

RUDOLF STAUFENBIEL¹, UWE REINICKE¹ und LOTHAR PANICKE²

Zum Glukosetoleranztest beim Rind

1. Mitteilung: Beziehungen zum Laktationsabschnitt und zur Milchleistung

Herrn Professor Dr. Dr. h.c. Gottfried Leuthold zum 65. Geburtstag gewidmet

Summary

Titel of the paper: Investigations into glucose tolerance test in cattle. I. Relations to stage of lactation and milk yield.

Intravenous glucose tolerance test was used in 104 randomly selected milk cows to prove the influence of stage of lactation on test results. The test period enclosed the time from 8 weeks ante partum (begin of dry period) to 36 weeks post partum. In another trial the glucose tolerance test was applied in 68 first lactation cows in the time from 2 to 7 days post partum. The test results were correlated to parameters of milk yield of the following lactation. The probands belong to two breeds (Friesian Dairy Cattle, SMR and Holstein-Friesian, HF). The parameters of glucose tolerance test show significant changes in the time from the dry period to the lactation cycle, which can be seen as a mean for supporting milk production. The glucose and insulin related parameters differ in their reaction in dependence on time of lactation. Back fat thickness as an parameter for body fat content shows a similar behaviour as insulin related parameters. In this context their were proved significant correlation coefficients between parameters of milk yield and insulin function in the range from 0,3 to 0,6. But there were seen no relevant relations between glucose related parameters and milk yield datas. No substantial differences were established between the Friesian Dairy Cattle and Holstein-Friesian cows.

Key words: insulin, glucose, metabolism, glucose tolerance test, milk yield, cattle

Zusammenfassung

Der Einfluß des Laktationszeitpunktes auf die Ergebnisse des Glukosetoleranztestes wurde in einer zufälligen Stichprobe von 104 Kühen geprüft. Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich von 8 Wochen ante partum bis 36 Wochen post partum. In einer zweiten zufälligen Stichprobe wurde der Glukosetoleranztest bei 68 Kühen der ersten Laktation 2 bis 7 Tage post partum einmalig durchgeführt, um die Ergebnisse zu verschiedenen Kennwerten der Milchleistung der folgenden Laktation in Beziehung zu setzen. Die Kühe gehörten den Rassen Schwarzbuntes Milchrind (SMR) und Holstein-Friesian (HF) an. Im Untersuchungszeitraum von der Trockenstehperiode bis zur 36. Laktationswoche zeigen die Parameter des Glukosetoleranztestes eine signifikante Dynamik, die sich in Richtung der Unterstützung der Milchleistung interpretieren läßt. Die Parameter zur Beurteilung der Glukose- und Insulinfunktion verhalten sich unterschiedlich in Abhängigkeit vom Laktationszeitpunkt. Die Rückenfettdicke zeigt eine parallele Entwicklung zu den insulinbezogenen Untersuchungsgrößen. Zwischen den verschiedenen Kennwerten der Milchleistung und Parametern zur Beurteilung der Insulinfunktion lassen sich signifikante Korrelationen im Bereich von 0,3 bis 0,6 nachweisen. Zu Meßgrößen der Glukosefunktion bestehen keine wesentlichen Zusammenhänge. Zwischen den Kühen der Rassen SMR und HF sind keine Unterschiede erkennbar.

Schlüsselwörter: Insulin, Glukose, Stoffwechsel, Glukosetoleranztest, Milchleistung, Rind

1. Einleitung

Die durchgeführten Untersuchungen zum Glukosetoleranztest ordnen sich in die langfristige, strategische Zielstellung der Sicherung bzw. Verbesserung der Gesundheitsstabilität unserer Milchkühe bei steigendem genetischen Milchleistungspotential ein. Die Arbeitshypothese beinhaltet, daß sich Kühe mit gleicher (hoher) Milchleistungs-
veranlagung bezüglich der Anfälligkeit für das Auftreten von Stoffwechselstörungen und damit im Gefolge von Fruchtbarkeits- und verschiedenen Gesundheitsstörungen unterscheiden. Diese Arbeitshypothese vorausgesetzt, würde zu der Schlußfolgerung führen, daß neben der Steigerung der Milchleistung auch die Stabilität des Stoffwechsels in der Zuchtarbeit berücksichtigt werden sollte (STAUFENBIEL u.a., 1989, 1993). Das erfordert jedoch objektive, in der Zuchtarbeit nutzbare Parameter zur Beurteilung der Stoffwechselstabilität.

