

# Beziehungen zwischen dem Heterozygotiegrad, geschätzt aus Markergenen, und der Fruchtbarkeit beim Rind \*

## II. Heterozygotie und Fruchtbarkeit

H.F. Hierl

Institut für Tierwissenschaften der Technischen Universität München - Weihenstephan (BRD), Lehrstuhl für Tierzucht und Tierzuchtforschung e.V. - Institut für Blutgruppen- und Resistenzforschung, München (BRD)

Relationship between Heterozygosity as Estimated from Genetic Markers and Fertility in Cattle.  
II. Heterozygosity and Fertility

**Summary.** The present investigation deals with the connexion between heterozygosity, as estimated from markers, and fertility traits in cattle. In adult cows and/or cows under suboptimal management the maternal marker heterozygosity showed a definite influence upon fertility. In unselected field records of the Hinterwälder breed, the calving interval decreased 2.3 days per 10% increase in marker heterozygosity. The number of inseminations per conception decreased by 6.2% per 10% marker heterozygosity in Fleckvieh progeny groups. Cows with less than 20 and 25%, resp., marker heterozygosity differed from those with more than 50 and 55%, resp., by 11.1 days calving interval and 0.6 inseminations per conception, resp. It was not found that the estimated marker heterozygosity of the prospective foetus influenced the success of the insemination. This might be due to the rather imprecise method of estimating foetal marker heterozygosity, but other investigators also attribute less importance to foetal heterozygosity than to maternal heterozygosity. Fertility traits of cattle are essentially all-or-none characters. Therefore, the lack of statistical significance of some of the results presented here may be due more to the imprecision of the estimate of fertility of the relatively small groups than to the method used.

**Zusammenfassung.** Die Arbeit untersucht die Beziehungen zwischen dem Heterozygotiegrad, geschätzt aus Markern, und der Fruchtbarkeit beim Rind. Bei adulten und/oder ungünstigen Produktionsbedingungen gehaltenen Tieren ist ein deutlicher Einfluß des maternalen Heterozygotiegrades auf die Fruchtbarkeit festzustellen. Bei einem unselektierten Feldmaterial der Hinterwälder-Rasse sinkt pro 10% Anstieg der Heterozygotie die ZKZ um 2,3 Tage, bei Fleckvieh-Nachkommengruppen die Zahl notwendiger Besamungen pro Konzeption um 6,2%. Tiere der HZG-Klasse I (20 bzw. 25%) und V (50 bzw. 55%) unterscheiden sich um 11,1 Tage ZKZ bzw. 0,6 Besamungen pro Konzeption. Ein Einfluß der foetalen Heterozygotie auf die Überlebenschance des Embryos konnte nicht festgestellt werden. Möglicherweise liegt die Ursache dafür an der indirekten Schätzung des HZG<sub>F</sub>, doch ist auch in anderen Untersuchungen eine etwas geringere Bedeutung des genotypischen Status des Embryos, relativ zu dem des Muttertieres, festgestellt worden. Reproduktionsleistung des Rindes als eine im wesentlichen Alles- oder Nichtseigenschaft ist nur ungenau zu erfassen, so daß der Mangel an statistisch signifikanten Ergebnissen bei einem Teil des Materials weniger an den hier verwendeten Markergenen liegen mag als vielmehr an der in relativ kleinen Gruppen nur ungenau erfassbaren Fruchtbarkeit.

### Einleitung

Merkmale mit niedriger Heritabilität, wie die Fitnesskomponenten Fruchtbarkeit, Vitalität und Widerstandskraft, können durch Reinzucht kaum verbessert werden und nach Schulmeinung ist hier die additiv genetische Varianz weitgehend erschöpft. Dagegen zeigen diese Eigenschaften Inzuchtdepression und Heterosis, beides Folgen derselben Ursache, nämlich ab- bzw. zunehmender Heterozygotie.

Vorliegende Arbeit geht anhand eines umfangreichen Materials der Frage möglicher Beziehungen

zwischen dem aus Markern geschätzten maternalen (HZG<sub>M</sub>) und foetalen (HZG<sub>F</sub>) Heterozygotiegrad und der Fruchtbarkeit beim Rind nach. Als Ursache der Heterosis werden Dominanz und Überdominanz (echte und/oder operationelle) angesehen, doch kommt auch Epistasie in Frage, die zum Unterschied von ersteren, bei bestimmten Formen jedenfalls zu einer nicht-linearen Beziehung zwischen HZG und dem Leistungsmerkmal führen sollte. Es war daher auch eine Intention der Arbeit, zur Klärung dieser Frage beim Rind beizutragen.

