Reaktionen von Rindern auf 4000 m simulierte Höhe in Abhängigkeit vom Alter

Autor(en): **Bianca, W. / Näf, F.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Archiv für Tierheilkunde SAT : die Fachzeitschrift für Tierärztinnen und Tierärzte = Archives Suisses de Médecine Vétérinaire ASMV : la revue professionnelle des vétérinaires**

Band (Jahr): **120 (1978)**

PDF erstellt am: **27.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-593440

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Schweiz. Arch. Tierheilk. *120,* 615–630, 1978

Aus dem Bioklimatischen Laboratorium des Instituts für Tierproduktion, ETH, Zürich

Reaktionen von Rindern auf 4000 m simulierte Höhe in Abhängigkeit vom Alter

von *W. Bianca*[1] und *F. Näf*

I. Einleitung

In verschiedenen Gebieten der Erde wird das Rind in Höhen bis zu etwa 4000 m gehalten. Das in diesen Höhen reduzierte Sauerstoffangebot führt zu kompensatorischen Veränderungen der Tiere, im Extremfall zur chronischen Bergkrankheit und zum Tode. Studien über den Einfluss der Höhe auf das Rind umfassen Untersuchungen unter natürlichen Verhältnissen [18, 24, 15, 10, 9, 19, 22, 12, 3, 7] und in der Unterdruckkammer [8, 5, 4, 6].

In Beantwortung einer simulierten Höhe von 3500 m aktivierten Kälber vorzugsweise das zirkulatorische, Ochsen das erythropoetische System [13]. Praktische Erfahrungen in Südamerika deuten darauf hin, dass Kälber stärker durch die Höhe beansprucht werden als ausgewachsene Rinder (persönliche Mitteilungen in Peru und Bolivien).

Die Frage der Altersabhängigkeit der Höhenreaktionen beim Rind ist noch nicht ausreichend abgeklärt. In der vorliegenden Arbeit wurde untersucht, ob das Rind mit fortschreitendem Alter in der Beantwortung einer standardisierten Hypoxiebelastung, unter thermoneutralen Bedingungen, eine systematische Veränderung erfährt. Diese Frage interessiert vom entwicklungs-physiologischen Standpunkt aus und in Zusammenhang mit der Haltung von Rindern in grossen Höhen. Tatsächlich leben z.B. in Peru und Bolivien Rinder in Höhenlagen bis zu 4000 m. Untersuchungen wie die vorliegenden können deshalb auch von Bedeutung sein für den Viehexport sowie die Tätigkeit tierärztlicher Experten in Entwicklungsländern.

II. Methodisches

1. Tiere

Es wurden 8 Braunvieh-Ochsen verwendet, die bei Versuchsbeginn im Durchschnitt 8 Wochen alt waren und 70,9 ± 5,1 kg wogen.

2. Ernährung

Bis zur 10. Woche erhielten die Tiere Vollmilch, Heu und Kraftfutter, anschliessend pelletiertes Mischfutter aus Gras- und Maismehl sowie Wasser ad lib. Der tägliche Futterverzehr wurde als Summe der TS-Aufnahmen der einzelnen Futterkomponenten berechnet. Die mit dieser Ernährung erzielte durchschnittliche tägliche Zunahme an Körpergewicht über die gesamte Versuchszeit betrug 906 g.

3. Versuchsanordnung

Vier Experimenttiere wurden in Abständen von etwa 2 Monaten 5mal, während jeweils 3 Tagen, in einer Unterdruckkammer an 4000 m Höhe exponiert. Die Lufttemperatur betrug 20 ° C, die Luft-

[1] Adresse: Prof. Dr. W. Bianca und Dr. F. Näf, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich.

Tab. 1 Die Versuchsperioden

Versuchsperiode	1	2	3	4	5
Datum	7. Febr.	28. März	6. Juni	2. August	3. Okt.
Alter der Tiere (Wo)	8	15	25	33	42

Tab. 2

EXPOSITION								
GRUPPE	Höhe (m)	TAG NR						
		1	2	3	4	5	6	7
EXPERIMENT	4000							
	400							
KONTROLL	400							

UNTERSUCHUNGEN (beide Gruppen)							
PARAMETER	TAG NR						
	1	2	3	4	5	6	7
KG	●	●	●	●	●	●	●
FV WK	●	●	●	●	●	●	
KT HF AF BW			●	●	●	●	

Legende :

KG = Körpergewicht
FV = Futterverzehr
WK = Wasserkonsum
KT = Körpertemperaturen
HF = Herzfrequenz
AF = Atmungsfrequenz
BW = Blutwerte

feuchtigkeit 50 %. Vier Kontrolltiere wurden unter gleichen Bedingungen, aber auf Normalhöhe (400 m) in einer Klimakammer gehalten. Die 5 Versuchsperioden verteilten sich auf die folgenden Daten (Tab. 1).

Die detaillierte Versuchsanordnung während jeder der 5 Perioden ist in Tab. 2 angegeben. Vor jeder Höhenexposition verbrachten die Tiere der Experimentgruppe 3 Tage in 400 m Höhe zur Gewinnung von Basiswerten.

Die Zeit zwischen den einwöchigen Untersuchungsperioden verbrachten die Tiere im Stall bei 400 m Höhe und Lufttemperaturen im Bereiche von 22–18 ° C (bis zur 3. Periode) und von etwa 15–20 ° C (nach der 3. Periode).

4. Untersuchte Grössen

Körpergewicht, Futtertrockensubstanzverzehr, Wasserkonsum, Rektaltemperatur und Hauttemperaturen an Schulter, Kruppe und Ohr (Ellab-Digital-Temperaturmessgerät), Herzfrequenz (Stethoskop), Atmungsfrequenz (Flankenbewegung, visuell), Hämatokrit (Clay-Adams-Mikrozentrifuge), Hämoglobinkonzentration (Cyanid-Methode [17]), Erythrozytenzahl (Coulter Counter, Typ DN), MCV (mean corpuscular volume), MCH (mean corpuscular haemoglobin) und MCHC (mean corpuscular haemoglobin concentration) durch Berechnung, Retikulozytenzahl [1], Leukozytenzahl (Coulter Counter, Typ DN), Eosinophilenzahl [11], spezifisches Gewicht von Blut und Plasma ($CuSO_4$-Methode [20]), Serumeisenkonzentration («Roche Diagnostica» Nr. 1006, Hoffmann-La Roche), Eisenbindungskapazität des Blutes («Roche Diagnostica» Nr. 1007, Hoffmann-La Roche) und Blut-pH (Metrohm-pH-Meter).

Die Häufigkeit der Untersuchungen ist ersichtlich aus Tab. 2, rechte Hälfte. Die Blutproben wurden durch Venenpunktion nach einer Nüchternzeit von ca. 12 Stunden gewonnen.

5. Auswertung

Zunächst wurde mit Hilfe von Varianzanalysen geprüft, ob signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten bei 400 m Höhe der beiden Gruppen innerhalb der einzelnen Versuchsperioden festzustellen seien. Vereinzelt traten solche Differenzen auf. Sie waren hauptsächlich auf Extremwerte einzelner Tiere zurückzuführen. Eine systematische Nachwirkung durch die jeweils vorangegangene Periode konnte jedoch nicht festgestellt werden. Aufgrund dieses Ergebnisses wurden die 400-m-Werte beider Gruppen zu einem «Normalwertepool» zusammengefasst.

Die Beziehungen zwischen dem Alter, der Höhen- bzw. Experimentbelastung und den untersuchten Grössen wurden mittels multipler Regressionsanalysen geschätzt (Methode der kleinsten Quadrate).

