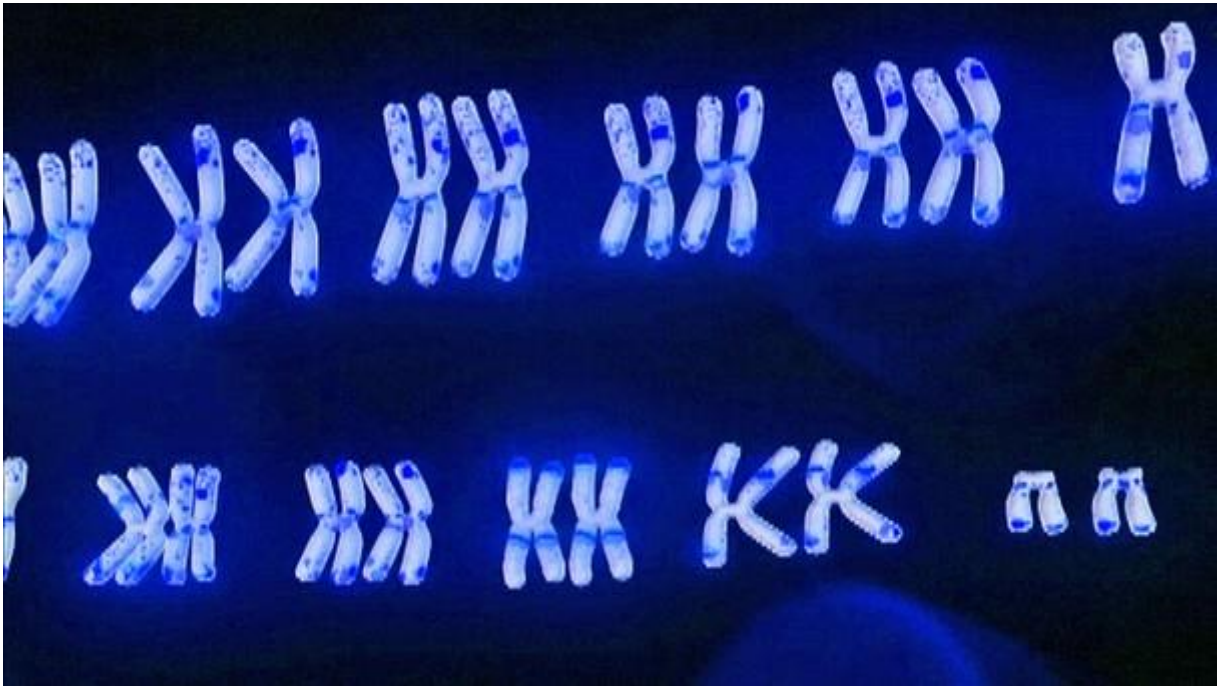


Anwendungen der Gentechnik

1. Der genetische Fingerabdruck

Der genetische Fingerabdruck hat mit dem herkömmlichen, "realen" Fingerabdruck eines gemeinsam: Er ist höchst individuell einem Menschen eigen.

