

Zeitschrift: Gesundheitsnachrichten / A. Vogel
Herausgeber: A. Vogel
Band: 67 (2010)
Heft: 12: Zelltod : lebenswichtig!

Artikel: Harakiri nach Plan
Autor: Zehnder, Ingrid
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-558453>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 25.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Harakiri nach Plan

Tag für Tag begehen Milliarden von menschlichen Körperzellen nach einem genetisch gesteuerten Programm Selbstmord. Erst in den letzten Jahren wurden die Abläufe dieser Prozesse erforscht. Sie könnten bei der Heilung von Tumoren, Leukämie und Autoimmunerkrankungen eine wichtige Rolle spielen.

Ingrid Zehnder



Wie in jedem Herbst die Blätter welken und schliesslich zu Boden sinken, um die Bäume zu schützen, eliminiert unser Körper in regelmässigen Abständen überalterte und kranke Zellen, um uns gesund zu erhalten.

Herbstlaub

Das Harakiri von Zellen wird in der Medizin programmierte Zelltod oder Apoptose genannt. Das aus dem Griechischen abgeleitete Wort Apoptose bedeutet so viel wie «herabfallende Blätter» und bezeichnet das natürliche Absterben der Blätter im Herbst. Der programmierte Zelltod oder die Apoptose regelt den Selbstmord von Zellen, die überaltert, beschädigt oder überflüssig geworden sind und sorgt dafür, dass sie ohne Rückstände entfernt werden.

Nie endende Baustellen

Nur das Herz, die Eizellen, die Schweißdrüsen und einige Teile des Gehirns und des Nervensystems bleiben lebenslang dieselben und ändern sich nie. Nur sie sind genauso alt wie der Mensch, zu dem sie gehören.

Alle anderen Zellverbände des menschlichen Körpers sind Baustellen, auf denen ständig neue Bausteine herangeschafft und altes Material aussortiert wird. Wie wir noch sehen werden, geht nicht auf allen Baustellen die Arbeit gleich schnell voran.

Ohne Zelltod kein Leben

Der menschliche Körper setzt sich aus einer Vielzahl von Zellen zusammen, die unterschiedliche Aufgaben haben. Um gesund zu bleiben und reibungslos zu funktionieren, müssen die meisten regelmäßig erneuert werden. Alte oder geschädigte Zellen werden abgebaut und durch neue ersetzt. Dabei sollten sich Zellabbau und Zellersatz stets die Waage halten. Im Erwachsenenalter muss unser Körper täglich etwa zehn Milliarden Zellen beiseite schaffen. Biologen haben errechnet: Ohne programmierten Zelltod hätte ein 80-Jähriger rund zwei Tonnen Knochenmark und eine Darmlänge von 16 Kilometern.

Jobs auf Zeit

Die kürzeste Arbeitszeit haben weiße Blutkörperchen, ihre Aufgabe kann schon nach Minuten zu Ende sein. Rasch wird auch den Zellen des Magen-Darm-Traktes gekündigt: Die Wandzellen (Epithel) des Dünndarms und des Magenausgangs halten sich durchschnittlich nur ein bis zwei Tage, die des Enddarms bringen es auf etwa sechs Arbeitstage. Hautzellen funktionieren zirka 20 Tage, rote Blutkörperchen geben nach drei Monaten auf, Drüsenzellen

der Leber werden nach zirka 220 Tagen erneuert. Am längsten arbeiten die Knochenzellen, sie werden erst nach 25 bis 30 Jahren aus dem Verkehr gezogen.

Werden und Vergehen schon im Mutterleib

Bereits die Entwicklung des Embryos zeigt, dass der Organismus sehr verschwenderisch mit seinen Zellen umgehen kann und dass der programmierte Zelltod dabei eine lebenswichtige Rolle spielt.

