

Dieter Schätzl, Hans Stanzel und Hermann Worstorff, Freising

# Verformungskenngrößen zur Charakterisierung des Zitzengummikopfes

Einsatzgebiet für Universal-Werkstoff-Prüfmaschinen?

*Unterschiedliche Shorehärten und Wandstärken von Silicon-Zitzengummis wirken sich auf die Milchabgabe und den Ausmelkgrad aus. Einfluss nehmen nicht nur der Zitzengummischicht, sondern insbesondere der Zitzengummikopf. Für eine kausale Zuordnung ist die Definition von Kenngrößen Voraussetzung. Eingeführt sind die Einsenk-tiefe und Lochaufweitung. Eine feine Abstufung vergleichbarer Verformungskenngrößen konnte mit einer Universal-Werkstoff-Prüfmaschine erreicht werden.*

In fünf Shorehärten (ShA) und drei Wandstärken gefertigte Silicon-Zitzengummis zeigten Unterschiede in Milchabgabe und Ausmelkgrad [1, 2]. Da hierauf nicht nur der Zitzengummischicht (Einfalldruck-Differenz, ED = 5 bis 14 kPa), sondern insbesondere der Zitzengummikopf Einfluss nehmen soll [3, 4], ist die Definition von Kenngrößen Voraussetzung für eine kausale Zuordnung. Eingeführt sind Einsenk-tiefe (ET) und Lochaufweitung (LAW) durch einen Prüfkegel mit Belastungsstufen von 9,81 und 19,62 N, aufgebracht mit einem abgewandelten Bohrstander [5]. Das Verfahren wird auch als ein Kriterium zur Einschätzung der Alterung eingesetzt [3, 5]. Da Zitzengummis seit Erfindung dieser Methode „weicher“ geworden sind, und unsere Versuchsserie ein Spektrum an Kopfeigenschaften bot, wurde sie auch zu einer ersten Prüfung fein abgestufter Verformungskenngrößen mit einer Universal-Werkstoff-Prüfmaschine herangezogen.

## Eintauchtiefe und Lochaufweitung (Prüfkegel-Gerät)

Das konventionelle Verfahren erfordert besondere Sorgfalt beim Einspannen des Prüfkandidaten, dessen Zentrierung und dem Aufbringen der Kraft. Mit Dr. H.-J. Rudovsky, Leipzig, stand uns ein geübter Partner zur Verfügung. Seine Erfahrung kommt in einer mittleren Messunsicherheit von geringen  $\pm 0,29$  mm bei der ET,  $\pm 0,22$  mm für LAW 1 und  $\pm 0,20$  mm bei der LAW 2, basierend auf jeweils acht vermessenen Zitzengummis zum Ausdruck. Tabelle 1 stellt die „klassischen“ Prüfgrößen für eine Serie mit 23 mm Kopfloch und 25 mm Schaft bei 2,95 mm Wandstärke sowie zwei Typen mit abgetragenem Material an der Kopfseite und einen sehr gut melkenden Standard als Vergleichsbasis zusammen.

Bei Verwendung des Prüfkegel-Verfahrens werden ET und LAW gemeinsam aus der jeweiligen Verformung bestimmt. Erwartungsgemäß führten steigende ShA – wie auch verstärkte Kopfseiten – sowohl zur Verringerung von ET als auch LAW. Hinsichtlich der Auswirkungen auf die Melkeigenschaften lassen unsere Versuche [2] die Aussage zu, dass eine relativ große ET in Verbindung mit begrenzter LAW 2 zu einem guten Ausmelkgrad führen kann. Eine besonders vorteilhafte Kombination scheint Typ 8 aufgrund seiner beiden „Kopfgelenke“ aufzuweisen [6].