Die durchschnittliche Heterozygotie der hier untersuchten Rassengruppen liegt zwischen 35 und 40%. Während die Unterschiede zwischen den Populationen nur gering sind, ist die Variabilität der Reinzuchtstie-

\* Auszug aus der von der Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau genehmigten Dissertation gleichlautenden Titels.

re hinsichtlich der Heterozygotie ganz beträchtlich. So liegen die maternalen Heterozygotiegrade zwischen weniger als 10% und mehr als 70% (Hierl 1976a). Nachdem angenommen werden kann, daß dadurch die unterschiedliche Hetero- bzw. Homozygotie ihrer Träger geschätzt wird, ist zu erwarten, daß heterotische Eigenschaften entsprechende Veränderungen zeigen. Plum (1959) betrachtete 20 Blutgruppenfaktoren so als ob sie unabhängig vererbt würden, und stellte mit der Zahl der unterschiedlichen, parentalen Blutgruppenfaktoren ein Ansteigen der Abkalberate fest. Conneally et al. (1963) verwendeten 35 Blutgruppenfaktoren, die sie als unabhängig annahmen, und unterstellten Dominanz und gleiche Frequenzen. Mit zunehmender Heterozygotie sank der Prozentsatz umrindernder Tiere um 0,35% je Faktor, welcher als heterozygot geschätzt wurde. Chakrabarti (1970) konnte in einer Braunviehherde, deren Fruchtbarkeitsstatus als schlecht zu bezeichnen war, nach Ausschaltung der Einflüsse von Saison, Jahr, Parität und Untersuchungsbefund einen statistisch hochsignifikanten Zusammenhang zwischen Heterozygotiegrad des Muttertieres und dem Besamungserfolg feststellen. Tiere mit einem Heterozygotiegrad von 50% wiesen gegenüber Tieren mit nur 10% eine um 5% höhere Fruchtbarkeit auf. In einer zweiten, unter normalen Produktionsbedingungen gehaltenen Herde war kein signifikanter Zusammenhang festzustellen. Zwischen wahrscheinlichem Heterozygotiegrad des prospektiven Föeten ( $HZG_F$ ) und dem Besamungserfolg konnte keine Beziehung nachgewiesen werden. Auch Schleger et al. (1974) finden eine gesicherte Beziehung zwischen Heterozygotiegrad und der Fruchtbarkeit. Mit steigendem Index sank die Zahl notwendiger Besamungen und die durchschnittliche Zwischenkalbezeit (ZKZ).

#### Material und Methode

Tabelle 1 gibt einen zusammenfassenden Überblick über Größe und Struktur des Materials, die verwendeten Fruchtbarkeitskriterien und die erfolgten Vorkorrekturen sowie die außer dem  $HZG_M$  und  $HZG_F$  im statistischen Modell berücksichtigten Größen. Das Erstbesamungsalter der Kalbinnen (unter 18 Monate, 18 bis 24 Monate, über 24 Monate) in Material I übte keinen statistisch signifikanten Einfluß auf die Zahl notwendiger Besamungen aus und wurde deshalb im statistischen Modell nicht weiter berücksichtigt. Material II b und III b und c enthalten mehrere Trächtigkeitsperioden eines Tieres.

Da es sich bei Material I um Einzeluntersuchungen von Tieren aus Betrieben handelt, welche über ganz Bayern verstreut liegen, konnte die Zahl notwendiger Besamungen nicht verglichen werden, ohne die Fruchtbarkeitslage der Herde erfaßt und berücksichtigt zu haben. Zu diesem Zweck wurde eine Fruchtbarkeitsbetriebszahl (FBZ) nach nachstehender Formel konstruiert:

$$\hat{X} = \frac{n}{n+a} (X - \bar{X}) + \bar{X}$$

$n$  = Anzahl der Gefährtinnen

$a = \frac{\sigma^2_I}{\sigma^2_{ZW}}$  Varianz innerhalb Herden  
Varianz zwischen Herden

$X$  = Herdendurchschnitt-ZKZ

$\bar{X}$  = Rassendurchschnitt-ZKZ

$\hat{X}$  = adjustierter Herdendurchschnitt = FBZ

Die Varianzkomponenten wurden mittels einer einfachen Varianzanalyse geschätzt und scheinen in Tabelle 2 auf.

Die größere Streuung zwischen Herden beim Fleckvieh dürfte eine Wirkung seines weiteren Verbreitungsgebietes sein, die sich auch im Unterschied des Verhältnisses der Varianzkomponenten ( $a$ -Wert) widerspiegelt (Hierl 1974).