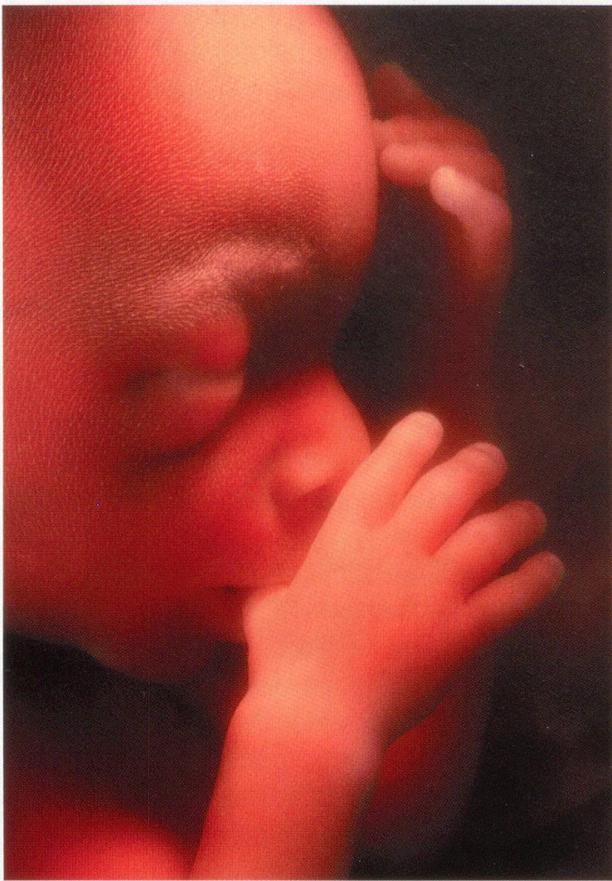
Beispielsweise entstehen beim Heranreifen des Nervensystems zunächst wesentlich mehr Zellen als notwendig. Mehr als 70 Prozent der Stammzellen des Nervengewebes (Neuroblasten) müssen Selbstmord begehen, weil sie keinen Kontakt mit benachbarten Nervenzellen herstellen konnten. Die Folge: Sie sind vom Nachschub an Überlebensfaktoren abgeschnitten und müssen besseren Zellen Platz machen.

Von der zehnten Entwicklungswoche an werden beim Aufbau der körpereigenen Abwehr die Lymphoblasten – das sind Vorläuferzellen der zum Immunsystem gehörenden weißen Blutkörperchen – in der Thymusdrüse daraufhin gecheckt, ob sie sich aufgrund einer Fehlentwicklung gegen körpereigene Strukturen wenden könnten. Über 95 Prozent der geprüften Zellen werden durch Apoptose ausgesondert, nur die besten verlassen die Prüfstelle und treten in den Dienst der körpereigenen Abwehr.

Ein besonders eindrückliches Beispiel für die Strategie des enormen Zellaufbaus und des anschliessenden zellulären Massenselbstmordes ist die Entwicklung der Zehen und Finger beim Embryo. Forscher vergleichen diese Prozesse gerne mit dem Erstellen eines Baugerüstes, das nach Fertigstellung des Baus wieder entfernt wird. Nach etwa sechs Wochen sehen die Hände noch wie kleine Paddel aus, denn zwischen den Fingern befinden sich «Schwimm-Häute». Damit die Finger und Zehen beweglich werden, muss das Gewebe der «Schwimm-Häute» abgebaut werden. Und das passiert auch nur wenige Wochen später – dank des natürlichen Selbstmordprogramms der Zellen.

Apoptose: ein komplizierter Vorgang ...

... der hier nur in groben Zügen beschrieben und erklärt werden kann. Auch zeigen nicht alle molekularen Abläufe der Apoptose die gleiche Form, obwohl der Vorgang ein streng regulierter Prozess ist.



Im Mutterleib entwickeln sich die zunächst wie kleine Paddel aussehenden Hände und Füsse recht schnell. Die Haut zwischen den Fingern und Zehen wird durch programmierten Zelltod kontrolliert abgebaut. Dadurch werden die Finger beweglich, bei den kleinen Zehen dauert es etwas länger. Mit 16 Wochen kann der Foetus schon am Daumen lutschen.

