

Neuere Erkenntnisse zur Milchejektion und Milchabgabe beim Rind

PD Dr. Rupert M. Bruckmaier, Institut für Physiologie, Forschungszentrum für Milch und Lebensmittel Weihenstephan, Technische Universität München,

Dieser Beitrag fasst die physiologischen Grundlagen der Milchejektion und Milchabgabe des Rindes zusammen. Dabei stehen neue wissenschaftliche Erkenntnisse der letzten Jahre im Vordergrund.

Die Verteilung der Milch im Euter vor Melkbeginn

Bezüglich ihrer Verfügbarkeit für die Milchabgabe ist die im Euter gespeicherte Milch in zwei Fraktionen einzuteilen: die Zisternenmilch und die Alveolarmilch. Die Zisternenmilch, die sich während der Zwischenmelkzeiten kontinuierlich in den Zisternenhohlräumen von Zitze und Drüse sowie in den großen Milchgängen ansammelt, wird lediglich durch den Zitzenschließmuskel am Abfließen gehindert, ist also unmittelbar für den Milchentzug verfügbar. Ihr Anteil liegt bei den meisten Tieren bei 10-20 % der gesamten Milchmenge und erhöht sich mit zunehmendem Füllungsgrad des Euters. Das bedeutet umgekehrt, die Zisternenmilchmenge gegen Laktationsende und bei kurzen Melkintervallen, d.h. bei hoher Melkfrequenz besonders klein ist. Bei jungen Kühen ist der Zisternenmilchanteil kleiner als bei älteren. Die Alveolarmilch, gespeichert in den Drüsenbläschen (Alveolen) und kleinen Milchgängen, kann aufgrund des kleinen Gefäßdurchmessers nicht von selbst abfließen, d.h. sie ist nicht unmittelbar für die Melkmaschine verfügbar. Erst durch die aktive Kontraktion der Alveolen und kleinen Milchgänge wird die Alveolarmilch in die Zisternenhohlräume gepresst und steht damit ebenfalls für den Milchentzug zur Verfügung. Dieser Vorgang wird als Einschießen der Milch bzw. Milchejektion bezeichnet.

Auslösung der Milchejektion

Die genannte Milchejektion wird durch mechanische Stimulation des Euters (manuell oder maschinell), vor allem im Zitzenbereich, in Form eines Reflexes (Milchejektionsreflex) ausgelöst. Die Stimulation bewirkt einen Nervenreiz zum Hypothalamus (Teil der Hirnstammes), der von dort weitergeleitet wird zum Hinterlappen der Hypophyse (Hirnanhangdrüse), wo es schließlich zur Ausschüttung des Hormons Oxytocin kommt. Die Mengen, in denen Oxytocin im Blut vorliegt, sind auch im Vergleich zu anderen Hormonen äußerst klein: zwischen 1-3 pg/ml vor der Stimulation und 10-100 pg/ml während der mechanischen Stimulation der Milchdrüse. 1 pg = 10⁻¹²g. Das Oxytocin verteilt sich im Blutkreislauf und gelangt so zur Milchdrüse. Muskelzellen, die wie ein Korb die Alveolen umschließen (Korbzellen, Myoepithelzellen), besitzen spezifische Bindungs-



stellen (Rezeptoren), an die das Ocytocin binden kann. Lagern sich Ocytocin-Moleküle an diese Rezeptoren an, wird eine Kontraktion der Korbzellen bewirkt und die Alveolarmilch wird ausgepresst. Die Milchejektion bewirkt einen steilen Anstieg des Euterinnendruckes (Intramammärdruckes) in der Zisterne bis zu einem physiologischen Druckmaximum. Mit der Milchejektion vergrößern sich die Zisternenhohlräume, während gleichzeitig das entleerte Drüsengewebe zurückweicht. Trotz der Umverteilung zwischen Hohlraum- und Gewebeanteil des Euters findet ohne gleichzeitige Euterentleerung nicht die gesamte Milch in der Zisterne Platz. Das genaue Ausmaß der Ocytocinfreisetzung ist sehr variabel, aber auch nicht von großer Bedeutung. Etwa ab einer Verdreifachung der basalen Hormonkonzentration wird eine maximale Kontraktion der Korbzellen erreicht. Höhere Konzentrationen haben keine zusätzliche Wirkung. Damit folgt die Ocytocinwirkung einem Schwellenwertprinzip.

Andere Reize als mechanische, wie akustische (Geräusch des Melkgeschirrs, Vakuumpumpe etc.) oder optische (z.B. beim Betreten des Melkstandes), können bei Milchkühen keine Ocytocinfreisetzung und Milchejektion auslösen. Häufig kommt es aber vor, dass sich - gesteuert über das sympathische Nervensystem - eine Tonuslockerung der Zitzenmuskulatur und damit eine Melkbereitschaft einstellt, die zum vorzeitigen Abtropfen von Zisternenmilch führen kann. Das hat aber nichts mit Milchejektion zu tun.