Die Bedeutung der einzelnen Einflußgrößen wurde durch einen F-Test erfaßt. Allerdings ist hier einschränkend zu bemerken, daß solche Prüfungen, zumindest für die hier verwendete Erfolgsvariable "Konzeptionserfolg" und "ZKZ", die ja keine normalen Verteilungen aufweisen, nur approximativ sind. Trotzdem sind jedoch die Schätzwerte für die einzelnen Einflußgrößen wie Parität, Jahr, Betrieb, Herdenfruchtbarkeit, Art der Sameneinführung, Brunst, Stier und Heterozygotiegrad die "besten" im Sinne eines kleinstmöglichen Fehlers. Der Zusammenhang zwischen HZG und der Fruchtbarkeit wurde mittels einer "Least Squares"-Analyse nach Harvey (1960) untersucht.

Die Modelle gehen aus Tabelle 1 hervor. Nachstehend wird als Beispiel das Modell für Material Ia angeführt (Kreuzklassifikation mit fixen Effekten):

$$y_{ijkl} = \mu + p_i + f_j + h_k + e_{ijkl}$$

$y$  = Zahl notwendiger Besamungen zur Konzeption

$\mu$  = Mittelwert

$p_i$  = Wirkung der Parität  $i$

$f_j$  = Wirkung der FBZ des Betriebes  $j$

$h_k$  = Wirkung des Heterozygotiegrades  $k$

$e$  = Fehler

Der Einfluß der Heterozygotie auf die Fruchtbarkeit wurde einmal in Form von linearen und quadratischen Regressionskoeffizienten und zum anderen als diskrete Schätzwerte der jeweiligen Fruchtbarkeitskriterien, getrennt für die einzelnen HZG-Klassen erfaßt. Der Heterozygotiegrad des prospektiven ( $HZG_F$ ) wurde aufgrund der jeweils ersten Belegung anhand von 8 Blutgruppen-Loci geschätzt. Der Erfolg dieser Belegung wurde als Konzeptionsrate (KR) ausgedrückt und war entweder erfolgreich oder nicht erfolgreich. Bei der Schätzung der Beziehung - föetale HZ und Konzeptionsrate - war stets der maternale ( $HZG_M$ ) als kontinuierliche Variable berücksichtigt.

Tabelle 1. Übersicht über Größe und Struktur des Materials, verwendete Fruchtbarkeitskriterien, Rassen und erfolgte Korrekturen bei der Untersuchung der Beziehungen von Heterozygotie und Fruchtbarkeit

Material	I				II		III			IV				
	a	b	c (a+b)	d	a	b	a	b	c	a	b			
Fruchtbarkeitskriterien	I/K / KR				ZKZ1	ZKZØ	I/K / KR			I/K / KR				
Anzahl Tiere	426	201	627	243	175	163	111	310	111	132	89			
Loci	8				8		8			8, 13	8, 13			
Daten	F				F		VB			ST				
Rasse	FV	BV	FV+BV	FV+BV	HW		Schwb × HF			FV				
Art	Kalbinnen und Kühe mit 2. und 3. Trächtigkeit			Kühe mit 2. und 3. Trächtigkeit		Kühe	Kalbinnen	Kalb. und Kühe	Kühe ab der 3. Trächtigkeit	Kühe	Kalbinnen			
Vorkorrekturen	Saison, Jahr und Parität				Saison, Jahr und Parität									
Unabhängige Variable im statistischen Modell	HZG <sub>M</sub>						KB-NS <sup>xx</sup>	KB-NS <sup>xx</sup>	KB-NS <sup>xx</sup>	Betrieb	Stier			
	P	P	P	R	FBZ	FBZ <sup>x</sup>	R	FBZ	S <sup>x</sup>	BR <sup>xx</sup>	BR <sup>xx</sup>	BR <sup>xx</sup>	x 8, 13	x 13
	HZG <sub>F</sub>						BR <sup>xx</sup>	Y <sup>xx</sup>	Y <sup>xx</sup>	P <sup>x</sup>	P	KB-NS		
	P <sup>x</sup>	P	P <sup>x</sup> , R	R			KB-NS <sup>xx</sup>	KB-NS <sup>xx</sup>	KB <sup>xx</sup>	Betrieb <sup>xx</sup>	Stier <sup>xx</sup>			
							BR <sup>xx</sup>	BR <sup>xx</sup>	B <sup>xx</sup>					
							Y	Y <sup>xx</sup>	Y <sup>xx</sup>					
								P <sup>x</sup>	P					

Fruchtbarkeitskriterien

KR = Konzeptionsrate  
 I/K = Inseminationen per Konzeption  
 ZKZ1 = Abweichung der ersten individuellen Zwischenkalbezeit vom Herdendurchschnitt "Erste Zwischenkalbezeit"  
 ZKZØ = Abweichung der individuellen durchschnittlichen Zwischenkalbezeit vom Herdendurchschnitt "Durchschnittliche Zwischenkalbezeit"

Rassen

FV = Fleckvieh  
 BV = Braunvieh  
 HW = Hinterwälder  
 Schwb-HF = Deutsche Schwarzbunt-Holstein-Friesian-Herde des Versuchsgutes Schleißheim