Die Versuchs-Zitzengummis mit anderer Kopfkonstruktion vereinen weder Absolutwerte noch das Verhältnis von ET/LAW in ähnlicher Weise. Sie waren im durchschnitt-

## Kontrollierte Ausgangsbedingungen

Die Zitzengummis wurden in 43, 47, 51, 57 und  $60 \pm 0,2$  ShA eigens für die Versuche gefertigt (Siliconform, D 86842 Türkheim). Neben den minimalen Produktionsabweichungen können Faktoren wie Temperatur, Lagerung, Ausdünstungen des Materials, Fettaufnahme und Reinigungsmittel die Prüflinge beeinflussen. Aufgrund sorgfältiger Reinigung in den Melkversuchen in Verbindung mit nur kurzer Einsatzzeit sowie Raumtemperatur bei Lagerung und Messung wurden Störeinflüsse auf die Messunsicherheit minimiert.

Dipl.-Ing. agr. Dieter Schätzl ist Doktorand in der Arbeitsgruppe „Milchgewinnung“ und Stipendiat der H. Wilhelm Schaumann Stiftung, Hamburg. Dr. agr. Hans Stanzel leitet die Abteilung „Messtechnik“ an der Landtechnik Weihenstephan, Vöttinger Straße 36, 85350 Freising. Dr. agr. habil. Hermann Worstorff leitet die Arbeitsgruppe „Milchgewinnung“ am Institut für Physiologie, FML, TUM-Weihenstephan, Weihenstephaner Berg 5, 85350 Freising, e-mail: physio@pollux.edv. agrar.tu-muenchen.de.

## Schlüsselwörter

Melktechnik, Zitzengummi, Prüfverfahren

## Keywords

Milking technology, teat cup liner, testing methods

Literaturhinweise sind vom Verlag unter LT 99303 erhältlich oder über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

Tab. 1: Eintauchtiefe und Lochaufweitung (in mm; 312 Prüfkegel-Messungen)	SL M23 A3 ShA (#)	Eintauchtiefe		Lochaufweitung I		Lochaufweitung II	
		n	v	n	v	n	v
43 (1)	9,01	7,99	5,04	4,06	8,16	6,79	
47 (2)	8,50	7,50	3,99	3,51	7,30	6,39	
51 (3)	7,66	6,65	3,68	3,09	7,20	6,18	
57 (4)	6,11	5,44	2,88	2,50	5,26	5,45	
60 (5)	6,31	4,89	2,68	2,28	5,18	4,65	
51* (6)	8,10		3,43		7,20		
60**(7)	6,47		2,75		5,83		
Table 1: Dip and bore stretch (in mm; 312 testcone measurements)	ST M23, 51 ShA (8)	7,24		2,53		5,83	

n = ohne Kopfverstärkung; v = mit Kopfverstärkung; \*Kopf - 5,6 ± 0,06 g; \*\*Kopf - 6,3 ± 0,07 g; ST = Nr. 7027-2725-010 (Zitzengummi-Nr. und Legenden gelten analog für Tab. 2 bis 4)

Typ #	F bei 1,5 mm		F bei 3,0 mm		F bei 4,5 mm	
	n	v	n	v	n	v
(1)	3,9	5,0	5,9	8,8	7,8	12,2
(2)	3,2	6,3	6,1	10,4	9,9	14,1
(3)	3,9	7,1	7,6	12,1	12,0	16,4
(4)	5,7	11,2	10,5	18,4	16,8	24,0
(5)	6,2	11,4	11,6	19,1	18,4	25,3
(6)	3,5		7,1		10,8	
(7)	5,6		10,3		16,0	
(8)	3,8		5,8		8,4	

Tab. 2: Druckversuch mit Vertikal-Stempel von 32 mm Ø (in N; n = 117)

Table 2: Press-in trial with 32 mm diameter vertical piston (in N, n = 117)

lichen Ausmelkverhalten der Herde unterlegen, eröffnen mit dem hoch angesetzten Schaft aber gegebenenfalls Perspektiven für bei uns nicht vertretene sehr kurze Zitzen. Durch Materialabtrag an der Kopfseite konnte das Verhältnis etwas günstiger gestaltet werden. Trotzdem ließen sich nur tendenzielle Verbesserungen des Ausmelkgrades erreichen, so dass ein insgesamt weicherer Kopf nur eingeschränkt zur Lösung beizutragen scheint [3].

