf morgen völlig wertlos“ und „könnte dem Biolandbau das Genick brechen.“<sup>44</sup> Schließlich zeichnet sich der Ökolandbau dadurch aus, dass er gentechnikfrei ist. Inzwischen müsse sich dieser mit immer mehr Aufwand vor Kontamination etwa durch von Wind verwehtes geneditiertes Saatgut schützen.

Kritischen Stimmen wie diesen will die *EU-Kommission* entgegenwirken, indem sie ihr Vorhaben an zwei wesentliche Kriterien knüpft:

- 1.) Die neuen Merkmale müssen die EU-Ziele in den Bereichen Nachhaltigkeit, Klima und Biodiversität unterstützen, indem beispielsweise Weizen oder Mais resistenter gegen Hitzestress gemacht werden.
- 2.) Bei molekulargenetischen Eingriffen dürfen keine artfremden Gene, sondern nur eigene Gene der jeweiligen Nutzpflanzen zum Einsatz kommen.

Das zweite Kriterium soll gewährleisten, dass die Pflanzen „äquivalent“ sind. Also, wie *Frans Timmermans*, ehemaliger Vizepräsident der *EU-Kommission*, ausführt:

- ▶ „Diese Pflanzen könnten auch durch natürliche Fortpflanzung oder traditionelle Kreuzung entstanden sein.“<sup>45</sup>

# 4 Verwendung: Genschere in anderen Ländern

Mit ihrem Vorschlag zur Deregulierung folgt die *EU-Kommission* einer international beobachtbaren Entwicklung: Bereits seit längerem werden gentechnisch veränderte Pflanzen u.a. in den USA, Kanada, Russland sowie in Großbritannien nicht mehr als solche gekennzeichnet (vgl. Abb. 2).

Weltweit führend bei CRISPR-Patenten sind die USA mit weit mehr als 5.000 Anmeldungen bis 2019.

- ▶ Diese Größenordnung erreichen die drei nachfolgend Platzierten – Europa, China und Australien – noch nicht einmal zusammen (vgl. Abb. 3)!
- ▶ Die Summe der europäischen Patente betrug bis 2019 nur 40 % der US-amerikanischen!<sup>46</sup>

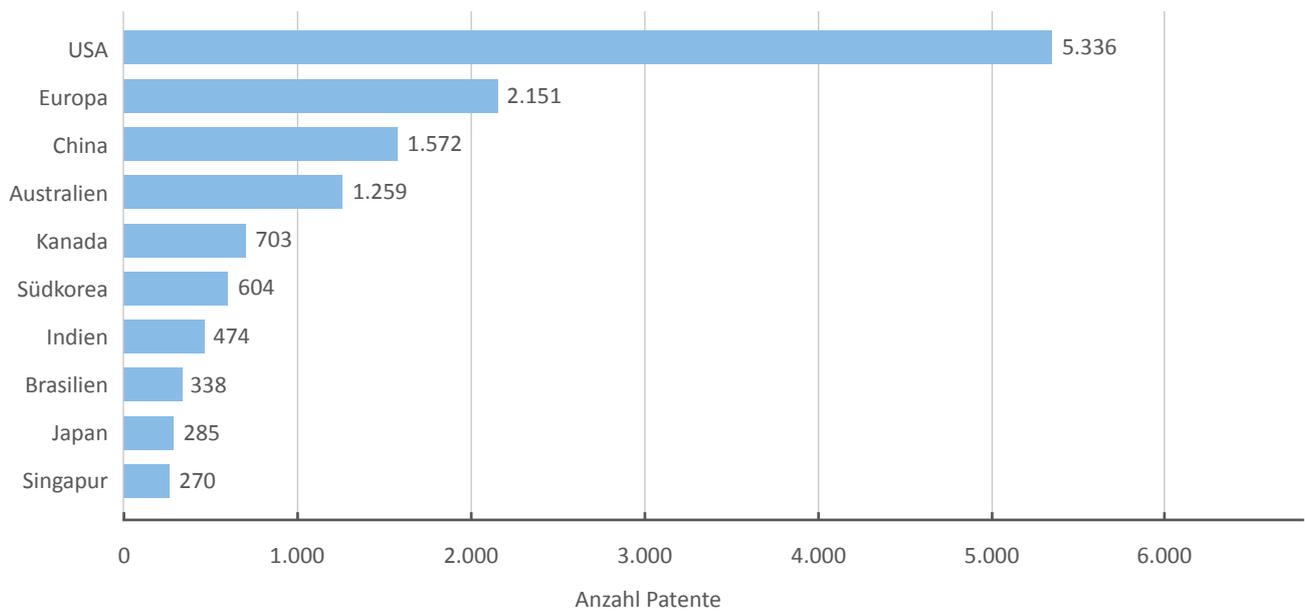
Abb. 2: Weltweite (De-)Regulierung von genom-editierten Pflanzen

<b>Europa (nicht-EU)</b>	England	Einfache GE-Pflanzen sind von den GVO-Regeln ausgenommen. Für Freilandversuche sowie für kommerziellen Anbau und Vermarktung der Produkte sind jeweils Anmeldeverfahren vorgeschrieben. Relevante Informationen werden veröffentlicht.
	Schweiz	GE-Pflanzen sollen künftig nicht mehr unter GVO-Verbot fallen.
	Norwegen	Fallweise Regulierung für GE-Pflanzen in Vorbereitung.
	Russland	GE-Pflanzen sind konventionellen gleichgestellt. (Dekret des Präsidenten, 2019)
<b>Nord- und Südamerika</b>	USA	GE-Pflanzen sind konventionell gezüchteten Pflanzen gleichgesetzt.
	Kanada	GE-Pflanzen sind frei, sofern sie keine neuartigen Merkmale besitzen.
	Brasilien, Argentinien, Chile, Equador, Kolumbien, Paraguay, Honduras, Guatemala	GE-Pflanzen sind von den GVO-Regeln ausgenommen. Fallweise Überprüfung der Voraussetzungen.
<b>Asien</b>	China	Spezifische Regeln für die Zulassung von GE-Pflanzen.
	Indien	GE-Pflanzen sind von GVO-Regeln ausgenommen, wenn nachweislich transgen-frei.
	Philippinen	GE-Pflanzen sind von GVO-Regeln ausgenommen. Produkte werden nach Überprüfung zertifiziert.
	Indonesien	GE-Pflanzen sind von GVO-Regeln ausgenommen, wenn sie keine Fremd-DNA enthalten.
	Japan	GE-Pflanzen der Kategorie SDN-1 sind von GVO-Regeln ausgenommen. Registrierung erforderlich.
	Südkorea	GE-Pflanzen, in die kein Fremd-Gen eingefügt wurden, sind von GVO-Regeln ausgenommen. (vorläufige Regelung, 2021)
<b>Afrika</b>	Nigeria, Kenia	GE-Pflanzen sind von den GVO-Regeln ausgenommen. Fallweise Überprüfung der Voraussetzungen.
<b>Australien</b>	Australien	GE-Pflanzen der Kategorie SDN-1 sind von GVO-Regeln ausgenommen.

GE = genom-editiert

Quelle: FERI Cognitive Finance Institute, 2023; eigene Darstellung basierend auf transGEN (2023, Züchtungsverfahren)

Abb. 3: Anzahl der CRISPR-Patentanmeldungen ausgewählter Länder bis 2019



Quelle: Statista (2022, CRISPR-Patentanmeldungen)

Durch die Pläne der *EU-Kommission* kommt Bewegung in den CRISPR-Markt, und die Kennzeichnungspflicht, die das Gentechnik-Gesetz bisher für *gentechnisch veränderte Organismen (GVO)* vorsieht, könnte auch in Europa künftig wegfallen. Anbau und

Vermarktung von CRISPR-Pflanzen würden in der Folge künftig weitgehend freigegeben werden. Die Entscheidungen von *EU-Parlament* und *EU-Ministerrat* stehen allerdings noch aus.

**Gentechnisch veränderte Organismen (GVO)** sind gemäß der Richtlinie 2001/18/EG des *EU-Parlaments* und des *EU-Rates* vom 12. März 2001 Organismen, deren genetisches Material so verändert wurde, wie es unter natürlichen Bedingungen durch Kreuzen und/oder natürliche Rekombination nicht möglich wäre. Gentechnische Veränderungen können durch gezieltes Abschalten einzelner Gene oder durch den Einbau von arteigenen oder artfremden Genen herbeigeführt werden. *Gentechnisch veränderte Organismen* werden oft auch als „transgene“ Organismen bezeichnet.

# 5 Funktion: Natürliche Abwehrreaktion von Bakterien

Die häufig verwendeten Umschreibungen „Genschere“ und „molekulares Skalpell“ lassen bereits erahnen, was die CRISPR/Cas-Methode kann: schneiden. Mit ihr lassen sich Gene äußerst präzise an einer bestimmten Stelle der DNA ausschalten. Alternativ fügt sie an der Schnittstelle neue Abschnitte ein – mit der Konsequenz, dass sich das Erbgut sehr viel einfacher, schneller und punktgenauer verändern lässt als je zuvor.