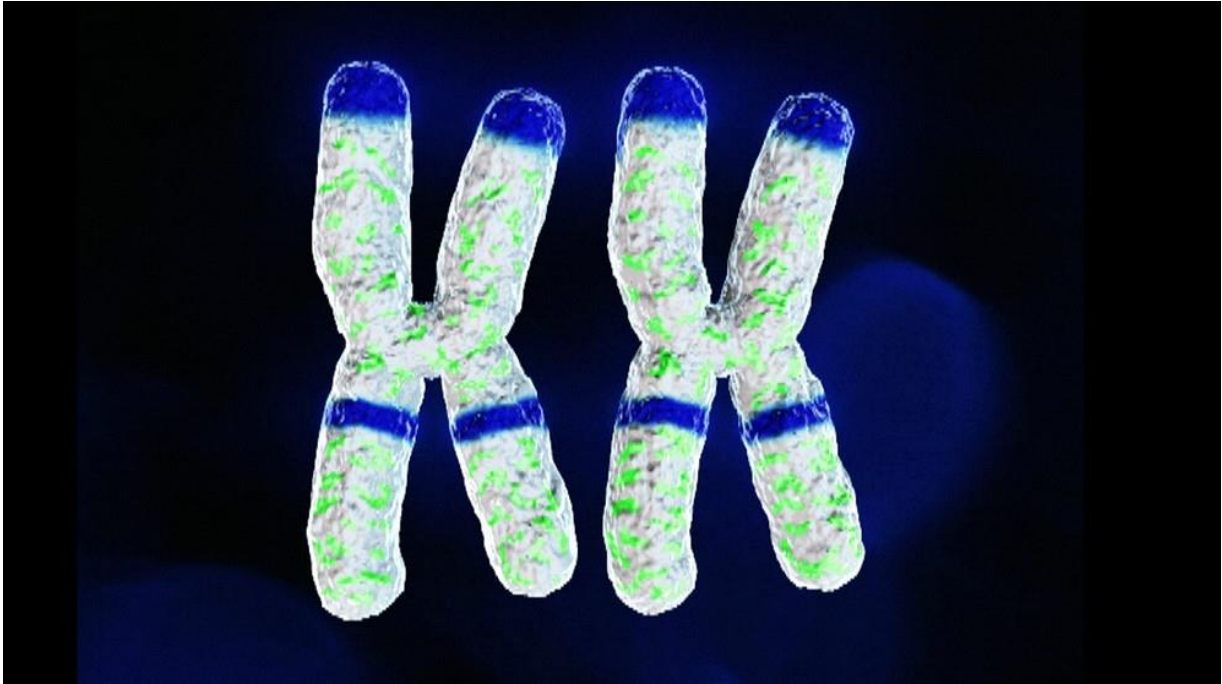


Die Wahrscheinlichkeit, dass zwei Menschen den gleichen Fingerabdruck tragen, liegt bei 1:10 Milliarden. Ähnlich unwahrscheinlich ist es, dass zwei Menschen die gleiche genetische Information besitzen - von eineiigen Zwillingen abgesehen.

"Short tandem repeats"

Lassen Sie sich nicht durch den Begriff "genetischer Fingerabdruck" in die Irre leiten - genau genommen geht es dabei gar nicht um Gene! Denn: Höchstens zehn Prozent der DNA sind Gene. Die restlichen neunzig Prozent übernehmen regulative Aufgaben oder haben - nach bisherigem Erkenntnisstand - überhaupt keine Funktion. Und gerade diese nicht codierenden Abschnitte einer DNA sind entscheidend für den genetischen Fingerabdruck: Sie sind durchsetzt mit einer Reihe an sogenannten "short tandem repeats", abgekürzt STR.

Mikrosatelliten (synonym *Simple Sequence Repeats, SSR, short tandem repeats, STR*) sind kurze, nichtcodierende DNA-Sequenzen. Oftmals konzentrieren sich viele Wiederholungen am selben Locus (Position einer Sequenz). Sie kommen gehäuft in Eukaryoten vor.



Genetischer Fingerabdruck: Short tandem repeats

"Short tandem repeats" bedeutet, dass kurze Sequenzen tandemartig hintereinander wiederholt vorliegen. Sie können aus einer oder bis zu 13 Basen bestehen. Die tandemartige Wiederholung bedeutet, dass diese Sequenz fünf- bis zwanzigmal hintereinander wiederholt vorliegt. Da es 650.000 verschiedene STRs gibt, ist es mehr als unwahrscheinlich, dass die Wiederholungszahl jeder STR eines Menschen sich an genau der gleichen Stelle noch einmal in der Gesamtbevölkerung durch Zufall wiederholt. Man muss sich - statistisch gesehen - nur neun verschiedene STRs ansehen, um zu 99,999 Prozent einen Menschen sicher zu identifizieren.