### Vertikale Krafteinwirkung (Universal-Material-Prüfmaschine)

Für die Arbeiten wurden Stahlstempel mit 5 mm starken Druckplatten von 32 und 40 mm Durchmesser (D) sowie darunter liegender Zentrierfläche (5 mm stark, D = 22 mm) zum Einführen in den Zitzengummikopf gefertigt. Ein Dorn an der anderen Seite ermöglichte das Einspannen in ein Bohrfutter. Zur Messung der Kraft für Verformungswegstrecken von 1,5, 3,0 und 4,5 mm (nach jeweils 10 s Belastung) wurde der Prüfling mit seiner Edelstahlhülse in einer Aufnahme fixiert. Jede Messung begann mit 10 mm Eindrücken des Stempels, Entspannung des Materials und nachfolgender Null-Setzung. Bei der Universal-Werkstoff-Prüfmaschine (Instron 4204, High Wycombe, UK) ist Reproduzierbarkeit weitgehend technisch gegeben. Anstelle von Wiederholungen haben wir daher nur einen Zitzengummi je Serie geprüft und um 3•120° gedreht, um etwaige Verkantungseinflüsse abzufangen. Die Tabellen 2 und 3 zeigen die zur Verformung benötigte Kraft.

Bei vertikaler Krafteinwirkung mit dem 32 mm Stempel (Tab. 2) wurde vor allem der Lippenbereich fein abgestuft erfasst. So fällt bei den Typen ohne Kopfverstärkung der abweichende Wert von 3,2 N bei 1,5 mm Weg mit ebenfalls aus der Reihung fallenden Melkergebnissen in [2] zusammen. Weiterhin sind die oberen ShA (Typ 4 und 5) nahe beieinander, aber von den unteren abgesetzt, was sich ebenfalls mit guten Ausmelkeigenschaften deckte. Wege von 3,0 und 4,5 mm scheinen die Erkenntnisse nicht entscheidend zu vertiefen. Typen mit Kopfverstärkung wurden ebenfalls abgestuft erfasst; wo-

bei das zusätzliche Material zu einer deutlichen Versteifung der Lippe führte, während Materialabtrag (Typen 6 und 7) erwartungsgemäß gegenteilig wirkte. Der Vergleichsgummi 8 schließlich verhielt sich durch das „2. Gelenk“ bei geringer Verformung ähnlich Typ 3 mit ebenfalls 51 ShA, brauchte aber für stärkere Verformung weniger Kraft.

Der 40 mm Stempel (Tab. 3) drückte mehr auf den gesamten Kopf als auf die Lippe. Das führte zu erheblich gesteigertem und beim Melken nicht zu unterstellenden Kraft-eintrag für größere Verformung. Obwohl sich die genannten Unterschiede tendenziell noch erkennen lassen, erscheint der größere Stempel vor allem geeignet, um die Steifigkeit des Kopfes an sich zu erfassen: Die abgeschliffenen Modelle dokumentieren das ebenso mit niedrigeren Werten wie der insgesamt weichere Kopf von Typ 8.

### Horizontale Krafteinwirkung (Material-Prüfmaschine)

Um die Dehnbarkeit der Kopfflippe getrennt von vertikaler Verformung einschätzen zu können, wurde ein Zugadapter zum Einsatz bei nicht in der Hülse montierten Zitzengummis entwickelt: Er besteht aus einem mittig geteilten Zylinder mit D = 22 mm bei 10 mm Höhe über einer Anschlagplatte für den Kopf. In Zugrichtung versetzte Halteplatten ermöglichten eine einseitig feste sowie eine bewegliche Montage für 1,0 bis 5,0 mm Zug. Die zur jeweiligen Wegstrecke gehörende Kraft wurde wiederum nach 10 s Anpassungszeit abgelesen. Tabelle 4 fasst die Ergebnisse zusammen.

