

# Wieso haben nicht alle Schafe und Ziegen zwei Hörner?

Gesine Lühken / Cord Drögemüller

Unter der Leitung von Aurélien Capitan des französischen Instituts für Agrar- und Umweltforschung (INRAE) erforschten Genetiker der Universitäten Bern und Genf in Zusammenarbeit mit der EPFL Lausanne und mehreren anderen Forschergruppen auf vier Kontinenten die Entstehung von Hörnern und deren Vielfalt bei Wiederkäuern. Die Ergebnisse, vor allem für Schafe und Ziegen, sind im Folgenden zusammengefasst.

## Hörner im Tierreich

Im Laufe der Evolution haben unter den Paarhufern (Artiodactyla) insbesondere die höheren Wiederkäuer eine grosse Vielfalt an Hörnern oder knöchernen Schädelorganen entwickelt, die in der Biologie als Stirnwaffen (engl. headgear) bezeichnet werden. So unterschiedlich sie auch sind, haben diese bemerkenswerten Organe doch Gemeinsamkeiten: Sie stammen von Stammzellen der Neuralleiste ab und bestehen aus paarigen Strukturen, die sich auf den Stirnknochen befinden. Die verschiedenförmigen Hörner der Stirnwaffenträger (Pecora) weisen eine knöchernerne Grundlage auf, die bei Rindern, Schafen, Ziegen und Gabelhornantilopen mit Keratin (Hornscheide) über-



Bei der Rasse Graue Gehörnte Heidschnucke sind auch die weiblichen Tiere behornt. Les femelles de la race Jaglu (en allemand: Graue Gehörnte Heidschnucke) portent aussi des cornes. (Photo: G. Lühken)

zogen ist. Die Geweihe bei Hirschen bestehen aus zapfenförmigen Knochengebilden, wogegen die Knochenzapfen bei Giraffen mit behaarter Haut bedeckt sind. Hörner oder Stirnwaffen können dem Imponiergehabe, dem Kampf um das Paarungsvorrecht und auch der Verteidigung dienen. In fast allen Fällen sind sie bei Männchen grösser als bei Weibchen. Bei einigen Arten wie nahezu allen Hirschen, vielen Antilopen und dem Okapi fehlt den Weibchen die Stirnbewaffnung.

## Vielfalt des Hornstatus und der Hornanzahl beim Schaf

Anders als beim Rind und bei der Ziege wird beim Schaf der Hornstatus durch das Geschlecht beeinflusst und variiert zwischen den Rassen. Daher wurde bereits 1940 versucht, Schafrassen in drei Typen einzuteilen:

- Rassen, bei denen Tiere beider Geschlechter Hörner tragen, aber die Hörner der Auen viel kleiner sind (ähnlich den Wildschafen in Zentralasien).
- Rassen, bei denen die Böcke gut entwickelte Hörner haben, die der Auen dagegen fehlen (ähnlich dem Hornstatus der meisten Mufflons, die aus Sardinien stammen).
- Rassen, bei denen beide Geschlechter hornlos sind (Mehrheit der Hausschafrassen).

Dennoch fallen viele Schafrassen nicht in diese drei Kategorien. Bei einigen Rassen, wie z.B. dem Bündner Oberländer Schaf oder auch bei den aus Korsika stammenden Mufflons, sind die Böcke immer gehörnt und die Auen entweder hornlos (engl. polled) oder gehörnt. Bei anderen Rassen, z.B. Altamura aus Italien, ist das Gegenteil der Fall. Die Auen sind stets gehörnt und die Böcke haben zum Teil keine Hörner. Schliesslich gibt es einige Rassen, bei denen das Vorkommen von Hörnern bei beiden Geschlechtern variiert, z.B. bei den Pramenkaschafen aus den Balkanländern oder dem überwiegend in Deutschland und Österreich beheimateten Waldschaf.

Normalerweise tragen Schafe zwei Hörner, vereinzelt jedoch auch mehr. Die sogenannte Vielhornigkeit (Polyzeratie) wurde bereits während der Jungsteinzeit ca. 6000 v. Chr. bei Schafen aus Catalhöyük in der heutigen Türkei beobachtet. Zu den seltenen vier- bzw. mehrhörnigen (polyzeraten) Schafrassen gehören z.B. die Jakobschafe. Ein prominentes Beispiel für ein mehrhörniges Shetlandschaf war ein Bock, der vom früheren US-Präsidenten Thomas Jefferson Anfang des 19. Jahrhunderts vor dem Weissen Haus gehalten wurde. Auch die Damarschafe in Namibia sind vierhörnig.

