

Aktuelles zur Genetik der Ziegenmilch

Heidi Signer-Hasler / Erika Bangerter / Cord Drögemüller

Seit der vor 2 Jahren erfolgten Umstellung der Abstammungskontrolle auf SNP-Daten werden routinemässig Zusatztests für züchterisch interessante Merkmale durchgeführt und im CapraNet ausgewiesen. Dieser Artikel liefert eine aktuelle Übersicht zur Verbreitung der bislang bekannten Allele mit Einfluss auf den Eiweiss- und Fettgehalt in der Milch und zeigt auf, wie unterschiedlich die Situation in den verschiedenen Schweizer Herdebuchrassen ist.

Erste Zwischenbilanz

Nachdem im Jahr 2020 die Abstammungskontrolle vom Schweizerischen Ziegenzuchtverband (SZZV) auf SNP-Daten umgestellt wurde, fallen bei der Genotypisierung darüber hinaus auch Ergebnisse für Tests zu züchterisch interessanten Merkmalen (Eiweiss- und Fettgehalt der Milch, Scrapie-Empfänglichkeit und genetische Hornlosigkeit) an. Im Forum Kleinwiederkäuer 3 | 2021 (Seite 16) wurden diese vier Zusatztests detailliert vorgestellt und es wurde zudem aufgezeigt, wie die seitdem auch im CapraNet deklarierten Angaben für Zuchtentscheidungen genutzt werden können.



Bei den Capra Grigia wurde ein bisher unbekanntes Alpha-S1-Kasein-Allel entdeckt. Chez les chèvres Capra Grigia, on a découvert un allèle de caséine alpha S1 inconnu à ce jour. (Photo: M. Federer)

Unter Berücksichtigung der Daten von 1 894 Ziegen aus 11 verschiedenen in der Schweiz gehaltenen Rassen (Tabelle 1, Seite 7) werden in den folgenden Abschnitten die bisherigen Ergebnisse der beiden Gentests mit Bedeutung für die Produktqualität der Milch vorgestellt. Dabei wird dargestellt, wie die aktuelle Situation innerhalb der einzelnen Rassen ist und der Züchterschaft anhand von Beispielen aufgezeigt, welchen Einfluss die verschiedenen Genotypen auf die Gehalte in der Ziegenmilch haben können.

Alpha-S1-Kasein: Der entscheidende Genotyp

Die Milcheiweisse werden in Kaseine und Molkenproteine aufgeteilt. In der Ziegenmilch machen die Kaseine rund 80% des Milcheiweisses aus. Die verschiedenen Allele legen fest, wie viel Alpha-S1-Kasein in der Milch einer Ziege gebildet wird und wurden aufgrund dieser Wirkung in stark, mittel, schwach und null kategorisiert. Eine Doktorarbeit an der ETH hat vor 20 Jahren gezeigt, dass die Allele aus der ersten Kategorie «stark» zu vergleichsweise hohen Alpha-S1-Kasein-Gehalten (3,5 g/l) in der Ziegenmilch führen. Für die Allele der Kategorie «mittel» werden Alpha-S1-Gehalte in der Milch von 1,1 bis 1,7 g/l angegeben und für die Allele mit «schwacher» Expression liegen die Gehalte bei 0,45 g/l. Das unerwünschte Allel o hat zur Folge, dass gar kein Alpha-S1-Kasein gebildet wird.

Der individuelle Genotyp für das Alpha-S1-Kasein-Protein wird mit zwei Grossbuchstaben dargestellt. Da jedes Tier jeweils ein Allel vom Vater und ein Allel von der Mutter geerbt hat, besteht ein Genotyp immer aus zwei Allelen sprich zwei Buchstaben (z.B. BE für eine Ziege aus der Verpaarung BB x EE). Zur vereinfachten Interpretation wird neben den zwei Alpha-S1-Kasein-Allelen, die ein Tier trägt, im CapraNet in der Klammer dahinter mit Plus- und Minus-Zeichen angegeben, ob diese zu einem höheren (++) , einem mittleren (+-) oder einem tieferen (--) Eiweissgehalt in der Milch führen (z.B. AB (++) / Bo (+-) / EF (--)). Diese Information kann züchterisch genutzt werden.

Insgesamt konnten sechs verschiedene Alpha-S1-Kasein-Allele, darunter fünf zuvor bereits in der Schweiz nachgewiesene (A, B, E, F, o) sowie ein bisher nur bei Tieren der Rasse Capra Grigia beobachtetes neues Allel (N), in unterschiedlicher Häufigkeit festgestellt werden. Im Rahmen eines aktuell an der Universität Bern laufenden Forschungsprojekts wird das hochwahrscheinliche Auftreten von weiteren bislang unbekanntem Allelen an diesem Genort untersucht. Die Problematik, dass in gut 9,5% der bislang mit dem neuen SNP-Chip untersuchten Tiere kein Alpha-S1-Kasein-Genotyp bestimmt werden konnte, soll mittels Genomsequenzierungen ausgewählter Ziegen näher untersucht werden.

Tabelle 1: Übersicht über die Anzahl berücksichtigter Tiere pro Rasse

Tableau 1: Vue d'ensemble du nombre d'animaux pris en compte par race

Rasse Race	Kürzel Abréviation	Herdebuch Herd-book	Anzahl Tiere mit / Nombre d'animaux avec		
			SNP-Typisierung typage SNP	Alpha-S1-Kasein Genotypen génotypes de caséine alpha S1	DGAT1-R396W Genotypen génotypes DGAT1- R396W
Gämsfarbige Gebirgsziege Chèvre Alpine chamoisée	GG	SZZV	526	495	450
Saanenziege Chèvre Gessenay	SA	SZZV	383	344	373
Toggenburgerziege Chèvre du Toggenbourg	TO	SZZV	328	302	323
Appenzellerziege Chèvre d'Appenzell	AP	SZZV	33	24	33
Bündner Strahlenziege Chèvre Grisonne à raies	BS	SZZV	276	258	268
Nera Verzasca	NV	SZZV	56	52	53
Pfauenziege Chèvre Paon	PF	SZZV	56	52	53
Walliser Schwarzhalsziege Chèvre Col noir du Valais	SH	SZZV	82	65	80
Burenziege Chèvre Boer	BU	SZZV	58	28	57
Capra Grigia	CG	CGS	48	46	45
Stiefelgeiss Chèvre Bottée	ST	SGS	48	48	48
Total			1 894	1 714	1 783