Das in jeder Zelle eingebaute Selbstmordprogramm wird dadurch in Gang gesetzt, dass sie selbst durch ein komplexes System aus Signalen und Botenstoffen aktiv Prozesse auslöst, die zu ihrem eigenen Tod führen. Die sterbende Zelle inklusive Zellkern und DNA schrumpft, wird von Nachbarzellen umhüllt und gefressen.

Eine Zelle beginnt mit dem Freitod-Programm, wenn interne oder externe Signale die Selbstzerstörung anordnen. Jede Zelle unseres Körpers befindet sich durch chemische Botenstoffe im ständigen Kontakt mit ihren Nachbarzellen, die an die Rezeptoren der Zelle anbinden. Wird ihr dieser Kontakt entzogen, will sagen: sie erhält nicht genügend Überlebensfaktoren von anderen Zellen, so führt dies in der Regel zur Auslösung des programmierten Zelltods.

Das wichtigste Werkzeug im Selbstvernichtungsprogramm sind Todesrezeptoren auf der Zelloberfläche. Sie aktivieren todbringende Botenstoffe im Zellinneren, die eine komplizierte Kaskade von Reaktionen einleiten, welche schliesslich zur programmierten Auflösung der Zelle führen. Die Moleküle, die den Prozess vorantreiben, heissen Caspasen und gehören zu den Proteasen (eiweißspaltende Enzyme). Caspasen werden ständig von gesunden Zellen produziert und somit im Inneren der Zellen vorrätig gehalten. Zudem verändert sich die Oberfläche der sterbenden Zelle so, dass die kleinen Zelltrümmer weiterhin von einer Membran umgeben sind und so spurlos entsorgt werden können.

Wenn du die Absicht hast, dich zu erneuern, tu es jeden Tag.

Konfuzius (chinesischer Philosoph)

Innere Signale entstehen durch Zellschäden (beispielsweise DNS-Schäden durch Oxidation, UV-Strahlen oder Gen-Mutationen), die an der Membran der Mitochondrien («Energiekraftwerke» mit eigener Zellsubstanz innerhalb von Zellen) ansetzen und letztendlich die Auflösung der Zelle bewirken.

Ein äusseres Signal kann durch T-Killer-Zellen ausgelöst werden, wenn diese erkennen, dass die Zelle von einem Virus befallen oder aus anderen Gründen unnormal ist.

Sicher ist aber auch, dass viele Viren Strategien entwickelt haben, um den Untergang der Zelle – und damit ihren eigenen – zu blockieren.

Ein leicht zu verstehendes Beispiel

Wird ihr Erbgut beschädigt, können Körperzellen zur Gefahr werden. Dies kann zum Beispiel durch einen Sonnenbrand geschehen. Die ultravioletten Strahlen der Sonne dringen in die Hautzellen ein und gelangen bis zum Zellkern. Dort, wo die Strahlung auftrifft, zerstört sie ein Stück DNA. Das betroffene Gen wird somit fehlerhaft oder völlig unbrauchbar. Durch die Schädigung der DNA wird im Zellkern ein bestimmtes Eiweiss (das Protein p35), das auch als «Wächter des Genoms» bezeichnet wird, angehäuft. Es stoppt die Zellteilung. Wenn der Schaden an der DNA zu gross ist, um repariert zu werden, schaltet dieses Eiweiss

das Selbstmordprogramm der Zelle an und aktiviert die dafür notwendigen Signale. Damit wird verhindert, dass sich stark geschädigte Zellen teilen und sich so fehlerhafte Gene im Körper anhäufen.

Gefährlich wird es allerdings, wenn dieser Schutzmechanismus versagt. Fällt das Aufräumkommando aus – oder überlebt auch nur eine entartete Zelle – kann sich daraus noch nach Jahren Hautkrebs entwickeln.

Zelltod der anderen Art

Bevor man wusste, dass Zellen durch Apoptose untergehen können, kannte man lediglich eine andere, eine unkontrollierte Form des Absterbens lebender Zellen.

Man nannte sie Nekrose, abgeleitet vom griechischen Wort für Tod. Im Gegensatz zur Apoptose, bei der die Zelle schrumpft, platzt bei der Nekrose die Zelle wie ein Luftballon.