Zunächst muß die Frage geklärt werden, was unter Stoffwechselstabilität verstanden werden soll. Man kann sie als den Grad der Beanspruchung der verschiedenen Stoffwechselkreisläufe zur Realisierung einer bestimmten Leistung, im Fall der Kühe der Milchleistung, definieren. Bei den Milchkühen wird der Energiestoffwechsel am meisten beansprucht und muß damit im Mittelpunkt der Betrachtung stehen (STAUFENBIEL u.a., 1991, 1993). Die leistungsabhängige metabolische Belastung kann an Hand der Reaktion der verschiedenen Stoffwechselfparameter gemessen werden. Auf dieser Basis wurden Stoffwechselfparameter auf ihre Eignung in der Zuchtarbeit geprüft (LEUTHOLD u.a., 1993; MÜLLER, 1994; MÜLLER u.a., 1998). Auch die Berücksichtigung der Futteraufnahme in der Zuchtarbeit hat in der Konsequenz die Stabilisierung des Stoffwechsels zum Ziel (LEUTHOLD u.a., 1991, 1992; MÜLLER, 1994). Die aufwendige Erfassung der Futteraufnahme schränkt die Anwendung dieser Untersuchungsgröße ein. Metabolische Parameter haben sich auf Grund ihrer hohen, zufällig bedingten Variabilität auch als wenig nützlich für die Zuchtarbeit erwiesen. Daraus leitet sich die Überlegung ab, auf Parameter zurückzugreifen, die eine Aussage zur Stoffwechselregulation geben (FUHRMANN u.a., 1989; REINECKE, 1993; SCHALLENBERGER u.a., 1996).

Die Untersuchungen von HART (1983) haben gezeigt, daß die Verbesserung des genetischen Milchleistungspotentials unserer Kühe mit Verschiebungen der Konzentrationen an Insulin, STH und Thyroxin einhergegangen ist. Das führt zu einer Intensivierung einer katabolen Stoffwechsellage in der Frühlaktation, die einerseits die Milchleistung unterstützt, aber andererseits das Risiko für das Auftreten von Stoffwechselstörungen erhöht (STAUFENBIEL u.a., 1991, 1993; STAUFENBIEL, 1997). Ziel sollte es sein, züchterisch solche Kühe zu selektieren, die ihre hohe Milchleistung in Kombination mit einer möglichst geringen Veranlagung zum Katabolismus post partum verbinden, was folgerichtig zu einer Zucht auf hohe Futteraufnahme und metabolischer Stabilität führen würde. Seitens der endokrinen Regulation des Energiestoffwechsels nimmt das Insulin eine zentrale Stellung ein. Die Beurteilung der individuellen Insulinfunktion kann mit Hilfe des Glukosetoleranztestes erfolgen (STAUFENBIEL u.a., 1992; REINICKE, 1993).

Nachfolgend soll geprüft werden, ob die Ergebnisse aus dem Glukosetoleranztest

signifikante phänotypische Beziehungen zur Milchleistung von Kühen besitzen. Dazu wurde zunächst der Einfluß des Laktationsstadiums auf den Glukosetoleranztest untersucht. Die Auswirkungen anderer Faktoren (Alter, Bestandszugehörigkeit, Geschlecht, Jahreszeit, Nutzungsrichtung, Rasse) werden in gesonderten Publikationen dargestellt.