Die Wissenschaft bedient sich dabei der natürlichen Schutz-/Abwehrmaßnahmen von Bakterien, die diese im Laufe der Evolution gegen Viren – sogenannte *Bakteriophagen* – entwickelt haben. Wie kleine Raumsonden docken Phagen an Bakterien an und „injizieren“ Fragmente ihrer viralen DNA in das Bakteriengenom, wodurch die befallenen Bakterienzellen wiederum neue Phagen produzieren. Durch ausgeklügelte Abwehrmaßnahmen schützen sich Bakterienzellen jedoch vor einer erneuten Infektion. Hier kommt das CRISPR-Cas-System als „eine Art Immunsystem“<sup>47</sup> ins Spiel:

- ▶ „Seit Hunderten von Millionen Jahren bekämpfen Bakterien Viren durch ein System von Genen, die gespeichert haben, an welchen Teilen sie eindringende DNA erkennen, sodass sie diese leicht anvisieren und abschneiden können.“<sup>48</sup> Konkret bedeutet dies:
- ▶ „CRISPR-Cas-Nukleasen sind Teil des natürlichen Immunsystems vieler Mikroorganismen: Sie wehren angreifende Viren ab, indem sie deren Genom gezielt zerschneiden.“<sup>49</sup>

Im Detail funktioniert der Abwehrmechanismus wie folgt (vgl. Abb. 4):

- ▶ „Werden diese [die Fragmente viraler DNA] in RNA (CRISPR-RNA, crRNA) übersetzt, binden die RNA-Fragmente an sogenannte Cas (CRISPR associated)-Proteine. Bei Kontakt mit viraler DNA bzw. RNA, deren Sequenz

zur crRNA des Bakteriums passt, bindet diese an das Viruserbgut. Das Cas-Protein schneidet daraufhin das virale genetische Material; die Vermehrung und Weiterverbreitung des Virus werden so verhindert.“<sup>50</sup>

Zur Veranschaulichung ein Beispiel aus dem medizinischen Bereich: Bei der bereits erwähnten CRISPR-Therapie *Casgevy (Exa-cel)* erfolgt die Gen-Editierung außerhalb des Körpers („*ex-vivo*“). Dieses Verfahren läuft ähnlich ab wie bei einer Stammzell-Transplantation zur Behandlung von Leukämien:

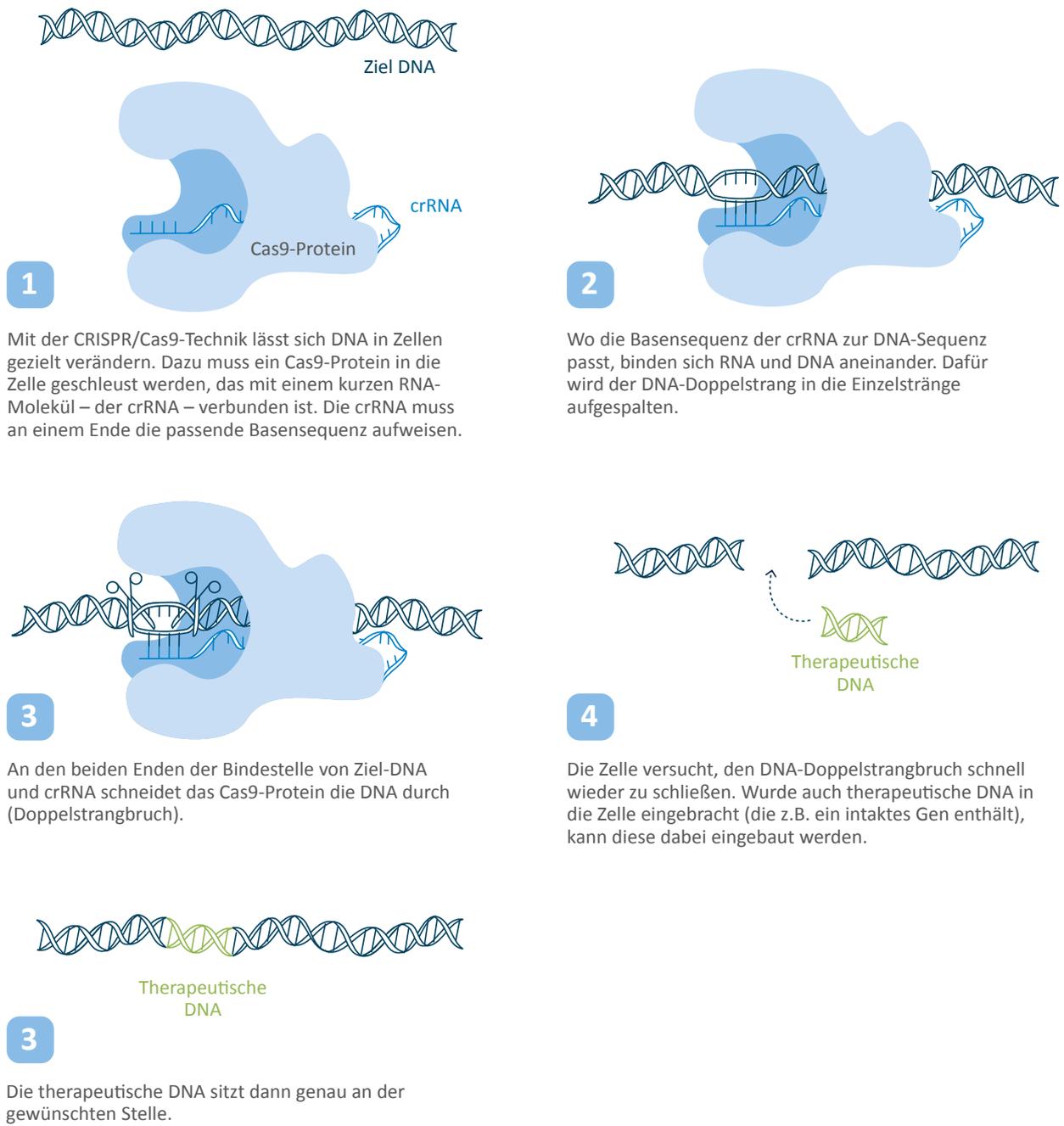
- ▶ „Den Patienten werden dazu zunächst Blutstammzellen entnommen, während man die übrigen im Körper verbleibenden Blutstammzellen mit einer speziellen Chemotherapie abtötet. Die extrahierten Zellen werden im Labor mithilfe von Crispr/Cas genetisch so verändert, dass sie eine korrekte Version bestimmter roter Blutzellen bilden, anschließend im Labor vermehrt und dem Patienten wieder injiziert.“<sup>51</sup>

Inzwischen hat die Wissenschaft die Möglichkeiten des CRISPR/Cas-Systems zu einem effizienten **molekularen Werkzeug für die Genetik** weiterentwickelt, mit dem einzelne Genomsequenzen verändert werden können.

- ▶ „Mittlerweile lassen sich diese ‚Genschere‘ gezielt programmieren und damit beispielsweise Gene schnell und präzise aus- oder einschalten, reparieren oder neu anordnen.“<sup>52</sup>
- ▶ „Mit dem CRISPR/Cas9-System steht eine völlig neue molekulargenetische Methode zur Verfügung, die es ermöglicht, Eingriffe im Erbgut von Organismen sehr viel schneller und deutlich kostengünstiger durchzuführen.“<sup>53</sup>

Dank der Präzision, Einfachheit und Schnelligkeit der Genschere lassen sich in der biologischen Forschung **Arbeitsaufwand und Kosten** erheblich verringern und auch die **Effizienz** erhöhen.

Abb. 4: Genom-Editierung mit der Genschere CRISPR/Cas9



Quelle: vfa (o.A., CRISPR/Cas9-Methode)

Hierzu sei beispielhaft die Grundlagenforschung erwähnt, bei der es überaus wichtig ist, einzelne Gene eines Organismus gezielt auszuschalten, um herauszufinden, wie sich dies auf das Erscheinungsbild auswirkt. Während dies bei Bakterienstämmen oder Hefen relativ einfach ist, werden bei Mäusen und Ratten hingegen „mindestens zwei Gene-

rationen benötigt, um eine Züchtung mit der gewünschten genetischen Sequenz zu erhalten. Mit dem CRISPR/Cas9-System kann diese Zeit deutlich verkürzt werden.“<sup>54</sup> Dies macht „die CRISPR/Cas-Methode deutlich günstiger (...), als andere Genome Editing-Methoden“.<sup>55</sup>

- ▶ Die CRISPR/Cas-Methode hat nicht nur die Forschung revolutioniert, sie „wird vielfach als die bedeutsamste Innovation in den Biowissenschaften seit der Entwicklung der Polymerasekettenreaktion (PCR) gesehen.“<sup>56</sup>

Allerdings ist die **Genschere keineswegs fehlerfrei**, wie Zukunftsforscherin *Amy Webb* betont:



„As impressive as CRISPR is, it can sometimes change the wrong genes or accidentally break apart strands of a DNA's double helix.“

*Amy Webb*, CEO des *Future Today Institute*, zitiert nach *Future Today Institute* (2023, Tech-Trends)



„So entdeckten Wissenschaftler:innen, dass die Genschere nicht absolut zielgenau arbeitet. In Zellexperimenten haben sie auch Veränderungen des Erbguts weitab von der Stelle festgestellt, an die die CRISPR-RNA binden sollte. Solche unbeabsichtigten Mutationen (sogenannte **Off-Target-Effekte**) könnten beim Einsatz bei Patient:innen unter Umständen zu einer krankhaften Veränderung – also z.B. zu einem Tumor – führen.“<sup>57</sup>

Auch **Resistenzen** können **durch unbeabsichtigte Mutationen** hervorgerufen werden, die dem Menschen pespektivisch gefährlich werden können. So erst kürzlich geschehen bei Hühnern, die Forscher des *Roslin Institute* und des *Imperial College London* mit Hilfe der CRISPR/Cas-Technologie gegen einen Stamm des Vogelgrippevirus resistent machen wollten.<sup>58</sup> Ein Teil der Viren mutierte und nutzte verwandte Proteine für ihre Vermehrung – auch in Zellen der menschlichen Atemwege.<sup>59</sup>

- ▶ Die möglichen Risiken solcher **Fehlentwicklungen** sind offensichtlich und könnten im schlimmsten Fall für die Menschheit zu völlig **neuen Bedrohungsszenarien** führen – auch im Hinblick auf die ungewollte Herbeiführung neuer Krankheiten und möglicher Pandemien.