Die Milchejektion am Beginn des Melkens

Die Verlaufsform der Milchflusskurve wird wesentlich vom Beginn der Zitzenstimulation im Zeitraum des Melkbegins beeinflusst. Wie Tabelle 1 zeigt, dauert es von Stimulationsbeginn bis zur beginnenden Milchejektion (Induktionszeit) je nach Füllungsgrad des Euters eine knappe Minute. Während der Induktionszeit muss es zuerst zur Erhöhung der Ocytocinspiegel im Blut kommen, erst dann kontrahieren sich die Korbzellen und pressen die Alveolarmilch in die Zisterne. Von Stimulationsbeginn bis zum Erreichen des Druckmaximums (Ejektionszeit) vergehen im Durchschnitt etwa 1 ½ Minuten. Je nachdem, ob und wie lange eine Vorstimulation vor dem eigentlichen Abmelken von Milch durchgeführt wird, kommt es zu einem vorübergehenden Einbruch des Milchflusses (Bimodalität), wenn die Zisternenmilch verbraucht ist, bevor die erste Alveolarmilch in die Zisterne gepresst wurde. Der Tiefpunkt dieses vorübergehenden Rückgangs des Milchflusses entspricht dem Beginn der Milchejektion, d.h. die Induktionszeit der Milchejektion kann als Zeit zwischen der ersten Berührung des Euters (Reinigung, Vorstimulation oder normaler Melktakt) und dem beginnenden zweiten Milchflussanstieg bestimmt werden. Ab einer Stimulationsdauer von ca. einer Minute lässt sich dieser Einbruch des Milchflusses unter normalen Bedingungen nicht mehr feststellen, da die Milchejektion bei Melkbeginn schon begonnen hat. Bimodale Milchflusskurven treten besonders ausgeprägt bei geringem Füllungsgrad des Euters auf, d.h. am Laktationsende

und bei kurzen Zwischenmelkzeiten. In beiden Fällen ist die Zisternenmilchfraktion klein und die Milchejektion dauert besonders lang (Tabelle 1).

Tabelle 1: Verlauf der Milchejektion in verschiedenen Laktationsstadien durch manuelle Zitzenstimulation, gemessen als Euterinnendruck in der Zisterne. Induktionszeit: Zeit von Stimulationsbeginn bis zum Beginn des Druckanstiegs. Anstiegszeit: Dauer des eigentlichen Druckanstiegs bis zum Erreichen des Druckmaximums. Ejektionszeit: Dauer von Stimulationsbeginn bis zum Erreichen des maximalen Drucks (Induktionszeit + Anstiegszeit).

Gemelksmenge (versch. Laktationsstadien)	Induktionszeit (min)	Anstiegszeit (min)	Ejektionszeit (min)
< 15 kg	0.7	0.6	1.3
10 – 15 kg	0.7	0.7	1.4
5 – 10 kg	0.8	0.8	1.6
£ 5kg	1.0	1.0	2.0

Bimodale Milchflussverläufe können bei extremer Ausprägung, d.h. bei vorübergehendem Blindmelken negative Auswirkungen auf den weiteren Melkverlauf haben. Das völlige Verschwinden dieser Bimodalitäten ist aber nicht unbedingt Voraussetzung für eine optimale Milchabgabe.

Die Milchejektion im weiteren Verlauf des Melkens

Mit der Milchejektion am Melkbeginn kann in der Regel nur etwa die Hälfte der Alveolarmilch in die Zisterne verlagert werden, bevor tatsächlich Milch abgemolken wird. Wir konnten zeigen, dass die Milchejektion während des gesamten Melkvorgangs weiter geht. Deshalb müssen auch die Ocytocinkonzentrationen bis zum Melkende erhöht bleiben müssen, um eine gute Euterentleerung zu erreichen. Die Stimulationswirkung des Melkzeuges, die normalerweise gewährleistet ist, ist also absolut notwendig für den Fortgang der Milchejektion während des Melkens.

In diesem Zusammenhang ist auch die Problematik einer unterbrochenen Milchejektion zu sehen, die auftritt, wenn zwischen Eutervorbereitung (Reinigung, Stimulation) und dem eigentlichen Melkbeginn Wartezeiten von mehr als zwei Minuten auftreten. Wenn die Stimulation beendet wird, fallen die Ocytocinkonzentrationen schnell wieder ab und die Korbzellen, die die Alveolen umgeben, erschlaffen wieder. Es dauert dann besonders lang, erneut Ocytocin freizusetzen und die Korbzellen erneut zur Kontraktion zu bringen. Unter solchen Bedingungen kann die Milchabgabe stark gestört und unvollständig sein.