Die Allele A und B wurden zuvor als vorteilhaft beschrieben, wogegen die Allele E als mittel bzw. F als schwach wirkend eingestuft worden sind. Dagegen gilt das Allel o als sehr ungünstig, da es die Funktion des Alpha-S1-Kasein-Gens unterbindet. Ob und welchen Effekt das erstmals entdeckte Allel N auf den Eiweissgehalt der Milch hat, lässt sich derzeit noch nicht beantworten.

Die beiden günstigen Allele (A und B) kommen in den Schweizer Rassen mit Allelfrequenzen kleiner als 20% eher selten vor. Das in der Literatur erwähnte ebenso als positiv wirkende C-Allel konnte bislang in keiner Schweizer Rasse beobachtet werden. Am häufigsten werden die Allele E und F, gefolgt von dem B-Allel beobachtet (Tabelle 2, Seite 8).

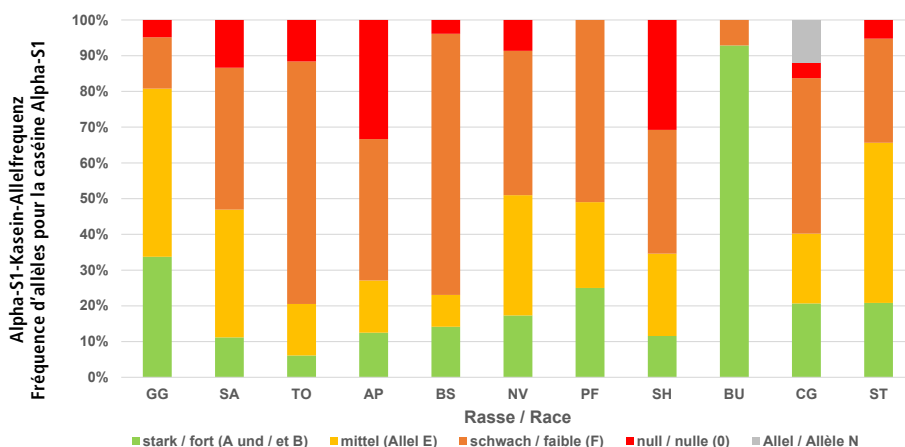
Die Frequenzen der Alpha-S1-Kasein-Allele der einzelnen Rassen unterscheiden sich deutlich voneinander (Abbildung 1, Seite 8). Bei den Ziegenrassen mit Schweizer Ursprung sind insbesondere die mittel und schwachen Allele (E und F) vorwiegend verbreitet. Den höchsten Anteil starker Allele (A und B) weisen die Gämsfarbigen Gebirgsziegen auf, wogegen bei den Appenzellerziegen die Häufigkeit des unerwünschten Allels o am höchsten ausfällt. Im Weiteren sticht die Burenziege heraus. Diese eigentlich nicht für die Milchproduktion genutzte Rasse weist mit Abstand die höchste Frequenz der starken Allele A und B

auf. Bei den Capra Grigia Ziegen konnte interessanterweise ein bisher unbekanntes seltenes Allel N festgestellt werden. Dieses belegt die Annahme, dass bei Tieren aus seltenen Rassen mitunter seltene Allele zu erwarten sind. Ob dieses weitere Allel jedoch einen Effekt auf den Milcheiweissgehalt hat, ist im Moment unklar. Insgesamt lassen sich aber in allen Rassen Tiere finden, die die züchterisch interessanten Allele tragen.

Bei den 1 714 untersuchten Ziegen der 11 Rassen mit Angaben zum Alpha-S1-Kasein wurden insgesamt 18 verschiedene Genotypen mit unterschiedlicher Häufigkeit bestimmt (Tabelle 3, Seite 11). Je nach Rasse kommen mehr oder weniger Tiere mit den erwünschten Genotypen vor. Insbesondere für Betriebe mit Käseproduktion lohnt es sich, bei der Wahl von Zuchtböcken den Alpha-S1-Kasein-Genotyp zu berücksichtigen. Dabei sollten Böcke mit dem Allel o oder mittleren und schwachen Allelen (E, F) nur restriktiv eingesetzt werden. Insbesondere bei den mischerbigen Tieren, die das unerwünschte Allel o tragen, sollte für die Vermeidung von reinerbigen Nachkommen mit Genotyp oo darauf geachtet werden, dass diese nicht miteinander verpaart werden. Solche Ziegen wären züchterisch absolut unerwünscht und kommen zum Glück offenbar derzeit nicht (oder nur ganz selten) in der Schweiz vor. Es ist anzuraten, auch

Abbildung 1: Darstellung der Frequenz der Alpha-S1-Kasein-Allele nach Rassen

Illustration 1: Représentation de la fréquence des allèles de caséine alpha S1 par race



Züchterisch erwünschte Allele sind grün hervorgehoben, Allele mit mittlerer bzw. schwacher Wirkung gelb bzw. orange und ungünstige Allele rot. Grau dargestellt die bislang nur bei Capra Grigia entdeckte neue Variante N.

Les allèles recherchés en sélection sont mis en évidence en vert, les allèles à effet moyen ou faible en jaune ou orange et les allèles défavorables en rouge. Gris représente la nouvelle variante N, découverte jusqu'à présent uniquement chez la chèvre Capra Grigia.