2. Material und Methoden

Tiermaterial

Bei 104 Kühen der ersten und zweiten Laktation wurde der Glukosetoleranztest einmal pro Tier durchgeführt (Tab. 1). Die Kühe repräsentieren eine zufällige Stichprobe über den Zeitraum vom Beginn der Trockenstehperiode 8 Wochen ante partum bis 36 Wochen post partum. In einer zweiten zufälligen Stichprobe wurde bei 68 Kühen der ersten Laktation im Zeitraum 2 bis 7 Tage post partum einmalig der Glukosetoleranztest ausgeführt (Tab. 2). Die Kühe verteilen sich zu 27 bzw. 41 Tieren auf die Rassen Holstein-Friesian (HF) und Schwarzbuntes Milchrind (SMR). Die Kühe stammen aus drei Produktionsbetrieben. Die Haltungs- und Fütterungsbedingungen lassen sich wie folgt charakterisieren: Betrieb 2 Anbindehaltung, Stroheinstreu, Kraftfutter, Gras-, Maissilage, Stroh, Heu; Betrieb 3 Anbindehaltung, strohlos, Kraftfutter, Gras-, Maissilage, Stroh, Heu; Betrieb 4 Halsfangrahmen, strohlos, Kraftfutter, Gras-, Maissilage, Stroh, Heu.

Tabelle 1

Untersuchungen an trockenstehenden und laktierenden Kühen in der 1. und 2. Laktation (unabhängige Stichprobe als Bestandsquerschnitt, n = 104) (Investigations in first and second lactation cows during dry period and lactation; n = 104)

Betrieb	Rasse	Wochen post partum	n
4	SMR	- 8	8
		- 4	10
		- 2	10
		0*	28
		4	10
		8	10
		15	10
		26	8
		36	10

* 2 Tage post partum

Tabelle 2

Untersuchungen an Jungkühen 2 bis 7 Tage post partum (n = 68) (Investigations in first lactation cows 2 - 7 days post partum, n = 68)

	Betrieb 2	Betrieb 3	Betrieb 4	gesamt
Jungkühe p.p.				
gesamt	33	27	8	68
HF	19	8	-	27
SMR	14	19	8	41

Untersuchungsmethoden

Vor Durchführung des intravenösen Glukosetoleranztestes wurde den Probanden für

12 Stunden das Futter bei freiem Zugang zum Tränkwasser entzogen. Vor Testdurchführung wurde die Lebendmasse durch Wägung oder ausnahmsweise über den Brustumfang ermittelt. Danach wurde den Tieren nach Fixation mit einem Kopfhalter eine Venenverweilkanüle in die Vena jugularis gelegt. Nach Abnahme einer Blutprobe für die Bestimmung der Ausgangskonzentrationen an Insulin und Glukose erfolgte über die Venenverweilkanüle die Glukoseinjektion innerhalb von 2 Minuten mit Hilfe eines Dosierspritzautomaten nach Bühner in einer Dosis von $1 \text{ g Glukose / kg}^{0,75}$. Das Ende der Injektion wurde als Zeitpunkt 0 festgelegt. Nachfolgend wurden 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 60 und 70 Minuten post injectionem Blutproben in heparinisierten Entnahmefäßen gewonnen. Innerhalb einer Stunde nach Blutentnahme wurden die Proben zur Plasmaabtrennung zentrifugiert. Das Blutplasma wurde bis zur weiteren Untersuchung bei -18° C gelagert. Die Bestimmung der Plasmaglukosekonzentration (mmol/l) erfolgte mittels der GOD-PAP-Methode (Boeringer-Mannheim-GmbH) am automatischen Photometer CORONA der Firma Clinicon. Die Bestimmung der Insulinkonzentration (pmol/l) wurde mittels Insulin-RIA vorgenommen (solid phase radioimmunsay-coated tubes, Firma Hermann-Biermann-GmbH).

Die Auswertung der Testergebnisse erfolgte nach den Angaben von STAUFENBIEL u.a. (1992) sowie REINICKE (1993). Die Abbildungen 1 und 2 geben die zur Beurteilung der Glukosereaktion und der Insulinantwort herangezogenen Meßgrößen einschließlich der verwendeten Abkürzungen wieder.

