

# Eiweissvarianten in der Ziegenmilch: ein Update

Heidi Signer-Hasler / Stefanie Rohn /

Erika Bangerter / Cord Drögemüller

Für züchterisch interessante Merkmale stehen zunehmend Daten aus Gentests zur Verfügung. Mit den Daten zu den Alpha-S1-Kasein-Genotypen kann der Milcheiweissgehalt und damit die Produktqualität in Milchproduktionsbetrieben für die Käseherstellung züchterisch gezielt beeinflusst werden. Der vorliegende Artikel gibt für die Schweizer Herdebuchrassen einen aktuellen Überblick über das Vorkommen relevanter Allele, die den Milchproteingehalt beeinflussen.

## Das Milcheiweiss bestimmt die Käseereitauglichkeit

Die Zusammensetzung der Ziegenmilch wird sowohl durch Umweltfaktoren als auch durch genetische Faktoren beeinflusst. Unter anderem haben das Laktationsstadium und die Laktationsdauer, die Anzahl der gesäugten Kitze, das Melkintervall und die Fütterung einen Einfluss auf die Zusammensetzung der Ziegenmilch. Andererseits weisen die Merkmale Fett- und Eiweissgehalt mittlere bis hohe Erbliehkeiten auf, was für einen genetischen Einfluss spricht und somit eine züchterische Beeinflussung ermöglicht.

Die Eiweissfraktion der Milch setzt sich auch bei der Ziege aus Kaseinen und Molkenproteinen zusammen. Die wichtigsten Molkenproteine sind das Alpha-Lactalbumin (LAA) und das Beta-Lactoglobulin (LGB). Sie werden, wie die Kaseine, im Euter synthetisiert. Innerhalb der Kaseine unterscheidet man die vier Fraktionen Alpha-S1- (CSN1S1), Alpha-S2- (CSN1S2), Beta- (CSN2) und Kappa-Kasein (CSN3), die bei der Ziege zusammen den Grossteil des gesamten Milchproteins, verteilt auf Alpha-S1- (~10%), Alpha-S2- (~20%), Beta- (~50%) und Kappa-Kaseine (~20%), ausmachen. Die Gene für die vier Kaseine liegen auf dem Ziegenchromosom 6 nahe beieinander und werden daher nicht unabhängig voneinander, sondern gemeinsam als sogenannter Haplotyp vererbt. Bei der Ziege besteht die Besonderheit, dass diese Allele mit unterschiedlichen Proteinmengen in der jeweiligen Fraktion einhergehen. Die Ziege ist die einzige Tierart, für die bei den Milchproteinen sowohl im Alpha-S1-, Alpha-S2- als auch im Beta-Kasein seltene sogenannte o-Allele nachgewiesen wurden, die dazu führen, dass die jeweilige Eiweissfraktion nicht oder sehr stark reduziert in der Milch vorkommt. Dieses kann individuell sehr tiefe Eiweissgehalte in der Milch erklären.

Es gibt Hinweise darauf, dass die Zusammensetzung der Milchproteine bei der Verarbeitung von Rohmilch zu Käse



Das Alpha-S1-Kasein hat einen Einfluss auf die Verkäseungseigenschaften. La caséine alpha-S1 a un impact sur les propriétés fromagères. (Photo: S. Zahnd)

die Gerinnungseigenschaften und die Käseausbeute beeinflusst. Die Auswirkungen auf die Zusammensetzung der Ziegenmilch und die Käseereitauglichkeit sind jedoch für die meisten Varianten der Kaseingene noch nicht genau bekannt. Im Gegensatz dazu ist beim Rind bekannt, dass sich einzelne Varianten im Kappa-Kasein negativ oder positiv auf die Käseereitauglichkeit auswirken. Die Nutzung von Milchproteinvarianten zur Vermarktung von tierartspezifischen Milchprodukten, wie sie derzeit am Beispiel der A2-Milch bzw. Urmilch von Rindern mit einem bestimmten Beta-Kasein-Genotyp gezeigt wird, zeigt das Potenzial der züchterischen Nutzung von Produkten mit spezifischen Eigenschaften für die menschliche Ernährung.

Die in den letzten Jahren erstmals durchgeführte Entschlüsselung ganzer Ziegengenome hat bestätigt, dass die natürliche Variation der Milchproteine in der Ziegenmilch grösser ist als bisher angenommen und in ihrer physiologischen Bedeutung meist noch unzureichend charakterisiert ist. Innerhalb der sechs wichtigsten Milchproteine gibt es genetische Varianten in Form von Allelen, die zu veränderten oder verkürzten Aminosäuremustern der Proteine führen können. Diese Eiweissvarianten sind genetisch fixiert und somit lebenslang vorhanden. Sie werden nach den Mendelschen Regeln vererbt. Die Häufigkeit der verschiedenen Allele, die durch Grossbuchstaben gekennzeichnet sind, ist von Rasse zu Rasse unterschiedlich.