F-Träger möglichst nicht miteinander zu kombinieren, da dieses schwache Allel im reinerbigen Zustand ebenfalls einen unterdurchschnittlichen Milcheiweissgehalt erwarten lässt. Grundsätzlich wäre eine bevorzugte Selektion der Allele A und B erstrebenswert, aber unter Berücksichtigung des Erhalts einer vitalen genetischen Vielfalt in den Rassen sollte dieses Vorhaben nur mittel- bis langfristig angestrebt werden, um einen Verlust wertvoller Genetik vorzubeugen.

Die bekannte Wirkung der Alpha-S1-Kasein-Allele konnten wir nun erstmals mit der Gegenüberstellung von individuellen Alpha-S1-Kasein-Genotypen und den Zuchtwerten zum Eiweissgehalt in der Milch exemplarisch für die Haupttrasse Gämbsfarbige Gebirgsziege in der Schweiz bestätigen. Für die übrigen Rassen liegen uns derzeit noch zu wenig Daten vor, insbesondere die Anzahl genotypisierter Tiere ist noch nicht ausreichend für eine abschliessende statistische Betrachtung. In Abbildung 2 (Seite 9) wird gezeigt, dass Tiere mit Alpha-S1-Kasein (++) einen signifikanten höheren Zuchtwert für den Eiweissgehalt im Vergleich zu den übrigen Tieren haben. Konkret heisst das, dass für die untersuchte Stichprobe der Rasse GG die Eiweissgehalte im Durchschnitt bei 3.09% (--),

3.17% (+-) und 3.35% (++) lagen und somit wie zu erwarten, die Wirkung der starken Allele eindeutig positiv zum Tragen kommt. Vom Trend her sehen diese Zahlen bei den bislang deutlich weniger umfangreich genotypisierten Toggenburgerziegen (2.95% (--), 3.01% (+-) und 3.11% (++) sehr ähnlich aus, was die zuvor ausgesprochene Zuchttempfehlung unterstreicht. Das Ergebnis der genomweiten Assoziationsstudie (GWAS), die wir erstmals mit SNP-genotypisierten Tieren mit Zuchtwerten durchgeführt haben, weist bei den Saanenziegen eindeutig auf einen signifikanten Einfluss der Genomregion der Kasein-Gene auf Chromosom 6 auf den Eiweissgehalt in der Milch hin. Dieses Beispiel illustriert eindrücklich das Potenzial der neu generierten SNP-Daten für die Forschung zur Identifikation weiterer relevanten genetischer Marker für verschiedene Merkmale.

Der positive Einfluss der starken Allele auf den Milcheiweissgehalt konnte, aufgrund der begrenzten Anzahl genotypisierter Tiere, bisher erstmals nur für die Gämbsfarbigen Gebirgsziegen eindeutig bestätigt werden. Alles in allem zeigen die bisherigen Auswertungen aber, dass dies höchstwahrscheinlich auch für die anderen Schweizer Rassen gilt und dass es sich lohnt, den Alpha-S1-Kasein-

Tabelle 2: Frequenzen der Alpha-S1-Kaseinallele bei 1714 Ziegen aller Rassen

Tableau 2: Fréquences des allèles de la caséine alpha-S1 chez 1714 chèvres de toutes les races

Allel	Wirkung Effekt	Gewichtung Pondération	Allelfrequenz über alle Rassen (%) Fréquence d'allèles dans toutes les races (%)
A	stark / fort	+	8.08
B	stark / fort	+	11.67
E	mittel / moyen	-	29.26
F	schwach / faible	-	41.80
0	null / nul	-	8.87
N	unbekannt / inconnu	?	0.32

Genotyp in der Zuchtarbeit zu berücksichtigen. Sobald auch in weiteren Rassen mehr Tiere mit SNP-Daten zur Verfügung stehen, sollte der angenommene Effekt des Alpha-S1-Kasein-Genotyps auf den Eiweissgehalt jeweils entsprechend überprüft werden.

**DGAT1-R396W:
Ein Faktor für den Fettgehalt in der Milch**

Das DGAT1-Gen bestimmt die Ausprägung eines Enzyms (Diacylglycerol O-Acyltransferase 1), das den Fettgehalt in der Milch wesentlich beeinflusst. In einer vorherigen Studie aus Frankreich wurde eine Variante

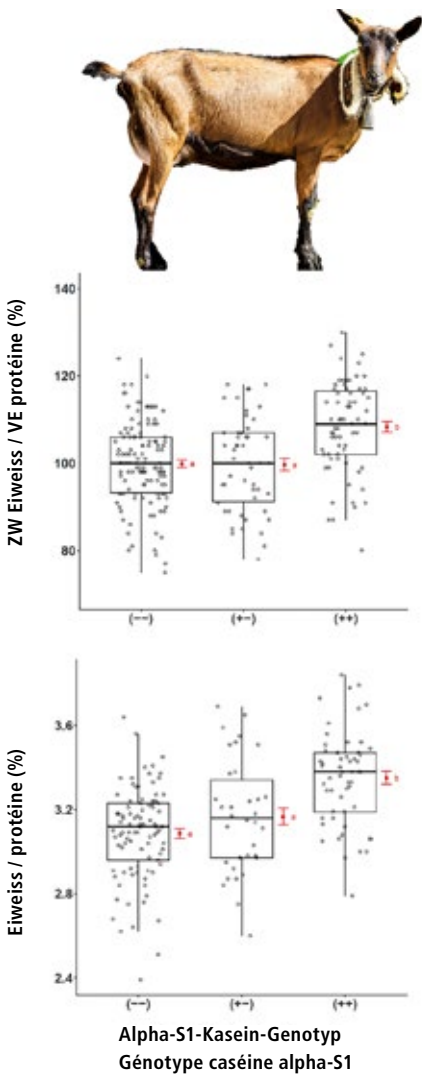
(R396W) in diesem Gen entdeckt, die den Fettgehalt bei Ziegenmilch wesentlich beeinflusst. Das Vorliegen des mit 7 bis 13 % relativ selten vorkommenden W-Allels resultiert in niedrigeren Milchfettgehalten in französischen Populationen von Gämbsfarbigen Gebirgsziegen bzw. Saanenziegen. Die Auswertung der nunmehr für elf in der Schweiz gehaltenen Ziegenrassen vorliegenden DGAT1-Genotypen zeigt, dass dieses unerwünschte Allel relativ selten und insgesamt in nur sechs Rassen (Gämbsfarbige Gebirgsziege, Saanenziege, Toggenburgerziege, Bündner Strahlenziege, Walliser Schwarzhalsziege und Stiefelgeiss) vorkommt (Abbildung 4, Seite 12). Die allermeisten Schweizer Ziegen weisen den erwünschten Genotyp RR (++) auf, wogegen die mischerbigen (RW (+-)) und reinerbigen (WW (--)) Träger des unvorteilhaften W-Allels selten bzw. nahezu gar nicht vorkommen. Die züchterische Beachtung des DGAT1-Genotyps ist somit einfach und vergleichsweise risikoarm in Bezug auf die Bewahrung der genetischen Vielfalt in den sechs betroffenen Rassen.