Die Rückenfettdicke (RFD) wurde nach den Angaben von STAUFENBIEL (1997) gemessen. Die Daten zur Milchleistung entstammen aus den Ergebnissen der in den Betrieben durchgeführten Milchleistungsprüfung. In die Auswertung wurden die Einzelleistung Milchmenge mit natürlichem Milchfettgehalt (ELMkg), Einzelleistung Milchmenge mit einem auf 4% korrigierten Milchfettgehalt (ELMkg4), 305-Tage-

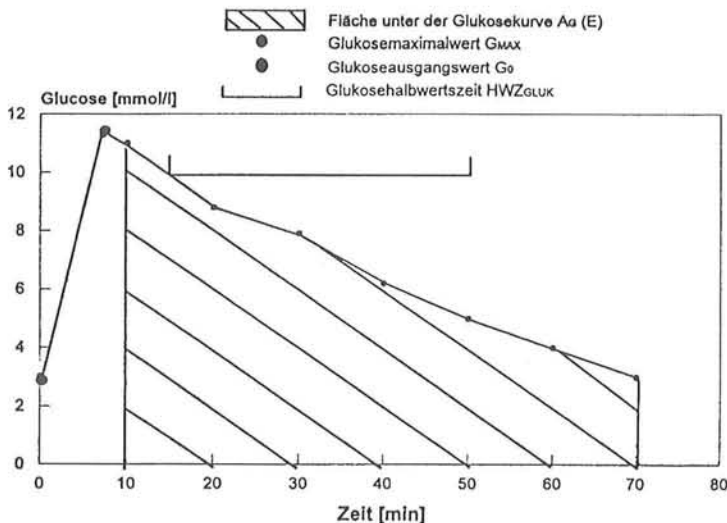


Abb. 1: Beurteilung der Glukosereaktion im Glukosetoleranztest (Appraisal of glucose reaction in glucose tolerance test)

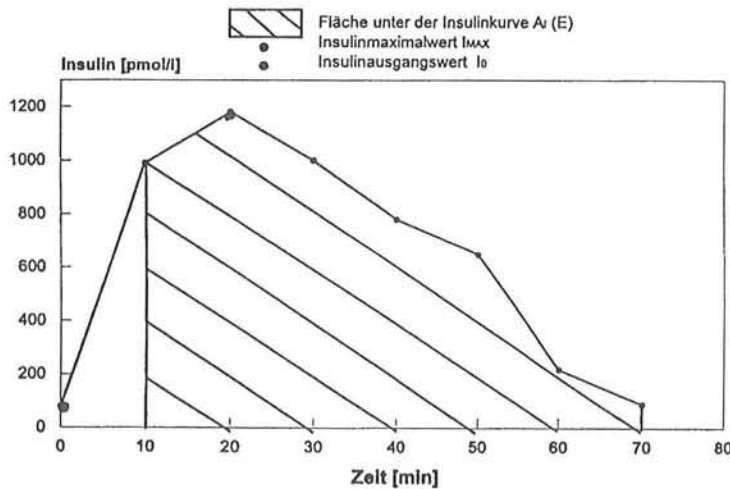


Abb. 2: Beurteilung der Insulinantwort im Glukosetoleranztest (Appraisal of insulin response in glucose tolerance test)

Milchmengenleistung bei 4% Milchfett (MM305), 305-Tage-Milchfettmengenleistung (Fettkg), 305-Tage-Milcheiweißmengenleistung (Ewkg) und die 305-Tage-Fett-Eiweiß-Leistung (FEkg) einbezogen.

Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe des Statistikprogramms SPSS-PC⁺ Version 4.0 (Microsoft Corporation). Es wurden die Mittelwerte und Standardabweichungen berechnet. Die Wirkung der verschiedenen Einflußfaktoren wurde mit der einfachen und zweifachen Varianzanalyse mit anschließendem multiplen t-Test geprüft. Neben den Signifikanzniveaus in den Stufen $p < 0,05$, $p < 0,01$, $p < 0,001$ (nicht signifikant entspricht $p > 0,05$) werden der F-Wert aus dem F-Test sowie die Restvarianz MQR ausgewiesen. Der einfache, lineare Pearson'sche Korrelationskoeffizient wurde zur Beschreibung des Zusammenhanges zwischen den Milchleistungskennwerten und den Parametern des Glukosetoleranztests berechnet.

3. Ergebnisse

Im Zeitraum vom Beginn der Trockenstehperiode bis zur 36. Woche der folgenden Laktation vollziehen sich signifikante Veränderungen bezüglich der Ergebnisse im Glukosetoleranztest. Sowohl die Fläche unter der Glukosekurve A_G als auch die Glukosehalbwertszeit HWZ_{Gluk} nehmen bis zum Kalbezeitpunkt signifikant ab, erreichen in der vierten Woche post partum einen Tiefpunkt und steigen danach wieder an (Abb. 3). Die Insulinreaktion A_i fällt ante partum ebenfalls ab, erreicht erst in der achten Laktationswoche den Tiefpunkt und verbleibt dann auf einem niedrigen Niveau bis zur 26. Laktationswoche (Abb. 4). Eine auffällig ähnliche, signifikante Dynamik

weist die Rückenfettdicke (RFD) auf (Abb. 4). In der 26. Laktationswoche zeigt die Zunahme der RFD den beginnenden Wiederaufbau der verbrauchten Fettreserven an. Bemerkenswert ist, daß zeitgleich die A_1 einen Wendepunkt aufweist. Der Quotient A_1 / A_G bleibt ante partum auf einem gleichbleibend hohen Niveau, post partum sinkt der Quotient bis zur 8. Laktationswoche rapide ab und verbleibt dann in einem deutlich niedrigeren Wertebereich relativ unverändert stehen (Abb. 5). Die Parameter I_0 , G_0 , I_{\max} , G_{\max} und $A_1 \times A_G$ reagieren bei den Kühen ebenfalls mit signifikanten Veränderungen im Untersuchungszeitraum.

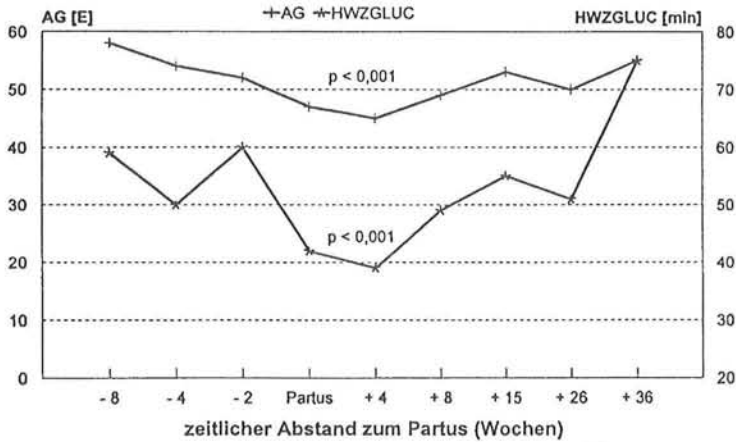


Abb. 3: Verlauf der Glukosefläche (A_G) und der Glukosehalbwegszeit (HWZ_{Gluk}) bei Kühen 8 Wochen ante partum bis 36 Wochen post partum ($n = 104$) (Glucose area (A_G) and glucose half-life (HWZ_{Gluk}) curves in dairy cows before parturition and during lactation; $n = 104$)