Es gibt Formen, die bisher nur bei einer oder wenigen Rassen beschrieben wurden, wie zum Beispiel bei Capra Grigia Ziegen (Forum Kleinwiederkäuer 12 | 2022).

Die Milchproteine in der Ziegenmilch zeigen Unterschiede insbesondere im Vorkommen und in der Häufigkeit der Alpha-S1-Kasein-Allele. Neben weiteren Zusatztests wie z.B. Scrapie-Empfänglichkeit und genetische Hornlosigkeit werden die Alpha-S1-Kasein-Genotypen heutzutage systematisch im CapraNet deklariert und können züchterisch genutzt werden (Forum Kleinwiederkäuer 3 | 2021). Das Auftreten bestimmter Alpha-S1-Kasein-Allele ist von Rasse zu Rasse sehr unterschiedlich. Für die Schweizer Ziegenrassen wurde 2022 erstmals eine Übersicht publiziert, basierend auf 1714 untersuchten Ziegen von elf Rassen mit Angaben zum Alpha-S1-Kasein-Genotyp, die seit der Umstellung der Abstammungskontrolle des Schweizerischen Ziegenzuchtverbandes (SZZV) auf SNP-Daten zur Verfügung stehen (Forum Kleinwiederkäuer 12 | 2022).

## Eine rassespezifisch unterschiedliche Ausgangslage

Anhand der Daten von 3 927 in der Schweiz gehaltenen Ziegen von sieben verschiedenen Rassen (Tabelle 1, Seite 13) werden in diesem Artikel die neusten Ergebnisse des Alpha-S1-Kasein-Genotyps mit Bedeutung für die Produktqualität der Milch vorgestellt. Die kürzlich an der Universität Bern durchgeführte molekulargenetische Analyse möglicher unbekannter Alpha-S1-Kasein-Allele bei Schweizer Ziegen ergab keine neuen Hinweise auf das Vorhandensein weiterer Allele, trug aber wesentlich dazu bei, die SNP-Chip-basierte, zum Teil indirekte Bestimmung schwierig zu bestimmender Allele zu optimieren und damit zahlreiche in der Anfangsphase nach der Umstellung im Jahr 2020 festgestellten Unstimmigkeiten zu erklären. Auf der Basis deutlich erweiterter Stichproben der einzelnen Rassen kann nun die tatsächliche Verteilung der Allele bzw. Genotypen aufgezeigt werden. Die Ergebnisse dieser Studie helfen der Züchterschaft, die Selektion insbesondere im Hinblick auf den Milchproteingehalt und damit auf die Produktqualität in den Ziegenmilchproduktionsbetrieben für die Käseherstellung zu präzisieren.

Die verschiedenen Alpha-S1-Kasein-Allele bestimmen, wie viel Alpha-S1-Kasein in der Milch einer Ziege gebildet wird und wurden entsprechend dieser Wirkung in stark (A und B), mittel (E), schwach (F) und null (o) kategorisiert. Insbesondere das Allel o wird als sehr ungünstig angesehen, da es das Alpha-S1-Kasein-Gen unterbricht. Der individuelle Alpha-S1-Kasein-Genotyp besteht aus zwei Grossbuchstaben, da jedes Tier von beiden Elternteilen je ein Allel erhalten hat. Zur Vereinfachung der Interpretation wird mit Plus- und Minuszeichen dahinter angegeben, ob dies zu einem höheren (++) , mittleren (+-) oder niedrigeren (--) Milchproteingehalt führt (z.B. AA (++) / Bo (+-) / FF (--)).

Die beiden günstigen Allele (A und B) sind bei den Schweizer Rassen eher selten. Bei allen sieben Rassen sind die Allele E und F am häufigsten (Tabelle 2, Seite 13). Bei den Appenzellerziegen ist das unerwünschte Allel o fast gleich häufig wie das Allel F. Insgesamt unterscheiden sich die Häufigkeiten der Alpha-S1-Kasein-Allele der einzelnen Rassen deutlich (Abbildung 1, Seite 16). Wie bereits berichtet, weisen vor allem die Gämbsfarbigen Gebirgsziegen, aber auch die Pfauenziegen und die Bündner Strahlenziegen einen relativ hohen Anteil an starken Allelen (A und B) auf, während bei den übrigen vier Rassen der Anteil im einstelligen Prozentbereich sehr gering ist.