## 6 Fakten: CRISPR-Markt und Hauptakteure

Die Prognosen für den weltweiten CRISPR-Markt sind vielversprechend: 2023 ist weltweit mit einem Umsatz von 3,4 Mrd. USD (nach 2,9 Mrd. USD im Vorjahr) zu rechnen. Bis 2028 soll dieser voraussichtlich auf 7,1 Mrd. USD steigen – mit einer jährlichen Wachstumsrate von 15,6 % von 2023 bis 2028 (vgl. Abb. 5).<sup>60</sup>

Basierend auf einem etwas geringeren Umsatz für 2022 (2,57 Mrd. USD) rechnet *Grand View Research* (GVR) zwischen 2023 und 2030 sogar mit einer jährlichen Wachstumsrate (CAGR) von 17,15 % für den weltweiten CRISPR-Markt. Haupttreiber werde künftig der **Agrarsektor** sein, mit einer CAGR von über 21,13 %.<sup>61</sup>

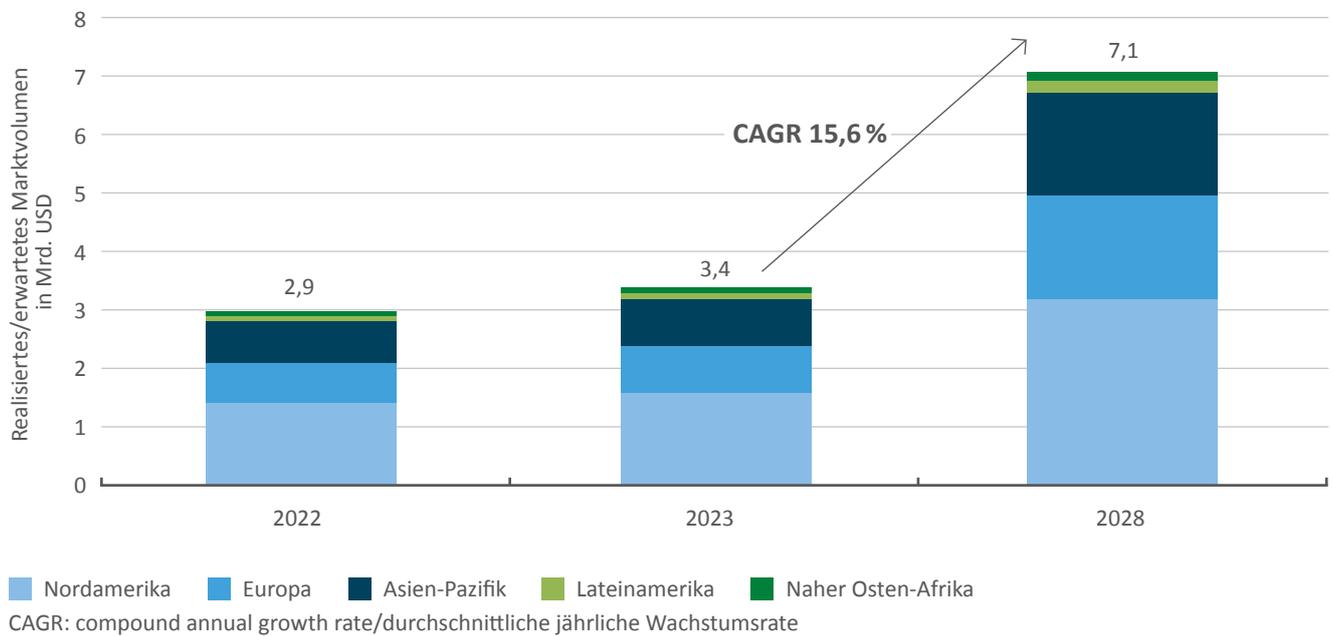
Infolge möglicher Netzwerk- und Abstrahleffekte der CRISPR-Technologie – in neue Anwendungsbereiche und **bislang unbekannte Einsatzmöglichkeiten** – könnte jedoch der davon ausgehende Wachstumsimpuls die derzeitigen Schätzungen auch deutlich übertreffen.

Weltmarktführer ist bislang mit großem Abstand **Nordamerika** mit einem Umsatzanteil von fast 40 % in 2022. Verantwortlich dafür ist insbesondere ein starkes Wachstum bei Forschung & Entwicklung (FuE) im biopharmazeutischen Bereich sowie das Engagement mehrerer Pharmakonzerne an der Entwicklung neuer Therapeutika.

So erhielt beispielsweise Merck KGaA im Mai 2020 für zwei ihrer CRISPR/Cas9-getriebenen Gen-Editierungs-Patente die

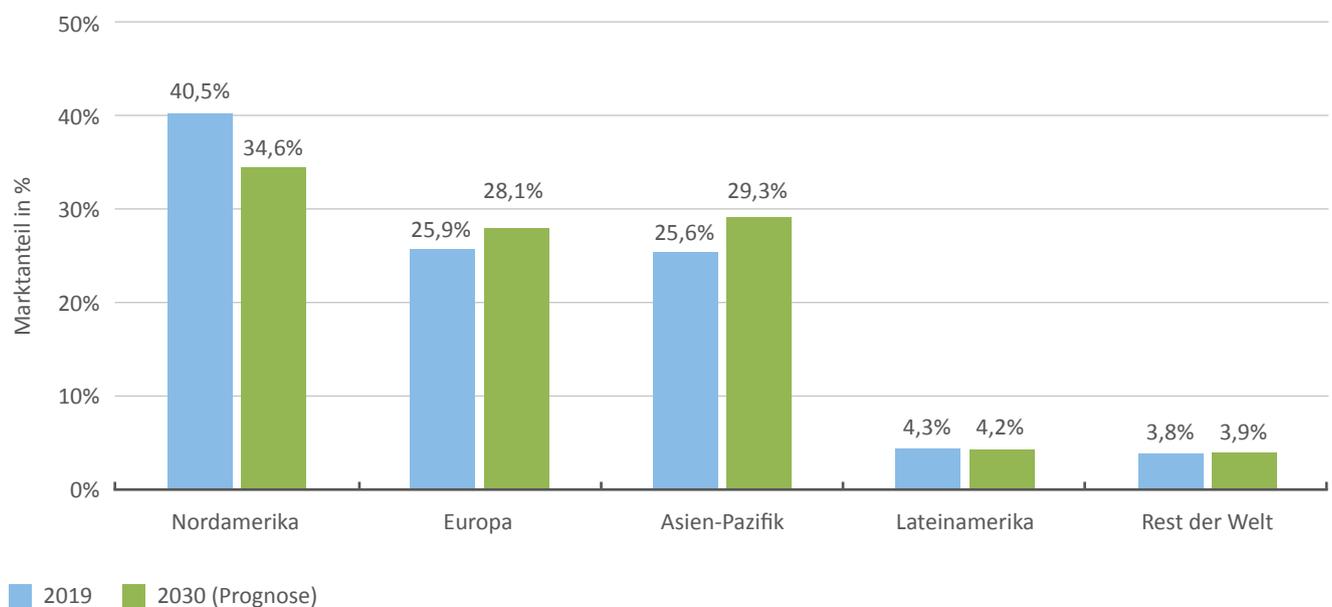
Zulassung in den USA. Konkurrenz kommt in Zukunft insbesondere aus Fernost und auch Europa (vgl. Abb. 6).<sup>62</sup>

Abb. 5: Der weltweite CRISPR-Markt – ein Ausblick



Quelle: MarketsandMarkets (2023, CRISPR Market)

Abb. 6: Weltweit führende Regionen des CRISPR-Marktes



Quelle: Statista (2021, CRISPR); Daten von BIS Research, Stand 2021

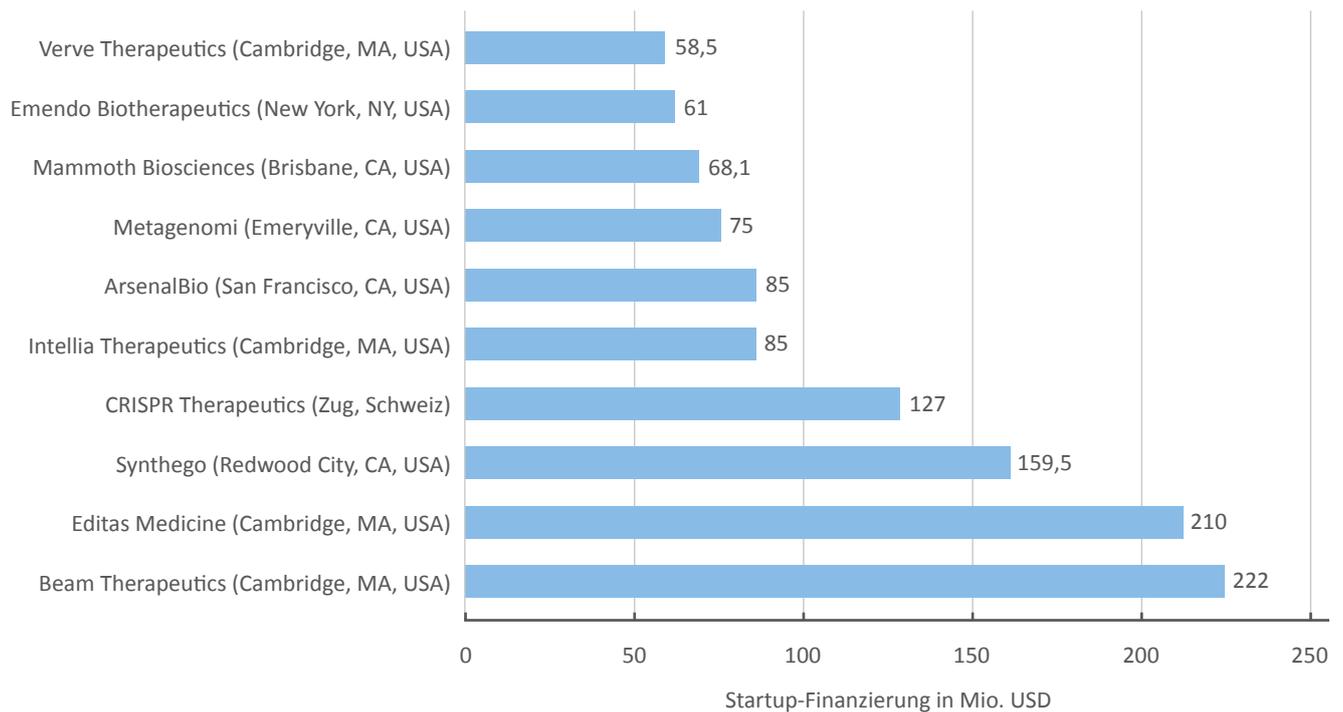
**Asien-Pazifik** ist die am schnellsten wachsende Region auf dem CRISPR-Markt. So rechnet *Grand View Research* für diesen regionalen Markt mit einer jährlichen Wachstumsrate von 17,53 % zwischen 2023 und 2030, *Triton Market Research* prognostiziert sogar mehr als 22 % p.a. zwischen 2021 und 2028.