Ein weiteres wichtiges und zusätzlich komplizierendes Merkmal des Hornphänotyps bei Schafen ist die Entwick-



**Vielhornigkeit bei Ziegen (Bild) und Schafen kann verschiedene Lid- und Brauenanomalien zur Folge haben.** Les chèvres (illustration) comme les moutons polycères souffrent parfois d'anomalies des paupières et des sourcils. (Quelle/Source: «Analysis of Polycerate Mutants Reveals the Evolutionary Co-option of HOXD1 for Horn Patterning in Bovidae» Molecular Biology and Evolution, msab021)

lung von sogenannten Stummelhörnern, die geschlechts- und rasseabhängig ist. Stummelhörner treten entweder als Hornkrusten (Ausstülpungen aus dem Schädel, die Hörnern ähneln, jedoch oft weniger als 2.5 cm gross und mit Haut bedeckt sind) oder als Wackelhörner (kleiner als normale Hörner und oftmals lose beweglich sowie unregelmässig geformt auf. Stummelhörner sind bei Rassen, bei denen die Böcke gehörnt und die Auen hornlos sind, bekannt (z.B. bei weiblichen Tieren von einigen Merino-Rassen und der Rasse Rambouillet). Im Gegensatz dazu werden bei Rassen, bei denen beide Geschlechter hornlos sind (z. B. Shropshire und Suffolk), sowohl bei männlichen als auch bei weiblichen Tieren oftmals Vertiefungen im Schädel im Bereich der Hornanlagen beobachtet oder wie z.B. beim Merinolandschaf zeigen Böcke zum Teil Hornstummeln.

### Unterschiedliche Genetik des Hornwachstums

In Anbetracht der vielen Facetten der Hornausprägung ist es nachvollziehbar, dass die Genetik des Hornwachstums beim Schaf im Vergleich zum Rind und zur Ziege weitaus komplizierter ist. Beim Rind wird der Hornstatus hauptsächlich von zwei bekannten Genvarianten kontrolliert, die einerseits die Entstehung hornloser Rassen keltischen Ursprungs, z.B. Angus, begründen und andererseits das verbreitete Vorkommen hornloser Tiere innerhalb der Rassen friesischen Ursprungs, z.B. Holstein, erklären. Bei Ziegen kennt man nur eine Genvariante, die das Hornwachstum unterbindet. Allerdings wird die Zucht auf Hornlosigkeit bei Ziegen durch die Zusammenhänge zwischen der dominant vererbten Hornlosigkeit und der bei weiblichen Tieren rezessiv damit verbunden Intersexualität erschwert. Das Auftreten von züchterisch wertlosen hornlosen Zwittern kann nur vermieden werden, wenn genetisch hornlose Tiere mit gehörnten Tieren gepaart werden. Als Ergebnis einer Zusammenarbeit zwischen den Universitäten Bern und Giessen können hornlose Zwitter in Zweifelsfällen mittlerweile immerhin mit Hilfe eines Gentests identifiziert werden.

Aufgrund verschiedener Kreuzungsversuche beim Schaf wird vermutet, dass sich Hörner bei männlichen Tieren

generell dominant und bei weiblichen rezessiv vererben. Die komplexe Vererbung mit wahrscheinlich mehreren Varianten an verschiedenen Genorten macht die Zucht auf Hornlosigkeit, ein auch bei Schafen oftmals erwünschtes Merkmal, allein anhand des Hornstatus mühsam. Bislang wurde beim Schaf nur eine Genvariante im RXFP2-Gen als Ursache für die angeborene Hornlosigkeit in zahlreichen Rassen bestimmt. Studien der Universität Bern und der Universität Giessen kamen nicht bei allen Schafrassen zu übereinstimmenden Ergebnissen bezüglich dieser Genvariante. Die Genetik der Hörner bei Rassen wie dem Dorperschaf, Kamerunschaf, Krainer Steinschaf, Alpinen Steinschaf und Waldschaf bleibt deshalb nach wie vor unklar.