Bei den annähernd 4 000 untersuchten Ziegen der sieben Rassen wurden insgesamt 14 verschiedene Genotypen mit unterschiedlicher Häufigkeit nachgewiesen (Tabelle 3, Seite 15). Je nach Rasse gibt es mehr oder weniger Tiere mit den gewünschten Genotypen, aber überall gibt es Ziegen, die reinerbig oder mischerbig Träger der starken Allele sind. Insbesondere für Appenzellerziegen-Betriebe mit Käseproduktion lohnt es sich, bei der Wahl der Zuchtböcke auf den Alpha-S1-Kasein-Genotyp zu achten. Dabei sollten insbesondere reinerbig vererbte Böcke mit dem Nullallel (oo) oder mittleren und schwachen Allelen (EE, FF) nur sehr restriktiv eingesetzt werden. Dagegen sollten mischerbige Tiere, die die ungünstigen Allele nur einmal tragen (+-), bevorzugt werden. Grundsätzlich ist eine be-

## 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.



**Stefanie Rohn ist Studentin an der Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (HAFL) Zollikofen. Im Rahmen ihrer Bachelorarbeit hat sie sich mit den Eiweissvarianten bei Ziegen auseinandergesetzt.**

Stefanie Rohn est étudiante à la Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires (HAFL) de Zollikofen. Dans le cadre de son travail de bachelor, elle s'est penchée sur les variantes de protéines chez les chèvres.



**Erika Bangarter, Agronomin FH, ist Bereichsleiterin Zucht beim Schweizerischen Ziegenzuchtverband.**

Erika Bangarter, ingénieure agronome HES, est responsable de secteur Elevage à la Fédération suisse d'élevage caprin.



**Cord Drögemüller, Dr. med. vet. und Professor für Tiergenetik am Institut für Genetik der Vetsuisse-Fakultät der Universität Bern, erforscht seit über 20 Jahren genetische Besonderheiten bei Nutz- und Haustieren.**

Cord Drögemüller, Dr med. vet., est professeur de génétique animale 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 de rente et des animaux de compagnie.

**Tabelle 1: Übersicht über die Anzahl berücksichtigter Tiere pro Rasse mit Alpha-S1-Kasein-Genotypen**

Tableau 1: Vue d'ensemble du nombre d'animaux évalués par race avec les génotypes de caséine alpha-S1

Rasse Race	Kürzel Abréviation	Anzahl Tiere mit Alpha-S1-Kasein-Genotypen Nombre d'animaux avec génotypes de caséine alpha-S1
Gämsfarbige Gebirgsziege / Chèvre Alpine chamoisée	GG	1 799
Saanenziege / Chèvre Gessenay	SA	1 002
Toggenburgerziege / Chèvre du Toggenbourg	TO	458
Appenzellerziege / Chèvre d'Appenzell	AP	83
Bündner Strahlenziege / Chèvre Grisonne à Raies	BS	384
Nera Verzasca	NV	95
Pfauenziege / Chèvre Paon	PF	106
<b>Total</b>		<b>3 927</b>

**Tabelle 2: Alpha-S1-Kasein-Allelfrequenzen pro Rasse hergeleitet aus den Genotypen von 3 927 Tieren aus sieben Schweizer Rassen**

Tableau 2: Fréquences alléliques de la caséine alpha-S1 par race déduites des génotypes de 3 927 animaux de sept races suisses

Allel / Allèle	Wirkung / Effet	Gewichtung / Pondération	GG	SA	TO	AP	BS	NV	PF
A und/et B	stark / fort	+	28.4	9.9	6.3	8.4	16.3	9.5	17.9
E	mittel / moyen	-	49.4	38.8	14.7	12.1	10.9	33.2	24.5
F	schwach / faible	-	16.2	36.5	67.7	40.4	69.4	46.8	57.6
0	null	-	6.1	14.9	11.2	39.2	3.4	10.5	0.0

vorzugte Selektion auf die Allele A und B anzustreben, aber unter Berücksichtigung der Erhaltung einer vitalen genetischen Vielfalt in den Rassen kann dies in fast allen Rassen nur mittel- bis langfristig angestrebt werden, um den Verlust wertvoller Genetik zu vermeiden.

### Der individuelle Alpha-S1-Kasein-Genotyp bestimmt den Milcheiweissgehalt

Der bekannte Effekt der Alpha-S1-Kasein-Allele zeigt sich beim Vergleich der individuellen Alpha-S1-Kasein-Genotypen mit den tatsächlichen Milchproteingehalten von 999 Ziegen und den Zuchtwerten für den Milchproteingehalt von 1 127 Tieren der Hauptrasse Gämsfarbige Gebirgsziege (Tabelle 4, Seite 15). Insbesondere die Träger des unerwünschten o-Allels zeigen signifikant niedrigere Gehalte bzw. Zuchtwerte.