Von insgesamt 1 894 bislang mit dem SNP-Chip genotypisierten Tieren konnten die geschätzten Milchleistungszuchtwerte von insgesamt 531 DGAT1 genotypisierten Ziegen der drei Hauptrassen GG, SA und TO berücksichtigt werden. Die Abbildung 5 (Seite 13) zeigt, dass das Vorhandensein eines W-Allels im DGAT1-Gen mit einem tieferen Zuchtwert für Fettgehalt einhergeht.

Interessanterweise zeigte sich lediglich eine einzelne Saanenziege mit dem reinerbigen Genotyp WW (--) (Abbildung 4, Seite 12). Dieses Tier, inzwischen abgegangen, hat in neun Laktationen einen mittleren Milchfettgehalt von nur 2,54 % und einen mittleren Milcheiweissgehalt von 2,47 % erreicht und liegt somit deutlich unter dem Rassedurchschnitt von 3,17 % bzw. 2,87 %.

Die bisherigen Auswertungen sowie der Einzelfall untermauern, dass der negative Einfluss des W-Allels auf den Milchfettgehalt höchstwahrscheinlich auch für die Schweizer Rassen gegeben ist und sich die Berücksichtigung der Angaben bei der Zuchtarbeit lohnt. Daher wird bei der Auswahl von Zuchttieren empfohlen, vom Einsatz von Trägern mit einem oder zwei W-Allelen abzusehen und dabei insbesondere keine Tiere mit den Genotypen RW (+-) miteinander zu verpaaren, um dem Auftreten weiterer Ziegen mit dem Genotyp WW (--) vorzubeugen.

Abbildung / Illustration 2



Vergleich der drei Alpha-S1-Kasein-Genotypkategorien in Bezug auf den geschätzten Zuchtwert für Milcheiweiss (oben) und in Bezug auf die tatsächlichen Eiweissgehalte in der Milch bei Gämbsfarbigen Gebirgsziegen.

Comparaison des trois catégories de génotypes de caséine alpha S1 pour ce qui est de la valeur d'élevage estimée pour la protéine du lait (en haut) et des teneurs réelles en protéine dans le lait chez les chèvres de la race Alpine chamoisée.

Ausblick

Seit Einführung des neuen SNP-Chips zur Abstammungskontrolle bei Ziegen werden gleichzeitig individuelle Gentests durchgeführt, die ohne Zusatzaufwand nützliche Informationen liefern. Die Angaben aus diesen Tests präzisieren die Zuchtarbeit, insbesondere in Bezug auf Merkmale der Milchleistung und somit direkt auf die Produktqualität bei Betrieben mit Milcherzeugung für die Käseproduktion. Von den Angaben zu den Alpha-S1-Kasein- und DGAT1-Genotypen kann direkt profitiert werden.

Dank: Das Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) wird für die finanzielle Unterstützung dieses Projektes verdankt.

Actualités en matière de génétique du lait de chèvre

Heidi Signer-Hasler / Erika Bangerter / Cord Drögemüller

Depuis le passage du contrôle d'ascendance aux données SNP, il y a deux ans, des tests complémentaires sont effectués en routine pour certaines caractéristiques intéressantes en élevage et consignés dans CapraNet. Cet article fournit une vue d'ensemble actuelle de la distribution des allèles connus à ce jour ayant une influence sur la teneur en protéine et matière grasse du lait. Il souligne à quel point la situation varie au sein des différentes races du herd-book suisse.

Premier bilan intermédiaire

Le contrôle d'ascendance de la Fédération suisse d'élevage caprin (FSEC) étant passé aux données SNP en 2020, le génotypage génère depuis lors des résultats supplémentaires permettant de réaliser des tests sur des caractéristiques intéressantes au plan zootechnique (teneur en protéine et en matière grasse du lait, sensibilité à la tremblante ou absence génétique de cornes). Ces quatre tests supplémentaires ont été présentés en détail dans l'édition 3 | 2021 de Forum Petits Ruminants (page 16). L'article a par ailleurs montré comment ces indications, depuis lors également consignées dans CapraNet, peuvent être mises à profit pour les décisions d'élevage.



Gämsfarbige Gebirgsziegen: Die Milchrasse mit dem höchsten Anteil starker Alpha-S1-Kasein-Allele. Chèvres de race Alpine chamoisée: la race laitière avec la plus forte proportion d'allèles forts de caséine alpha-S1. (Photo: Institut für Genetik)

Se basant sur les données d'un total de 1 894 chèvres de 11 races gardées en Suisse (tableau 1, page 7), le présent article redonne les résultats obtenus jusqu'à présent pour les deux tests génétiques d'importance pour la qualité du produit qu'est le lait. Ce faisant, on veut présenter la situation actuelle au sein des différentes races et montrer aux éleveurs, à l'aide d'exemples, l'influence que peuvent avoir les différents génotypes sur les teneurs du lait de chèvre.