Um die STRs zu untersuchen, muss man sie zunächst mittels Polymerasekettenreaktion (PCR) vervielfältigen und dann die verschiedenen DNA-Abschnitte mittels Gelelektrophorese auftrennen. Wie das funktioniert, erfahren Sie im Folgenden:

PCR - Polymerasekettenreaktion

Die PCR ist eine Technik, mit der ein beliebiges Stück DNA im Labor vervielfältigt wird. Ihr liegt das Prinzip der komplementären Basenpaarung und der Replikation zugrunde.

Zuerst isoliert man die DNA aus der Probe und versetzt sie mit verschiedenen Reagenzien: mit Nukleotiden, den Bausteine der DNA, einer ganz bestimmten Polymerase und mit Primer. Primer sind synthetisch hergestellte, kurze Sequenzen, die zu den Bereichen der STR komplementär sind.

Im ersten Schritt der PCR wird der Reaktionsansatz stark erhitzt. Dadurch trennt sich der DNA-Doppelstrang in zwei Einzelstränge. Nach Abkühlung ist nun jeder Einzelstrang für die zuvor zugegebenen Primer zugänglich. Die Primer legen sich jeweils links und rechts an die STR. Nun wird auf 74 °C erhitzt. Dadurch wird die im Reaktionsansatz enthaltene Polymerase aktiv. Sie synthetisiert von den Primern ausgehend den Gegenstrang, indem sie

die passenden - zuvor zugegebenen - Nukleotide nach Vorlage einfügt. Nachdem der erste Zyklus beendet ist, sind aus einem Strang zwei Stränge geworden.



Polymerasekettenreaktion: Vermehrung der STR

Dieser Vorgang kann beliebig oft wiederholt werden. Nach 25 Zyklen sind bereits mehr als 50 Millionen Kopien vorhanden. Dank der Erfindung der PCR reichen geringste Mengen DNA aus, um einen genetischen Fingerabdruck zu erstellen.

Gelelektrophorese

Die Unmengen der in der PCR hergestellten Kopien sind immer noch nicht mit bloßem Auge sichtbar. Um sie miteinander vergleichen zu können, müssen die STRs nach ihrer Länge sortiert werden. Dazu werden sie eingefärbt und auf ein Gel aus Agarose aufgetragen. Am Gel wird eine elektrische Spannung angelegt. Da jede isolierte DNA negativ geladen ist, wandert sie zum positiven Pol.

Agarose ist gelatineartig und man kann sie sich als engmaschiges Netz vorstellen, durch das die DNA-Stücke wandern. Stellen Sie sich vor, Sie müssen durch einen Raum gehen, der mit Netzen ausgestattet ist, durch die ein Mensch noch gerade so schlüpfen kann. Sofern Sie allein gehen, werden Sie relativ rasch vorwärts kommen, bilden Sie jedoch mit anderen eine Kette, kommen Sie langsamer voran, da jeder durch das Netz schlüpfen muss.

So ähnlich verhält es sich mit der DNA. Je kürzer die STRs sind, also je geringer die Wiederholungen, desto schneller kommt dieser Abschnitt im Gel voran. Wird die Spannung abgestellt, bleiben die DNA-Stücke gleicher Länge an der Stelle im Gel liegen, zu der sie in dieser Zeit wandern konnten. Die DNA-Fragmente bilden so ein ganz bestimmtes Bandenmuster, das unter UV-Licht sichtbar wird.

Nicht nur in der Kriminalistik spielt der genetische Fingerabdruck eine große Rolle. Es gibt noch weitere praktische Anwendungen - zum Beispiel den Vaterschaftstest.