Erstmals konnten wir mit den Daten von über 500 Saanenziegen und gut 200 Toggenburgerziegen eine entsprechende statistische Untersuchung für zwei weitere Rassen durchführen. Dabei wurde aufgrund der geringen Anzahl genotypisierter Tiere eine Auswertung anhand der drei Alpha-S1-Kasein-Genotypkategorien durchgeführt. Bei beiden Rassen wiesen die Tiere mit zwei ungünstigen Allelen (--) signifikant niedrigere Eiweissgehalte bzw. Eiweisszuchtwerte auf als die übrigen Tiere (Tabellen 5 und 6, Seite 16).

### Ausblick

Insgesamt lassen sich aber in allen Rassen Tiere finden, die die züchterisch interessanten Alpha-S1-Kasein-Allele tragen. Die Auswertungen zum Eiweissgehalt und Eiweisszuchtwert in drei Hauptrassen unterstreichen die zuvor ausgesprochene Zuchttempfehlung zur Berücksichtigung des individuellen Alpha-S1-Kasein-Genotyp zur Präzision der Zuchtarbeit, insbesondere in Bezug auf den Eiweissgehalt und somit direkt auf die Produktqualität bei Betrieben mit Milcherzeugung für die Käseproduktion.

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



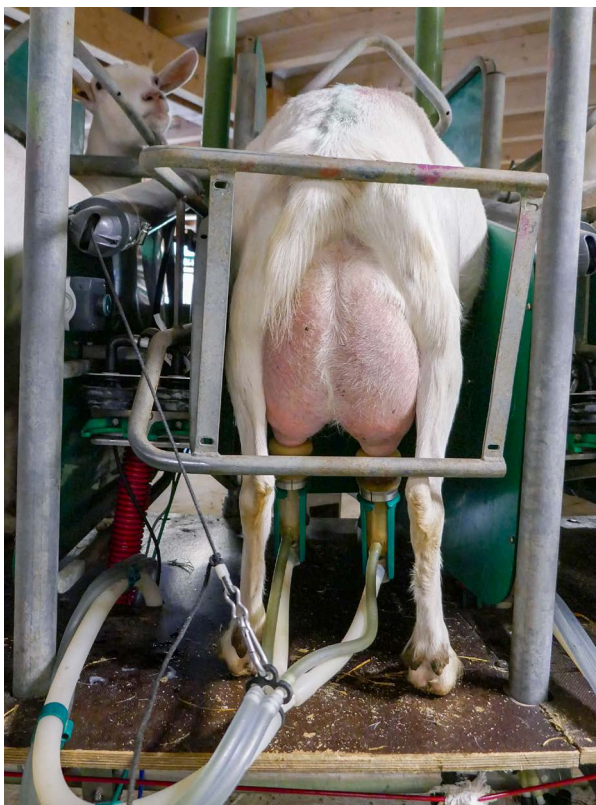
# Variantes de protéines dans le lait de chèvre: une mise à jour

Heidi Signer-Hasler / Stefanie Rohn / Erika Bangerter / Cord Drögemüller

On dispose de plus en plus de données issues de tests génétiques concernant les caractères intéressants pour l'élevage. Les données relatives aux génotypes de caséine alpha-S1 permettent, grâce à la sélection, d'influencer de manière ciblée la teneur en protéines du lait et, partant, la qualité du produit dans les exploitations laitières dédiées à la fabrication de fromage. Le présent article fournit un aperçu actuel de la présence d'allèles pertinents pour la teneur en protéine du lait chez les races suisses au herd-book.

## La protéine du lait détermine la fromageabilité

La composition du lait de chèvre est influencée à la fois par des facteurs environnementaux et par des facteurs génétiques. Pour les premiers, jouent notamment un rôle le stade et la durée de la lactation, le nombre de cabris allaités, l'intervalle de traite et l'alimentation. Pour les seconds, les caractéristiques de la teneur en matière grasse et en protéine présentent des héritabilités moyennes à



Die Milchinhaltstoffe werden durch die Genetik beeinflusst. Les composants du lait sont influencés par la génétique. (Photo: E. Bangerter)

élevées, ce qui plaide en faveur d'une influence génétique et permet donc d'intervenir par le biais de la sélection.