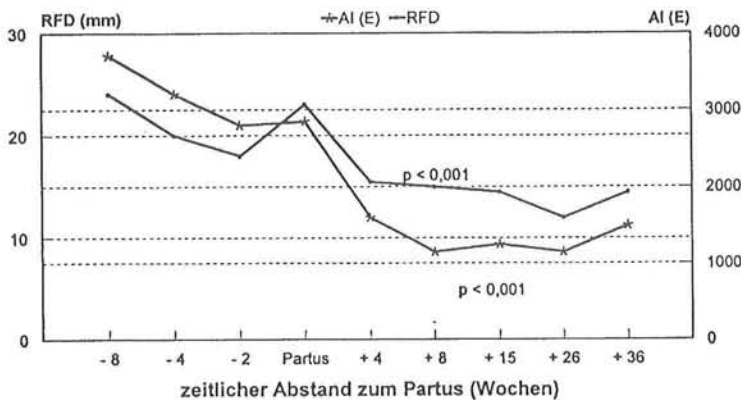


Abb. 4: Verlauf der Insulinfläche (A_1) und der Rückenfettdicke (RFD) bei Kühen 8 Wochen ante partum bis 36 Wochen post partum ($n = 104$) (Insulin area (A_1) and back fat thickness (RFD) curves in dairy cows before parturition and during lactation; $n = 104$)

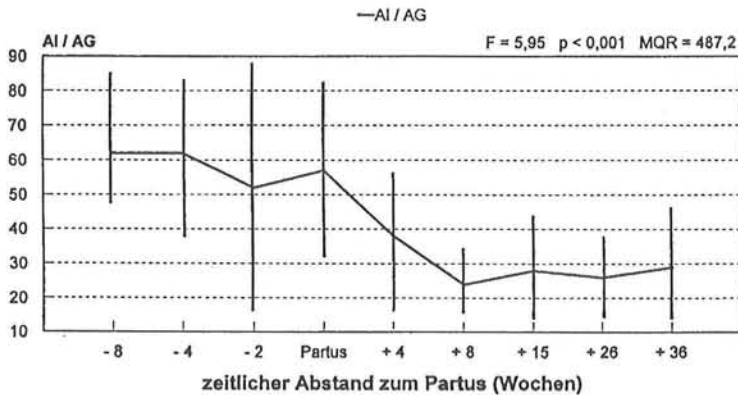


Abb. 5: Verlauf des Quotienten A_1 / A_G ($y \pm s$) bei Kühen 8 Wochen ante partum bis 36 Wochen post partum ($n = 104$) (Behaviour of quotient between A_1 / A_G ($y \pm s$) in dairy cows before parturition and during lactation; $n = 104$)

Zur Beurteilung möglicher phänotypischer Beziehungen zwischen den Ergebnissen des Glukosetoleranztestes und der Milchleistung wurden die einfach linearen Korrelationskoeffizienten zwischen den Testparametern und verschiedenen Kenngrößen aus der Milchleistungsprüfung für die Jungkühe aus den Betrieben 2, 3, 4 (Tab. 2) berechnet. Es standen die Ergebnisse des Glukosetoleranztestes aus der ersten Woche post partum zur Verfügung. In die statistische Auswertung gingen nur Tiere ein, von denen ein vollständiger Datensatz für den Glukosetoleranztest und für die Milchleistungsprüfung vorhanden war, woraus die Reduzierung des Stichprobenumfangs von 68 auf 45 auswertbaren Jungkühen resultiert.

Die Glukoseausgangskonzentration, der Glukosemaximalwert, aber auch die Glukosehalbwegszeit besitzen zu keinem Milchleistungsparameter eine signifikante Beziehung (Tab. 3). Lediglich zur Fläche unter der Glukosekurve lassen sich vereinzelt signifikante Korrelationen um $-0,3$ nachweisen. Dahingegen korrelieren sämtliche insulinbezogenen Untersuchungsgrößen signifikant zu allen einbezogenen Kennwerten der Milchleistungsprüfung. Dabei sind die Beziehungen zur Insulinausgangskonzentration I_0 eher gering. Wesentlich enger sind die Zusammenhänge zwischen der Insulinreaktion (A_1) und der Milchmengen-, Milchfett- und Fett-Eiweiß-Leistung. Die Korrelationskoeffizienten bewegen sich zwischen $-0,44$ und $-0,50$. Bemerkenswert ist, daß auch die Insulinmaximalkonzentration (I_{max}) zu allen ausgewerteten Milchleistungsparametern einschließlich der Milcheiweißleistung signifikante Korrelationen im Bereich zwischen $-0,42$ bis $-0,60$ aufweist. Die aus der Insulin- und Glukosereaktion kombinierten Parameter A_1 / A_G und $A_1 \times A_G$ besitzen zur Milchleistung ebenfalls Korrelationen im Bereich von $-0,37$ bis $-0,56$ auf. Sie stehen damit in keinem Fall in einem engeren Zusammenhang zu den Milchleistungsparametern als A_1 oder I_{max} allein.