Stress und Milchejektion

Durch verschiedene Formen von psychischem Stress kann die Milchejektion gestört sein. In der Regel ist eine fehlende, reduzierte oder verzögerte Freisetzung von Oxytocin die unmittelbare Ursache. Welche Faktoren dabei den Milchejektionsreflex unterbrechen, ist immer noch unklar. Eine Beteiligung sogenannter endogener Opiate als "Blocker" der Oxytocinfreisetzung ist wahrscheinlich. Sicher ist nur, dass die häufig als Verursacher von Milchejektionsstörungen gehandelten Stresshormone Adrenalin und Noradrenalin in der Blutzirkulation keine Rolle bei den häufig auftretenden Milchejektionsstörungen spielen. Allerdings ist sehr wahrscheinlich, dass das Zusammenspiel aus Katecholaminkonzentrationen (Adrenalin, Noradrenalin) und deren Rezeptoren an der Regulation der Melkbarkeit beteiligt ist.

Bestimmende Faktoren für die verschiedenen Abschnitte des Milchflussverlaufs

Der Milchflussverlauf lässt sich im Wesentlichen in drei Phasen unterteilen: Die Anstiegsphase, die Plateauphase mit dem Milchflussmaximum, und die Abstiegsphase. In diesen Phasen wird der Milchfluss durch unterschiedliche physiologische und anatomische Faktoren beeinflusst. Zu beachten ist aber auch, dass die verschiedenen Phasen der Milchabgabe auch stark von Faktoren der eingesetzten Melktechnik beeinflusst werden (z.B. Vakuum, Taktverhältnis, Zitzengummi), auf die in diesem Kapitel nicht näher eingegangen werden soll.

Die Anstiegsphase charakterisiert den Milchflussverlauf bis zum Erreichen des Plateaus. Sie wird vor allem bestimmt vom Beginn einer mechanischen Stimulation in Relation zum Melkbeginn. Bei langer Vorstimulation (1 min) hat die Milchejektion bei Melkbeginn bereits begonnen und es kommt zu einem steilen Anstieg, der unmittelbar in die Plateauphase übergeht. Unterbleibt eine Vorstimulation, beginnt die Stimulation erst mit Melkbeginn, was in Form der genannten vorübergehenden Unterbrechung des Anstiegs nach dem Abmelken der Zisternenmilch und vor Beginn der Milchejektion (Bimodalität) sichtbar wird. Bei kurzer Vorstimulation ist je nach deren Dauer die Unterbrechung des Milchflusses verschieden stark ausgeprägt

Die Höhe der Plateauphase wird vor allem durch die Anatomie der Zitze bestimmt. Die eindeutige Abhängigkeit des Milchflussmaximums von der Dehnbarkeit des Strichkanals und von der Strichkanallänge wurde in mehreren Untersuchungen gezeigt. Der Tonus der Zitzenmuskulatur, gesteuert durch das sympathische Nervensystem, beeinflusst erstaunlicherweise den maximalen Milchfluss nur unwesentlich.

Bei der Dauer der Plateauphase bzw. deren Übergang in die Abstiegsphase spielt die Viertelverteilung, aber auch die Ejektionsgeschwindigkeit eine bedeutende Rolle. Die Plateauphase ist beendet, sobald einzelne Viertel wegen zunehmender Entleerung der Zisterne ihren maximalen Milchfluss verlassen. Die häufigste Ursache ist die geringere Milchmenge einzelner Viertel, meist



der Vorderviertel. Die Abstiegsphase ist stufenförmig, wobei jede Stufe das Milchflussende eines Viertels repräsentiert und gleichzeitig ein beginnendes Blindmelken dieses Viertels.

Vor allem bei Tieren mit hohem Milchflussmaximum kommt es vor, dass die Geschwindigkeit der Milchejektion mit der Entleerung der Zisterne nicht mithalten kann. Dies passiert besonders gegen Ende des Melkens, wenn mit fortschreitender Entleerung der Alveolen die Ejektionsrate stark abnimmt. Die Milchejektion wird in diesem Fall zum limitierenden Faktor für den Milchfluss, und die Milchflusskurve zeigt nicht die stufenförmige Abstiegsphase wie bei ungünstiger Viertelverteilung, sondern einen über längere Zeit andauernden kontinuierlichen Abfall des Milchflusses aller Einzelviertel. Spätestens wenn dieses Phänomen auftritt, ist das Milchflussmaximum im Vergleich zur Ejektionsgeschwindigkeit zu hoch. Der hohe Milchfluss in der Plateauphase wird durch lange Abstiegsphasen bestraft, so dass das DMG oft nur die Hälfte des maximalen Milchflusses erreicht. Wenn man davon ausgeht, dass extrem hohe Milchflussmaxima aufgrund der anatomischen Gegebenheit der Zitzen auch das Mastitisrisiko erhöhen, sollte dieser Entwicklung züchterisch begegnet werden.