Comme pour la vache, la fraction protéique du lait de chèvre se compose de caséines et de protéines du lactosérum. Les principales protéines du petit-lait sont l'alpha-lactalbumine (LAA) et la bêta-lactoglobuline (LGB). Comme les caséines, elles sont synthétisées dans la mamelle. Au sein du groupe des caséines, on distingue quatre fractions: alpha-S1- (CSN1S1; ~10% chez la chèvre), alpha-S2- (CSN1S2; ~20%), bêta- (CSN2; ~50%) et caséine kappa (CSN3; ~20%) qui, chez la chèvre, constituent la majeure partie des protéines totales du lait. Les gènes des quatre caséines sont physiquement proches les uns des autres sur le chromosome 6 et ne sont donc pas transmis indépendamment les uns des autres, mais groupés, sous forme de ce que l'on appelle un haplotype. Chez la chèvre, ces allèles ont la particularité d'être associés à des quantités de protéines différentes dans chaque fraction. C'est la seule espèce pour laquelle des allèles rares dits «0» ont été détectés dans les protéines du lait, tant dans les caséines alpha-S1 et bêta-S2 que dans la caséine bêta, qui ont pour conséquence que la fraction protéique correspondante n'est pas présente dans le lait ou est très réduite. Cela peut expliquer des teneurs en protéine individuellement très basses dans le lait.

Lors de la transformation du lait cru en fromage, il semblerait que la composition des protéines du lait ait une incidence sur les propriétés de caillage et sur le rendement fromager. Cependant, les effets sur la composition du lait de chèvre et par conséquent sur l'aptitude fromagère ne sont pas encore connus avec précision pour la plupart des variantes de gènes de la caséine. En revanche, chez les bovins, on sait que certaines variantes de la caséine kappa ont un effet négatif ou positif sur l'aptitude à la fabrication de fromage. L'exploitation de variantes de protéines laitières pour la commercialisation de produits laitiers spécifiques à l'espèce animale, comme le montre actuellement l'exemple du lait A2-Urmlch, ou lait primitif de bovins, présentant un génotype particulier de caséine bêta, illustre le potentiel de l'exploitation zootechnique de produits présentant des propriétés spécifiques pour l'alimentation humaine.

Le décodage de génomes entiers de chèvres, réalisé pour la première fois au cours des dernières années, a confirmé que la variation naturelle des protéines du lait de chèvre est plus marquée qu'on ne le pensait jusqu'à présent et que son importance physiologique est généralement encore insuffisamment caractérisée. Il existe, au sein des six principales protéines du lait, des variantes génétiques sous forme d'allèles qui peuvent conduire à des compositions d'acides aminés (éléments des protéines) modifiées ou réduites. Fixées génétiquement et donc présentes tout au long de la vie, ces variantes sont transmises selon les règles d'hérédité de Mendel. La fréquence des différents allèles,

indiqués par des lettres majuscules, varie toutefois d'une race à l'autre. Ainsi, il existe des formes qui n'ont été décrites jusqu'à présent que dans une ou quelques races, comme par exemple chez la chèvre Capra Grigia (Forum Petits Ruminants 12 | 2022).

Les protéines du lait de chèvre présentent certaines différences notamment en ce qui concerne la présence et la fréquence des allèles de la caséine alpha-S1. Outre d'autres tests complémentaires tels que la réceptivité à la tremblante ou l'absence génétique de cornes, les génotypes de caséine alpha-S1 sont aujourd'hui systématiquement déclarés dans CapraNet et peuvent être utilisés à des fins de sélection (cf. Forum Petits Ruminants 3 | 2021). La présence de certains allèles de caséine alpha-S1 varie considérablement d'une race à l'autre. Pour les races caprines suisses, une vue d'ensemble a été publiée pour la première fois en 2022. Se basant sur 1714 chèvres examinées de onze races, elle offre des indications sur le génotype de la caséine alpha-S1, qui sont disponibles depuis le passage du contrôle d'ascendance de la Fédération suisse d'élevage caprin (FSEC) aux données SNP (cf. Forum Petits Ruminants 12 | 2022).

## Situation variable selon la race

Sur la base des données de 3927 chèvres de sept races différentes gardées en Suisse (tableau 1, page 13), cet article présente les derniers résultats du test génétique de la caséine alpha-S1 ayant un impact sur la qualité du produit laitier. L'analyse génétique moléculaire réalisée récemment à l'Université de Berne sur d'éventuels allèles inconnus de la caséine alpha-S1 chez des chèvres suisses n'a pas fourni de nouveaux indices sur la présence d'autres allèles. Cependant, elle a largement contribué à optimiser la détermination, parfois indirecte basée sur les puces SNP d'allèles difficiles à déterminer, et à expliquer ainsi de nombreuses incohérences constatées dans la phase initiale après le changement en 2020. Il est désormais possible, sur la base d'échantillons nettement plus larges des différentes races, de montrer la répartition réelle des allèles ou génotypes. Les résultats de cette étude aident les éleveurs à affiner la sélection, notamment en ce qui concerne la teneur en protéine du lait et donc la qualité du produit dans les exploitations de production de lait de chèvre dédiées à la fabrication de fromage.