### Eine andere Genvariante erklärt die Vielhornigkeit beim Schaf

Natürliche Mutationen, die die Anzahl, Form oder Position der Hörner beeinflussen, bieten eine wertvolle Möglichkeit weitere Gene, die auf die Hornausprägung wirken, zu entdecken. Die Polyzeratie wurde jüngst in mehreren Schafrassen weltweit genetisch erforscht. Vor



**Rhönsschafe beider Geschlechter sind unbehornt.** Tant les béliers que les brebis de la race Rhönsschaf sont mottes. (Photo: G. Lühken)

rund fünf Jahren konnte der verantwortliche Ort im Genom des Schafs in unabhängigen Studien übereinstimmend lokalisiert werden, ohne jedoch die ursächliche Genmutation zu identifizieren. Eine im Februar 2021 veröffentlichte Studie zeigt nun erstmals, dass alle analysierten vier- bzw. mehrhörnigen Schafe eine bestimmte genetische Variante im HOXD1-Gen tragen. Es gibt dabei sowohl reinerbige als auch mischerbige Tiere mit mehr als zwei Hörnern in allen untersuchten Schafassen.

### Seltene vierhörnige Ziegen

Im Gegensatz zu den verschiedenen vier- bzw. mehrhörnigen Schafassen sind solche Ziegen, ursprünglich gehäuft in den Alpen beschrieben, heutzutage nur äusserst selten anzutreffen. Die älteste Aufzeichnung stammt aus dem Jahr 1786, als ein vierhörniger Ziegenbock aus der Stadt Bulle im Kanton Freiburg in das idealisierte Dorf «Hameau de la Reine» der französischen Königin Marie-Antoinette in Versailles gebracht wurde. Die aktuelle Studie zu mehrhörnigen Schafen hat gezeigt, dass auch bei diesen Ziegen eine dasselbe Gen betreffende Variante vorkommt. Insgesamt wurden 77 vierhörnige Ziegen aus verschiedenen Regionen Europas beprobt und alle als mischerbige Träger dieser Genvariante bestimmt. Bei hornlosen und regulär mit zwei Hörnern versehenen Ziegen kommt diese Variante nicht vor. Die Mutation führt zusätzlich zum Verlust eines benachbarten Gens, was bei Ziegen hochwahrscheinlich zu lebensunfähigen Embryonen führt. Das heisst, die Verpaarung von zwei vier- bzw. mehrhörnigen Ziegen führt in rund einem Viertel zu nicht lebensfähigen Nachkommen, die vermutlich bereits während der frühen Embryonalentwicklung unbemerkt absterben.

### Abstand der Hörner und Lidspalten bei polyzeraten Schafen und Ziegen

Zusätzlich zu den genetischen Analysen der Vielhörnigkeit wurde die Horntopologie, also die Lage der Hörner, bei zahlreichen Schaf- und Ziegenschädeln aus verschiedenen Populationen bestimmt. Hierbei wurden der Zusammenhang zwischen den individuellen Genotypen und der Hornansatzstelle bei mehrhörnigen Tieren betrachtet und die Abstände sowohl zwischen den seitlichen als auch zwischen den oberen Hörnern bei mehreren Schafböcken gemessen. Die Ergebnisse zeigten einen signifikanten Unterschied und bestätigten die Vermutung einer Aufspaltung der Hornknospen bei mehrhörnigen Tieren. Die Aufspaltung kann einerseits zu einer deutlicheren Trennung der beiden Hörner auf einer Seite oder zu verschmolzene Hörner führen.

Zudem konnte ein weiterer Zusammenhang festgestellt werden: Interessanterweise gibt es neben der vermehrten Anzahl an Hörnern sowohl bei Schafen als auch bei Ziegen sehr vereinzelt damit verbundene Anomalien an den Brauen und Lidern beider Augen. Häufig sind die Augenbrauen bei mehrhörnigen Schafen verkürzt. Zudem treten sporadisch asymmetrische Augenliddefekte auf, bei denen entweder ein grosser Teil des Augenlids fehlt oder teils nur eine kleine Einkerbung vorhanden ist. Das Vorhandensein von abnorm langen Haaren auf dem Augenlid wurde nur bei mehrhörnigen Ziegen beobachtet.