Daten

F = Feldmaterial  
 VB = Versuchsbetrieb  
 St = Nachkommenprüf-Station

Korrektur

P = Parität  
 S = Saison  
 Y = Jahr  
 FBZ = Fruchtbarkeitsbetriebszahl  
 R = Rasse  
 V = Vater  
 KB, NS = Künstliche Besamung oder Natursprung  
 BR = Brunst, bei welcher die erste Besamung bzw. Bedeckung erfolgte

Signifikanz

x = p ≤ 0,05  
 xx = p ≤ 0,01  
 x<sub>8</sub> = p ≤ 0,05 bei Einbezug des HZG, geschätzt aus 8 Blutgruppenloci  
 x<sub>13</sub> = p ≤ 0,05 bei Einbezug des HZG, geschätzt aus 9 Blutgruppen und 4 biochemischen Loci

Tabelle 2. Varianzkomponenten zwischen ( $\sigma^2_{ZW}$ ) und innerhalb ( $\sigma^2_I$ ) Herden bei Fleckvieh und Braunvieh

Rasse	FG		Varianzkomponenten		Prozent		a
	Herden	Rest	Herden	Rest	Herden	Rest	
FV	383	4065	552	7117	7,2	92,8	13
BV	211	3160	316	6093	4,3	95,1	19

### Ergebnisse

#### 1. Maternale Heterozygotie ( $HZG_M$ ) und Fruchtbarkeit

Die Zusammenhänge zwischen Fruchtbarkeit und Heterozygotie werden anhand der diskreten Schätzwerte der einzelnen HZG-Klassen mit ihren Fehlern und der jeweiligen Klassenbesetzung für Material Ia und Ib, II und IV a in Tabelle 3 aufgezeigt. In den Abb. 1 bis 3 sind diese Beziehungen graphisch dargestellt. Der HZG ist in 10%-Intervallen aufgetragen, beginnend bei Material I und IV a mit < 20% und bei Material II bei < 25%.

In Tabelle 4 scheinen die nicht orthogonalen Regressionskoeffizienten auf.

Bei Material Ia (Abb. 1) ist ein nicht signifikanter Rückgang der Zahl notwendiger Besamungen pro Konzeption zu verzeichnen. Die Fruchtbarkeitslage des Betriebes hatte bei Fleckvieh keinen Einfluß auf die Zahl notwendiger Besamungen, wogegen "Parität" sich als signifikant erwies. Bei Material Ib ist eine eigentümliche Nichtlinearität ( $I/K = 1,61 + 0,3 HZG_M + (0,09 \pm 0,04) HZG_M^2$ ) festzustellen (Abb. 1), die einen hochsignifikanten Einfluß ( $p \leq 0,01$ ) ausübt. Der Einfluß der Herdenfruchtbarkeitslage ist ebenfalls gesichert, "Parität" fast signifikant. In Material Ic werden die beiden Rassen FV und BV (Ia und Ib) unter Berücksichtigung von "Rasse" und "Parität" gemeinsam analysiert. Die FBZ erwies sich als nicht von Einfluß und wurde daraufhin nicht einbezogen, "Parität" ist signifikant. Es ist eine Annäherung an den nichtlinearen Verlauf von BV zu verzeichnen, die allerdings nicht gesichert werden kann. Werden in Id schließlich unter Berücksichtigung von "Rasse" und "FBZ" nur die Kühe analysiert, ist, ähnlich wie bei FV, der Trend einer linearen Abnahme von I/K festzustellen. Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß in Material I der Zusammenhang zwischen He-

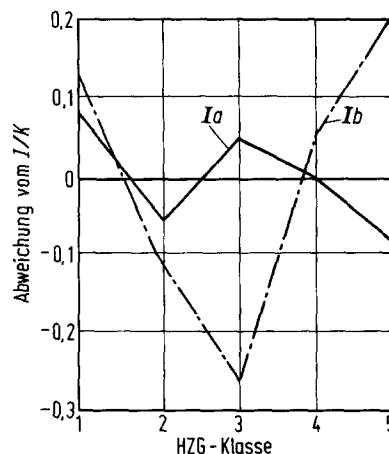


Abb. 1.  $HZG_M$ -I/K (Material Ia und Ib)