**Tabelle 3: Rassespezifische Alpha-S1-Kasein-Genotypfrequenzen von 3927 Tieren aus sieben Schweizer Rassen**

Tableau 3: Fréquences génotypiques spécifiques à la race de la caséine alpha-S1 de 3927 animaux de sept races suisses

Genotyp / Génotype	Effekt / Effet	GG	SA	TO	AP	BS	NV	PF
AA	(++)	8.9	1.8	0.2	2.4	0.0	0.0	0.0
AB	(++)	3.6	0.2	0.0	0.0	2.1	2.1	0.0
AE	(+-)	17.0	5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7
AF	(+-)	9.2	3.3	2.4	2.4	5.0	7.4	11.3
AO	(+-)	2.3	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BB	(++)	0.7	1.5	1.3	2.4	3.1	2.1	4.7
BE	(+-)	1.6	0.7	0.4	0.0	0.3	3.2	0.9
BF	(+-)	0.4	2.4	6.8	4.8	16.9	0.0	9.4
EE	(--)	28.0	16.4	1.1	0.0	0.8	12.6	6.6
EF	(--)	16.1	26.3	23.4	13.3	19.5	32.6	30.2
E0	(--)	8.1	12.2	3.5	10.8	0.5	5.3	0.0
FF	(--)	2.6	13.6	42.4	12.1	45.6	19.0	32.1
F0	(--)	1.6	13.9	18.1	36.1	6.3	15.8	0.0
00	(--)	0.1	1.5	0.4	15.7	0.0	0.0	0.0

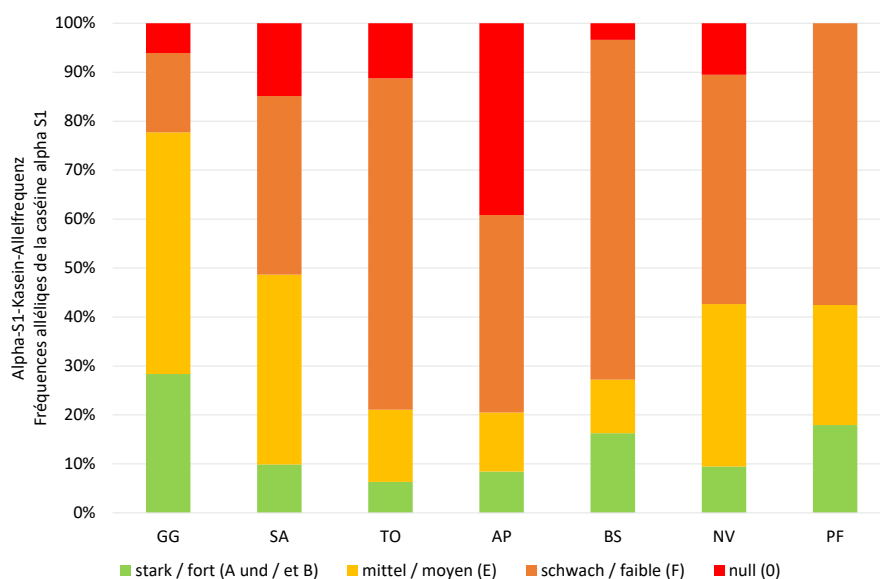
**Tabelle 4: Vergleich der Alpha-S1-Kasein-Genotypkategorien in Bezug auf den tatsächlichen Milcheiweissgehalt und den geschätzten Zuchtwert für Milcheiweiss bei Gämfarbigen Gebirgsziegen**

Tableau 4: Comparaison des catégories de génotypes de caséine alpha-S1 pour ce qui est des teneurs réelles en protéine dans le lait et de la valeur d'élevage estimée pour la protéine du lait chez les chèvres de la race Alpine chamoisée

Genotypen / Génotypes	Mittelwert Eiweissgehalt / Teneur moyenne en protéine	Anzahl Tiere / Nombre d'animaux	Mittelwert Eiweisszuchtwert / Valeur d'élevage moyenne pour la protéine	Anzahl Tiere / Nombre d'animaux
AA, AB, BB	3.37	143	112	149
AE, AF, BE, BF	3.16	300	101	332
EE, EF, FF	3.13	430	98.9	503
A0	2.97	29	91.2	29
E0, F0	2.94	96	88.4	112
00	2.61	1	75	2

Abbildung 1: Darstellung der Häufigkeit der Alpha-S1-Kasein-Allele nach Rasse

Illustration 1: Représentation de la fréquence des allèles de la caséine alpha-S1 en fonction de la race



Züchterisch erwünschte Allele sind grün, Allele mit mittlerer oder geringerer Wirkung gelb oder orange und ungünstige Allele rot dargestellt.