### Mehrfach gehörnte Schafe und Ziegen als Modell für die Grundlagenforschung

Zusammenfassend konnte geklärt werden, dass für das Auftreten von überzähligen Hörnern bei beiden Tierarten zwei unterschiedliche Mutationen im HOXD1-Gen verantwortlich sind. Dieses Gen ist als sogenanntes Musterungs- bzw. Architekten-Gen bekannt und eines von insgesamt 39 HOX-Genen. HOX-Gene bestimmen während der Entwicklung des Embryos die genaue Körpergliederung aller Tiere mit spiegelbildlich zueinander aufgebauten linken und rechten Körperhälfte. Die Mutationen sind bei Schafen und Ziegen unterschiedlich, führen aber in beiden Fällen zu einer Verringerung der Menge des vom Gen produzierten Proteins im Bereich der embryonalen Hornknospenanlagen. In diesem speziellen Fall scheint die Funktion des HOXD1-Gens notwendig zu sein, um die Ausdehnung einer Fläche zu definieren, die festlegt, wo genau auf beiden Seiten des Kopfes die Hörner wachsen können. Wenn dieses Gen mutiert ist, dehnen sich die Grenzen dieser Fläche aus, was zu einer Aufspaltung der Hornknospen während der Embryonalentwicklung und schliesslich zum Wachstum überzähliger Hörner führt. Diese eine neue und unerwartete Funktion eines Architekten-Gens hat sich wahrscheinlich speziell mit dem Auftreten der Stirnwaffenträger entwickelt und ermöglicht ihnen, den genauen Ort sowie die Anzahl der Hörner zu definieren, an dem diese so charakteristischen Organe entstehen.

### Die Autoren des Artikels / Les auteurs de cet article



**Gesine Lühken, Prof. Dr. med. vet., ist Professorin für Haustier- und Pathogenetik am Institut für Tierzucht und Haustiergenetik der Justus-Liebig-Universität Giessen DE.**

Gesine Lühken, Prof. Dr. med. vet., est professeure de génétique des animaux domestiques et de pathogénétique à l'Institut de sélection animale et de génétique des animaux domestiques de l'Université Justus-Liebig de Giessen (Allemagne).



**Cord Drögemüller, Prof. Dr. med. vet., ist Professor für Nutztiergenetik am Institut für Genetik an der Vetsuisse-Fakultät der Universität Bern.**

Cord Drögemüller, Prof. Dr. med. vet., est professeur de génétique des animaux de rente à l'Institut de génétique de la faculté Vetsuisse de l'Université de Berne.

# Pourquoi les moutons et les chèvres ne sont-ils pas tous bicornes?

Gesine Lühken / Cord Drögemüller

Sous la direction d'Aurélien Capitan, de l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE), des généticiens des universités de Berne et de Genève, en collaboration avec l'EPFL à Lausanne et plusieurs autres groupes de chercheurs répartis sur quatre continents, ont étudié la formation des cornes et la diversité de celles-ci chez les petits ruminants. Les résultats, en particulier pour les moutons et les chèvres, sont récapitulés ci-après.

## Les cornes dans le règne animal

Dans le courant de l'évolution, parmi les artiodactyles (bi-ongulés) les ruminants supérieurs en particulier ont développé une grande variété de cornes ou d'organe crâniens ossifiés, désignés en biologie comme armes frontales (angl.: headgear). En dépit de leur grande diversité, ces organes remarquables ont cependant des points communs: ils sont issus de cellules germinales de la crête neurale et sont constitués de structures paires situées sur les os du front. Les cornes de formes variables des porteurs d'armes frontales (Pecora) présentent une base osseuse recouverte de kératine (enveloppe de corne) chez les bovins, les ovins, les caprins et le «pronghorn» (antilope d'Amérique). Chez les cervidés, la ramure est constituée de formations osseuses coniques, alors que les ossicones des girafes sont pour leur part recouverts de peau. Les cornes ou armes frontales peuvent servir à en imposer, à lutter pour le droit de s'accoupler ou pour la défense. Dans presque tous les cas, elles sont plus grandes chez les mâles que chez les femelles. Pour certaines espèces, comme pour presque tous les cervidés, un grand nombre d'antilopes et l'okapi, la femelle ne porte pas d'armes frontales.