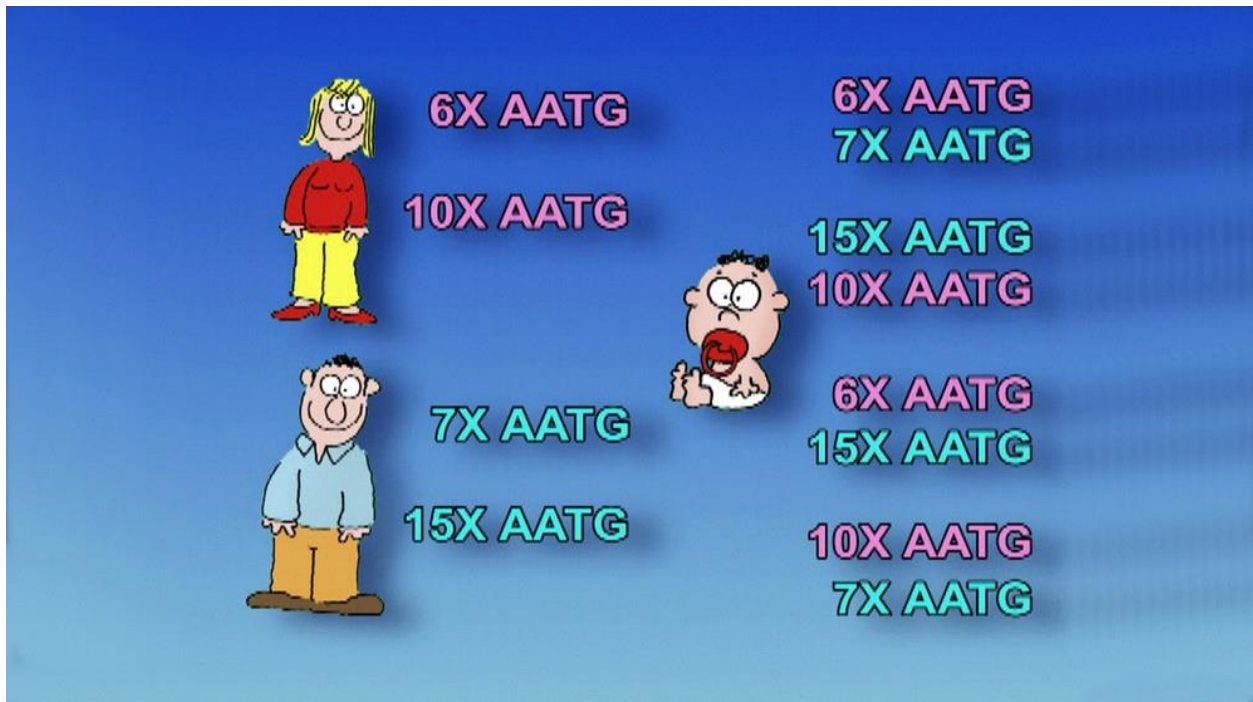
Der genetische Fingerabdruck ist ein wichtiges Werkzeug in der Gerichtsmedizin und Kriminalistik. Zur Überführung eines Tatverdächtigen genügen kleinste Mengen DNA vom Tatort - zum Beispiel Speichel an einer Zigarettenkippe, Blutreste, ein Haar mit Haarwurzel oder Sperma. Auch im Bereich des Zivilrechts findet der genetische Fingerabdruck Anwendung, zum Beispiel beim Vaterschaftstest.

Vaterschaftstest



Für den Vaterschaftstest reicht eine Speichelprobe, entnommen mit einem Wattestäbchen

Väter, die den Verdacht haben, eines ihrer Kinder sei ein Kuckuckskind, können mit Einverständnis der Mutter einen Vaterschaftstest durchführen lassen. Ohne deren Einverständnis ist er als Beweismittel vor Gericht nicht gültig. Die Grundlage für den Test ist ein genetischer Fingerabdruck von Vater, Mutter und Kind. Welche STR-Kombinationen kann ein Kind von seinen Eltern erben?.