Führend sind dort China und Japan, mit deutlichem Abstand vor Indien und Südkorea.<sup>63</sup> Insbesondere zunehmende staatliche Investitionen in Forschung und Entwicklung haben die Marktexpansion der Volksrepublik und Japans begünstigt und versprechen auch in Zukunft weiteres Wachstum.<sup>64</sup>

Dominiert wird der weltweite Markt für CRISPR durch **einige wenige Hauptakteure**, die wiederum an verschiedenen strategischen Allianzen beteiligt sind. Erwähnt seien *Thermo Fischer Scientific Inc.*, *Merck KGaA*, *Integrated DNA Technologies (Danaher Corporation)*, *Agilent Technologies Inc.*, *Genscript Biotech Corp*, *New England Biolabs Inc.*, *Horizon Discovery Group plc* und *Cellecta Ltd.*<sup>65</sup>

**Weltweit führende Startups** kommen wie *Beam Therapeutics* und *Editas Medicine* mehrheitlich aus den USA. Europa ist lediglich durch *CRISPR Therapeutics* in der Schweiz vertreten (vgl. Abb. 7). Auffällig ist im Falle der USA die lokale Konzentration in Cambridge im Bundesstaat Massachusetts sowie in Kalifornien. Dies ist vor allem dadurch zu erklären, dass zahlreiche akademische Einrichtungen maßgeblich zur Weiterentwicklung der CRISPR-Technologie beigetragen haben; darunter das *Broad Institute*, die *University of California, Berkeley* und die *Harvard University*.<sup>66</sup>

Abb. 7: Weltweit führende CRISPR-Startups im Jahr 2021



Quelle: market.us (2023, CRISPR)

## 7 Fazit und Ausblick

Seit der Entdeckung im Jahr 2012 hat sich die Genschere „zu einem Universalwerkzeug für die Gentechnik“ entwickelt – wegen ihrer Präzision, Schnelligkeit sowie einfachen und vor allem extrem breiten Anwendbarkeit.<sup>67</sup> Denn:

- ▶ „CRISPR-Cas9 [funktioniert] nicht nur in Bakterien, sondern auch in Zellen mit Zellkern. Vom Fadenwurm bis zum Menschen – die neue Genschere kann (...) überall aktiv werden.“<sup>68</sup>

Erst jüngst hat sich die Genschere CRISPR im Verlauf der CoViD-19-Pandemie als vielseitig einsetzbares Universalwerkzeug bewährt, wie nachfolgender Exkurs verdeutlicht.

### Exkurs: Einsatz der Genschere im Kontext der Corona-Pandemie

- Mit Hilfe der Genschere ließen sich **Schnelltests zur Diagnose** des Coronavirus SARS-CoV-2 entwickeln, die schneller und zugleich zuverlässiger waren als traditionelle PCR-Tests und ohne besondere Geräte in jedem Labor in weniger als einer Stunde durchgeführt werden konnten.<sup>69</sup>
- Gleichzeitig konnten Forscher durch die CRISPR-Technologie mehr über die **Entstehung und Entwicklung des Coronavirus** in Erfahrung bringen, indem sie die menschlichen Gene aufdeckten, die das Virus nutzt, um menschliche Zellen zu infizieren. So konnten wiederum potentielle Ansatzpunkte für Medikamente gegen CoViD-19 identifiziert werden.<sup>70</sup>
- Auch eine langfristige **Überwachung von Virusvarianten** ist dank der CRISPR-Technologie möglich. Dies ist wichtig, um die Öffentlichkeit vor künftigen Gefahren zu warnen und rechtzeitig Maßnahmen zu ergreifen, um künftige Ausbrüche frühzeitig einzudämmen.<sup>71</sup>

Welches Potential **CRISPR** wiederum **in Kombination mit künstlicher Intelligenz (KI)** in Zukunft entfalten wird, lässt sich gegenwärtig nur erahnen. Schon jetzt haben KI-gestützte CRISPR-Verfahren die Viruserkennung revolutioniert, indem KI- und CRISPR-basierte Tests nicht nur das Auftreten von Viren genau erkennen können, sondern Testergebnisse innerhalb von Minuten liefern.

- ▶ „Durch die Nutzung der KI haben wir eine Plattform entwickelt, die den Nachweis jedes Pathogens und jeder genomischen Sequenzvariation ermöglicht. Diese Technologie kann auf Viren, Bakterien, genetische Krankheiten und sogar Krebs angewendet werden.“
- ▶ Mit der hohen Genauigkeit und Geschwindigkeit hat dieser Test das Potenzial, den Bereich der diagnostischen Tests zu revolutionieren.<sup>72</sup>



„Die Integration der CRISPR-Technologie mit künstlicher Intelligenz ist ein Wendepunkt im Bereich der Virenerkennung.“

Piyush Jain, University of Florida,  
zitiert nach Medica (2023, KI und CRISPR)



Angesichts der Dynamik, mit der das Thema KI derzeit unser aller Leben verändert, ist davon auszugehen, dass KI in Kombination mit der Genschere CRISPR auch in anderen Bereichen der Biotechnologie zahlreiche neue Meilensteine setzen wird.

So hat beispielsweise ein internationales Team unter der Leitung des *Helmholtz-Instituts für RNA-basierte Infektionsforschung* in Würzburg in Kooperation mit der *Universität Freiburg* bereits „**Deep Learning**“ eingesetzt, um die Sicherheit und Wirksamkeit künftiger CRISPR-Therapien zu erhöhen und unerwünschte Nebeneffekte zu vermeiden.<sup>73</sup>

**Deep Learning** bezeichnet eine neue Generation maschinellen Lernens, die auf das Prinzip der neuronalen Netze zurückgeht. Neuronale Netze sind der Versuch, kleine Ausschnitte der Funktionsweise eines menschlichen Gehirns bestehend aus Neuronen und Synapsen nachzubauen und mit eng definierten Lernaufgaben zu trainieren. Hierbei kommen mehrere („tiefe“) Schichten von Verbindungen (Neuronen) zum Einsatz, was zur Namensgebung geführt hat.

Das Thema Künstliche Intelligenz hat das FERI Cognitive Finance Institute bereits mehrfach analysiert: „**KI: The Next Level**“ (2023), „**Künstliche Intelligenz, Quanten-Computer und Internet of Things**“ (2019) und „**Quanten-Computer, Internet of Things und superschnelle Kommunikationsnetze**“ (2019).



### Abschließend ist festzuhalten:

Als Universalwerkzeug der Biotechnologie hat die Genschere in nur einem Jahrzehnt Forschung und Entwicklung in Medizin, Pharmaindustrie aber auch Landwirtschaft und Ernährung revolutioniert und als **Innovationsbeschleuniger** insbesondere im Bereich der medizinischen Diagnostik und Therapie den Weg für bahnbrechende Neuerungen geebnet. Wie sich der Agrarsektor vor dem Hintergrund aktueller Deregulierungen weiterentwickelt und wie sich die Gesellschaft mit den sich wandelnden gesetzlichen Vorgaben arrangiert, bleibt abzuwarten.

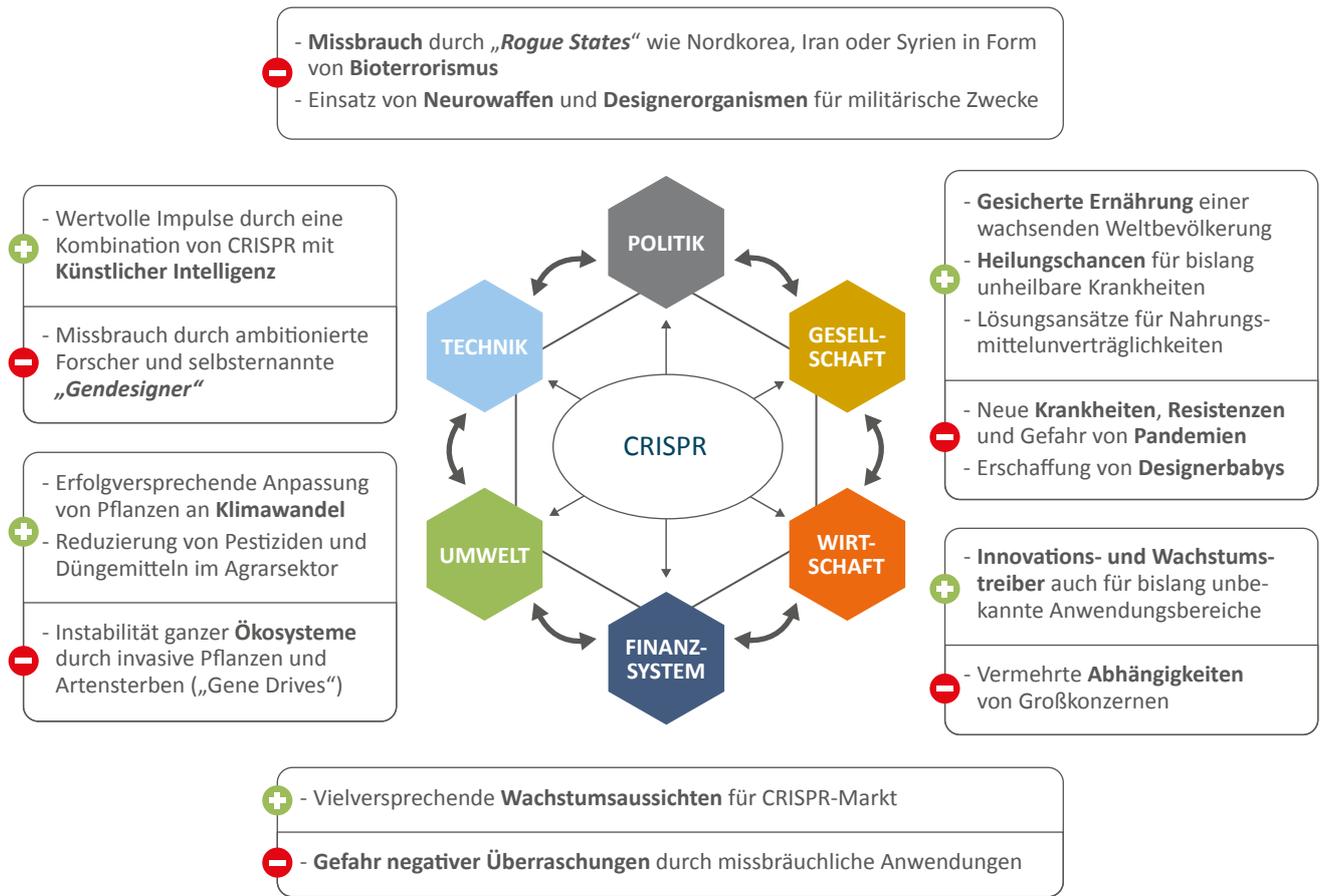
Die Wachstumsaussichten für den CRISPR-Markt sind vielversprechend, neue Länder aus Fernost (insbesondere China und Japan) und Europa mischen den US-dominierten Markt auf und es ist davon auszugehen, dass dieser insbesondere in Kombination mit KI eher an Dynamik gewinnen als verlieren wird.