Se basant sur les données d'un total de 1 894 chèvres de 11 races gardées en Suisse (tableau 1, page 7), le présent article redonne les résultats obtenus jusqu'à présent pour les deux tests génétiques d'importance pour la qualité du produit qu'est le lait. Ce faisant, on veut présenter la situation actuelle au sein des différentes races et montrer aux éleveurs, à l'aide d'exemples, l'influence que peuvent avoir les différents génotypes sur les teneurs du lait de chèvre.

Caséine alpha S1: le génotype déterminant

Les protéines du lait se subdivisent en caséines et protéines du petit-lait. Dans le lait de chèvre, les premières font environ 80% des protéines totales. Les différents allèles déterminent la quantité de caséine alpha S1 produite dans le lait d'une chèvre et ont été catégorisés en fort, moyen, faible et nul en fonction de l'effet correspondant. Un travail de doctorat mené à l'EPFZ il y a 20 ans a montré que les allèles de la première catégorie «fort» entraînaient des teneurs relativement élevées en caséine alpha S1 (3,5 g/l) dans le lait de chèvre. Pour les allèles de la catégorie «moyen», les teneurs en alpha S1 du lait vont de 1,1 à 1,7 g/l, alors que les allèles de «faible» expression donnent des teneurs de 0,45 g/l. L'allèle 0 indésirable a pour conséquence qu'aucune caséine alpha S1 n'est produite.

Le génotype individuel pour la protéine de la caséine alpha S1 est représenté par deux lettres majuscules. Chaque animal héritant un allèle de son père et un allèle de sa mère, le génotype est toujours constitué de deux allèles, représentés par deux lettres (p.ex. BE pour une chèvre issue d'accouplement BB x EE). Pour simplifier l'interprétation, en plus des deux allèles de caséine alpha S1 portés par un animal, CapraNet indique entre parenthèses derrière ces allèles, à l'aide des signes plus et moins, s'ils entraînent une teneur en protéine élevée (++) , moyenne (+-) ou faible (--) dans le lait (p.ex. AB (++) / Bo (+-) / EF (--)). Cette information peut servir à des fins zootechniques.

Au total, six allèles différents de la caséine alpha S1, dont cinq déjà détectés auparavant en Suisse (A, B, E, F, o) ainsi qu'un nouvel allèle (N) observé jusqu'à présent uniquement chez les animaux de la race Capra Grigia, ont pu être constatés à des fréquences variables. Dans le cadre d'une étude actuellement en cours à l'Université de Berne,

Tabelle 3: Verteilung der 18 bekannten Alpha-S1-Kasein Genotypen pro Rasse

Tableau 3: Répartition des 18 génotypes connus de caséine alpha-S1 par race

Genotyp Génotype	Effekt Effet	GG	SA	TO	AP	BS	NV	PF	SH	BU	CG	ST
AA	(++)	30	4									
AB	(++)	67	5			5	1	2		11		
BB	(++)	19	11	4	1	5	4	3	3	14	1	
A0	(+-)	6	3									
AE	(+-)	28	4									3
AF	(+-)	35	7	4	1	10	3	7	4	1	2	
B0	(+-)		2	5	1	2			1		1	1
BE	(+-)	32	13	1			4	3	3		3	9
BF	(+-)	1	8	19	2	41	1	6	1	1	10	7
BN	(+?)										1	
EE	(--)	149	40	5			6	3	1			6
EF	(--)	74	109	65	2	46	15	16	10		12	16
EO	(--)	34	40	11	5		4		15		2	3
EN	(-?)										1	
FF	(--)	12	51	134	2	131	9	12	3	1	4	2
FO	(--)	8	47	54	10	18	5		24			1
FN	(-?)										8	
ON	(-?)										1	

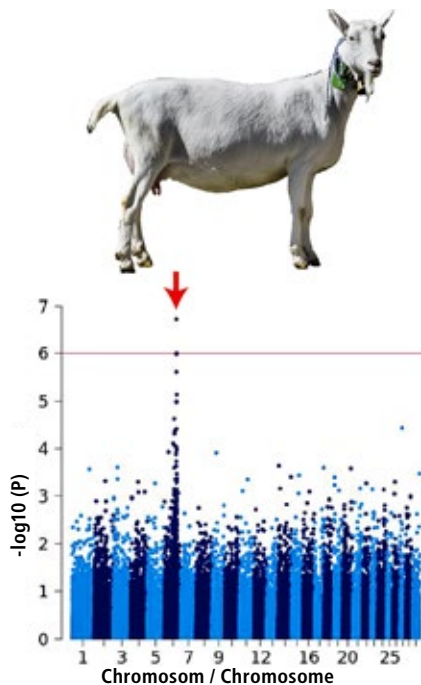
on examine l'apparition hautement probable d'autres allèles encore inconnus sur ce locus génétique. La problématique selon laquelle aucun génotype de caséine alpha S1 n'a pu être déterminé chez un peu plus de 9.5% des animaux étudiés jusqu'à présent à l'aide de la nouvelle puce SNP doit être étudiée plus en détail au moyen du séquençage du génome de chèvres en question.

Les allèles A et B ont été précédemment décrits comme favorables, tandis que les allèles E et F ont été classés comme moyennement efficaces et faiblement efficaces respectivement. Par contre, l'allèle o est considéré comme très défavorable, car il bloque la fonction du gène de la caséine alpha S1. On ne sait pas encore si l'allèle N, découvert récemment, a un effet sur la teneur en protéine du lait et, le cas échéant, lequel.

Les deux allèles favorables (A et B) sont plutôt rares parmi les races suisses, avec des fréquences alléliques inférieures à 20%. L'allèle C, également mentionné dans la littérature comme ayant un effet positif, n'a été observé jusqu'à présent dans aucune des races suisses. Les allèles E et F sont les plus fréquemment mis en évidence, suivis de l'allèle B (tableau 2, page 8).