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.

Tabelle 5: Vergleich der Alpha-S1-Kasein-Genotypkategorien in Bezug auf den tatsächlichen Milcheiweissgehalt und den geschätzten Zuchtwert für Milcheiweiss bei Saanenziegen

Tableau 5: Comparaison des catégories de génotypes de caséine alpha-S1 pour ce qui est des teneurs réelles en protéine dans le lait et de la valeur d'élevage estimée pour la protéine du lait chez les chèvres Gessenay

Alpha-S1-Kasein-Genotypenkategorie Catégorie de génotype de caséine alpha-S1	Mittelwert Eiweissgehalt Teneur moyenne en protéine	Anzahl Tiere Nombre d'animaux	Mittelwert Eiweisszuchtwert Valeur d'élevage moyenne pour la protéine	Anzahl Tiere Nombre d'animaux
++	3.20	15	102	17
+-	3.17	47	101	53
--	2.94	476	92	489

Tabelle 6: Vergleich der Alpha-S1-Kasein-Genotypkategorien in Bezug auf den tatsächlichen Milcheiweissgehalt und den geschätzten Zuchtwert für Milcheiweiss bei Toggenburgerziegen

Tableau 6: Comparaison des catégories de génotypes de caséine alpha-S1 pour ce qui est des teneurs réelles en protéine dans le lait et de la valeur d'élevage estimée pour la protéine du lait chez les chèvres du Toggenbourg

Alpha-S1-Kasein-Genotypenkategorie Catégorie de génotype de caséine alpha-S1	Mittelwert Eiweissgehalt Teneur moyenne en protéine	Anzahl Tiere Nombre d'animaux	Mittelwert Eiweisszuchtwert Valeur d'élevage moyenne pour la protéine	Anzahl Tiere Nombre d'animaux
++	3.83	3	108	3
+-	3.81	15	103	12
--	3.46	207	99	192

Les différents allèles de caséine alpha-S1 déterminent la quantité de caséine alpha-S1 produite dans le lait de chèvre et ont été catégorisés en fonction de cet effet: fort (A et B), moyen (E), faible (F) et nul (o). L'allèle o, en particulier, est considéré comme très défavorable, car il bloque le gène de la caséine alpha-S1. Le génotype individuel de caséine alpha-S1 se compose de deux lettres majuscules, car chaque animal a reçu un allèle de chacun de ses deux parents. Afin de faciliter l'interprétation, les signes plus et moins qui

suivent indiquent si cela conduit à une teneur en protéines du lait plus élevée (++) , moyenne (+-) ou plus faible (--) (p.ex. AA (++) / Bo (+-) / FF (--)).

Les deux allèles favorables (A et B) sont plutôt rares dans les races suisses. Pour les sept races, les allèles E et F sont les plus fréquents (tableau 2, page 13). Chez les chèvres d'Appenzell, l'allèle indésirable o est presque aussi fréquent que l'allèle F. Dans l'ensemble, les fréquences des allèles de la caséine alpha-S1 diffèrent

nettement entre les races (illustration 1, page 16). Comme nous l'avons déjà relevé, ce sont surtout les chèvres Alpines chamoisées, mais aussi les chèvres Paons et les chèvres Grisonnes à Raies, qui présentent une proportion relativement élevée d'allèles forts (A et B), alors que pour les quatre autres races, la proportion est très faible, de l'ordre d'un pourcentage à un chiffre.

Pour les près de 4 000 chèvres examinées des sept races, un total de 18 génotypes différents a été mis en évidence, avec des fréquences variables (tableau 3, page 15). Selon la race, il y a plus ou moins d'animaux avec les génotypes souhaités, mais il y a partout des chèvres qui sont porteuses homozygotes ou hétérozygotes d'allèles forts. Il vaut la peine, en particulier pour les exploitations de chèvres d'Appenzell produisant du fromage, de tenir compte du génotype de la caséine alpha-S1 lors du choix des boucs d'élevage. Les boucs homozygotes affichant l'allèle zéro (oo) ou les allèles faibles (EE, FF) en particulier ne devraient être utilisés que de manière très restrictive. En revanche, il conviendrait de donner la préférence aux animaux hétérozygotes qui ne portent qu'une seule fois les allèles défavorables (+-). En principe, une sélection préférentielle des allèles A et B devrait être visée mais, compte tenu de la préservation d'une diversité génétique vitale dans les races, ce projet ne devrait, pour la plupart des races, être envisagé qu'à moyen ou long terme afin d'éviter une perte de génétique précieuse.