Die auch durch Laien relativ einfache, überaus präzise und zugleich preiswerte Nutzung der CRISPR/Cas-Technologie birgt ein nicht zu unterschätzendes **Risikopotential** mit nachhaltig disruptiver Wirkung (vgl. Abb. 8). So können potentiell pandemische Viren absichtlich (oder unabsichtlich) zur Gefahr für Mensch und Tier werden:

- Neue Resistenzen, Krankheiten und ein unkontrolliertes Artensterben sind ebenso denkbar wie der **Missbrauch der Genschere** durch ambitionierte Forscher und selbsternannte „*Gendesigner*“, Kriminelle, Attentäter, Terroristen oder skrupellose *Rogue States* wie Nordkorea, Iran oder Syrien – sei es zur Herstellung von CRISPR/Cas-basierten Neurowaffen oder von Designerorganismen für den militärischen Einsatz.

Fakt ist: Der Grat zwischen Fluch und Segen ist bei diesem **Universalwerkzeug der Biotechnologie** überaus schmal. Was der einen Seite Fortschritt bringt, birgt gleichzeitig das Risiko, die Stabilität ganzer Ökosysteme zu gefährden und im gesamtgesellschaftlichen Kontext von einigen wenigen aktiv missbraucht zu werden – letzteres aus wissenschaftlicher Neugier oder extremer Machtbesessenheit in Zeiten zunehmender regionaler und **geopolitischer Konflikte**.

Abb. 8: Chancen und Risiken der CRISPR/Cas-Technologie



Quelle: FERI Cognitive Finance Institute, 2023

Damit gewinnt das Thema CRISPR/Cas künftig auch für **Investoren und Unternehmer** stark an Bedeutung. Sowohl überraschend positive Entwicklungen, wie etwa neuartige medizinische Therapien gegen bislang kaum behandelbare Krankheiten, als auch negative Überraschungen, wie etwa gezielt missbräuchliche Anwendungen der Genschere im politisch-militärischen Kontext, dürften künftig auch die Kapitalmärkte direkt beeinflussen. Investoren und Unternehmer sind deshalb gut beraten, das Thema CRISPR/Cas und dessen mögliche Weiterentwicklung in den verschiedensten Bereichen sehr eng zu beobachten.

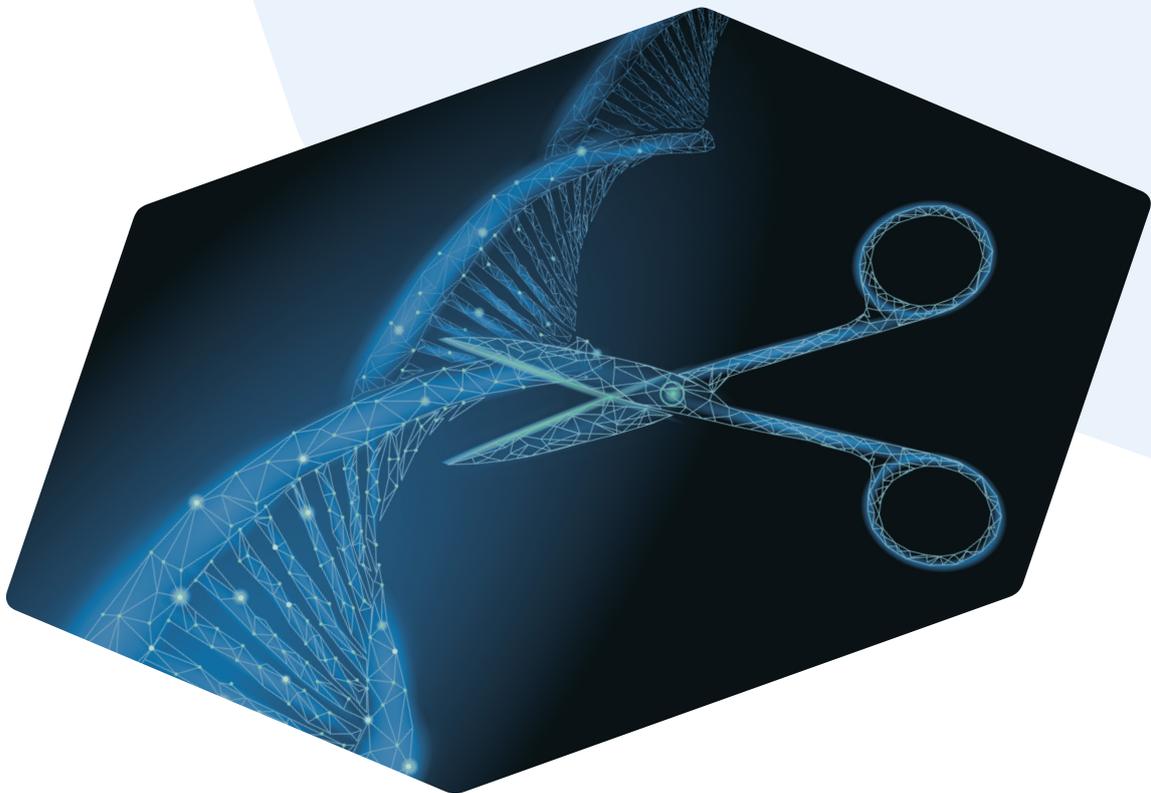
Ziel dieses *Cognitive Briefing* war es, die vielschichtige Anwendbarkeit und das überaus disruptive Potential der CRISPR-Technologie herauszuarbeiten und gleichzeitig für die damit verbundene gesamtgesellschaftliche Verantwortung zu sensibilisieren. Das *FERI Cognitive Finance Institute* wird den sehr dynamischen Sektor der Biotechnologie, und dort insbesondere die künftigen Anwendungsbereiche der Genschere, auch weiterhin intensiv beobachten.

*„The discovery of Crispr function (...) has revolutionized genetic engineering by giving to the world the most powerful and precise tool for targeted genome editing.“*

El ouar/Djekoun (2021, Crispr Technology)

*„The power to control our species' genetic future is awesome and terrifying. Deciding how to handle it may be the biggest challenge we have ever faced.“*

Jennifer Doudna, CRISPR-Entdeckerin,  
zitiert nach Future Today Institute (2023, Tech Trends)