Die 45 auswertbaren Jungkühe verteilen sich mit 21 Tieren auf die Rasse HF und 24 Kühen auf die Rasse SMR. Für die Beziehungen zwischen den Ergebnissen des Glu-

Tabelle 3

Korrelationskoeffizienten zwischen Parametern des Glukosetoleranztestes und Milchleistungsparametern von Kühen in der 1. Laktation (n = 45) (Correlation coefficients between parameters of glucose tolerance test and milk yield parameters in first lactation cows; n = 45)

	MM305	Fettkg	Ewkg	FEkg	ELMkg	ELMkg4
G_o	-0,052	-0,257	0,045	-0,110	-0,145	-0,258
G_{max}	-0,271	-0,254	-0,238	-0,260	-0,267	-0,150
A_G	-0,322 *	-0,247	-0,352 **	-0,323 *	-0,332 *	-0,150
HWZ_{Gluk}	-0,118	-0,029	-0,188	-0,129	-0,230	-0,107
I_o	-0,374 **	-0,439 **	-0,285 *	-0,393 **	-0,429 **	-0,343 *
I_{max}	-0,481 ***	-0,566 ***	-0,381 **	-0,511 ***	-0,420 **	-0,518 ***
A_1	-0,506 ***	-0,555 ***	-0,439 **	-0,539 ***	-0,425 **	-0,445 **
A_1 / A_G	-0,490 ***	-0,556 ***	-0,423 **	-0,529 ***	-0,371 **	-0,443 **
$A_1 \times A_G$	-0,492 ***	-0,521 ***	-0,427 **	-0,516 ***	-0,453 ***	-0,418 **

* $p < 0,05$ ** $p < 0,01$ *** $p < 0,001$

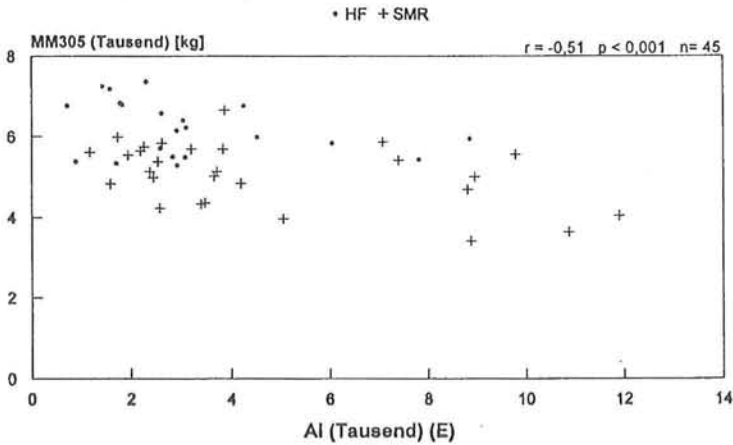


Abb. 6: Beziehung zwischen der Insulinfläche (A_1) und der 305-Tage-Milchmengenleistung (Relationship between insulin area (A_1) and 305-day milk yield)