### Le génotype individuel de la caséine alpha-S1 détermine la teneur en protéine du lait

L'effet bien connu de l'allèle de la caséine alpha-S1 se reconnaît dans la comparaison des génotypes individuels de caséine alpha-S1, avec les teneurs réelles en protéine du lait de 999 chèvres, et les valeurs d'élevage pour la teneur en protéine du lait de 1 127 animaux de la race principale, la chèvre Alpine chamoisée (tableau 4, page 15). Les porteurs de l'allèle 0 indésirable présentent en particulier des teneurs ou des valeurs d'élevage significativement plus faibles.

Nous avons pour la première fois pu réaliser une étude statistique correspondante pour deux autres races grâce aux données de plus de 500 chèvres Gessenay et de plus de 200 chèvres du Toggenbourg. En raison du faible nombre d'animaux génotypés, une évaluation a donc été effectuée sur la base des trois catégories de génotypes de caséine alpha-S1. Dans les deux races, les animaux porteurs de deux allèles défavorables (--) présentaient des teneurs en protéine ou des valeurs d'élevage pour la protéine significativement plus basses que les autres animaux (tableaux 5 et 6, page 16).

### Perspectives

Dans l'ensemble, on trouve des animaux qui portent des allèles de caséine alpha-S1 intéressants pour la sélection dans toutes les races. Les évaluations de la teneur en protéine et de la valeur d'élevage pour la protéine dans trois races principales soulignent la recommandation d'élevage

émise précédemment. Il s'agit de prendre en compte le génotype individuel de la caséine alpha-S1 pour la précision du travail de sélection, notamment en ce qui concerne la teneur en protéine et donc directement la qualité du produit dans les exploitations livrant du lait destiné à la fabrication de fromage.

Remerciements: notre reconnaissance va ici à l'Office fédéral de l'agriculture (OFAG) pour le soutien financier apporté au projet.

### Aggiornamento sulle variazioni proteiche nel latte di capra

La disponibilità di dati provenienti da test genetici che riguardano i caratteri di interesse zootecnico è in continua crescita. I dati sui genotipi di caseina alfa s1 offrono la possibilità di influenzare in modo mirato dal punto di vista riproduttivo il contenuto proteico del latte e quindi la qualità dei prodotti caseari nelle aziende lattiero-casearie.

Il presente articolo fornisce una panoramica aggiornata sulla presenza dei diversi alleli che determinano il contenuto di proteine del latte nelle sette razze caprine iscritte nel libro genealogico svizzero.

I genotipi della caseina alfa s1 variano da razza a razza ed è emerso in modo chiaro che gli alleli forti A e B hanno un impatto significativo sul contenuto proteico del latte nelle razze Camosciata delle Alpi, Capre del Toggenburgo e Capre Saanen. La Camosciata delle Alpi in particolare, ma anche la Capra Pavone e la Capra Striata grigionese hanno una percentuale relativamente alta di questi alleli favorevoli, mentre tale percentuale è molto bassa e si colloca al di sotto del 10% nelle altre quattro razze. Per contro, gli alleli con azione media (E), debole (F) e nessuna (O) rappresentano invece gli alleli più comuni in tutte le razze. A seconda della razza, il numero di animali con i genotipi desiderati è maggiore o minore, ma in tutte le razze ci sono individui omozigoti o eterozigoti che sono portatori di alleli forti. La percentuale di portatori dell'allele indesiderato 0 è particolarmente elevata nella Capra appenzellose per cui è opportuno che le aziende impegnate nella produzione di formaggio prestino attenzione al genotipo della caseina alfa s1 nella selezione dei becchi da riproduzione. Nel complesso, in tutte le razze caprine sono presenti individui con alleli di caseina alfa s1, una caratteristica interessante dal punto di vista zootecnico.

Le analisi del contenuto proteico e del valore genetico per le proteine nelle tre razze principali sottolineano l'importanza della raccomandazione, formulata in precedenza, di tenere conto del genotipo individuale della caseina alfa s1 al fine di ottimizzare l'attività di selezione e riproduzione. Questo vale in particolare per la composizione del latte e il suo contenuto di proteine e quindi determina direttamente la qualità dei prodotti delle aziende lattiero-casearie nel campo della produzione di formaggi.