Les fréquences des allèles de caséine alpha S1 diffèrent nettement d'une race à l'autre (illustration 1, page 8). Chez les races caprines d'origine suisse, on rencontre surtout les allèles moyens et faibles (E et F). La proportion d'allèles forts (A et B) est la plus élevée chez la chèvre Alpine chamoisée, alors que la fréquence de l'allèle indésirable o est la plus élevée chez la chèvre d'Appenzell. A noter que la chèvre Boer se distingue: cette race, qui n'est en fait pas utilisée pour la production laitière, présente de loin la fréquence la plus élevée d'allèles forts A et B. Chez la chèvre

Abbildung / Illustration 3

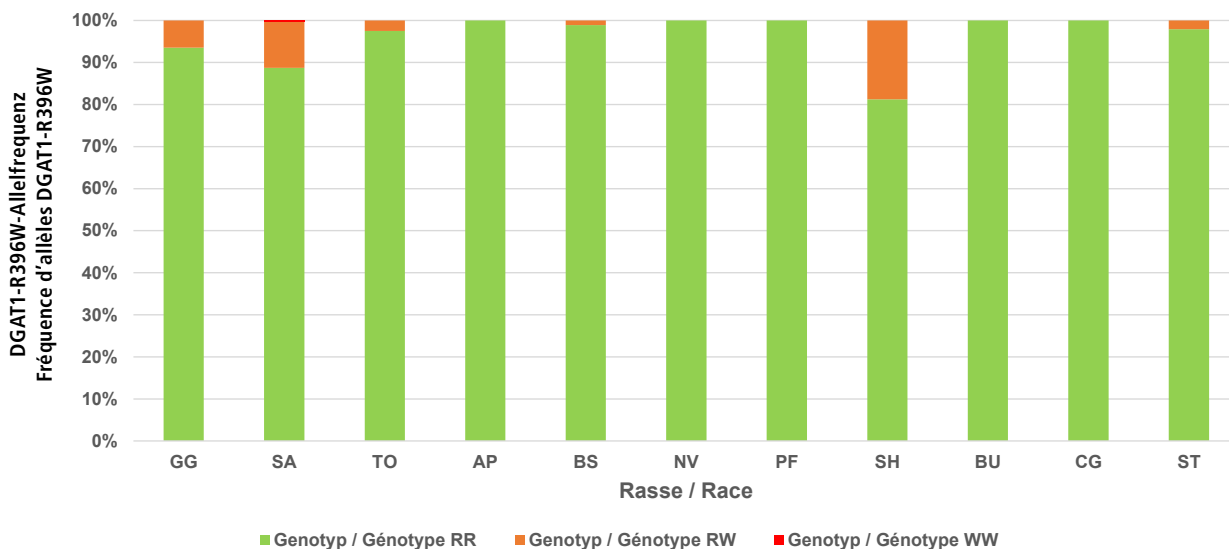


Resultat einer genomweiten Assoziationsstudie zum Milcheiweißgehalt bei Saanenziegen. Auf Ebene Zuchtwerte gibt es für die Saanenziege ein genomweit signifikantes Signal auf Chromosom 6 im Bereich des Alpha-S1-Kasein-Gens (roter Pfeil).

Résultat d'une étude d'association à l'échelle du génome sur la teneur en protéine du lait chez les chèvres Gessenay. A l'échelon des valeurs d'élevage, il existe pour la chèvre Gessenay un signal significatif à l'échelle du génome sur le chromosome 6 dans la zone du gène de la caséine alpha S1 (flèche rouge).

Abbildung 4: Verteilung der DGAT1-Genotypen in elf Ziegenrassen

Illustration 4: Distribution des génotypes DGAT1 dans onze races caprines



Züchterisch erwünscht ist der Genotyp RR in grün, mischerbige Träger des W-Allels sind orange (RW) dargestellt. Bislang wurde nur eine reinerbige Saanenziege mit dem Genotyp WW beobachtet, hier rot dargestellt.

Le génotype RR en vert est souhaitable du point de vue de la sélection, les porteurs hétérozygotes de l'allèle W sont représentés en orange (RW). A ce jour, on n'a observé qu'une seule chèvre Gessenay homozygote de génotype WW, représentée ici en rouge.

Capra Grigia, il est intéressant de noter qu'un allèle rare N, inconnu jusqu'à présent, a été mis en évidence. Cela confirme l'hypothèse selon laquelle on peut s'attendre à trouver des allèles rares chez les animaux issus de races également rares. On ne sait toutefois pas à ce jour si cet autre allèle a un effet sur la teneur en protéine du lait. Dans l'ensemble, on peut toutefois trouver dans toutes les races des animaux qui portent les allèles intéressants pour la sélection.

Chez les 1714 chèvres examinées appartenant aux 11 races pour lesquelles on a des indications sur la caséine alpha S1, 18 génotypes différents ont été déterminés au total, avec des fréquences variables (tableau 3, page 11). Selon la race, on trouve plus ou moins d'animaux avec les génotypes souhaités. Pour les exploitations actives dans la production de fromage, il est utile de tenir compte du génotype de caséine alpha S1 lors du choix des boucs d'élevage. Les animaux affichant l'allèle zéro (o) ou les allèles faibles (E, F) ne devraient être utilisés que de manière restrictive. Pour les animaux hétérozygotes qui portent l'allèle indésirable o, il faut veiller, pour éviter d'avoir des descendants de génotype homozygote oo, à ce qu'ils ne soient pas accouplés entre eux. De telles chèvres seraient absolument indésirables du point de vue de la sélection. Bien heureusement, on ne les rencontre pas actuellement en Suisse (ou très rarement). Il est également recommandé d'éviter de combiner les porteurs de l'allèle F, car cet allèle faible laisse également présager une teneur en protéine du lait inférieure à la moyenne chez les animaux homozygotes. En principe, une sélection préférentielle des allèles A et B serait souhaitable mais, compte tenu de la préservation d'une diversité génétique vitale dans les races, ce projet ne devrait être envisagé qu'à moyen ou long terme, afin d'éviter une perte de génétique précieuse.