## Erläuterungen:

- 1 Vgl. Statista (2022, CRISPR-Patentanmeldungen).
- 2 Vgl. Grand View Research (2023, CRISPR).
- 3 Vgl. Grand View Research (2023, CRISPR).
- 4 Wirth (2021, CRISPR/Cas).
- 5 Vgl. Doudna (2021, CRISPR-Technologie): „Uns wurde klar, dass wir einen großen Sprung gemacht hatten: von Grundlagenforschung zu etwas, das die Welt verändern könnte.“
- 6 El ouar/Djekoun (2021, Crispr Technology).
- 7 Ledford (2015, CRISPR).
- 8 Ratajczak et al. (2019, CRISPR/Cas9-System); (Hervorhebungen durch Verfasser).
- 9 Jennifer Doudna zitiert nach Future Today Institute (2023, Tech-Trends).
- 10 Vgl. dazu: The ODIN (2023, CRISPR).
- 11 The ODIN (2023, About us); (Hervorhebungen durch Verfasser).
- 12 Clapper (2016, Worldwide Threat).
- 13 Georgetown Journal of International Affairs (2023, Ethics).
- 14 DiEuliis/Giordano (2017, Gene Editors).
- 15 SWR (2020, Nobelpreis Chemie).
- 16 21st Century Tech (2017, Evolution).
- 17 Vgl. dazu: Handelsblatt (2022, Gentherapie); Doudna (2021, CRISPR-Technologie); DAZ (2023, Sichelzellanämie); Wirtschaftswoche (2023, Neue Ära).
- 18 Vgl. dazu: Handelsblatt (2023, Therapie); Der Aktionär (2023, Meilenstein).
- 19 Vgl. dazu: Gelbe Liste (2023, CRISPR-Therapie); Tagesschau (2023, Genschere-Therapie).
- 20 Vgl. dazu: Wirtschaftswoche (2023, Neue Ära).
- 21 Doudna (2021, CRISPR-Technologie).
- 22 Vgl. dazu: Wirtschaftswoche (2023, Neue Ära); markets.us (2023, CRISPR); Handelsblatt (2022, Gentherapie); Morgan Stanley (2017, CRISPR).
- 23 Vgl. dazu: Deutschlandfunk (2023, CRISPR/Cas); Frankfurter Rundschau (2023, Genschere); Laut Statista (2023, HIV) sind weltweit fast 40 Millionen Menschen an HIV erkrankt (Stand: 2022).
- 24 Vgl. dazu: Future Today Institute (2023, Tech-Trends).
- 25 Vgl. dazu: Future Today Institute (2023, Tech-Trends), dort heißt es: „The Saudi royal family launched the Revolution Foundation, a not-for-profit with an annual budget of \$1 billion to support basic research on the biology of aging. In 2022, Altos, which raised a staggering \$3 billion in funding over just one round, announced a partnership with the Center for iPS Cell Research and Application (CiRA) at Japan’s Kyoto University to study cellular rejuvenation programming.“
- 26 Zhu et al. (2020, CRISPR-Cas).
- 27 Vgl. Future Today Institute (2023, Tech-Trends).
- 28 Vgl. Future Today Institute (2023, Tech-Trends); Bundesinformationszentrum Landwirtschaft (2023, CRISPR/Cas).
- 29 Vgl. transGEN (2023, Genome Editing).
- 30 Vgl. FAZ (2019, Ausrottungsmaschine).
- 31 Umweltinstitut München (o.A., Gene Drive).
- 32 Umweltinstitut München (o.A., Gene Drive).
- 33 Umweltinstitut München (o.A., Gene Drive).
- 34 EU-Kommission (2023, Vorschlag).
- 35 transGEN (2023, CRISPR/Cas).
- 36 DFG (2023, Neue Züchtungstechniken).
- 37 transGEN (2023, CRISPR/Cas).
- 38 Vgl. dazu: transGEN (2023, CRISPR/Cas).
- 39 foodwatch (2023, EU-Kommission).
- 40 foodwatch (2023, EU-Kommission).
- 41 Vgl. dazu: Tagesschau (2023, Gentechnik).
- 42 ZDF (2023, Gentechnik).
- 43 ZDF (2023, Gentechnik).
- 44 SZ (2023, Vorschlag).
- 45 Schwägerl (2023, CRISPR-Pflanzen).
- 46 Vgl. Statista (2022, CRISPR-Patentanmeldungen).
- 47 Ratajczak et al. (2019, CRISPR/Cas9-System).
- 48 Doudna (2021, CRISPR-Technologie).
- 49 idw (2023, Gen-Schere).
- 50 vfa (2023, CRISPR/Cas9-Methode).
- 51 Handelsblatt (2022, Gentherapie).
- 52 idw (2023, Gen-Schere).
- 53 Ratajczak et al. (2019, CRISPR/Cas9-System); Future Today Institute (2023, Tech-Trends) betont hinsichtlich CRISPR/Cas9: „Though it makes the most headline, CRISPR-Cas9 isn’t the only gene-editing tool available to researchers. In fact, Cas9 is just one of many CRISPR-Cas systems.“

- 54 vfa (2023, CRISPR/Cas9-Methode).
- 55 vfa (2023, CRISPR/Cas9-Methode).
- 56 Ratajczak et al. (2019, CRISPR/Cas9-System). Als *Polymerasekettenreaktion* (*polymerase chain reaction*, PCR) bezeichnet man Methoden zur in vitro-Vervielfältigung von Erbsubstanz (DNS/Desoxyribonukleinsäure).
- 57 vfa (2023, CRISPR/Cas9-Methode); (Hervorhebungen durch Verfasser).
- 58 Vgl. Idoko-Akoh et al. (2023, Avian Influenza Infection).
- 59 Vgl. dazu: Spiegel (2023, Vogelgrippe); MDR (2023, Hühner).
- 60 Vgl. MarketsandMarkets (2023, CRISPR Market).
- 61 Vgl. Grand View Research (2023, CRISPR).
- 62 Vgl. Grand View Research (2023, CRISPR).
- 63 Vgl. Grand View Research (2023, CRISPR); Triton Market Research (2021, CRISPR-Market).
- 64 Vgl. Grand View Research (2023, CRISPR); Triton Market Research (2021, CRISPR-Market).
- 65 Vgl. market.us (2023, CRISPR).
- 66 Vgl. market.us (2023, CRISPR).
- 67 Ratajczak et al. (2019, CRISPR/Cas9-System).
- 68 Max-Planck-Gesellschaft (o.A., CRISPR-Cas).
- 69 Vgl. Future Today Institute (2023, Tech-Trends); Moder (2020, Corona) mit einer Einführung in die Funktionsweise der Genschere zur medizinischen Diagnostik während der Corona-Pandemie.
- 70 Vgl. market.us (2023, CRISPR).
- 71 Vgl. market.us (2023, CRISPR).
- 72 Medica (2023, KI und CRISPR).
- 73 Vgl. Molecular Cell (2022, Deep Learning); Healthcare in Europe (2022, Deep Learning).

## Literaturverzeichnis

### Bücher und Publikationen

- Clapper, J.R.** (2016, Worldwide Threat): Worldwide Threat Assessment of the US Intelligence Community. Senate Armed Services Committee, veröffentlicht 09.02.2016, [https://www.dni.gov/files/documents/SASC\\_Unclassified\\_2016\\_ATA\\_SFR\\_FINAL.pdf](https://www.dni.gov/files/documents/SASC_Unclassified_2016_ATA_SFR_FINAL.pdf), zuletzt abgerufen am 29.11.2023.
- DiEuliis, D./Giordano, J.** (2017, Gene Editors): Why Gene Editors Like CRISPR/Cas May Be a Game-Changer for Neuroweapons, veröffentlicht 01.06.2017, <https://doi.org/10.1089%2Fhs.2016.0120>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.
- El ouar, I./Djekoun, A.** (2021, Crispr Technology): Therapeutic and Diagnostic Relevance of Crispr Technology, veröffentlicht 06.2021, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0753332221002729>, zuletzt abgerufen am 29.11.2023.
- Future Today Institute** (2023, Tech Trends): 2023 Tech Trends Report – Bioengineering, 16<sup>th</sup> Edition, veröffentlicht 2023, <https://futuretodayinstitute.com/trends/>, zuletzt abgerufen am 29.11.2023.
- Grand View Research** (2023, CRISPR): CRISPR and Cas Genes Market Size, Share & Trends Analysis Report by Product & Service, by Application (Biomedical, Agricultural), by End-use (Biotechnology & Pharmaceutical Companies), by Region, and Segment Forecasts, 2023 - 2030, veröffentlicht 2023, <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/crispr-associated-cas-genes-market>, zuletzt abgerufen am 29.11.2023.
- Idoko-Akoh, A./Goldhill, D.H./Sheppard, C.M./Bialy, D./Quantrill, J.L./Sukhova, K./Brown, J.C./Richardson, S./Campbell, C./Taylor, L./Sherman, A./Nazki, S./Long, J.S./Sinner, M.A./Shelton, H./Sang, H.M./Barclay, W.D./McGrew, M.J.** (2023, Avian Influenza Infection): Creating Resistance to Avian Influenza Infection through Genome Editing of the ANP32 Gene Family, veröffentlicht 10.10.2023, <https://www.nature.com/articles/s41467-023-41476-3>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.
- MarketsandMarkets** (2023, CRISPR Market): CRISPR Market by Product (Enzymes, Kits, Libraries), Services (gRNA Design, Cell Line Engineering, Screening), Application (Drug Discovery & Development, Agriculture), End User (Pharma, Biotech, CROs, Research Institutes) – Global Forecast to 2028, veröffentlicht 06.2023, <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/crispr-technology-market-134401204.html>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.
- Molecular Cell** (2022, Deep Learning): Anti-CRISPR Prediction Using Deep Learning Reveals an Inhibitor of Cas13b Nucleases, veröffentlicht 31.05.2022, <https://doi.org/10.1016/j.molcel.2022.05.003>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.
- Mordor Intelligence** (o.A., CRISPR): CRISPR und CRISPR-Assoziierte (Cas) Gene Marktgröße & Anteilsanalyse – Wachstumstrends & Prognosen (2023 - 2028), veröffentlicht o.A., <https://www.mordorintelligence.com/de/industry-reports/crispr-and-crispr-associated-genes-market>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.
- Morgan Stanley** (2017, CRISPR): Case Study: CRISPR, veröffentlicht 31.01.2017, [https://www.morganstanley.com/im/publication/insights/articles/article\\_edgecrispr\\_en.pdf?1700042599565](https://www.morganstanley.com/im/publication/insights/articles/article_edgecrispr_en.pdf?1700042599565), zuletzt abgerufen am 28.11.2023.
- Ratajczak, A./Hutapea, L./Malanowski, N.** (2019, CRISPR/Cas9-System): Das CRISPR/Cas9-System – Disruption in der Biotechnologie?, veröffentlicht 06.2019, <http://hdl.handle.net/10419/216059>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.
- Triton Market Research** (2021, CRISPR-Market): Asia-Pacific CRISPR Market 2021-2028, veröffentlicht 09.2021, <https://www.tritonmarketresearch.com/reports/asia-pacific-crispr-market#report-overview>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.
- Wirth, D.** (2021, CRISPR/Cas): CRISPR/Cas – die Geschichte einer bahnbrechenden Entdeckung, veröffentlicht 03.09.2021, <https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202109031007-0>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.
- Zhu, H./Li, Ch./Gao, C.** (2020, CRISPR-Cas): Applications of CRISPR-Cas in Agriculture and Plant Biotechnology, veröffentlicht 2020, <http://gaolab.genetics.ac.cn/fbwz/2020/202205/W020220519628320007955.pdf>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.