## Diversité des statuts en matière de cornes et du nombre de cornes chez le mouton

À l'inverse des bovins et de la chèvre, le statut en matière de cornes chez le mouton est influencé par le sexe et varie d'une race à l'autre. C'est pourquoi on a tenté, dès 1940 déjà, de répartir les races de moutons en trois types:

- races pour lesquelles les animaux des deux sexes portent des cornes, mais où les cornes des brebis sont beaucoup plus petites (comme chez les moutons sauvages d'Asie centrale);



Ziegen mit vier oder mehr Hörnern sind sehr selten anzutreffen. On ne rencontre que rarement des chèvres portant quatre cornes ou plus. (Photo: A. Schumann, Asendorf DE)

- races pour lesquelles les béliers ont des cornes bien développées, mais qui manquent aux brebis (semblable à la plupart des mouflons, qui proviennent de Sardaigne);
- races pour lesquelles les deux sexes sont sans cornes (majorité des races de moutons domestiques).

Néanmoins, beaucoup de races de moutons ne peuvent être classées dans aucune de ces trois catégories. Pour certaines, comme pour le mouton de l'Oberland grison ou pour les mouflons de Corse, les béliers sont toujours cornus et les brebis soit mottes (angl.: polled) soit cornues. Pour d'autres races, comme l'Altamura d'Italie, le contraire est vrai: les femelles sont toujours cornues alors que les béliers n'ont parfois pas de cornes. Enfin, il existe quelques races chez lesquelles la présence de cornes varie pour les deux sexes, par exemple les moutons d'Istrie, dans les Balkans, ou le mouton Waldschaf, que l'on trouve pour l'essentiel en Allemagne et en Autriche.

Normalement, les moutons possèdent deux cornes. Parfois cependant davantage. L'existence d'animaux polycères (possédant plus de deux cornes) est attestée depuis le néolithique, environ 6 000 ans avant J.C., sur des moutons de Çatal Höyük, dans la région de l'actuelle Turquie. Parmi les rares races de moutons à quatre cornes ou polycères, on dénombre le mouton de Jacob. L'un des exemples les plus célèbres de mouton des Shetland polycère était un bouc gardé devant la Maison Blanche par l'ancien président des Etats-Unis, Thomas Jefferson, au début du 19<sup>ème</sup> siècle. Les moutons Damara en Namibie possèdent également quatre cornes.



**Vielhornigkeit bei Ziegen und Schafen (Bild) kann verschiedene Lid- und Brauenanomalien zur Folge haben.** Les chèvres comme les moutons (illustration) polycères souffrent parfois d'anomalies des paupières et des sourcils. (Quelle/Source: «Analysis of Polycerate Mutants Reveals the Evolutionary Co-option of HOXD1 for Horn Patterning in Bovidae» Molecular Biology and Evolution, msab021)

Une autre caractéristique importante et néanmoins complexe du phénotype de corne chez les moutons est le développement de moignons de cornes en fonction du sexe et de la race. Les moignons de cornes apparaissent souvent sous la forme de croûtes cornées (excroissances du crâne, rappelant des cornes, toutefois souvent inférieures à 2.5 cm et recouvertes de peau) et de cornes branlantes (plus petites que des cornes normales et souvent non soudées au crâne et de forme irrégulière). On connaît les moignons de cornes des races dont les béliers sont cornus et les brebis mottes (p.ex. les brebis de quelques races Mérinos et de la race Rambouillet). Contrairement à cela, on constate sur les races pour lesquelles les deux sexes sont mottes (p.ex. Shropshire et Suffolk), qu'aussi bien les mâles que les femelles présentent souvent des dépressions dans le crâne au niveau des ébauches de cornes ou, comme chez le Mérinos du pays, que les béliers présentent parfois des moignons de cornes.

### Diversité génétique de la croissance des cornes

Compte tenu des nombreuses facettes de l'expression des cornes, il est compréhensible que la génétique de la croissance des cornes chez le mouton s'avère nettement plus compliquée que chez la vache ou la chèvre. Chez la vache, le statut en matière de corne est principalement contrôlé par deux variantes génétiques connues, qui expliquent d'une part l'apparition de races sans cornes d'origine celtique, comme l'Angus, et d'autre part la présence répandue d'animaux mottes au sein des races d'origine frisonne comme la Holstein. Chez les chèvres, on ne connaît qu'une seule variante génétique bloquant la croissance des cornes. Cependant, la sélection en fonction de l'absence de cornes chez les chèvres est compliquée en raison des liens entre l'absence de cornes transmise de manière dominante et l'intersexualité qui y est liée chez les animaux femelles. L'apparition d'intersexes mottes, sans valeur zootechnique, ne peut être prévenue qu'en accouplant des animaux génétiquement mottes avec des ani-

maux cornus. Il est toutefois désormais possible, en cas de doute, d'identifier les intersexes mottes au moyen d'un test génétique, fruit d'une collaboration entre les universités de Berne et de Giessen.