III. Ergebnisse

1. Generelle Höheneffekte

In Tab. 3 sind die Durchschnitte aller 400-m-Werte den Durchschnitten aller 4000-m-Werte gegenübergestellt. Wasserkonsum und Körpergewicht zeigten, hauptsächlich als Folge der starken altersbedingten Zunahmen, keine statistisch

Tab. 3 Gesamtdurchschnitte der Messwerte bei 400 und 4000 m Höhe

Messgrössen	400 m[1]		4000 m[2]		Differenz 4000 m–400 m
	$\bar{x}$	Sx	$\bar{x}$	Sx	
Futtertrockensubstanzverzehr (kg/Tag)	3,91	1,90	3,81	1,10	–0,10 *
Wasserkonsum (kg/Tag)	14,07	9,11	15,30	9,82	1,22
Körpergewicht (kg)	166	78	169	79	3
Rektaltemperatur (°C)	38,75	0,32	38,87	0,25	0,12 *
Schultertemperatur (°C)	34,97	0,77	35,39	0,70	0,42 ***
Kruppentemperatur (°C)	34,53	0,91	34,89	0,85	0,36 ***
Ohrtemperatur (°C)	26,86	6,14	28,40	4,88	1,54 *
Herzfrequenz (Schläge/min)	71,7	8,2	94,7	7,6	22,9 ***
Atmungsfrequenz (Züge/min)	25,4	3,7	31,3	3,9	5,9 ***
Hämatokrit (%)	31,0	2,3	34,3	3,0	3,2 **
Hämoglobin (g/100 ml)	9,78	0,83	10,82	0,99	1,04 ***
Erythrozytenzahl (x 10^6/cmm)	9,06	0,87	9,69	1,09	0,62 ***
MCV (cμ)	34,4	2,8	35,6	3,1	1,2 *
MCH (μμg)	10,8	0,9	11,2	1,0	0,4 *
MCHC (g/100 ml)	31,5	1,2	31,6	1,3	0,1
Retikulozyten (‰)	1,15	1,23	1,33	1,16	0,18 *
Leukozytenzahl (n/cmm)	7906	1752	9038	2157	1132 **
Eosinophile (n/cmm)	25,3	24,1	32,2	27,2	7,0 *
Serumeisen (μg/100 ml)	184,6	43,7	197,6	84,7	13,1 **
Eisenbindungskapazität (μg/100 ml)	397	39	435	51	37, ***
Spezifisches Gewicht Blut (g/ccm)	1,044	0,002	1,046	0,002	0,002 ***
Spezifisches Gewicht Plasma (g/ccm)	1,024	0,001	1,025	0,001	0,001 ***
Blut-pH	7,405	0,031	7,446	0,040	0,041 ***

[1] Sämtliche bei 400 m gemessene Werte (n = 99)
[2] Werte der Höhengruppe bei 4000 m (n = 60)
* $p \leq 0{,}05$
** $p \leq 0{,}01$
*** $p \leq 0{,}001$

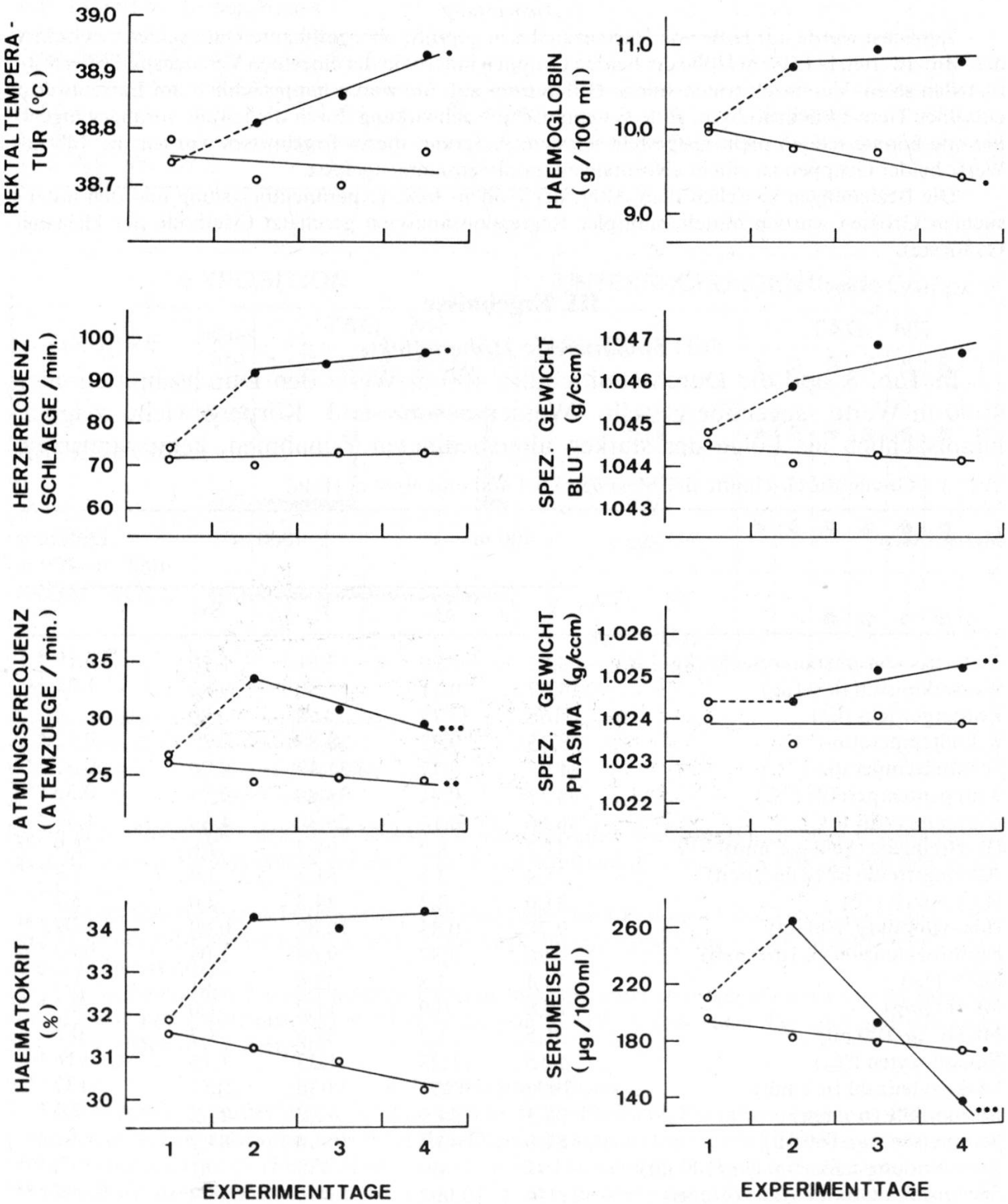

Abb. 1 Verhalten der Experimenttiere beim Anstieg von 400 auf 4000 m Höhe (gestrichelte Linie) und während der drei folgenden Höhentage (Regressionsgerade). Zum Vergleich: Verhalten der Kontrolltiere während 4 Tagen (Regressionsgerade). (o = Mittelwerte bei 400 m, ● = Mittelwerte bei 4000 m).

Irrtumswahrscheinlichkeit der Regression:

* = $P \leq 0{,}05$

** = $P \leq 0{,}01$

*** = $P \leq 0{,}001$

gesicherten Differenzen der Mittelwerte. Der tägliche Verzehr an Futtertrockensubstanz erfuhr in der Höhe eine Reduktion um durchschnittlich 100 g je Tier.

Von den übrigen Parametern waren 19 bei 4000 m statistisch gesichert höher als bei 400 m. Die Zunahmen betrugen bei der Atmungsfrequenz 6 Atemzüge/min, bei der Herzfrequenz 23 Schläge/min. Auffallend war die Erhöhung der Ohrtemperatur um 1,5 ° C. Die Erythrozytenparameter, Erythrozytenzahl, Hämatokrit, Hämoglobin und Retikulozytenzahl nahmen um 7, 10, 11, und 16 % zu, die Leukozytenzahl um 14 %. Das Serumeisen stieg um 7 % an.