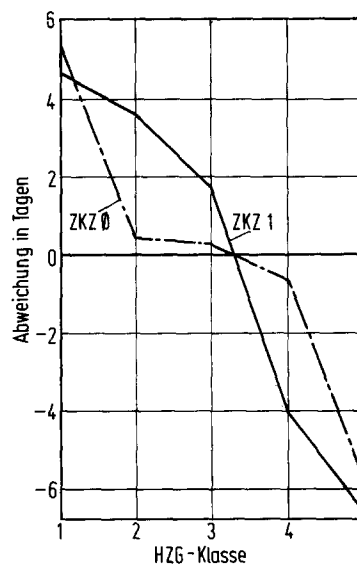


Abb. 2.  $HZG_M$ -ZKZ (Material II)

terozygotie und Fruchtbarkeit weit von einer statistischen Signifikanz entfernt ist. Als mögliche Erklärung bietet sich die Tatsache an, daß es sich, als Routinefälle des Blutgruppenlabors München, nicht um eine Stichprobe, sondern um ausgewählte Tiere (Stiermütter) handelt, denen möglicherweise besondere Betreuung zuteil geworden ist. Alle Daten von Material I und auch die von IV stammen von einzelnen Trächtigkeitsperioden, was eventuell zu leichten Verzerrungen der Schätzwerte führen kann.

Bei den Hinterwäldern in Material II sinkt mit zunehmendem  $HZG_M$  sowohl die erste als auch die durchschnittliche ZKZ (Abb. 2). Die Abnahme der ZKZ1 ist nicht signifikant, wohl aber der Effekt des  $HZG_M$  auf ZKZ0 ( $1,5 - 2,3 HZG_M \pm 1,1$ ). Pro 10% mehr Heterozygotie sinkt die ZKZ0 um 2,3 Tage. Tie-

Tabelle 3. Diskrete Schätzwerte der einzelnen HZG-Klassen

Material	Ia	Ib	IIa	IIb	IVa HZG <sub>8</sub>	IVa HZG <sub>13</sub>
Fruchtbarkeitskriterium	I/K	I/K	ZKZ1	ZKZØ	I/K	I/K
Anzahl unters. Tiere	426	201	175	163	132	132
$\mu$	1.68	1.80	4.3	1.5	1.95	2.01
s	0.05	0.08	3.3	1.5	0.14	0.14
HZG-Klasse						
I	$\Delta$ +0,079 $\pm$ 0,137 N 43	+0,132 $\pm$ 0,180 23	+4,7 $\pm$ 7,0 37	+5,5 $\pm$ 3,7 27	+0,333 $\pm$ 0,342 12	+0,333 $\pm$ 0,409 8
II	$\Delta$ -0,048 $\pm$ 0,086 N 105	-0,116 $\pm$ 0,127 46	+3,7 $\pm$ 7,8 30	+0,5 $\pm$ 3,6 28	+0,059 $\pm$ 0,223 27	+0,012 $\pm$ 0,306 15
III	$\Delta$ +0,48 $\pm$ 0,085 N 110	-0,264 $\pm$ 0,120 55	+1,8 $\pm$ 6,8 40	+0,3 $\pm$ 3,0 40	-0,031 $\pm$ 0,198 42	+0,207 $\pm$ 0,188 49
IV	$\Delta$ +0,006 $\pm$ 0,87 N 117	+0,048 $\pm$ 0,124 48	-3,9 $\pm$ 6,7 41	-0,6 $\pm$ 3,0 41	-0,092 $\pm$ 0,222 31	-0,001 $\pm$ 0,211 34
V	$\Delta$ -0,079 $\pm$ 0,122 N 51	+0,200 $\pm$ 0,154 29	-6,4 $\pm$ 8,2 27	-5,6 $\pm$ 3,7 27	-0,270 $\pm$ 0,280 20	-0,138 $\pm$ 0,235 26

$\Delta$  = Abweichung vom Mittelwert, N = Klassenbesetzung

Tabelle 4. Nicht orthogonale Regressionskoeffizienten der Fruchtbarkeitsmerkmale auf die Heterozygotie (in 10 %-Klassen)

Material	Fruchtbarkeitskriterium	Mittelwert	Regr.-Koeff.	Standardfehler
Ia	I/K	1,67	-0,016	.036
Ib		1,80	+0,046	.046
Ic		1,73	+0,006	.029
Id		1,80	-0,009	.048
IIa	ZKZ	4,3	-3,0	2.4
IIb		1,5	-2,3	1.1
IIIa	I/K	1,55	-0,011	.058
IIIb		1,94	+0,008	.029
IIIc		1,57	+0,019	.038
IVa	I/K 8	1,94	-0,124	.085
	13	2,01	-0,051	.089
IVb	I/K 8	1,19	+0,009	.058
	13	1,23	+0,077	.050

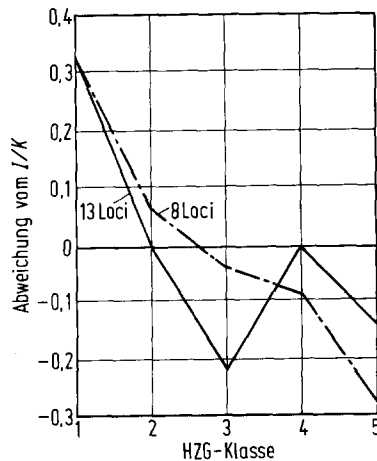
re der HZG-Klasse I weisen eine um 11,1 Tage längere ZKZØ auf als Tiere der HZG-Klasse V. Dieser Zusammenhang wird auch durch die linearen kontinuierlichen Regressionskoeffizienten von ZKZ1 =  $-0,0228 \pm 0,0224$  und ZKZØ =  $-0,0152 \pm 0,0110$  verdeutlicht. Material II umfaßt fast den ganzen Rassenbestand der Hinterwälder, wurde zum Zweck der Genfrequenzschätzung gesammelt und kann somit als unselektiert angesehen werden.