Verursacht wird die Nekrose durch Faktoren wie Verbrennung oder Erfrierung, Gifte, Bakterien, Nähr-

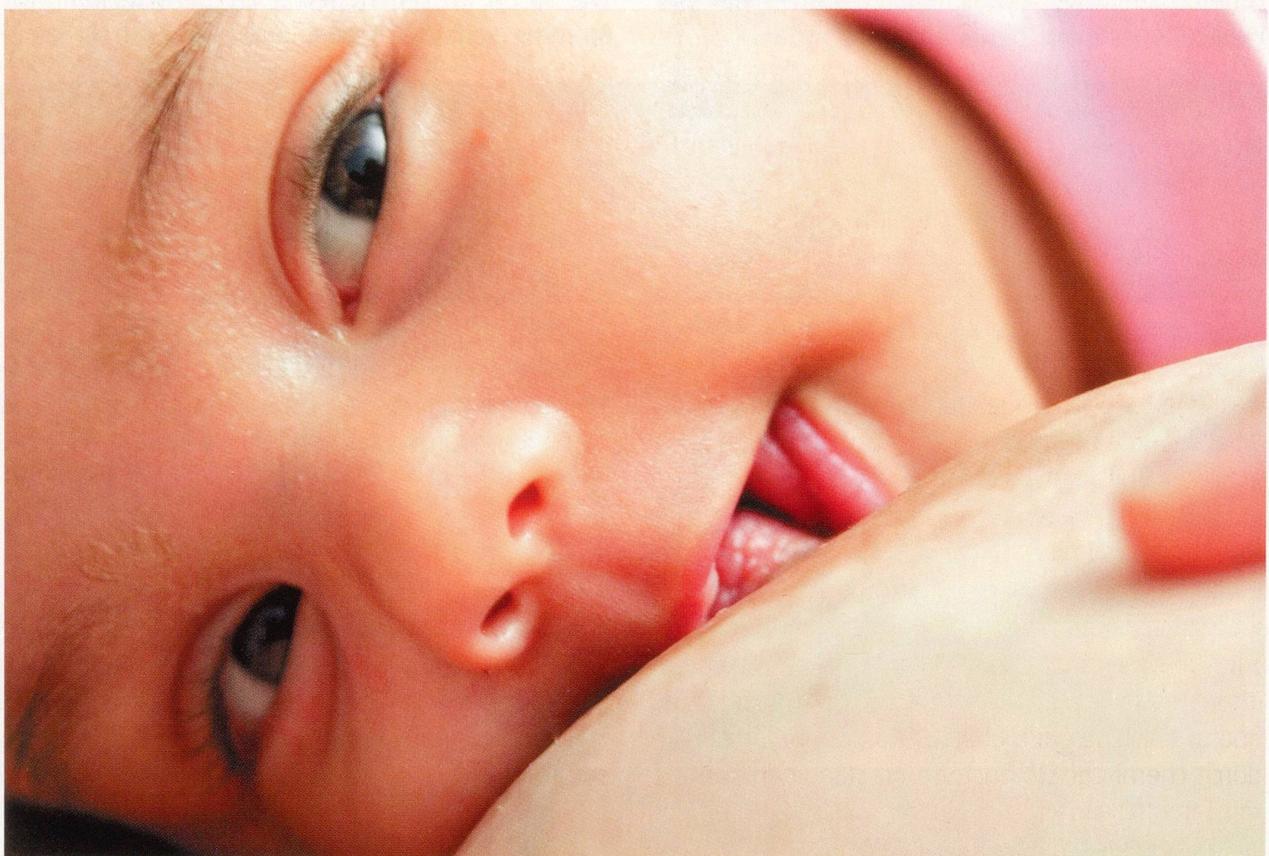
stoff- und Sauerstoffmangel, Radioaktivität und vielem mehr. Bei einer Nekrose schwollt die Zelle an, explodiert schliesslich und ergiesst ihren Inhalt in die Umgebung. Die kranke Zelle zerplatzt wie ein angestochener Luftballon – Entzündungen im umliegenden Gewebe sind die Folge.