2. *Effekte des Höhentages*

Im Verlaufe der drei Höhentage, über alle Versuchsperioden berechnet, zeigten einige der untersuchten Grössen signifikante Zu- oder Abnahmen. Diese Veränderungen sind in Abb. 1 in Form von Regressionen dargestellt. Als Vergleich dienen entsprechende Regressionen der Kontrolltiere über 4 Tage bei 400 m. Ebenfalls eingetragen sind die Tagesmittelwerte von jeweils 4 Tieren in den 5 Perioden. Die entsprechenden Regressionskoeffizienten können Tab. 5 entnommen werden. Aus der Abbildung geht folgendes hervor:

Die Atmungsfrequenz fällt absolut und im Vergleich zur Kontrollgruppe ab (– 6,6 Schläge/min in drei Tagen). Die Herzfrequenz, die Rektaltemperatur und das spezifische Gewicht des Plasmas steigen signifikant an. Hämoglobin, Hämatokrit und spezifisches Gewicht des Blutes nehmen relativ zu den Werten der Kontrollgruppe tendenzmässig zu. Das Serumeisen verzeichnet einen starken und praktisch linearen Abfall im Verlaufe der drei Höhentage. Dieses Verhalten zeigte sich mit

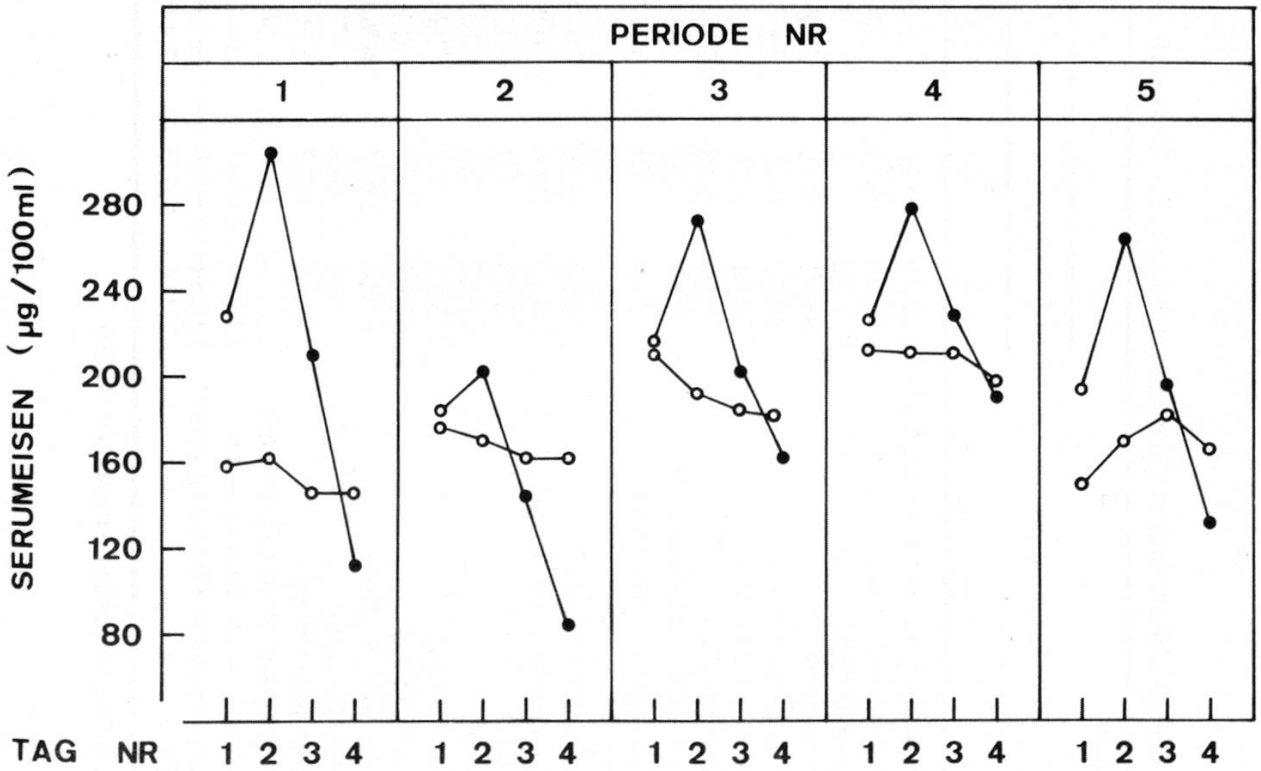

Abb. 2 Anstiege des Serumeisens von 400 m Höhe (o) auf 4000 m Höhe (●) und anschliessender Abfall während der drei Höhentage, im Durchschnitt von 4 Experimenttieren in 5 Perioden. Zum Vergleich das Verhalten des Serumeisens bei den Kontrolltieren in 400 m Höhe (o).

Tab. 4 Durchschnitte und Standardabweichungen der Messwerte in den 5 Perioden bei 400 und 4000 m Höhe

Messgrössen	400 m[1]									
	1		2		3		4		5	
	$\bar{x}$	s_x	$\bar{x}$	s_x	$\bar{x}$	s_x	$\bar{x}$	s_x	$\bar{x}$	s_x
Futtertrockensubstanzverzehr (kg/Tag)	1,19	0,25	2,49	0,44	4,01	0,47	5,87	0,62	5,77	0,92
Wasserkonsum (kg/Tag)	1,39	0,55	7,97	1,12	12,52	3,78	22,76	2,81	24,69	2,85
Körpergewicht (kg)	72	6	97	8	157	8	218	10	283	12
Rektaltemperatur (°C)	38,71	0,18	38,80	0,44	38,81	0,30	38,68	0,24	38,73	0,39
Schultertemperatur (°C)	35,32	0,42	34,78	0,63	35,07	0,66	34,49	0,67	35,20	1,07
Kruppentemperatur (°C)	34,81	0,70	34,23	0,85	34,58	0,94	34,28	0,56	34,80	1,23
Ohrtemperatur (°C)	22,09	2,18	21,72	2,84	27,20	6,06	30,04	4,65	32,99	4,74
Herzfrequenz (Schläge/min)	74,5	8,3	65,8	7,6	77,1	4,6	74,5	5,4	67,0	8,2
Atmungsfrequenz (Züge/min)	25,0	3,7	22,5	2,7	23,5	1,8	28,4	2,6	27,7	3,6
Hämatokrit (%)	28,5	1,7	32,2	2,2	32,1	1,7	30,9	2,3	31,5	1,7
Hämoglobin (g/100 ml)	8,84	0,59	10,28	0,85	10,17	0,63	9,57	0,69	9,99	0,52
Erythrozytenzahl (x 10^6/cmm)	9,12	0,66	10,01	0,60	9,17	0,57	8,34	0,68	8,69	0,82
MCV (cμ)	31,3	1,2	32,2	1,6	35,0	1,3	37,1	2,0	36,3	2,1
MCH ($\mu\mu$g)	9,7	0,5	10,3	0,6	11,1	0,6	11,5	0,6	11,6	0,8
MCHC (g/100 ml)	31,1	1,1	32,0	1,6	31,7	1,1	31,0	1,0	31,8	0,8
Retikulozyten (‰)	2,05	1,22	2,05	1,28	0,40	0,68	0,95	1,00	0,35	0,59
Leukozytenzahl (n/cmm)	8 616	2 693	6 900	1 376	7 840	1 241	8 155	1 549	8 055	1 210
Eosinophile (n/cmm)	9,5	6,8	7,3	5,2	23,0	13,3	43,7	30,6	42,1	23,5
Serumeisen (μg/100 ml)	168,5	67,7	171,0	29,8	197,6	31,5	212,8	23,8	73,4	38,6
Eisenbindungskapazität (μg/100 ml)	–	–	361	34	405	24	400	23	426	45
Spezifisches Gewicht Blut (g/ccm)	1,0426	0,0015	1,0447	0,0016	1,0446	0,0011	1,0443	0,0013	1,0452	0,0015
Spezifisches Gewicht Plasma (g/ccm)	1,0234	0,0010	1,0236	0,0008	1,0240	0,0007	1,0240	0,0007	1,0244	0,0007
Blut-pH	7,416	0,025	7,413	0,016	7,413	0,033	7,391	0,043	7,394	0,024