Material III umfaßt die Herde des Versuchsgutes Schleißheim<sup>1</sup>. In das statistische Modell  $HZG_M: I/K$  gingen zahlreiche Größen, nämlich KB bzw. Natursprung, Jahr, Parität, Brunst, ein, von denen ein starker Einfluß zu erwarten war. Signifikante Wirkungen der Heterozygotie auf die Fruchtbarkeit waren nicht festzustellen.

Bei Material IV handelt es sich um Nachkommen von Prüftieren einer Nachkommenprüfstation<sup>2</sup>. IVa war auf zwei, hinsichtlich Fütterung, Haltung und Pflege sehr unterschiedliche Betriebe verteilt, IVb bestand aus Gruppen von 20 Kalbinnen, denen Stiere für eine Periode von je 21 Tagen zugeteilt waren. Demgemäß wurde bei IVa für Betriebseffekte, bei IVb für "Belegstier" korrigiert. I/K nimmt bei IVa mit zunehmenden  $HZG_{M(8)}$  regelmäßig ( $1,94 - 0,12 HZG \pm 0,09$ ), bei zunehmenden  $HZG_{M(13)}$  unregelmäßig ( $2,01 - 0,05 HZG_M \pm 0,09$ ) ab (Abb.3), erreicht jedoch auch bei  $HZG_{M(8)}$  keine Signifikanz.

<sup>1</sup> An dieser Stelle sei Professor Kräusslich für die Überlassung des Materials und Dr. Osterkorn für die Hilfe bei der Sichtung des Materials Dank gesagt.

<sup>2</sup> Besonderer Dank gilt der Besamungsstation Landshut, Herrn ORVR Dr. Worbs und seinen Mitarbeitern für die Möglichkeit, detaillierte Blutgruppen- und Fruchtbarkeitsuntersuchungen durchzuführen.

Abb.3.  $HZG_M-I/K$  (Material IVa)

Ein sehr unregelmäßiges Bild zeigt sich bei IV b, wo kein eindeutiger Verlauf zu vermerken ist und eine Signifikanz von nur  $p \leq 0,2$  beim  $HZG_M(13)$  festzustellen ist. In diesen Kalbinnengruppen mußten nur ganz wenige Tiere nachbesamt werden, so daß die Variabilität sehr gering war. Anhand dieses Materials läßt sich somit keine Aussage über mögliche Beziehungen zwischen HZG und I/K treffen. Sowohl für die Wirkung der maternalen als auch der foetalen Heterozygotie auf die Fruchtbarkeit wurden die linearen und quadratischen kontinuierlichen Regressionskoeffizienten berechnet. Sie bringen jedoch im wesentlichen keine andere Information als die nicht orthogonalen Regressionskoeffizienten, so daß auf eine tabellarische Wiedergabe verzichtet wurde. Sie sind bezüglich HZG im übrigen lediglich bei Material II a und b und IV a größer als ihre Fehler und verlaufen in erwarteter Richtung.

## 2. Foetale Heterozygotie ( $HZG_F$ ) und Fruchtbarkeit

Der  $HZG_F$  wurde, wie bereits ausgeführt, in der Regel nur für die 1. Bedeckung bzw. Besamung geschätzt, um eventuelle Selektionseffekte zu vermeiden. Insgesamt betrachtet ergeben sich nur wenig deutliche Zusammenhänge. In Tabelle 5 sind die Regressionskoeffizienten angegeben.

Bei Material Ia zeigt die foetale Heterozygotie eine noch weniger deutliche Beziehung zum Besamungserfolg als die maternale, während für Ib das umgekehrte der Fall ist. Die Beziehung zwischen  $HZG_M$  und I/K nimmt einen nichtlinearen Verlauf, die Beziehung zwischen  $HZG_F$  und KR ist linear. Bei Ma-

Tabelle 5. Nicht orthogonale Regressionskoeffizienten der Konzeptionsrate (KR) auf die foetale Heterozygotie (in 10 %-Klassen)

Material	KR (in Prozent)	Regressionskoeffizient	Standard-Fehler
I a	50	+0.020	.033
b	43	+0.025	.050
c	42	+0.019	.028
d	42	-0.044	.043
III a	65	-0.031	.061
b	48	-0.016	.032
c	66	+0.004	.044
IV a	52	+0.052	.056
b	83	-0.131	.131

terial III sind ebenfalls keine eindeutigen Zusammenhänge erkenntlich. Wie in Ib ist auch in IV a die Beziehung in erwarteter Richtung, wesentlich deutlicher, jedoch ebenfalls nicht signifikant.