Entdeckung und Geschichte der Apoptose

1842 entdeckte der Mediziner und Zoologie-Professor Carl Vogt⁽¹⁾ bei Untersuchungen über die Entwicklung der Kaulquappen der Gemeinen Geburtshelferkröte ein gezieltes Zellsterben.

Der deutsche Mediziner Alfred Glucksmann führte 1951 den Untergang embryonalen Gewebes erst-

⁽¹⁾ Nach dem deutsch-schweizerischen Naturwissenschaftler wurde ein Boulevard am linken Seeufer in Genf benannt; seine Bronzebüste steht vor der Genfer Universität. Eine weitere Büste steht vor der Alten Schlossmauer in Giessen, seiner Geburtsstadt.



Ein Beispiel für das natürliche Zusammenspiel von Zellaufbau und Zellselbstmord: Mit Hilfe der Apoptose werden nicht nur gealterte und geschädigte Zellen entfernt, sondern auch solche, die unnütz geworden sind. So sterben die Milch produzierenden Zellen, wenn das Baby nicht mehr gestillt wird, und die Brustdrüse kehrt zu ihrem ursprünglichen Zustand zurück.

mals auf das Sterben einzelner Zellen zurück. Durch die Forschungen des australischen Pathologen John F. Kerr, der sich ab 1962 immer wieder mit den schrumpfenden Todeszellen beschäftigt hatte, wurden die zellulären Veränderungen als eigenständige und genetisch kontrollierte Form des Zelltods erkannt. Zunächst hatte er die von ihm gemachten Beobachtungen noch als «Schrumpf-Nekrose» bezeichnet. 1972 führte er den Begriff Apoptose ein.

Fünf Jahre später entdeckten die Biologen Howard R. Horvitz, Sydney Brenner und John E. Sulston beim Fadenwurm *Caenorhabditis elegans* die ersten Gene, die für die Apoptose verantwortlich sind. (Sie erhielten für ihre Arbeiten 2002 den Medizin-Nobelpreis.) Was lange Jahre als Grundlagenforschung galt – nicht uninteressant, aber doch eher von akademischem Wert – ist inzwischen zu einem der attraktivsten Forschungsgebiete der Molekular-Biologie und Medizin geworden. Die rasante Entwicklung spiegelt sich in Millionen von Forschungsgeldern und einigen Zehntausend bisher erschienenen wissenschaftlichen Publikationen zum Thema Apoptose wider.

Zelltod und Immunsystem

Speziell im Immunsystem spielt der programmierte Zelltod eine wichtige Rolle. Zum Beispiel werden virusinfizierte oder entartete Zellen per T-Killerzellen durch Auslösung des geordneten Zelltods eliminiert. Auch bei der Reifung von T-Lymphozyten (Killerzellen gegen fremde Stoffe oder Viren) und B-Lymphozyten (zuständig für die Immunabwehr mittels Antikörpern) werden im Knochenmark bzw. in der Thymusdrüse Zellen, die sich möglicherweise gegen das eigene Immunsystem wenden könnten, im Regelfall durch programmierten Zelltod beseitigt. Dabei auftretende Fehler können Autoimmunkrankheiten wie z.B. Multiple Sklerose oder rheumatoide Arthritis zur Folge haben. Des Weiteren werden nach einer erfolgreichen Immunantwort aktivierte T-Zellen, die nicht mehr benötigt werden, durch programmierten Zelltod entfernt.

Apoptose und diverse Erkrankungen

Wie so oft im Leben: Selbst die perfektesten Programme verlaufen selten ganz störungsfrei – auch

D

Programmierter Zelltod – ein grundlegender biologischer Prozess

Die geregelte Selbstvernichtung von Zellen – Apoptose oder programmierter Zelltod genannt – ist ein natürlicher Mechanismus, der bei Menschen, Tieren und Pflanzen gleichermassen funktioniert.