Vaterschaftstest: Vererbung der STRs

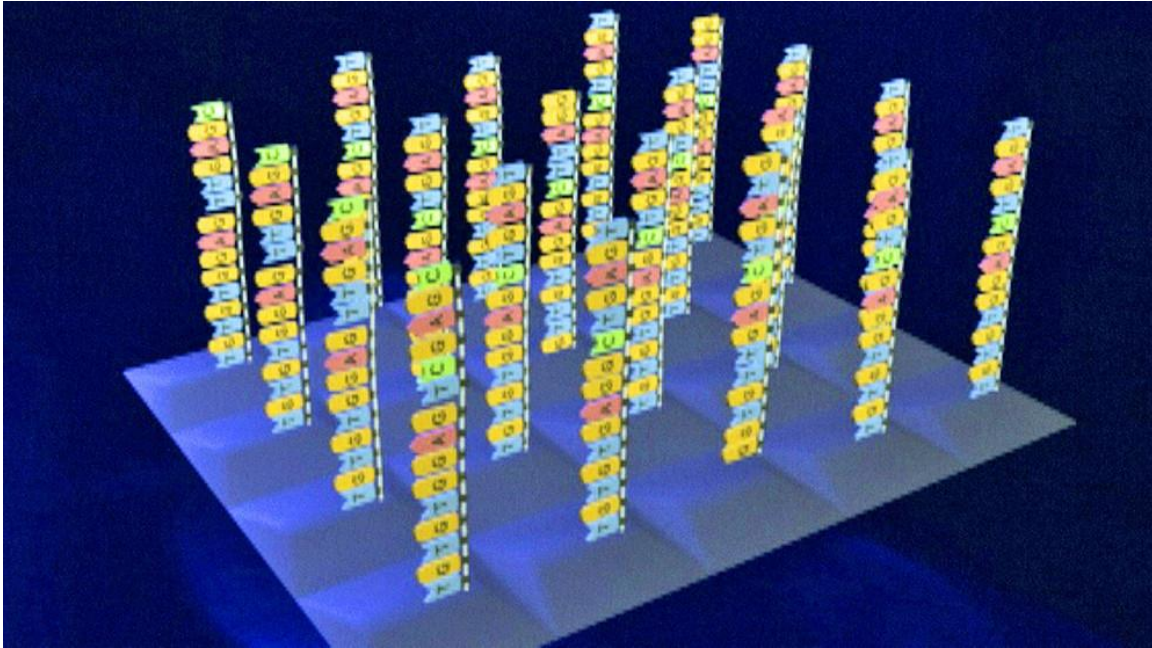
Die DNA-Probe erhält man durch einen Wangenabstrich der Mundschleimhaut von Mutter, Vater und den Kindern mithilfe eines Wattestäbchens.

Nach PCR und Gelelektrophorese steht das Bandenmuster zum Vergleich zur Verfügung. Entscheidend ist, dass jede Bande des Kindes entweder beim Vater oder bei der Mutter auftritt. Im Bild sind beispielhaft zwei Banden dargestellt: Das Muster des ersten Kindes stimmt zur Hälfte mit dem der Mutter überein und zur anderen Hälfte mit dem Bandenmuster des Vaters. Bei Kind 2 hingegen gibt es keine Übereinstimmung mit dem Bandenmuster des Vaters.

Wenn mehr als drei Banden des Kindes nicht beim Vater auftreten, dann kann eine Vaterschaft ausgeschlossen werden. Ergibt sich andernfalls eine absolute Passung zwischen der Hälfte der Banden des Kindes und dem Vater, ist eine Vaterschaft zu 99,999 % gesichert.