[1] Sämtliche Werte beide Gruppen (n = 20)

Tab. 4 (Fortsetzung)

Messgrössen	4000 m²									
	1		2		3		4		5	
	$\bar{x}$	s_x	$\bar{x}$	s_x	$\bar{x}$	s_x	$\bar{x}$	s_x	$\bar{x}$	s_x
Futtertrockensubstanzverzehr (kg/Tag)	1,23	0,24	2,21	0,35	3,79	0,45	5,62	0,50	6,21	0,91
Wasserkonsum (kg/Tag)	1,55	0,98	8,01	1,82	16,73	2,97	23,62	2,91	26,71	2,71
Körpergewicht (kg)	76	3	101	6	162	10	223	14	285	18
Rektaltemperatur (°C)	39,00	0,18	38,93	0,20	38,86	0,15	38,68	0,20	38,85	0,36
Schultertemperatur (°C)	36,23	0,46	35,43	0,41	35,02	0,43	34,98	0,51	35,29	0,81
Kruppentemperatur (°C)	35,96	0,45	34,95	0,67	34,53	0,66	34,28	0,51	34,75	0,86
Ohrtemperatur (°C)	27,19	2,22	26,08	4,56	23,69	3,30	30,58	3,43	34,47	1,56
Herzfrequenz (Schläge/min)	104,7	7,3	89,7	6,1	96,3	3,7	93,9	4,0	88,7	3,1
Atmungsfrequenz (Züge/min)	32,6	4,3	34,1	4,9	28,6	1,9	32,0	2,4	29,2	2,6
Hämatokrit (%)	31,3	2,5	35,3	3,4	34,9	2,2	34,8	2,5	35,1	2,6
Hämoglobin (g/100 ml)	9,71	0,65	11,41	0,98	11,15	0,65	10,75	0,89	11,09	0,86
Erythrozytenzahl (x 10^6/cmm)	9,79	0,96	10,70	1,12	9,72	0,83	9,02	0,83	9,19	0,96
MCV (cμ)	32,1	1,9	33,0	1,3	36,0	1,4	38,6	1,9	38,3	1,6
MCH ($\mu\mu$g)	10,0	0,8	10,7	0,6	11,5	0,6	11,9	0,7	12,1	0,6
MCHC (g/100 ml)	31,0	1,0	32,4	1,2	32,0	1,1	30,9	1,5	31,6	1,1
Retikulozyten (‰)	1,83	0,72	2,75	1,06	0,75	0,75	0,92	0,90	0,42	0,51
Leukozytenzahl (n/cmm)	10 133	2 132	7 325	1 937	8 875	1 929	9 292	1 946	9 567	2 057
Eosinophile (n/cmm)	12,5	6,6	8,0	4,9	27,1	12,5	66,6	18,8	47,0	27,6
Serumeisen (μg/100 ml)	209,7	138,3	136,7	52,9	212,1	60,2	232,3	45,7	197,4	71,3
Eisenbindungskapazität (g/100 ml)	–	–	380	30	436	43	443	24	480	44
Spezifisches Gewicht Blut (g/ccm)	1,0451	0,0013	1,0482	0,0030	1,0461	0,0009	1,0464	0,0014	1,0466	0,0012
Spezifisches Gewicht Plasma (g/ccm)	1,0243	0,0014	1,0245	0,0012	1,0248	0,0005	1,0250	0,0004	1,0258	0,0010
Blut-pH	7,433	0,023	7,483	0,020	7,464	0,014	7,398	0,031	7,454	0,044

[2] Werte der Höhengruppe (n = 12)

Tab. 5 Einfluss des Alters und des Experimenttages (bei 400 m Höhe) bzw. des Höhentages (bei 4000 m). Partielle Regressionskoeffizienten

Messgrössen	400 m $y = a_0 + a_1$ (Alter in Tagen) $+ a_2$ (Experimenttag)			4000 m $y = b_0 + b_1$ (Alter in Tagen) $+ b_2$ (Höhentag)		
	a_0	a_1	a_2	b_0	b_1	b_2
Futtertrockensubstanzverzehr (kg/Tag)	0,163	0,021***	0,068	−0,042	0,022***	−0,006
Wasserkonsum (kg/Tag)	−3,886	0,101***	0,223	−5,892	0,120***	0,400
Körpergewicht (kg)	10,902	0,906***	−0,080	18,601	0,901***	−0,373
Rektaltemperatur (°C)	38,807	−0,00008	−0,011	38,730	−0,001	0,058*
Schultertemperatur (°C)	35,456	−0,0007	−0,088*	36,081	−0,004***	−0,009
Kruppentemperatur (°C)	34,677	0,0002	−0,043	35,192	−0,005***	0,115
Ohrtemperatur (°C)	19,283	0,050***	−0,245	25,811	0,032***	−0,587
Herzfrequenz (Schläge/min)	69,787	−0,008	0,084	89,887	−0,044***	2,495*
Atmungsfrequenz (Züge/min)	25,585	0,019***	−0,809**	44,899	−0,015**	−2,184***
Hämatokrit (%)	31,678	0,007**	−0,423	32,057	0,011*	0,064
Hämoglobin (g/100 ml)	10,109	0,002*	−0,168*	10,163	0,003*	0,024
Erythrozytenzahl (x 10^6/cmm)	10,184	−0,005***	−0,083	10,578	−0,005**	−0,004
MCV (cμ)	29,295	0,025***	−0,200	29,816	0,030***	0,113
MCH (μμg)	9,900	0,008***	−0,104	9,500	0,009***	0,034
MCHC (g/100 ml)	31,964	0,0003	−0,119	31,701	−0,001	0,014
Retikulozyten (‰)	3,365	−0,008***	−0,217*	3,318	−0,008***	−0,117
Leukozytenzahl (n/cmm)	7853,0	0,200	4,500	7724,0	1,700	203,300
Eosinophile (n/cmm)	6,266	0,166***	−2,236	24,005	0,213	−5,788
Serumeisen (μg/100 ml)	207,137	0,082	−8,697*	494,961	0,137	−64,244***
Eisenbindungskapazität (μg/100 ml)	348,894	0,320***	−3,396	276,041	0,505***	11,114
Spezifisches Gewicht Blut (g/ccm)	1,0435	0,000007***	−0,00009	1,0443	0,000001	0,0004
Spezifisches Gewicht Plasma (g/ccm)	1,0231	0,000004***	−0,00002	1,0218	0,000006***	0,0004**
Blut-pH	7,457	−0,0001**	−0,001	7,459	−0,00008	0,0002

[1] ohne 1. Versuchsperiode berechnet

* $p \leq 0{,}05$

** $p \leq 0{,}01$

*** $p \leq 0{,}001$

Tab. 6 Korrelationen der Messwerte mit dem Alter der Tiere und mit den Experimenttagen

Messgrössen	400 m		4000 m	
	Alter	Experimenttage	Alter	Experimenttage
Futtertrockensubstanzverzehr	.9230	.0511	.9591	.0069
Wasserkonsum	.9418	.0328	.9629	.0430
Körpergewicht	.9896	–.0060	.9869	–.0047
Rektaltemperatur	–.0203	–.0398	–.3197	.1918
Schultertemperatur	–.0760	–.2635	–.4587	–.0147
Kruppentemperatur	.0265	–.3770	–.5044	.1063
Ohrtemperatur	.7024	–.1454	.5569	–.0936
Herzfrequenz	–.0843	.1131	–.4965	.2651
Atmungsfrequenz	.4379	–.2623	–.3436	–.4643
Hämatokrit	.2503	–.2167	.3154	.0208
Hämoglobin	.2268	–.2381	.2695	.0222
Erythrozytenzahl	–.4452	–.1066	–.3944	–.0064
MCV	.7598	–.0931	.8218	.0376
MCH	.7349	–.1396	.7567	.0343
MCHC	.0224	–.1157	–.0651	.0080
Retikulozytenzahl	–.5239	–.1992	–.5985	–.0888
Leukozytenzahl	.0114	.0028	.0693	.0783
Eosinophilenzahl	.5920	–.1168	.6722	–.1690
Serumeisen	.1639	–.2352	.1330	–.6234
Eisenbindungskapazität	.5607	–.0861	.7069	.1894
Spez. Gewicht Blut	.2885	–.0686	.0583	.1694
Spez. Gewicht Plasma	.4020	.0227	.4863	.3047
Blut-pH	–.2873	–.3069	–.1681	.0031

auffallender Regelmässigkeit in allen 5 Perioden (Abb. 2). Sehr deutlich war auch der initiale Anstieg des Serumeisens von Normalbedingungen zum ersten Höhentag.