Ein bekanntes Beispiel für den programmierten Zelltod lässt sich sogar mit blossem Auge beobachten: die Metamorphose von Kaulquappen. Bevor sie zu Fröschen werden, bildet sich ihr Schwanz, der zur Fortbewegung im Wasser notwendig war, zurück. Dabei wird er nicht einfach abgestossen, sondern bauplangerecht Zelle für Zelle eingeschmolzen. [Im Bild: Grasfrosch (*Rana temporaria*)/Seefrosch (*Rana ridibunda*)]

der programmierte Zelltod nicht. Die Bedeutung der Apoptose wird dort besonders deutlich, wo sie nicht oder fehlerhaft funktioniert. Krebs und Leukämie, AIDS, multiple Sklerose, Alzheimer, Parkinson, Autoimmunerkrankungen – die Liste der Leiden, an denen die Störung des programmierten Zelltods einen bedeutenden Anteil hat, klingt wie eine Aufzählung der bedrohlichsten Krankheiten.

Und so ist es nicht erstaunlich, dass überall auf der Welt mit grossem Aufwand versucht wird, die Mechanismen des programmierten Zelltodes aufzuklären. Die Fragen lauten: Was läuft falsch? Warum wird eines der wichtigsten Werkzeuge des Organismus uns plötzlich zum Verhängnis? Und auf welche Weise gelingt es manchen Zellen, sich dem Selbstmordprogramm zu verweigern?

Denn eines steht ausser Zweifel: Könnte man die Apoptose bei verschiedenen Erkrankungen gezielt regulieren, hätte die Medizin ein wirksames Werkzeug in der Hand, um Leben zu retten und Leiden zu mindern.

**Was die Raupe Ende der Welt nennt,
nennt der Rest der Welt Schmetterling.**

Laotse (chinesischer Philosoph)

Erhöhte Apoptose

Sterben zu viele Zellen, drohen degenerative Krankheiten wie Multiple Sklerose, Alzheimer-Demenz, Parkinson-Syndrom, Creutzfeld-Jakob-Krankheit, Chorea Huntington oder Amyothrophe Lateralsklerose (ALS). Es wird vermutet, dass erhöhte Apoptose auch eine wichtige Rolle bei Leberschädigungen durch Hepatitis B- und C-Viren spielt.

Bei Herz- oder Hirninfarkten bewirkt der Sauerstoffmangel den Untergang vieler Zellen (Nekrose). Zusätzlich können verstärkte und überstürzt ablaufende Selbstmordprogramme weniger stark geschädigte Zellen vernichten. Man versucht, Apoptose-Blocker zu finden, in der Hoffnung, dass diese Zellen sich regenerieren.

Apoptose und Krebs

Ganz anders bei Krebszellen. Auch hier ist der Ablauf des programmierten Zelltods gestört, doch statt des Zuviel gibt es ein Zuwenig. Die Tumorzellen reagieren



Forscher in aller Welt arbeiten fieberhaft daran herauszufinden, warum sich Krebszellen gegenüber dem Zell-Selbstmordbefehl taub stellen und Wege zu finden, auch in bösartigen Zellen dieses Harakiri-Programm wieder zu aktivieren.

nicht auf die Zelltod-Signale, so dass sich die Krebszellen ungehemmt vermehren.

Hat man bisher in der Krebsforschung darüber nachgedacht, weshalb tumoröse Zellen wuchern, führte die Entdeckung der Apoptose zu der Frage, warum tumoröse Zellen der Kontrolle der stets gleichbleibenden Zellzahl durch Apoptose entkommen.

Ein wesentlicher Grund hierfür sind Fehler im Signalweg der Apoptose oder krankhafte Veränderungen in den Apoptose auslösenden Genen.

Die Forschungen zur Tumorbekämpfung haben das Ziel, bei Krebszellen die Apoptose wieder in Gang zu bringen, zumal die Widerstandskraft mancher Tumorzellen gegenüber der Chemo- oder Bestrahlungstherapie ebenfalls auf Störungen des zellulären Selbstmordprogramms zurückzuführen ist. Die Erforschung der Signalwege in Krebszellen, die zu einer Unempfindlichkeit gegenüber Hormonen, Chemotherapeutika und Bestrahlungen führen, kann neue Behandlungsmöglichkeiten eröffnen. ■