Analyse durch DNA-Chip

Bei Analysen zur Krebsvorsorge, Krebsdiagnose und Erbkrankheiten setzt man mittlerweile schon vielfach den DNA-Chip ein. Er ist winzig klein und ist mit mehreren Tausend DNA-Einzelsträngen bestückt - sogenannten DNA-Sonden. Bei der Krebsdiagnose kann ein DNA-Chip sehr hilfreich sein und eine frühere Diagnose als mit anderen Methoden ermöglichen.



Gentechnik: Wie funktioniert ein DNA-Chip?

Überall dort, wo die Sonde an ein DNA- oder RNA-Stück gebunden hat, wird ein fluoreszierendes Signal zu messen sein. Dort wo kein Signal ist, fehlt DNA im Gewebe. Der Chip wird in Sektoren unterteilt und vom Computer Schritt für Schritt ausgewertet.

Anhand des Abgleichs zwischen normalem und Tumorgewebe kann man beurteilen, ob und in welchem Stadium eine Krebserkrankung vorliegt.

Mit dieser Methode lassen sich auch gezielt Erbkrankheiten feststellen oder erbliche Formen von Krebs. Dann liegen auf dem Chip die DNA-Sonden, die die Mutation aus der isolierten DNA herausfischen können. Aber auch zur Analyse von gentechnisch veränderten Organismen in Lebensmitteln oder der Wasserqualität bestückt man die Chips mit gegengleichen Sonden der in Frage kommenden Bakterien.

Der Aqua-Chip

In Zukunft soll die Wasserqualität mithilfe eines Chips bestimmt werden. Dazu wird der Aqua-Chip mit den Erbsubstanzen der Erreger bestückt, die nicht im Trinkwasser vorkommen dürfen. Darauf gibt man isolierte DNA aus Wasserproben. Sind unerwünschte Keime vorhanden, entsteht ein Leuchtsignal.

2. Gentechnisch verändertes Lebensmittel („Genfood“)

Ein **gentechnisch verändertes Lebensmittel** ist ein Lebensmittel, das aus gentechnisch veränderten Pflanzen, Tieren oder Mikroorganismen (genetisch veränderte Organismen, *GVO* oder im Englischen *GMO*) besteht, diese enthält oder daraus hergestellt ist.

Rechtslage

Rechtlich werden in der EU mit Hilfe transgener Mikroorganismen hergestellte Lebensmittel und mit genetisch veränderten Futtermitteln gefütterte Tiere nicht hinzu gezählt. Der Bund für Lebensmittelrecht und Lebensmittelkunde stellte fest, dass bereits heute Lebensmittel mit gentechnisch veränderten Inhaltsstoffen in deutschen Supermärkten weit verbreitet sind. Schätzungen zufolge sind 60 % bis 80 % aller Lebensmittel in ihrer Produktion mit Gentechnik in irgendeiner Weise in Kontakt gekommen. In Österreich sind aufgrund des Gentechnik-Volksbegehrens von 1997 die meisten Produkte – bis auf Futtermittel – gentechnikfrei.

Kennzeichnung

In der EU müssen alle Lebensmittel, bei denen zumindest ein Bestandteil aus einem gentechnisch veränderten Produkt stammt, mit einem bestimmten Wortlaut gekennzeichnet werden. Auch Futtermittel sind von der Kennzeichnungspflicht erfasst. Futtermittel, bei denen zumindest ein Bestandteil aus gentechnisch veränderten Organismen stammt, müssen daher wie Lebensmittel gekennzeichnet werden. Diese Kennzeichnung ist allerdings nur zur Information der Futtermittelkäufer gedacht. Für Konsumenten schafft diese Art der Kennzeichnung nicht automatisch Klarheit, ob gentechnisch veränderte Futtermittel verwendet wurden. Kritisiert wird in diesem Zusammenhang, dass Fleisch, Milchprodukte und Eier von Tieren, denen gentechnisch veränderte Futtermittel verfüttert wurden, nicht unter die Regelung zur Zulassung und Kennzeichnung fallen.