Der „Zugversuch“ ermöglichte eine feine Beurteilung der Kraft in Abhängigkeit von

Tab. 4: Horizontale Lochweitung (in N; n = 65)

Typ #	F bei 1,0 mm		F bei 2,0 mm		F bei 3,0 mm		F bei 4,0 mm		F bei 5,0 mm	
	n	v	n	v	n	v	n	v	n	v
(1)	2,3	2,4	3,8	4,1	4,3	5,3	4,8	5,8	5,0	6,1
(2)	2,4	2,6	3,9	4,5	4,9	5,5	5,4	6,0	5,9	6,2
(3)	2,9	3,1	4,4	5,0	5,1	6,3	5,6	7,0	6,1	7,3
(4)	3,4	3,8	5,6	6,7	6,7	8,3	7,4	9,4	8,1	9,9
(5)	3,8	4,3	6,1	7,2	7,7	9,2	8,3	9,9	9,1	10,2
(6)	3,2		5,0		6,0		6,5		6,8	
(7)	4,3		6,5		8,0		8,9		9,4	
(8)	2,9		4,6		5,7		6,5		7,0	

Typ #	F bei 1,5 mm		F bei 3,0 mm		F bei 4,5 mm	
	n	v	n	v	n	v
(1)	11,0	10,8	20,5	20,6	27,6	28,2
(2)	13,6	13,9	24,1	23,8	30,5	33,0
(3)	14,5	16,5	27,1	30,5	35,9	40,7
(4)	22,3	23,6	40,1	40,9	49,5	56,2
(5)	23,9	22,8	41,0	41,5	53,8	58,7
(6)	13,4		24,0		32,0	
(7)	20,0		35,6		43,7	
(8)	7,6		14,4		19,8	

Tab. 3: Druckversuch mit Vertikal-Stempel von 40 mm Ø (in N; n = 117)

Table 3: Press-in trial with 40 mm diameter vertical piston (in N, n = 117)

ShA und Kopfausführung über den gesamten Prüfbereich. Abschleifen der Seiten scheint sich auf diesen Parameter vor allem bei größerer Verformung senkend auf die Kraft auszuwirken. Dagegen weist Zitzengummi 8 auf die Aussagekraft auch geringer Verformung hin: Bei 1 mm befand er sich im Bereich von Typ 3 ohne Kopfverstärkung, setzte sich aber bei größerer Zugstrecke durch mehr Kraftbedarf ab.

### Fazit

Insgesamt ist festzuhalten, dass das „klassische“ Prüfkegel-Verfahren auch bei – gegenüber früheren Zitzengummis – „weichem“ Material zu differenzierten Ergebnissen führt, die geübte Personen mit minimaler Messunsicherheit erzielen. Demgegenüber ist die Arbeit an der Universal-Material-Prüfmaschine schnell zu erlernen, erfordert aber auf die Prüflinge abgestimmte Größen der Druck- und Zugkörper. Die Ergebnisse sind in der Tendenz vergleichbar, aber insbesondere im teilweise interessanten unteren Verformungsbereich feiner differenzierbar.

Der verwendete Vertikal-Stempel mit 32 mm Durchmesser erscheint zur Prüfung der Lippen-Steifigkeit geeignet, während der mit 40 mm mehr die Kopfsteifigkeit insgesamt erfasst, welche Melkeigenschaften bislang wenig zuzuordnen ist. Die horizontale Lochaufweitung erlaubt ebenfalls eine fein abgestufte Beurteilung der Verformbarkeit. Vertiefte Melk- und Laborversuche – gegebenenfalls mit Kraft-Weg-Aufzeichnungen – erscheinen angezeigt, um sicherer von Kennwerten auf Melkeigenschaften schließen zu können.

Table 4: Horizontal bore-strech (in N; n = 65)