Compte tenu des différents essais de croisement chez le mouton, on estime que les cornes se transmettent généralement de manière dominante chez le mâle et récessive chez la femelle. L'hérédité complexe, probablement basée sur différentes variantes en divers locus géniques, complique considérablement la sélection en fonction de l'absence de cornes – caractéristique souvent aussi recherchée chez le mouton – sur la base du seul statut de cornes. A ce jour, seule une variante génétique a été déterminée dans le gène RAFP2 à titre de cause de l'absence héréditaire de cornes de nombreuses races. Des études des universités de Berne et de Giessen ne sont pas arrivées à des résultats concordants pour toutes les races en ce qui concerne cette variante génétique. La génétique des cornes chez les races comme le Dorper, le mouton du Cameroun, le Krainer Steinschaf ou le Waldschaf demeure ainsi mystérieuse à ce jour.

### Une autre variante génétique pour les moutons polycères

Les mutations naturelles qui influent sur le nombre, la forme et la position des cornes offrent une précieuse possibilité de découvrir d'autres gènes agissant sur l'expression des cornes. Des récentes études à l'échelle mondiale se sont intéressées à plusieurs races de moutons polycères. D'autres études indépendantes ont aussi réussi, il y a environ cinq ans, à localiser de manière concordante le locus responsable dans le génome du mouton, sans toutefois pouvoir identifier la mutation causale. Une étude publiée en 2021 montre pour la première fois que tous les moutons possédant quatre ou plusieurs cornes étudiés portent une variante génétique définie sur le gène HOXD1. Il existe pour cela aussi bien des animaux homozygotes que des animaux hétérozygotes avec plus de deux cornes dans toutes les races de moutons étudiées.

## Rares chèvres à quatre cornes

Contrairement aux différentes races de moutons à quatre ou plusieurs cornes, de telles chèvres, apparemment fréquentes jadis dans les Alpes, ne sont plus que rarement décrites actuellement. La description la plus ancienne date de l'année 1786, lorsqu'un bélier à quatre cornes de Bulle avait été déménagé dans le «Hameau de la Reine», village idéalisé de la Reine de France Marie-Antoinette à Versailles. L'étude actuelle sur les moutons à plusieurs cornes a montré que l'on trouve également cette même variante génétique chez les chèvres. Au total, 77 chèvres à quatre cornes de différentes régions d'Europe ont été échantillonnées et toutes reconnues comme porteuses hétérozygotes de cette variante génétique. Cette variante n'apparaît pas chez les chèvres mottes ou portant deux cornes. La mutation entraîne en sus la perte du gène voisin ce qui, chez les chèvres, entraîne très probablement la formation d'embryons non viables. Cela signifie que l'accouplement de deux chèvres à quatre ou plusieurs cornes entraîne dans environ un tiers des cas des descendants non viables, qui périssent probablement de manière inaperçue au stade embryonnaire précoce.

## Distance entre les cornes et la fente palpébrale chez les races de moutons et de chèvres polycères

En sus des analyses génétiques relatives à la présence de cornes multiples, l'étude s'est intéressée à la topologie des cornes, soit la position des cornes, sur un grand nombre de crânes de moutons ou de chèvres de différentes populations. Pour cela, on a pris en considération le lien entre les génotypes individuels et l'attache de la corne chez les animaux polycères ainsi que les distances aussi bien entre les cornes latérales qu'entre les cornes supérieures de différents béliers. Les résultats ont montré une différence significative et confirmé la suspicion d'une scission des bourgeons de cornes chez les animaux polycères. La scission peut aussi bien entraîner une séparation claire des deux cornes que l'apparition de cornes fusionnées.