## Diskussion

Bei Material I zeigt sich ein nur lockerer Zusammenhang zwischen HZG und Besamungserfolg. Material I umfaßt jedoch Einzeltiere, welche zum großen Teil Bullenmütter sind. Diese Tiere müssen als vorselektiert betrachtet werden und ihre Haltungsbedingungen können nicht als durchschnittlich (normal) angesehen werden. Da das Fruchtbarkeitsgeschehen sehr erratic ist, kann es zum weiteren aus Einzelergebnissen nur mit relativ großen Fehlern behaftet erfaßt werden. Zudem enthält Material I einen hohen Kalbinnenanteil. Nach Mares et al. (1961) sind Kalbinnen gegenüber zunehmender Homozygotie besser gepuffert. Nach Eliminierung der Kalbinnenendaten wurden beide Rassen unter Ausschaltung von Rasseneinflüssen in Id analysiert, aber auch hier wird nicht die hinsichtlich Richtung erwartete Beziehung gefunden. Es ist denkbar, wenn auch nicht sehr wahrscheinlich, daß sich die Einflüsse der Rassen soweit neutralisieren, daß der durchschnittliche Regressionskoeffizient nicht mehr signifikant wird. Bei Material II b, Tieren mit einer durchschnittlichen Anzahl von 5 Kalbungen, war mit steigender Heterozygotie ein linearer, signifikanter Rückgang der ZKZ zu verzeichnen. Pro 10 % Anstieg des HZG sinkt die ZKZ um  $2,3 \pm 1,1$  Tage. Bei Pirchner (1974) ist der kombinierte Regressions-Koeffizient (welcher gegenwärtiges Material mit einschließt)

pro 10 % Heterozygotie  $3,1 \pm 1,3$  Tage. Allerdings ist dieser Wert nicht unkritisch zu betrachten, da Ergebnisse sehr unterschiedlichen Materials kombiniert wurden. Chakrabarti (1970) und Schleger et al. (1974) stellen ebenfalls nur bei adulten Tieren signifikante Beziehungen zwischen  $HZG_M$  und der Fruchtbarkeit fest.

Pichelmaier (1974) kommt beim Tiroler Grauvieh zu ähnlichen, allerdings nicht signifikanten Ergebnissen. Pro 10 % mehr Heterozygotie sinkt die durchschnittliche Günst-Periode um  $3,1 \pm 4,2$  Tage. Material III ist, wie bereits erwähnt, auf sehr wesentliche Einflußgrößen, nämlich Brunst, KB oder Natursprung etc., korrigiert. Deshalb und auch in Anbetracht der relativ hohen HZ hätte man zumindest gerichtete Zusammenhänge vermutet. Die sorgfältige tierärztliche Betreuung der Herde mag möglicherweise Unterschiede aufgehoben haben. Außerdem ist eine Annahme von Vann (1966) in Betracht zu ziehen, wonach der Heterozygotenvorteil mit dem Heterozygotwerden einer zunehmenden Zahl von Loci sinkt. Untersuchungen von Tantawy und Reeve (1958) über Zusammenhänge zwischen Leistungsrückgang und Inzuchtgrad bei *Drosophila* unterstützen diese Ansicht und deuten daraufhin, daß der Verlust heterozygoter Loci vielleicht solange unproblematisch resp. die Zunahme der Heterozygotie ohne Einfluß auf metrische Leistungen ist, solange ein bestimmter Schwellenwert nicht über- bzw. unterschritten ist. Unter diesem Schwellenwert wiegt ein weiterer Verlust heterozygoter Loci um so stärker, je weniger Loci noch heterozygot sind.

Bei den Nachkommenprüfgruppen im Material IV a zeigt sich ebenfalls ein eindeutiger Zusammenhang zwischen  $HZG_M$  und Besamungserfolg. Mit einer Steigerung der Heterozygotie um 10 % sinkt die Zahl notwendiger Besamungen um 6,2%. Tiere der  $HZG$ -Klasse I benötigen 0,6 Besamungen per Konzeption mehr als Tiere der Klasse V. Die Haltungsbedingungen dieser Gruppen sind als ausgesprochen ungünstig anzusehen (Stallumbau, mehrmaliger Melkerwechsel, Kalbeseuche). Chakrabarti (loc. cit.) konnte ebenfalls nur bei einer Herde mit ungünstigen Umweltbedingungen signifikante Zusammenhänge feststellen, nicht jedoch bei normalen Produktionsherden. Signifikante Beziehungen zwischen foetaler Heterozygotie und Konzeptionsrate konnten nicht nachgewiesen werden, was ebenfalls die Ergebnisse von Chakrabarti (loc. cit.) bestätigt. Auch Conneally et al. (loc. cit.),