Nous avons aujourd'hui pu confirmer pour la première fois l'effet connu des allèles de caséine alpha S1 en comparant les génotypes individuels de cette protéine et les valeurs d'élevage relatives à la teneur en protéine du lait en Suisse. Cela s'est fait à titre exemplaire pour la race principale qu'est la chèvre Alpine chamoisée (GG). Pour les autres races, nous disposons actuellement de trop peu de données, le nombre d'animaux génotypés n'est en particulier pas encore suffisant pour une approche statistique définitive. L'illustration 2 (page 9) montre que les animaux avec la caséine alpha S1 (++) ont une valeur d'élevage significativement plus élevée pour la teneur en protéine. Concrètement, cela signifie que pour l'échantillon analysé de la race GG, les teneurs en protéine étaient en moyenne de 3.09% (--), 3.17% (+-), et 3.35% (++) et que, comme on pouvait s'y attendre, l'effet des allèles forts est clairement positif. Du point de vue de la tendance, ces chiffres sont très similaires pour les chèvres du Toggenbourg (2.95% (--), 3.01% (+-) et 3.11% (++)), génotypées de manière nettement moins étendue à ce jour, ce qui renforce la recommandation d'élevage formulée précédemment. Le résultat de l'étude d'association pangénomique (GWAS), que nous avons menée pour la première fois sur des animaux génotypés par SNP pour lesquels existent des valeurs d'élevage, indique clairement chez les chèvres Gessenay une influence significative de la région génomique des gènes de la caséine présente au niveau du chromosome 6 sur la teneur en protéine du lait. Cet exemple illustre clairement le potentiel des données SNP nouvellement générées pour la recherche, afin d'identifier d'autres marqueurs génétiques pertinents pour différents caractères.

Dans l'ensemble, les évaluations effectuées à ce jour montrent que l'influence positive des allèles forts sur la

teneur en protéine du lait qui, compte tenu du nombre limité d'animaux génotypés n'a été clairement confirmée jusqu'à présent que chez la chèvre Alpine chamoisée, existe très probablement aussi pour les autres races suisses. Il vaut donc la peine de tenir compte du génotype de la caséine alpha S1 dans le travail de sélection. Dès que l'on disposera de plus d'animaux avec des données SNP dans d'autres races, l'effet supposé du génotype de la caséine alpha S1 sur la teneur en protéine devrait être vérifié en conséquence.

DGAT1-R396W: un facteur pour la teneur en matière grasse du lait

Le gène DGAT1 détermine l'expression d'une enzyme (diacylglycérol O-acyltransférase 1) qui influe considérablement sur la teneur en matière grasse du lait. Dans une étude française précédente, une variante (R396W) a été découverte dans ce gène, qui a un impact sur la teneur en matière grasse du lait de la chèvre. La présence de l'allèle W, relativement rare (7 à 13%), se traduit par des teneurs en matière grasse du lait plus faibles dans les populations françaises de chèvres Alpine chamoisée ou Gessenay. L'évaluation des génotypes DGAT1 désormais disponible pour onze races de chèvres gardées en Suisse montre que cet allèle indésirable est relativement rare et qu'il n'est présent au total que dans six races: Alpine chamoisée, Gessenay, Toggenbourg, Grisonne à raies, Col noir du Valais et chèvre Bottée (illustration 4, page 12). La grande majorité des chèvres suisses présente le génotype souhaité RR (++) , alors que les génotypes hétérozygotes (RW (+-)) et homozygotes (WW (--)) sont rares. Les porteurs de l'allèle W défavorable sont rares ou pour ainsi dire inexistant. La prise en compte du génotype DGAT1 en sélection est

donc simple et relativement peu risquée en termes de préservation de la diversité génétique dans les six races concernées.

Sur un total de 1 894 animaux génotypés jusqu'à présent avec la puce à ADN, on a pu prendre en compte les valeurs d'élevage estimées pour le lait d'un total de 531 chèvres génotypées DGAT1 des trois races principales GG, SA et TO. L'illustration 5 (page 13) montre que la présence d'un allèle W dans le gène DGAT1 est associée à une valeur d'élevage plus faible pour la teneur en matière grasse.

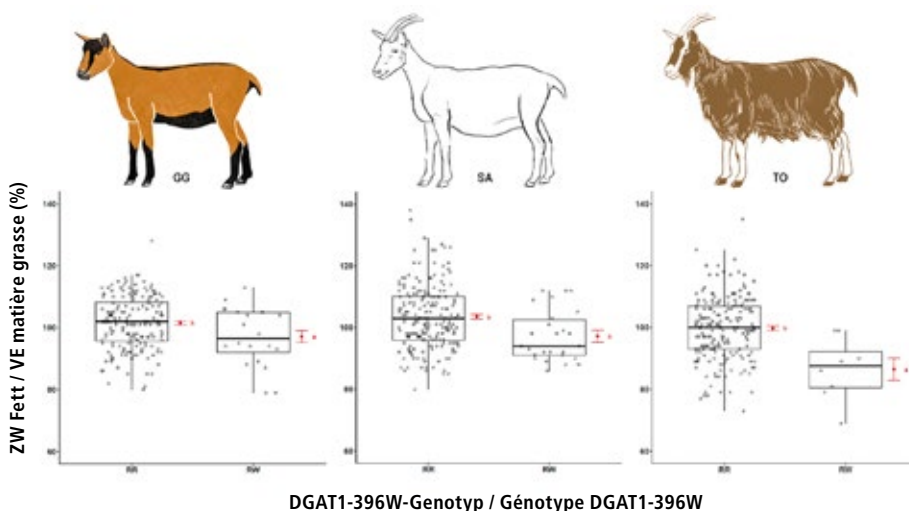
Il est intéressant de noter qu'une seule chèvre Gessenay présentait le génotype homozygote WW (--) (illustration 4, page 12). Cet animal, qui a péri entre-temps, a atteint une teneur moyenne en matière grasse du lait de seulement 2.54% en 9 lactations et une teneur moyenne en protéine du lait de 2.47%, ce qui est nettement inférieur à la moyenne de la race de 3.17% et 2.87% respectivement.