Pflanzen

Der Einsatz von transgenen Pflanzen begann 1996. 2009 wurden in 25 Ländern auf 134 Millionen Hektar (etwa 9 % der globalen Landwirtschaftsfläche) in erster Linie transgener Mais, transgene Baumwolle, transgene Sojabohne und transgener Raps angebaut. Für die menschliche Ernährung haben diese transgenen Pflanzen in Deutschland vor allem eine indirekte Bedeutung als Futtermittel in der Tierproduktion, wobei die Unbedenklichkeit dieser Verwendung umstritten ist.

88 % der Deutschen lehnen den Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen ab, so eine Umfrage im Dezember 2013. In Deutschland gilt bei Saatgut-Kontrollen eine strikte Nulltoleranz; wenn in Saatgut GVO-Beimischungen nachgewiesen werden, ist es unabhängig von der Höhe des gemessenen GVO-Anteils nicht verkehrsfähig und wird vernichtet oder untergepflügt. So wurden 2014 nur noch in 1,6 Prozent der Proben von Mais-Saatgut GVO gefunden. Das war noch weniger als im Vorjahr und deutlich weniger als 2011, als knapp sieben Prozent der Proben noch GVO-Anteile aufwiesen.

Tiere

Lachs

Als erstes gentechnisch verändertes Tier, das zum menschlichen Verzehr bestimmt ist, könnte ein transgener Lachs verwendet werden. Die gv-Lachse mit dem Markennamen AquAdvantage verfügen über ein Gen für ein Wachstumshormon aus einer anderen Lachsart (Königslachs), und ein weiteres Gen aus einer an kalte Meeresregionen angepassten Fischart (*Zoarces americanus*). Durch diese zwei Gene produzieren die gv-Lachse mehr Wachstumshormone. Anstatt nach drei Jahren wird die Schlachtreife nach 16 bis 18 Monaten erreicht. Der Antrag wurde 1995 in den USA gestellt und die von der FDA geforderten Sicherheitstests sind absolviert (gv-Lachse sind laut FDA genauso sicher wie andere Lachse). Unter anderem musste sichergestellt werden, dass die gentechnischen Veränderungen stabil bleiben und keine negativen Auswirkungen auf die Tiergesundheit haben. Alle Tiere seien zudem weiblich und steril und sollen in abgeschlossenen Tanks gehalten werden, so dass eine unerwünschte Auskreuzung nicht möglich ist.

Der mittlerweile über 15 Jahre andauernde Zulassungsprozess erreichte seinen letzten Höhepunkt im September 2010, als das Veterinary Medicine Advisory Committee (CMAC) der FDA alle Daten zu Gesundheits- und Umweltwirkungen veröffentlichte. Das VMAC (ein Gremium aus unabhängigen Tierärzten und Experten) schrieb, dass AquAdvantage so sicher wie konventionelle Atlantischer Lachs sei und keine Gesundheitsgefahr von seinem Konsum ausgehe. Es gebe zudem substanzielle und zuverlässige Daten, die den Schluss zulassen, dass keine signifikanten Umweltauswirkungen von einer Kommerzialisierung von AquAdvantage erwartbar seien. Kritiker aus dem Umfeld von Verbraucher- und Umweltorganisationen äußerten dagegen weiterhin Bedenken zu Gesundheits- und Umweltrisiken. Im Februar 2011 forderten Friends of the Earth, Earthjustice, Greenpeace, Oceana, Ocean Conservancy, Pew Environment Group und die Union of Concerned Scientists in einem Brief an die FDA-Direktorin Margaret Hamburg eine umfassendere Umweltbewertung. 11 Senatoren (überwiegend aus Staaten des Pazifischen Nordwesten) und 29 Abgeordnete des Repräsentantenhauses schrieben zwei Briefe an Hamburg und nannten einen Mangel von Transparenz und der Möglichkeit öffentlicher Beteiligung. Am 16. Juni 2011 einigte sich das Repräsentantenhaus in einer Abstimmung mit weniger als einem Dutzend teilnehmenden Abgeordneten auf den von Don Young (Vertreter von Alaska, einem Staat mit einer großen Wildlachsindustrie), einer Gesetzesänderung zuzustimmen, die es der FDA verbieten würde, in den Zulassungsprozess von gentechnisch verändertem Lachs Geld zu stecken. Der Senat müsste der Gesetzesänderung noch zustimmen, bevor sie umgesetzt werden kann.