3. Veränderungen mit zunehmendem Alter

Die Veränderungen der untersuchten Grössen im Verlaufe der 5 Perioden sind aus Tab. 4 ersichtlich. Erwartungsgemäss nahmen Futtertrockensubstanzverzehr, Wasserkonsum und Körpergewicht entsprechend dem Wachstumsverlauf zu. Andere Grössen zeigten mehr oder minder deutliche Zu- oder Abnahmen.

Zur zahlenmässigen Charakterisierung der Veränderungen sind in Tab. 5 die partiellen Regressionskoeffizienten für den Einfluss des Alters angegeben. In beiden Höhenlagen ergaben sich unter 23 Messgrössen 16 statistisch gesicherte altersbedingte Veränderungen. Als Mass für die Güte dieser Beziehung dienen die Korrelationskoeffizienten der Tab. 6. Diese lagen für Trockensubstanzverzehr, Wasserkonsum und Körpergewicht zwischen 0,92 und 0,95. Relativ hohe Korrelationskoeffiziente ergaben sich auch für MCV (0,76 und 0,82), MCH (0,73 und 0,76), Eisenbindungskapazität (0,56 und 0,71), Eosinophilenzahl (0,59 und 0,67) und für die Erythrozytenzahl (–0,45 und –0,39).

Laut Tab. 5 ergaben sich statistisch gesicherte Zunahmen mit fortschreitender

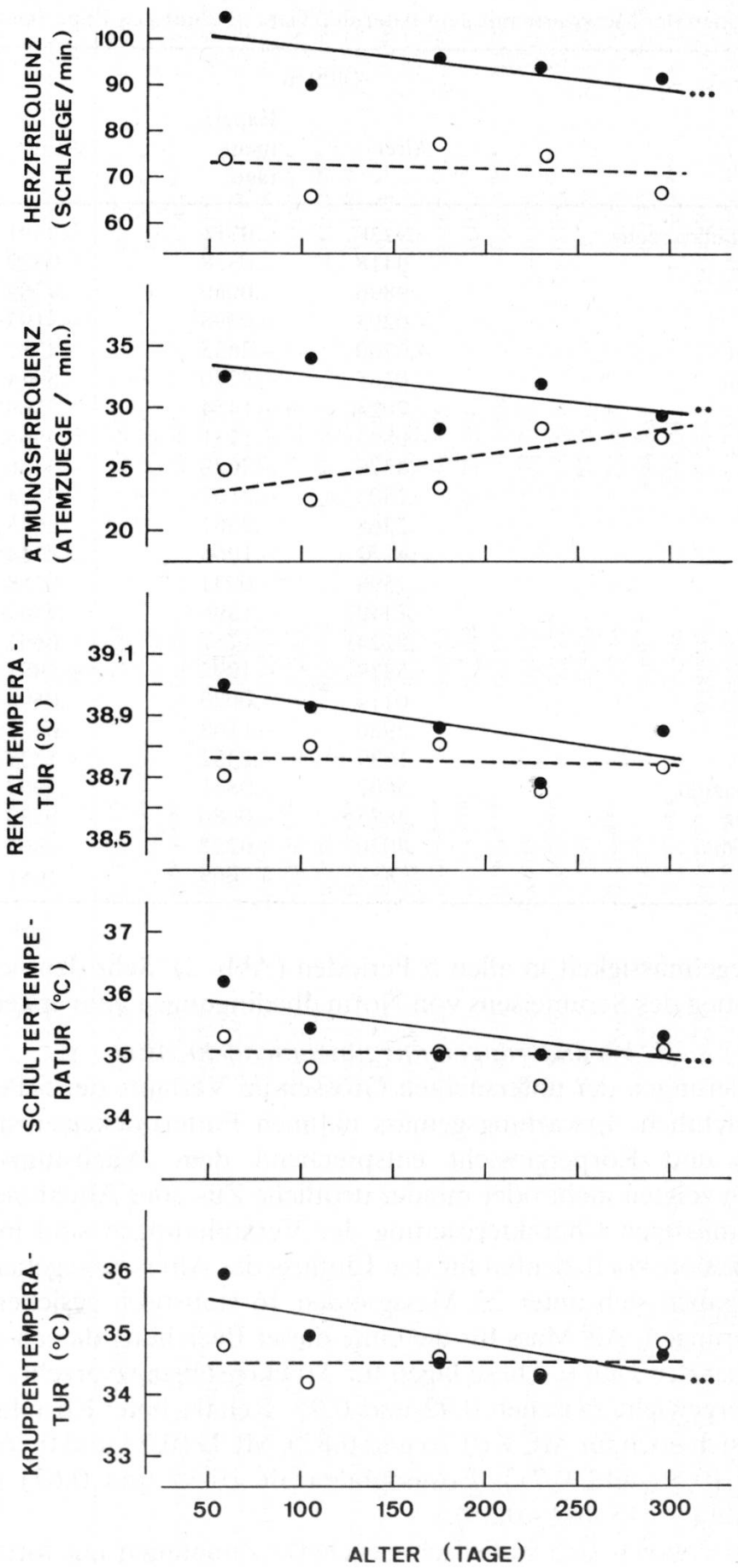
HERZFREQUENZ (SCHLAEGE/min.)
100
90
80
70
60
ATMUNGSFREQUENZ (ATEMZUEGE / min.)
35
30
25
20
REKTALTEMPERA-TUR (°C)
39,1
38,9
38,7
38,5
SCHULTERTEMPE-RATUR (°C)
37
36
35
34
KRUPPENTEMPERA-TUR (°C)
36
35
34
33
50
100
150
200
250
300
ALTER (TAGE)

Abb. 3

Zeit für die Kontrollgruppe (K) und/oder die Experimentgruppe (E) bei folgenden Merkmalen: Futtertrockensubstanzverzehr (K, E), Wasserkonsum (K, E), Körpergewicht (K, E), Ohrtemperatur (K, E), Hämoglobin (K, E), Hämatokrit (K, E), Atmungsfrequenz (K), Eisenbindungskapazität (K, E), Eosinophile (K), spez. Gewicht Blut (K), spez. Gewicht Plasma (K, E), MCV (K, E) und MCH (K, E).

Statistisch gesicherte Abnahmen zeigten sich bei Erythrozytenzahl (K, E), Retikulozytenzahl (K, E), pH (K), Atmungsfrequenz (E), Herzfrequenz (E), Schultertemperatur (E) und Kruppentemperatur (E).

Die Tendenz eines Alterseffekts ist auch beim Serumeisen erkennbar: Die Grösse des Abfalls im Verlaufe der 3 Höhentage verringerte sich von Periode 1 zu Periode 4. Die entsprechenden Werte betrugen 192, 118, 111 und 87 Einheiten.