## Zeitungen und Internetquellen

- Bundesinformationszentrum Landwirtschaft** (2023, CRISPR/Cas): CRISPR/Cas in der Pflanzenzüchtung: Bedrohung oder Chance?, letzte Aktualisierung 10.08.2023, <https://www.landwirtschaft.de/diskussion-und-dialog/umwelt/crisprcas-in-der-pflanzenzucht-bedrohung-oder-chance>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.
- DAZ** (2023, Sichelzellanämie): CRISPR-Cas9-Gentherapie bei Sichelzellanämie lässt hoffen, veröffentlicht 01.11.2023, <https://www.deutsche-apotheke-zeitung.de/news/artikel/2023/11/01/crispr-cas9-gentherapie-bei-sichelzellanamie-laesst-hoffen>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.
- Der Aktionär** (2023, CRISPR Therapeutics): CRISPR Therapeutics hebt ab: Meilenstein rückt näher – auch AKTIONÄR-Depotwert Vertex profitiert, veröffentlicht 01.11.2023, <https://www.deraktionae.de/artikel/pharma-biotech/crispr-therapeutics-hebt-ab-meilenstein-rueckt-naeher-auch-aktionae-depotwert-vertex-profitiert-20342443.html>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.
- Der Aktionär** (2023, Meilenstein): Historischer Meilenstein – Vertex und CRISPR Therapeutics am Ziel, veröffentlicht am 16.11.2023, <https://www.deraktionae.de/artikel/pharma-biotech/historischer-meilenstein-vertex-und-crispr-therapeutics-am-ziel-20343595.html>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.
- Deutschlandfunk** (2023, CRISPR/Cas): Wie die Genschere CRISPR/Cas das HI-Virus bekämpfen könnte, veröffentlicht 30.10.2023, <https://www.deutschlandfunk.de/erste-studie-wie-die-genschere-crispr-cas-das-hi-virus-direkt-bekaempfen-koennte-dlf-966a214f-100.html>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.
- DFG** (2023, Neue Züchtungstechniken): Neue Züchtungstechniken von Pflanzen tragen zur Bewältigung der Klima-, Biodiversitäts- und Ernährungskrise bei, veröffentlicht 20.01.2023, [https://www.dfg.de/service/presse/pressemitteilungen/2023/pressemitteilung\\_nr\\_01/index.html](https://www.dfg.de/service/presse/pressemitteilungen/2023/pressemitteilung_nr_01/index.html), zuletzt abgerufen am 28.11.2023.
- Doudna, J.** (2021, CRISPR-Technologie): Jennifer Doudna: Krebs bekämpfen mit CRISPR. Biochemikerin und Nobelpreisträgerin Jennifer Doudna darüber, wie die CRISPR-Technologie den Krebs besiegen könnte, Interview in: Think:Act Magazine „Das Leben Verbessern“, veröffentlicht 06.12.2021, erschienen bei Roland Berger, <https://www.rolandberger.com/de/Insights/Publications/Jennifer-Doudna-Krebs-bek%C3%A4mpfen-mit-CRISPR.html#!#top>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.
- EU-Kommission** (2023, Vorschlag): Häufig gestellte Fragen: Vorschlag zu neuen genomischen Verfahren, veröffentlicht 05.07.2023, [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/qanda\\_23\\_3568](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/qanda_23_3568), zuletzt abgerufen am 28.11.2023.
- FAZ** (2019, Ausrottungsmaschine): Die Ausrottungsmaschine stottert, veröffentlicht 21.08.2019, <https://www.faz.net/aktuell/wissen/leben-gene/mit-gentechnik-gegen-schaedlinge-malaria-endlich-zurueckdraengen-16341776.html>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.
- foodwatch** (2023, EU-Kommission): foodwatch zu Gentechnik/EU-Kommission: „Schlag für die Verbraucherrechte“, veröffentlicht 05.07.2023, <https://www.foodwatch.org/de/foodwatch-zu-gentechnik-eu-kommission-schlag-fuer-die-verbraucherrechte>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.
- Frankfurter Rundschau** (2023, Genschere): „Genschere“ Crispr soll HIV besiegen: Erste Studie am Menschen hat begonnen, veröffentlicht 11.10.2023, <https://www.fr.de/wissen/hiv-aids-genschere-crispr-studie-besiegen-erste-studie-menschen-gestartet-91834119.html>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.
- Gelbe Liste** (2023, CRISPR-Therapie): CRISPR-Therapie im Visier der FDA, veröffentlicht 13.06.2023, <https://www.gelbe-liste.de/nachrichten/crispr-fda-exa-cel>, zuletzt abgerufen am 26.11.2023.
- Georgetown Journal of International Affairs** (2023, Ethics): The Ethics and Security Challenge of Gene Editing, veröffentlicht 26.06.2023, <https://gjia.georgetown.edu/2023/06/26/the-ethics-and-security-challenge-of-gene-editing/>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.
- Handelsblatt** (2022, Gentherapie): Meilenstein in der Medizin: Neue Gentherapie vor der Zulassung, veröffentlicht 28.11.2022, <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/crispr-cas-meilenstein-in-der-medizin-neue-gentherapie-vor-der-zulassung/28831102.html>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.
- Handelsblatt** (2023, Therapie): Großbritannien lässt weltweit erste Therapie mit Genschere zu, veröffentlicht 16.11.2023, <https://www.handelsblatt.com/dpa/roundup-grossbritannien-laesst-weltweit-erste-therapie-mit-genschere-zu/29507110.html>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.
- Healthcare in Europe** (2022, Deep Learning): Deep Learning: Präzisionsschliff für die Genschere, veröffentlicht 01.06.2022, <https://healthcare-in-europe.com/de/news/deep-learning-praezisionsschliff-fuer-die-genschere.html>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.
- idw** (2023, Gen-Schere): VAAM-Innovationspreis an Paul Scholz: Geschärfte Gen-Schere, veröffentlicht 18.07.2023, <https://nachrichten.idw-online.de/2023/07/18/vaam-innovationspreis-an-paul-scholz-geschaerfte-gen-schere>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.
- Informationsdienst Gentechnik** (2023, Crispr-Hühner): Crispr-Hühner – Pandemierisiko statt Grippeeresistenz, veröffentlicht 31.10.2023, <https://www.keine-gentechnik.de/nachricht/34845?cHash=816dd8b3175651c072209dc979f0e6bb>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.
- Ledford, H.** (2015, CRISPR): Gentechnik – CRISPR verändert alles, veröffentlicht 24.06.2015, <https://www.spektrum.de/news/gentechnik-crispr-erleichtert-die-manipulation/1351915>, zuletzt abgerufen am 29.11.2023.
- market.us** (2023, CRISPR): Global CRISPR Technology Market by Product Type (Product, Software and Service), by Application (Biomedical, Agricultural), by End-User (Pharma & Biopharma Companies, Biotechnology Companies, Academic & Research Institutes, Contract Research Organizations), by Region, and Key Companies - Industry Segment Outlook, Market Assessment, Competition Scenario, Trends and Forecast 2022-2032, veröffentlicht 10.2023, <https://market.us/report/crispr-technology-market/table-of-content/#major-market-players>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.
- Max-Planck-Gesellschaft** (o.A., CRISPR-Cas): Natürliche Aufgaben von CRISPR-Cas, veröffentlicht o.A., <https://www.mpg.de/11032886/crispr-cas9-aufgaben>, zuletzt abgerufen am 26.11.2023.
- MDR** (2023, Hühner): Hühner könnten durch Gentechnik vor Vogelgrippe H5N1 geschützt werden, veröffentlicht 15.10.2023, <https://www.mdr.de/wissen/genom-editing-huehner-resistent-vogelgrippe-100.html>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.
- Medica** (2023, KI und CRISPR): Revolutionierung der Viruserkennung: Die Macht von KI und CRISPR, veröffentlicht 04.07.2023, <https://www.medica.de/de/lab-diagnostics/Viruserkennung-KI-CRISPR>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.
- Moder, M.** (2020, Corona): PAC-Man gegen Pandemien – Der Einsatz von CRISPR bei Corona, veröffentlicht 26.06.2020, <https://www.openscience.or.at/de/wissen/genetik-und-zellbiologie/2020-06-26-pac-man-gegen-pandemien-der-einsatz-von-crispr-bei-corona/>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.
- Schwägerl, Ch.** (2023, CRISPR-Pflanzen): EU will neue Regeln für CRISPR-Pflanzen, veröffentlicht 05.07.2023, <https://www.spektrum.de/news/gruene-gentechnik-neue-regeln-fuer-crispr-pflanzen/2157021>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.
- Spiegel** (2023, Vogelgrippe): Forschende verändern Gene von Hühnern, um sie gegen Vogelgrippe resistent zu machen, veröffentlicht 10.10.2023, <https://www.spiegel.de/wissenschaft/vogelgrippe-forschende-veraendern-gene-von-huehnern-um-sie-resistent-zu-machen-a-b616e24a-4efd-46f6-baee-2885bb7e7a9b>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.
- Stammzellen verstehen** (2020, CRISPR/Cas9): CRISPR/Cas9, veröffentlicht 07.2020, <https://stammzellen-verstehen.de/Genetik/CRISPRCas9.aspx>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.

**Statista** (2021, CRISPR): CRISPR Gene Editing Market Share Worldwide in 2019 and a Forecast for 2030, by Region, veröffentlicht 20.09.2021, <https://www.statista.com/statistics/1260814/crispr-genome-editing-market-share-by-global-region/>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.

**Statista** (2022, CRISPR-Patentanmeldungen): Anzahl von CRISPR-Patentanmeldungen nach ausgewählten Ländern bis zum Jahr 2019, veröffentlicht 15.02.2022, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/982995/umfrage/crispr-patentanmeldungen-nach-ausgewaehlten-laendern/>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.

**Statista** (2023, HIV): Weltweite Anzahl der HIV-Infizierten in den Jahren 2001 bis 2022, veröffentlicht 07.2023, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/257348/umfrage/weltweite-anzahl-der-mit-hiv-aids-infizierten-menschen/>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.

**SWR** (2020, Nobelpreis Chemie): Nobelpreis Chemie 2020 – Zwei Forscherinnen ausgezeichnet für Methode zur Genom-Editierung, veröffentlicht 08.10.2020, <https://www.swr.de/wissen/nobelpreis-chemie-2020-crispr-cas-genforschung-100.html>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.

**SZ** (2023, Vorschlag): „Der Vorschlag ist schlimmer als erwartet“, veröffentlicht 04.10.2023, <https://www.sueddeutsche.de/muenchen/wolfratshausen/landwirtschaft-gentechniken-karl-baer-peter-fichtner-1.6271070>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.

**Tagesschau** (2023, Gentechnik): Mehr Gentechnik auf Europas Feldern?, veröffentlicht 05.07.2023, <https://www.tagesschau.de/wissen/forschung/eu-gentechnik-crispr-100.html>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.