Mehrere Wissenschaftler fordern eine umfassendere Zulassungsbewertung von der FDA. Die FDA vergleicht einen einzelnen transgenen Lachs mit einem nicht-transgenen Lachs. Dies ignoriere mögliche Gesundheits- und Umweltauswirkungen, die sich aus Veränderungen von Produktion und Konsum ergeben könnten. Die Gesundheitswirkungen werden von der FDA eingeschätzt, indem sie die Inhaltsstoffe der transgenen Lachse mit denen nicht-transgener vergleicht sowie nach Toxinen und Allergenen sucht. Die implizite Annahme sei, dass das neue Produkt das alte 1:1 ersetze und es nicht zu Preis- und Mengenänderungen kommen würde. Da die transgenen Lachse schneller wachsen und weniger Futter benötigen, könnte eine Reduktion der Produktionskosten durch transgenen Lachs zu Preissenkungen für Lachs führen. Wenn diese Preissenkung den Lachskonsum erhöht (und evtl. gleichzeitig den Konsum von Substituten wie Rindfleisch reduziert), könne dies die öffentliche Gesundheit verbessern. Ärmere Haushalte könnten davon besonders betroffen sein. Abgesehen von den

Gesundheitswirkungen seien auch die Umweltwirkungen von der FDA nur unzureichend evaluiert. Sollte sich die Produktion von Lachsen als Resultat der Einführung von transgenen Lachsen ausdehnen, sei beispielsweise eine höhere Umweltverschmutzung und verstärkter Druck auf Wildfischbestände möglich. Eine höhere Nachfrage nach Wildfischen als Futtermittel könne die wirtschaftlichen Erträge von Fischereien erhöhen, aber bei schlechtem Management das die Wahrscheinlichkeit der Überfischung erhöhen. Das Risiko der Auskreuzung auf wilde Lachse könnte ebenfalls mit einer Produktionsausweitung steigen, wenn die Produktionsstätten als Resultat der Produktionsausdehnung andere Formen annehmen.

Andere Tiere

Andere gv-Tiere für den menschlichen Verzehr, die von Firmen und Universitäten entwickelt werden oder wurden, sind unter anderem BSE-resistente Rinder oder tierische Lebensmittel mit einer veränderten Zusammensetzung. Beispiele sind magereres Fleisch oder Fleisch mit einem relativ höheren Anteil an Omega-3-Fettsäuren am Fettgehalt, Eier mit einem geringeren Cholesteringehalt und hypoallergene Milch.

Mikroorganismen

Gentechnisch veränderte Mikroorganismen werden bisher kaum in der Nahrungsmittelproduktion verwendet. Es wird an transgenen Milchsäurebakterien geforscht, die beispielsweise die Herstellung von Käse beschleunigen können. Enzyme aus Pflanzen oder Tieren werden zweitens durch genetische Modifikation auch von Mikroorganismen produziert. Ein dritter Forschungsbereich sind transgene Hefen, die beispielsweise in der Produktion eines kalorienärmeren Biers eingesetzt werden können.

Kennzeichnung

In der EU gilt eine Kennzeichnungspflicht für gentechnisch veränderte Lebensmittel, jedoch nicht für solche, bei deren Herstellung gentechnisch veränderte Futtermittel eingesetzt wurden. In den USA ist eine freiwillige Kennzeichnung von gentechnisch veränderten Lebensmitteln möglich, solange sie nicht irreführend ist