Mares et al. (1961) und Hawk et al. (1955) finden, daß die foetale Heterozygotie in Vergleich zur maternalen für die Fruchtbarkeit der Kuh von geringerer Bedeutung zu sein scheint. Nach Conneally und Mitarbeiter ist der Regressionskoeffizient - embryonaler Verlust bis zum 5. Trächtigkeitsmonat, Foetusverlust und Non-Return-Rate - auf maternale Inzucht wesentlich größer als auf foetale ( $b_M = 0,70$ ,  $b_F = 0,56$  resp.). Auch Hawk und Mitarbeiter stellen fest, daß Inzucht der Kuh deutlichere Wirkungen auf die embryonale Mortalität zeigt als Inzucht des Embryo.

Vorliegende Untersuchung sollte auch einen Beitrag zur Klärung der Heterosis beim Rind liefern. Die linearen Beziehungen in Material II b und IV a ließen formal auf Dominanz- und Überdominanzeffekte schließen, der nichtlineare Verlauf in Material I b würde dagegen epistatische Wirkungen andeuten. Mangels signifikanter Ergebnisse und aufgrund der Struktur des hier untersuchten Materials können diesbezüglich jedoch keine Aussagen getroffen werden. Die verschiedenen Kurvenläufe können auch anders erklärt werden bzw. die Unterschiede im Kurvenverlauf als zufällig betrachtet werden.

#### Literatur

- Chakrabarti, S.: Untersuchungen über Zusammenhänge zwischen Heterozygotie und Fruchtbarkeit bei Rindern. Vet. Med. Diss. Tierärztliche Hochschule Wien (1970)
- Conneally, P.M.; Stone, W.H.; Tyler, W.J.; Casida, L.E.; Morton, N.E.: Genetic load expressed as fetal death in cattle. J. Dairy Sci. 46, 232-236 (1963)
- Harvey, W.E.: Least-squares-analysis of data with unequal subclass numbers. Agric. Research Service, 20 - 8 - United States Dep. of Agric., Washington D.C. (1960)
- Hawk, H.W.; Tyler, W.J.; Casida, L.E.: Effect of sire and system of mating on estimated embryonic loss. J. Dairy Sci. 38, 420-427 (1955)
- Hierl, H.F.: Beziehungen zwischen dem Heterozygotiegrad, geschätzt aus Markergenen und der Fruchtbarkeit beim Rind. Dissertation Weihenstephan (1974)
- Hierl, H.F.: Beziehungen zwischen dem Heterozygotiegrad, geschätzt aus Markergenen und der Fruchtbarkeit beim Rind. I. Schätzung und Ausmaß der Heterozygotie in deutschen Rinderrassen. Theor. Appl. Genetics 47, 69-75 (1976 a)
- Mares, S.E.; Menge, A.C.; Tyler, W.J.; Casida, L.E.: Genetic factors affecting conception rate and early pregnancy loss in Holstein cattle. J. Dairy Sci. 44, 96-103 (1961)
- Pichelmaier, H.: Leistung und genetischer Polymorphismus im Südtiroler Grauvieh. Vet. Med. Diss., Tierärztliche Hochschule Wien (1974)
- Pirchner, F.: Heterozygosity as estimated from genetic markers and its relation to performance

- of cattle. Poultry Breeders Roundt. Conf., Kansas (1974)
- Plum, M.: Hetero blood types and breeding performance. *Science* 129, 781-782 (1959)
- Schleger, W.; Mayerhofer, G.; Pirchner, F.: Relationship between heterozygosity as estimated from genetic markers and performance of dairy cattle. 14th Intern. Conf. Anim. Blood Grps. Biochem. Polym., Davis, California (1974)
- Tantawy, A.O.; Reeve, E.C.R.: Studies in quantitative inheritance. IX. The effects of inbreeding at different rates in *Drosophila melanogaster*. *Zschr. Ind. Abst. Vererbungslehre* 87, 684-693 (1958)
- Vann, E.: The fate of x-ray induced chromosomal rearrangements introduced into laboratory populations of *Drosophila melanogaster*. *Amer. Naturalist* 100, 425-449 (1966)

Eingegangen am 7. Juli 1975  
Angenommen durch W. Seyffert

Dr. Hubert Franz Hierl  
Institut für Tierwissenschaften der  
Technischen Universität München  
Lehrstuhl für Tierzucht  
D-805 Freising-Weihenstephan (Germany/BRD)