**Tagesschau** (2023, Genschere-Therapie): Genschere-Therapie in den USA zugelassen, veröffentlicht 09.12.2023, <https://www.tagesschau.de/wissen/forschung/crispr-usa-100.html>, zuletzt abgerufen am 11.12.2023.

**The ODIN** (2023, About us): About Us, veröffentlicht 2023, <https://www.the-odin.com/about-us/>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.

**The ODIN** (2023, CRISPR): Genetic Design Starter Kit – CRISPR, veröffentlicht 2023, <https://www.the-odin.com/genetic-design-starter-kit-crispr/>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.

**transGEN** (2023, Züchtungsverfahren): Neue Züchtungsverfahren: In England und vielen anderen Ländern keine Gentechnik mehr, letzte Aktualisierung 30.03.2023, <https://www.transgen.de/aktuell/2853.genome-editing-pflanzen-regulierung-weltweit.html>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.

**transGEN** (2023, Genome Editing): Hornlose Kühe, allergenfreie Hühnereier: Genome Editing bei Nutztieren, letzte Aktualisierung 02.08.2023, <https://www.transgen.de/tiere/2660.projekte-genome-editing-nutztiere.html>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.

**transGEN** (2023, CRISPR/Cas): Ist die Gen-Schere CRISPR/Cas dasselbe wie Gentechnik? Was die Wissenschaft sagt, letzte Aktualisierung 02.11.2023, <https://www.transgen.de/forschung/2794.gentechnik-crispr-wissenschaft.html>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.

**21st Century Tech** (2017, Evolution): The Power to Control Evolution Is Now in Human Hands, veröffentlicht 31.08.2017, <https://www.21stcentech.com/power-control-evolution-human-hands/>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.

**Umweltinstitut München** (o.A., Gene Drive): Gene Drive durch CRISPR/Cas, veröffentlicht o.A., <https://umweltinstitut.org/landwirtschaft/genedrive-durch-crispr-cas/>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.

**vfa** (2023, CRISPR/Cas9-Methode): CRISPR/Cas9-Methode: Genomchirurgie und Genome Editing für neuartige Therapien, veröffentlicht 2023, <https://www.vfa.de/de/arzneimittel-forschung/medizinische-biotechnologie/hintergrund/genomchirurgie-crispr-cas>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.

**Wirtschaftswoche** (2023, Neue Ära): „Jetzt beginnt eine neue Ära der Medizin“, Interview mit Toni Cathomen, veröffentlicht 17.11.2023, <https://www.wiwo.de/technologie/forschung/crispr-cas-jetzt-beginnt-eine-neue-ara-der-medizin/29508240.html>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.

**ZDF** (2023, Gentechnik): EU will Regeln lockern – Gentechnik: Was spricht dafür und dagegen?, veröffentlicht 05.07.2023, <https://www.zdf.de/nachrichten/politik/eu-kommission-gentechnik-lebensmittel-100.html>, zuletzt abgerufen am 28.11.2023.

## Impressum

**Herausgeber:** FERI Cognitive Finance Institute, Bad Homburg

**Autorin:** Iris Réthy-Jensen, Wissenschaftliche Mitarbeiterin & Projektmanagerin, FERI Cognitive Finance Institute

**Veröffentlichung:** Dezember 2023

# Bisherige Analysen und Publikationen im FERI Cognitive Finance Institute:

## Studien:



1. Carbon Bubble und Dekarbonisierung (2017)
2. Overt Monetary Finance (OMF) (2017)
3. Die Rückkehr des Populismus (2017)
4. KI-Revolution in der Asset & Wealth Management Branche (2017)
5. Zukunftsrisiko „Euro Break Up“ (2018)
6. Die Transformation zu einer kohlenstoffarmen Wirtschaft, (2018)
7. Wird China zur Hightech-Supermacht? (2018)
8. Zukunftsrisiko „Euro Break Up“, 2. aktualisierte und erweiterte Auflage (2018)
9. Risikofaktor USA (2018)
10. Impact Investing: Konzept, Spannungsfelder und Zukunftsperspektiven (2019)
11. „Modern Monetary Theory“ und „OMF“ (2019)
12. Alternative Mobilität (2019)
13. Digitalisierung – Demographie – Disparität (2020)
14. „The Great Divide“ (2020)
15. Zukunftstrend „Alternative Food“ (2020)
16. Digitalisierung – Demographie – Disparität, 2. aktualisierte und erweiterte Auflage (2020)
17. „The Great Progression“ (2021)
18. „Blockchain und Tokenisierung“ (2021)
19. „The Monetary Supercycle“ (2021)
20. Wasserstoff als Energiequelle der Zukunft (2022)
21. Sustainable Blue Economy (2022)
22. Chinas globales Powerplay (2022)
23. Quo vadis, Europa? (2023)
24. Neue Weltordnung – „Made in China“ (2023)

## Cognitive Comments:



1. Network Based Financial Markets Analysis (2017)
2. Zwischen Populismus und Geopolitik (2017)
3. „Neue Weltordnung 2.0“ (2017)
4. Kryptowährung, Cybermoney, Blockchain (2018)
5. Dekarbonisierungsstrategien für Investoren (2018)
6. Innovation in blockchain-based business models and applications in the enterprise environment (2018)
7. Künstliche Intelligenz, Quanten-Computer und Internet of Things - Die kommende Disruption der Digitalisierung (2019)
8. Quantencomputer, Internet of Things und superschnelle Kommunikationsnetze (2019)
9. Was bedeutet die CoViD19-Krise für die Zukunft? (2020)
10. Trouble Spot Taiwan – ein gefährlich unterschätztes Problem (2021)
11. Urban Air Mobility – Flugdrohnen als Transportmittel der Zukunft (2021)
12. „Longevity“: Megatrend Langlebigkeit – Die komplexen Auswirkungen und Konsequenzen steigender Lebenserwartung (2022)
13. Hightech-Metalle und Seltene Erden – Akute Rohstoff-Risiken für Europas Zukunft (2022)
14. Amerika auf dem Weg zur Autokratie – Anatomie und Perspektiven einer gespaltenen Großmacht (2022)
15. Vertical Farming – Technologische Innovation zur Umgestaltung des globalen Ernährungssystems (2023)
16. Generation Z – Potentiale der jungen Generation für globale Disruption (2023)
17. KI: The Next Level – Die transformative Wucht des Megatrends „Künstliche Intelligenz“ (2023)
18. Chinas Angriff auf den US-Dollar – Maßnahmen, Motive und mögliche Risiken für das westliche Finanzsystem (2023)

# Das vorliegende Format „Cognitive Briefing“ hat ein klares Ziel:

Komplexe Themen mit potentiell weitreichenden Folgen für die Zukunft werden mit der bewährten Methodik des FERI Cognitive Finance Institute analysiert. Schnell, prägnant und übersichtlich werden wichtige Inhalte erfasst und kompetent eingeordnet. Auch dann, wenn der öffentliche Diskurs noch gar nicht begonnen hat.

Zugunsten frühzeitiger Information wird wissenschaftliche Diskussion komprimiert oder sensibel reduziert. Dennoch werden die zentralen Auslöser und Treiber hinter neuen Trends präzise analysiert. Mögliche Folgen für die Zukunft werden systematisch abgeschätzt, Wechselwirkungen mit anderen Themenfeldern klar herausgearbeitet und in kompakten Szenarien nachvollziehbar dargelegt.

Dies ermöglicht eine schnelle Durchdringung künftiger Trends und sich anbahnender Trendbrüche. Gleichzeitig wird frühzeitig der Blick auf Themen gelenkt, die in der medialen Welt (noch) nicht hinreichend adressiert werden.

Die „Cognitive Briefings“ dienen so dem Interesse von Unternehmern, Investoren und Vermögensinhabern, neue Chancen und Risiken der Zukunft so früh wie möglich wahrnehmen und objektiv einschätzen zu können. Sie bieten dadurch zusätzlichen Erkenntnisgewinn und ergänzen die ausführlichen Studien, Analysen und Publikationen des FERI Cognitive Finance Institute.

## In der Reihe der „Cognitive Briefings“ sind bislang erschienen:



1. Ressourcenverbrauch der Digital-Ökonomie (2020)
2. Globale Bifurkation oder „New Cold War“? (2020)
3. Digitaler Euro: Das Wettrennen zwischen Europäischer Zentralbank und Libra\* Association (2020)
4. Herausforderung „Deep Fake“ – Wie digitale Fälschungen die Realität zerstören (2021)
5. Geoökonomische Zeitenwende – Wie Großmachtkonflikte die Weltwirtschaft zerlegen (2022)
6. Brennpunkt Taiwan – Zunehmende Eskalationsrisiken um Taiwan (2023)
7. CRISPR/Cas – Molekulare Genschere revolutioniert Biotechnologie und Medizin (2023)



FERI AG | FERI Cognitive Finance Institute  
Das strategische Forschungszentrum  
der FERI Gruppe  
Haus am Park  
Rathausplatz 8 – 10  
61348 Bad Homburg v.d.H.  
Tel. +49 (0)6172 916-3631  
[info@feri-institut.de](mailto:info@feri-institut.de)  
[www.feri-institut.de](http://www.feri-institut.de)



Rechtliche Hinweise: Alle Angaben und Quellen werden sorgfältig recherchiert. Für Vollständigkeit und Richtigkeit der dargestellten Information wird keine Gewähr übernommen. Diese Publikation ist urheberrechtlich geschützt. Jede weitere Verwendung, insbesondere der gesamte oder auszugsweise Nachdruck oder die nicht nur private Weitergabe an Dritte, ist nur mit vorheriger schriftlicher Zustimmung von FERI gestattet. Die nicht autorisierte Einstellung auf öffentlichen Internetseiten, Portalen oder anderen sozialen Medien ist ebenfalls untersagt und kann rechtliche Konsequenzen nach sich ziehen. Die angeführten Meinungen sind aktuelle Meinungen, mit Stand des in diesen Unterlagen aufgeführten Datums. FERI AG, Stand 2023