Un autre lien intéressant a été relevé: outre le nombre accru de cornes aussi bien chez les moutons que chez les chèvres, on constate de manière très rare des anomalies liées au niveau des sourcils et des paupières des deux yeux. Les sourcils des moutons polycères sont souvent plus courts, et on observe sporadiquement des défauts de paupières non symétriques où soit manque une grande partie de la paupière, soit on constate une légère encoche. La présence de poils anormalement longs sur la paupière n'a été observée que chez les chèvres polycères.

## Moutons et chèvres polycères comme modèle pour la recherche fondamentale

En résumé, on a constaté que deux mutations différentes dans le gène *HOXD1* étaient responsables de l'apparition de cornes surnuméraires chez les deux espèces. Ce gène est connu comme étant un gène de structure et d'architecture, comptant au nombre des 39 gènes *HOX*. Les

## Come mai non tutti gli ovicapri hanno due corna?

I piccoli ruminanti presentano una grande varietà di corna o appendici ossee della parte frontale del cranio, utilizzate a scopo difensivo o per imporsi.

Recentemente, alcuni ricercatori in Francia, nonché diversi altri gruppi di ricerca di quattro continenti, hanno studiato lo sviluppo delle corna e le loro varietà in ovini e caprini. A differenza dei bovini e dei caprini, lo stato delle corna degli ovini è influenzato dal sesso e varia secondo la razza. Di norma, le pecore hanno due corna, occasionalmente però, è possibile che ce ne siano anche di più. L'esistenza di questi animali con più di due corna, definiti «policerati», è stata descritta sin dall'antichità. Tra le rare razze ovine a quattro o più corna (policerati) figurano ad esempio le pecore Giacobbe. Tenuto conto delle molteplici sfaccettature che definiscono la struttura delle corna, è comprensibile che la genetica responsabile della crescita di corna negli ovini sia molto più complessa che nei bovini e nei caprini. A seguito di diversi tentativi di incrocio nelle pecore, si presume che le corna siano generalmente ereditate in modo dominante nei maschi e in modo recessivo nelle femmine.

L'eredità complessa e la probabilità di varianti multiple in diverse posizioni dei geni rendono difficile allevare specie senza corna - una caratteristica spesso auspicata anche per gli ovini - basandosi unicamente sullo stato delle corna. A tutt'oggi, un'unica variante genetica del gene *RXFP2* è stata identificata negli ovini come causa dell'assenza congenita di corna in molte razze, tuttavia, non in tutte le razze ovine e ciò spiega lo stato delle corna degli animali. La genetica delle corna in razze come la Dorper, la pecora del Camerun, la Plezzana, la pecora della roccia alpina e la pecora della foresta, rimane pertanto poco chiara. Recentemente si è scoperto che la presenza di corna in soprannumero negli ovicapri è causata da due mutazioni differenti che interessavano lo stesso gene *HOXD1*. Tutte le pecore a quattro o più corna sono portatrici del gene mutato in forma ereditaria dominante. In tutte le razze ovine esaminate ci sono sia pecore omozigoti sia eterozigoti, che presentano più di due corna. Per contro, le capre con quattro corna sono solo eterozigoti, e la prole omozigote non è vitale. Per questo motivo, si spiegherebbe l'esistenza di varie razze di pecore a quattro corna, ma la presenza unicamente sporadica di capre con quattro corna.

genesi di questo gruppo determinano, durante l'evoluzione dell'embrione, la struttura precisa dell'organismo di tutti gli animali con due metà di corpo destre e sinistre simmetriche. Le mutazioni non sono le stesse nei moutons et chez les chèvres, entraînent cependant dans les deux cas une réduction de la quantité de la protéine produite par le gène dans la zone des ébauches de bourgeons de corne embryonnaires. Dans ce cas particulier, la fonction du gène *HOXD1* semble nécessaire pour délimiter l'extension d'une surface qui définit où les cornes peuvent croître des deux côtés du crâne. Si ce gène a muté, les délimitations de cette surface s'étendent, ce qui conduit à une scission des bourgeons de cornes durant le développement embryonnaire et, en fin de compte, à la croissance de cornes surnuméraires. Cette nouvelle fonction inattendue d'un gène architecte s'est probablement développée spécialement avec l'apparition des porteurs d'armes frontales et leur permet de définir le lieu précis et le nombre de cornes où apparaissent ces organes si caractéristiques.