Abb. 3 zeigt, bei welchen der untersuchten Grössen bezüglich des zeitlichen Ablaufs gruppenmässige Unterschiede bestanden. Bei der Atmungsfrequenz ergab sich ein gegenläufiges Verhalten: Zunahme bei den Kontrolltieren und Abnahme bei den Experimenttieren. Die Herzfrequenz verringerte sich bei der Experimentgruppe, nicht aber bei der Kontrollgruppe. Die Schulter- und Kruppentemperaturen fielen bei den Experimenttieren ab, während sie bei den Kontrolltieren unverändert blieben. Ein gleiches Verhalten zeigte sich tendenzmässig auch bei der Rektaltemperatur. Dieser Trend kam vor allem durch die hohen Rektaltemperaturen der Experimenttiere in den ersten zwei Perioden zustande.

IV. Diskussion

1. Generelle Höheneffekte

Die Exposition der Rinder an eine Höhe von 4000 m (unter thermoneutralen Bedingungen) führte zu deutlichen Hypoxiereaktionen des Kreislaufs und des Blutes: Anstiege von Herzfrequenz, Hämoglobin, Erythrozytenzahl, Hämatokrit und spezifischem Gewicht des Blutes. Die starke Zunahme der Herzfrequenz in der Höhe um durchschnittlich 23 Schläge/min (31 %) scheint charakteristisch zu sein für das höhenexponierte Rind [5] und steht im Gegensatz zu der viel geringeren Erhöhung beim Menschen [21]. Die Zunahme des Serumeisens am ersten Höhentag (Abb. 2) deutet auf eine Entspeicherung von Eisen hin, möglicherweise begleitet von einer initialen Zerstörung osmotisch schwacher Erythrozyten. Die Zunahme der Atmungsfrequenz war mit 6 Atemzügen/min gering. Wahrscheinlich war gleichzeitig das Atemvolumen vergrössert, denn das Blut-pH war, als Ausdruck einer respiratorischen Alkalose, erhöht (von 7,405 auf 7,446).

Diese Befunde stehen qualitativ im Einklang mit denjenigen, welche an Kälbern in 5000 m Höhe erhoben worden waren [4, 5]. Quantitativ repräsentieren die Werte initiale, kurzfristige Reaktionen, die mit fortschreitender Zeit noch weitere quanti-

Abb. 3 Fünf Parameter, bei denen bezüglich des zeitlichen Verlaufs Unterschiede bestanden zwischen der Experimentgruppe (● mit durchgezogenen Regressionslinien) und der Kontrollgruppe (o mit gestrichelten Regressionslinien).
Irrtumswahrscheinlichkeit wie in Abb. 1.

tative Veränderungen erfahren würden. Die Erythrozytenparameter z.B. benötigen auf dieser Höhe mindestens 3 Wochen bis zur Erreichung eines Plateaus [8].

Die Erhöhung der vier untersuchten Körpertemperaturen in 4000 m Höhe dürfte auf die verstärkte Kreislauftätigkeit sowie auf eine erhöhte Ausschüttung von Adrenalin und Corticoiden zurückzuführen sein. Jedenfalls reagierten Ochsen auf eine Höhenexposition von 5000 m mit einer vorübergehenden starken Zunahme des Plasma-Cortisols [14].

2. Effekte des Höhentages

Wie aus Abb. 1 ersichtlich ist, nahmen die meisten der Höhenanpassungen im Verlaufe der ersten drei Höhentage weiter zu: Herzfrequenz, Rektaltemperatur, Hämoglobin, Hämatokrit und spezifisches Gewicht des Blutes. Der Anstieg der Erythrozytenparameter erscheint gering, ist aber im Vergleich zu den gleichzeitigen Abnahmen dieser Grössen bei den Kontrolltieren zu werten. Ein Anteil der Zunahme der Erythrozytenparameter dürfte auf eine Entleerung von Blutspeichern zurückzuführen sein [2]. Tatsächlich zeichnete sich schon während einer 4stündigen «Höhenfahrt» von 400 auf 5000 m [5] ein leichter Hämatokritanstieg ab.

Der Anstieg des spezifischen Gewichtes des Plasmas unterstützt den früheren Befund [5], dass in den ersten Höhentagen ein starker, aber vorübergehender Anstieg der Plasmaviskosität stattfindet. Es scheint, dass eine akute Höhenexposition auf dem Wege einer Sympathikusreizung nicht nur eine Erhöhung der Erythrozytenparameter, sondern auch eine Auspressung von Wasser aus dem Plasma verursacht. Eine Eindickung des Plasmas führt zu einer Erhöhung der Sauerstoffkapazität der Volumeneinheit Blut. Sie könnte als eine zusätzliche kurzfristige initiale Anpassung an Hypoxie aufgefasst werden.

Diese Anpassungen des Blutes und der Herzfrequenz ermöglichten es offenbar, dass die beim Übergang von 400 auf 4000 m erhöhte Atmungsfrequenz in den folgenden Tagen wieder abnehmen konnte. Der Befund einer starken Reaktion des Blutes und des Kreislaufs, aber einer relativ schwachen Reaktion der Atmung auf Hypoxiebelastung, ist typisch für das Rind und steht im Gegensatz zum Verhalten des Menschen [16]. Umgekehrt ist bekannt, dass beim Menschen die Unfähigkeit (krankheits- oder altersbedingt), in grosser Höhe zu hyperventilieren, zu einer progressiven Polycythämie führt [23].

Der ausgeprägte Abfall des Serumeisens im Verlaufe der drei Höhentage (Abb. 2) lässt auf eine erhöhte Hämoglobinsynthese im Knochenmark schliessen. Da der Bedarf an Eisen, jedenfalls kurzfristig, die Mobilisierungskapazität an Reserveeisen aus Milz, Leber und Knochenmark offensichtlich überstieg, fielen die Eisenwerte sogar unter die Ausgangswerte bei 400 m Höhe zurück.

3. Veränderungen mit zunehmendem Alter

Der (als Regression berechnete) altersbedingte Anstieg beruhte bei Hämoglobin und Hämatokrit vor allem darauf, dass die Werte in der 1. Periode sehr tief lagen. Dies dürfte darauf zurückzuführen sein, dass die Tiere zu jener Zeit noch teilweise mit Milch ernährt wurden. Abgesehen von einem solchen möglicherweise ernährungsbedingten Effekt zeigte sich keine Altersabhängigkeit von Hämoglobin und

Hämatokrit. Da gleichzeitig die Erythrozytenzahl, wenigstens in ihrem Gesamtverlauf, abnahm, ergaben sich für MCH und MCV mit zunehmendem Alter ansteigende Werte.

Der Befund, dass die Ohrtemperatur von der 1. zur 5. Periode im Mittel von 23 ° auf 33 ° C anstieg, könnte darauf zurückzuführen sein, dass in einer Umgebung von 20 ° C beim Jungtier weitgehend Vasokonstriktion herrschte, beim ältern Tier dagegen Vasodilatation. Tatsächlich liegt eine Umgebungstemperatur von 20 ° C für die etwa halbjährigen Tiere an der oberen Grenze der Zone thermischer Indifferenz oder bereits etwas über derselben, womit eine Ohrtemperatur von 33 ° C durchaus im Einklang steht.

Die Feststellung, dass der Abfall des Serumeisens vom ersten zum dritten Höhentag in der 1. Periode besonders stark war (192 Einheiten) und in den Perioden 1–4 eine abnehmende Tendenz zeigte, deutet darauf hin, dass sich beim Jungtier, im Vergleich zum ältern Tier, das Reserveeisen in der Höhe schneller erschöpfte, dass die Erythropoesesteigerung intensiver war oder dass beides zutraf.

Schliesslich interessieren diejenigen Parameter, bei denen sich mit fortschreitender Zeit die beiden Gruppen signifikant unterschiedlich verhielten (Abb. 3). Sehr deutlich ist ein solcher Einfluss bei der Atmungsfrequenz, die mit zunehmendem Alter bei den Höhentieren fortlaufend weniger hoch anstieg, während sie bei den Kontrolltieren zunahm. Der Abfall betrug pro Woche im Mittel 0,11 Atemzüge/min. Ähnlich verhielt sich die Herzfrequenz; sie nahm bei den Höhentieren im Mittel pro Woche um 0,31 Schläge/min ab, während sie bei den Kontrolltieren unverändert blieb. Auch die untersuchten Temperaturen von Schulter, Kruppe und Rektum, letztere allerdings nur tendenzmässig, zeigten mit zunehmendem Alter in der Höhe fortschreitend kleiner werdende Anstiege.