Les évaluations à ce jour de même que ce cas unique confirment que l'influence négative de l'allèle W sur la teneur en matière grasse du lait vaut très probablement aussi pour les races suisses et qu'il est utile de tenir compte de ces indications lors du travail de sélection. Il est donc recommandé, lors de la sélection des reproducteurs, de ne pas utiliser de porteurs d'un ou de deux allèles W et, en particulier, de ne pas accoupler entre eux des animaux de génotype RW (+-) afin de prévenir l'apparition d'autres chèvres de génotype WW (--).

Perspectives

Depuis l'introduction de la nouvelle puce à ADN pour le contrôle de l'ascendance chez les chèvres, certains tests génétiques fournissent des informations utiles, sans toutefois engendrer de travail supplémentaire. Les données

Abbildung / Illustration 5



Darstellung des Effekts der DGAT1-Genotypen auf den Zuchtwert Milchfettgehalt in den drei Haupt-rassen. Jeder Punkt stellt ein Tier mit dem jeweiligen Genotyp dar.

Représentation de l'effet des génotypes DGAT1 sur la valeur d'élevage pour la teneur en matière grasse du lait dans les trois races principales. Chaque point représente un animal avec son génotype correspondant.

issues de ces tests précisent le travail de sélection, notamment en ce qui concerne les caractéristiques de la production laitière et donc la qualité du produit dans les exploitations fournissant du lait destiné à la fabrication de fromage. Il est possible de tirer directement profit des données relatives aux génotypes de la caséine alpha-S1 et de la DGAT1.

Remerciements: nos remerciements vont ici à l'Office fédéral de l'agriculture (OFAG) pour le soutien financier apporté au projet.

Attualità sulla genetica del latte caprino

Da quando, due anni fa, è stata introdotta la tipizzazione degli SNP (si tratta di marcatori genetici) per verificare l'ascendenza, sono stati eseguiti sistematicamente altri test specifici per le caratteristiche di interesse zootecnico, che sono stati pubblicati su CapraNet.

Questo articolo fornisce una panoramica aggiornata sulla diffusione degli alleli finora noti che influiscono sul contenuto di proteine e grassi nel latte. L'articolo illustra inoltre le variazioni relative alle condizioni delle diverse razze registrate nel Libro Genealogico Svizzero. È anche stato possibile ottenere indicazioni sulla presenza di altri alleli rari e in parte non ancora scoperti.

Il nuovo allele, scoperto per la prima volta nella Capra Grigia, rappresenta quindi un primo esempio e illustra il potenziale degli animali delle razze rare. I genotipi della caseina alfa-S1 variano tra le razze e per la prima volta si è potuto mostrare, a titolo di esempio nella razza Camosciata delle Alpi, che tali genotipi determinano in modo significativo il contenuto proteico del latte.

Una tendenza analoga si osserva pure nelle capre del Toggenburgo e nelle capre Saanen, sebbene al momento non sia stato genotipizzato un numero sufficiente di animali per formulare un'affermazione statisticamente valida. In linea di principio, si può dunque tenere conto del genotipo individuale della caseina alfa-S1 ai fini dell'allevamento, in modo da aumentare la frequenza degli alleli preferiti a medio termine. Parallelamente, la pianificazione zootecnica può tenere conto della presenza di animali con un genotipo omozigote per gli alleli piuttosto sfavorevoli, al fine di evitare in futuro animali con contenuti proteici del latte eccessivamente bassi. I genotipi DGAT1 influenzano in sostanza il contenuto di grasso nel latte, sebbene l'allele indesiderato, in precedenza scoperto in Francia, sia raro e la selezione dell'allele favorevole sia possibile senza problemi.

Le valutazioni effettuate finora confermano che gli alleli determinano le quantità di caseina alfa-S1 e di DGAT1 nel latte di capra e che un tal effetto è molto probabilmente riscontrabile anche nel latte delle razze svizzere, per cui vale la pena di tenerne conto nel lavoro di selezione. Le valutazioni effettuate finora confermano che gli alleli determinano le quantità di caseina alfa-S1 e di DGAT1 nel latte caprino e che questo effetto si riscontra probabilmente anche nel latte delle razze svizzere; di conseguenza vale la pena di tenerne conto nell'attività zootecnica. In generale, diversi tipi di profilo aziendale, a prescindere dalle razze caprine, ne traggono vantaggio.

Die Autoren des Artikels / Les auteurs de cet article



Heidi Signer-Hasler, PhD, ist wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (HAFL) Zollikofen. Im Rahmen von Projekten bearbeitet sie zusammen mit der Gruppe Tiergenetik Fragestellungen aus der praktischen Tierzucht.

Heidi Signer-Hasler, PhD, est collaboratrice scientifique à la Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires (HAFL) de Zollikofen. Dans le cadre de projets menés en collaboration avec le groupe de génétique animale, elle travaille sur des questions pratiques de sélection animale.



Erika Bangerter, Agronomin FH, ist Bereichsleiterin Zucht beim Schweizerischen Ziegenzuchtverband.

Erika Bangerter, agronome HES, est responsable de secteur Elevage à la Fédération suisse d'élevage ovin.



Cord Drögemüller, Dr. med. vet. und Professor für Nutztiergenetik am Institut für Genetik der Vetsuisse-Fakultät der Universität Bern, erforscht seit über 20 Jahren genetische Besonderheiten bei Haustieren und hat mit seinem Team zahlreiche Gentests für die Zuchtpraxis entwickelt.

Cord Drögemüller, 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. Il étudie depuis plus de 20 ans les particularités génétiques des animaux domes-

tiques et a, avec son équipe, développé un grand nombre de tests génétiques pour la pratique de sélection.