Aus diesen Befunden muss geschlossen werden, dass der junge Organismus, jedenfalls in bezug auf die genannten Grössen, die Höhenbelastung stärker beantwortete als der ältere Organismus. Diese Feststellung deckt sich mit dem Verhalten des Jungtiers gegenüber anderen Klimabelastungen. So ist z.B. bekannt, dass das Kalb in Beantwortung einer Hitzebelastung seine Atmungsfrequenz von etwa 30 auf etwa 250 steigern kann, das ausgewachsene Rind dagegen nur von etwa 20 auf 180. Entsprechendes gilt für die Belastung durch Kälte, wo das Jungtier, im Vergleich zum ausgewachsenen Tier, einen wesentlich stärkeren kompensatorischen Anstieg seiner Wärmebildung erreichen kann.

Wenn angenommen wird, dass eine verstärkte Reaktion aus Hypoxie eine erhöhte Beanspruchung des Organismus bedeutet, so dürfte man Kälber nicht zu grossen Höhen aussetzen. Dies um so weniger, als unter natürlichen Verhältnissen Hypoxie von tiefen Temperaturen begleitet ist, welche, sofern sie die untere kritische Temperatur des Kalbes unterschreiten, dessen Sauerstoffbedarf erhöhen. Es sind Untersuchungen im Gang, in welchen diese Doppelbelastung durch Sauerstoffmangel und Kälte studiert wird.

Zusammenfassung

Vier Braunvieh-Ochsen wurden im Alter zwischen 8 und 42 Wochen 5mal während jeweils 3 Tagen bei 20 °C einer simulierten Höhe von 4000 m ausgesetzt. Vier Kontrolltiere verblieben dauernd in 400 m natürlicher Höhe.

Als generelle Höheneffekte ergaben sich statistisch gesicherte Zunahmen bei den folgenden Parametern: Herzfrequenz, Atmungsfrequenz, Rektaltemperatur, Hauttemperatur von Schulter, Kruppe und Ohr, Erythrozytenzahl, Hämoglobin, Hämatokrit, MCV, MCH, Retikulozytenzahl, Eosinophilenzahl, spezifisches Gewicht von Blut und Plasma, Blut-pH und Serumeisen. Der Verzehr an Futtertrockensubstanz nahm leicht ab.

Im Verlaufe der drei aufeinanderfolgenden Höhentage zeigte das Serumeisen einen starken linearen Abfall, der auf einen erhöhten Eisenbedarf für die Hämoglobinsynthese schliessen liess. Die Anstiege der meisten der Erythrozytenparameter und der Herzfrequenz während der drei Höhentage ermöglichten eine Verringerung der initial erhöhten Atmungstätigkeit.

Mit fortschreitendem Alter erfuhren die Tiere beider Gruppen erwartungsgemäss Zunahmen des Futtertrockensubstanzverzehrs, des Wasserkonsums und des Körpergewichts. Daneben stiegen Hämoglobin, Hämatokrit, MCV, MCH und Ohrtemperatur signifikant an. Der Anstieg der Ohrtemperatur wurde durch einen Übergang peripherer Vasokonstriktion zu Vasodilatation erklärt. Der oben erwähnte Abfall des Serumeisens während der drei Höhentage zeigte die Tendenz, sich mit zunehmendem Alter zu verringern.

Die Höhenreaktionen verkleinerten sich mit fortschreitendem Alter bei Atmungsfrequenz, Herzfrequenz und den Körpertemperaturen. Aus den verstärkten Reaktionen der Jungtiere wurde auf eine erhöhte Beanspruchung durch Hypoxie geschlossen. Es wurde empfohlen, Kälber nicht zu grossen Höhen auszusetzen, speziell auch im Hinblick auf die unter natürlichen Verhältnissen im Gebirge speziell nachts herrschenden tiefen Umgebungstemperaturen, da diese den Sauerstoffbedarf der Kälber erhöhen.

Résumé

Quatre jeunes bœufs de la race brune, âgés de 8 à 42 semaines, ont été soumis à une altitude simulée de 4000 m 5 fois pendant 3 jours à une température de 20° C. Quatre animaux de contrôle sont restés en permanence à une altitude naturelle de 400 m.

Statistiquement les effets généraux de l'altitude ont eu pour conséquence une augmentation des paramètres suivants: fréquence cardiaque, fréquence respiratoire, température rectale, température superficielle de la croupe, des épaules et des oreilles, nombre des érythrocytes, hémoglobine, hématocrite, MCV, MCH, nombre des réticulocytes, nombre des éosinophiles, poids spécifique du sang et du plasma, pH du sang et fer sérique. La consommation des matières sèches a légèrement diminué.

Dans les trois jours qui suivaient l'exposition à l'altitude, le fer sérique a présenté une forte chute linéaire, ce qui conduit à admettre un besoin augmenté en fer pour la synthèse de l'hémoglobine. L'augmentation de la plupart des paramètres se rapportant aux érythrocytes et à la fréquence cardiaque pendant les séjours de trois jours à l'altitude a permis une réduction de la fréquence respiratoire qui était augmentée au début.

Avec l'augmentation de l'âge les animaux des deux groupes ont présenté comme prévu une augmentation de la consommation des matières sèches, de la consommation d'eau et du poids corporel. Parallèlement l'hémoglobine, l'hématocrite, le MCV, le MCH et la température de l'oreille ont augmenté d'une manière significative. On explique l'augmentation de la température de l'oreille par la conversion de la vaso-constriction périphérique en une vaso-dilatation. La chute du fer du sérum mentionnée ci-avant pendant l'exposition de trois jours à l'altitude avait tendance à diminuer en fonction de l'âge.

Les réactions suivantes en altitude diminuaient avec l'âge, à savoir: fréquence respiratoire, fréquence cardiaque et température corporelle. De la réaction augmentée chez les jeunes animaux on a tiré la conclusion que l'hypoxie conduisait à une augmentation des besoins. On conseille de ne pas exposer les veaux à une trop grande altitude afin de tenir compte des conditions naturelles en montagne où la température ambiante peut être basse pendant la nuit ce qui augmente les besoins des veaux en oxygène.

Riassunto

Quattro giovani bovini castrati, di età compresa tra 8 e 42 settimane sono stati posti ad un altitudine simulata di 4000 m a 20° C 5 volte per 3 giorni. Quattro animali di controllo sono stati lasciati in permanenza ad una altezza naturale di 400 m.

Gli effetti generali dell'altitudine statisticamente significativi erano rappresentati dall'aumento dei seguenti parametri: frequenza cardiaca, frequenza respiratoria, temperatura rettale, temperatura cutanea delle spalle, della groppa e delle orecchie, numero degli eritrociti, quota di emoglobina, valore ematocrito, MCV, MCH, numero dei reticolociti, numero degli eosinofili, peso specifico del sangue e del plasma, pH ematico e quota di ferro sierico. Il consumo di sostanza secca è leggermente diminuito. Nel corso dei tre giorni successivi di esposizione alla altitudine, il ferro sierico ha mostrato una forte caduta lineare, che fa pensare ad un aumento della necessità di ferro per la sintesi della emoglobina. L'aumento della più parte dei parametri eritrocitari e della frequenza cardiaca nel corso dei tre giorni dell'esperimento ha permesso una diminuzione dell'iniziale aumentata attività respiratoria.

Con l'aumento dell'età, gli animali di entrambi i gruppi hanno mostrato, come era nelle previsioni, aumento del consumo di sostanza secca, del consumo di acqua e del peso corporeo. Del pari aumentavano significativamente l'emoglobina, l'ematocrito, MCV, MCH e temperatura auricolare. L'aumento della temperatura auricolare è stato spiegato con un passaggio della vasocostrizione periferica a vasodilatazione. La sopra-menzionata caduta del ferro sierico durante l'esperimento mostrava la tendenza a diminuire con l'aumentare dell'età.

Le reazioni all'aumento di altitudine che, con l'aumento dell'età, si facevano meno intense, erano: frequenza respiratoria, frequenza cardiaca e temperatura corporea. Il fatto che le reazioni dei giovani animali fossero di intensità particolarmente elevata, ha portato a concludere che in questi animali l'ipossia conduce ad un aumento delle necessità. Si raccomanda di non esporre i vitelli ad elevate altitudini, specialmente tenendo conto delle condizioni naturali in montagna, ove di notte la temperatura ambientale è bassa, cosa che conduce ad un aumento del bisogno di ossigeno dei vitelli.

Summary

Four Brown Swiss oxen, between the age of 8 and 42 weeks, were exposed five times to a simulated altitude of 4000 m for three days each time. Four control animals stayed permanently at 400 m natural altitude. Air temperature was 20° C throughout.

As general altitude effects, statistically significant increases have been found for the following parameters: heart rate, respiratory rate, rectal temperature, skin temperatures on shoulder, croupe and ear, erythrocytes, haemoglobin, haematocrit, MCV, MCH, recticulocytes, leucocytes, eosinophils, specific gravity of blood and plasma, blood-pH and serum iron. The intake of feed dry matter became slightly reduced.

In the course of the three consecutive days at high altitude, serum iron showed a pronounced linear decline, which suggested increased iron requirements for haemoglobin synthesis. The increments in most of the erythrocyte parameters and of heart rate during the three days at high altitude apparently facilitated a reduction in respiratory rate.

With advancing age the animals showed, as could be expected, increases in feed dry matter intake, water consumption and body weight. In addition, there were statistically significant increments in haemoglobin, haematocrit, MCV, MCH and ear temperature. The rise in ear temperature was ascribed to a change from a state of vasoconstriction to a state of vasodilatation, taking place with advancing age in an environment of 20° C. The above mentioned decline in serum iron during the three high altitude days showed a trend to become smaller with age.

The reactions to high altitude became less with progressing age regarding respiratory rate, heart rate and body temperatures. It was implied that the greater reactions of the young (compared with the older) animals meant that they were also suffering from a greater hypoxic strain. It was suggested that calves should not be exposed to excessive altitudes, particularly in view of the low temperatures which under natural conditions prevail simultaneously with hypoxia, because of their stimulating effect on heat production which in turn raises the requirements for oxygen.

Verdankungen

Die Autoren danken Frau S. Bodmer und Frau M. Schmid für die Durchführung der Analysen sowie die Verarbeitung des Zahlenmaterials, Herrn H. Leuenberger, Leiter des Rindviehsektors des Versuchsgutes Chamau, für seine Zusammenarbeit und Herrn G. Dadak für die Betreuung der Klimaanlage.

Literatur

[1] *Begemann H.* und *Harweth H.:* Praktische Hämatologie. G. Thieme Verlag, Stuttgart 1969. – [2] *Bianca W.:* Der Einfluss der Alpung auf das Blutvolumen von Jungziegen. Schweiz. Arch. Tierheilk. *93,* 468–499 (1951). – [3] *Bianca W.:* Physiologische Einwirkungen der Alpung auf das Rind. Schweiz. Landw. Mo.hefte II, 347–361 (1977). – [4] *Bianca W.* und *Espinosa J. P.:* Untersuchungen über die Höhentoleranz von Kälbern. Z. Tierz. Zücht. biol. *92,* 282–298 (1975). – [5] *Bianca W.* and *Hays F. L.:* Responses of calves to a simulated altitude of 5000 m. Intern. J. Biometeor. *19,* 155–165 (1975). – [6] *Bianca W.* and *Hays F. L.:* Responses of cattle to exercise in a neutral, a cold and a hot environment. Biometeorology, Vol. 6, Part 1, 29–30. Proceedings VII Internat. Biomet. Congress, College Park, Maryland, USA (1975a). – [7] *Bianca W.* und *Hays F. L.:* Vergleichende Untersuchungen am Rind bei Stallhaltung im Tal und auf der Alp sowie bei Weidehaltung auf der Alp. Schweiz. landw. Forschg. *16,* 215–234 (1977). – [8] *Bianca W.* und *Puhan Z.:* Untersuchungen über den Einfluss der Luftverdünnung auf einige physiologische Grössen von Kühen sowie auf die Menge und Beschaffenheit der Milch. Schweiz. landw. Forschg. *13,* 463–489 (1974). – [9] *Blake J. T.:* Cardiac structural changes in cattle with brisket disease. Amer. J. Vet. Res. *26,* 76–82 (1965). – [10] *Grover R. F., Reeves J. T., Will P. H.* and *Blount S. G. Jr.:* Pulmonary vasoconstriction in steers at high altitude. J. Appl. Physiol. *18,* 567–574 (1963). – [11] *Hallmann L.:* Klinische Chemie und Mikroskopie. G. Thieme Verlag, Stuttgart 1966. – [12] *Hays F. L.* und *Bianca W.:* Physiologische Einwirkungen der Alpung auf das Rind. Schweiz. Arch. Tierheilk. *118,* 151–166 (1976). – [13] *Hays F. L., Bianca W.* and *Näf F.:* Effects of exposure to a simulated altitude of 3500 m on calves and oxen. Intern. J. Biometeor. *22,* 135–146 (1978). – [14] *Hays F. L., Armbruster H., Vetter W.* and *Bianca W.:* Plasma cortisol in cattle: circadian rhythm and exposure to a simulated altitude of 5000 m. Intern. J. Biometeor. *19,* 127–135 (1975). – [15] *Hecht H. H., Kuida H., Lange R. L., Thorne J. L.* and *Brown A. M.:* Brisket disease. II. Clinical features and haemodynamic observations in altitude dependent heart failure of cattle. Amer. J. Med. *32,* 171–183 (1962). – [16] *Hurtado A.:* Animals in high altitudes: resident man. In: Adaptation to the environment. D.B. Dill, E.F. Adolph and G.G. Wilber (Edit.). Handbook of Physiology. Amer. Physiol. Soc. Washington D.C., 843–860 (1964). – [17] *Kampen E. J. van, Zijlstra W. G.:* Standardisation of Haemoglobinometry. Clin. Chem. Acta *6,* 538–544 (1961). – [18] *Krippl J., Matzke P., Mendez P.* und *Patz H.:* Höhenphysiologische Untersuchungen an Blut und Kreislauf des Rindes. Bayer. Landw. Jahrbuch *38,* 959–973 (1961). – [19] *Monge C. Sr.* and *Monge C. Jr.:* Adaptation to high altitude. In: Adaptation of domestic animals, Hafez E. S. E. (Edit.), Lea and Febiger, Philadelphia, 194–201 (1968). – [20] *Phillips R. A.:* Measurement of specific gravities of whole blood and plasma by standard copper sulfate solutions. J. Biol. chem. *183,* 305–330 (1950). – [21] *Rahn H.* and *Otis A. B.:* Alveolar air during simulated flights to high altitude. Amer. J. Physiol. *150,* 202–221 (1947). – [22] *Ruiz A. V., Bisgard G. E.* and *Will J. A.:* Haemodynamic responses to hypoxia and hyperoxia in calves at sea level and altitude. Pflügers Arch. *344,* 275–286 (1973). – [23] *Sime F., Monge C.* and *Whittembury J.:* Age as a cause of chronic mountain sickness (Monge's disease). Intern. J. Biometeor. *19,* 93–98 (1975). – [24] *Will D. H., Alexander A. F., Reeves J. T.* and *Grover R. F.:* High altitude induced pulmonary hypertension in normal cattle. Circul. Res. *10,* 172–177 (1962).