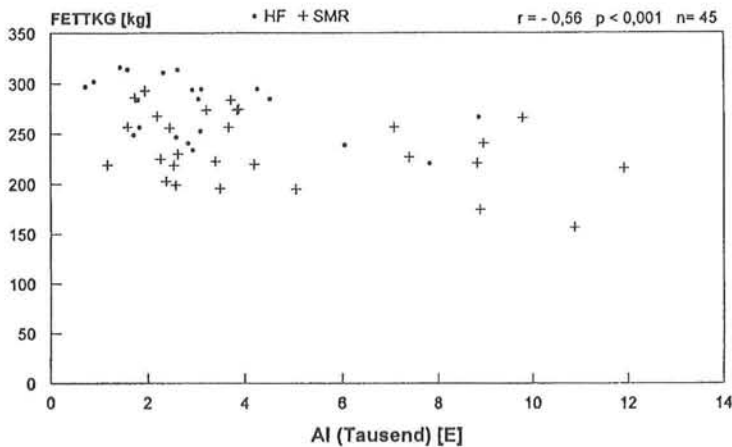


Abb. 7: Beziehung zwischen der Insulinfläche (A_1) und der 305-Tage-Milchfettmengenleistung (Relationship between insulin area (A_1) and 305-day milk fat yield)

kosetoleranztestes und den Milchleistungsdaten läßt sich keine rassenabhängige Differenzierung erkennen, was die Abbildungen 6 und 7 verdeutlichen sollen. Es sind die Punktwolken für den Zusammenhang zwischen der A_1 und der 305-Tage-Milchmengenleistung bzw. Milchfettleistung mit einer Markierung der HF- und SMR-Kühe dargestellt. Die Punktverteilungen der beiden Rassen überlagern sich regellos.

4. Diskussion

Eine hohe Milchleistung ist obligatorisch an einen intensiven Stoffumsatz gebunden. Dabei kann es bei übermäßiger Favorisierung der Milchsynthese zu Konkurrenzerscheinungen um Energie und Metaboliten mit anderen Organfunktionen kommen, was sich zunächst in Fruchtbarkeitsstörungen und dann im Auftreten von Erkrankungen äußert (STAUFBENBIEL u.a., 1991, 1993). Umgekehrt sind solche Kühe, die ihre Körperreserven nur in geringem Maße für die Laktogenese nutzen, weniger krankheitsgefährdet, allerdings auf Kosten einer niedrigeren Milchleistung. Diese Situation läßt sich mit dem Begriff Stoffwechsellyp beschreiben. Bezüglich des Stoffwechsellyps lassen sich die zwei theoretischen Kategorien Umsatztyp (Mobilisationstyp) und Ansatzstyp (Depositionstyp) unterscheiden (STAUFBENBIEL u.a., 1989, 1992). Die einzelnen Tiere bewegen sich irgendwo zwischen diesen beiden theoretischen Kategorien. Zur Ortsbestimmung soll die Quantifizierung des individuellen Stoffwechsellyps dienen. Da das Insulin eine zentrale Rolle in der Metabolitenverteilung zwischen Milchdrüse und den anderen Körperorganen bzw. -geweben einnimmt, könnte die Beurteilung der Insulinfunktion einen methodischen Ansatz für die individuelle Beschreibung des Stoffwechsellyps bilden, ohne bei dieser Überlegung die vielfältigen Interaktionen der Insulinwirkung mit anderen Hormonen und metabolischen Regulationsmechanismen zu negieren. Aus diesem Grund liefern Insulinkonzentrationen im Blut nur geringe, kaum verwertbare Aussagen zum individuellen Stoffwechsellyp, da diese mehr die aktuelle Wirkung äußerer Einflußgrößen reflektieren (STAUFBENBIEL u.a., 1992). Die dominante Wirkung äußerer Faktoren auf die Blutinsulinspiegel kann durch die Anwendung eines Belastungstestes herabgesetzt werden. Im Belastungstest wird das Insulin weit aus seinem physiologischen Bereich herausgelenkt, um am Verlauf der provozierten Wiedereinregulierung eine Aussage zur Funktion abzuleiten, die durch externe Faktoren weniger stark beeinflußt wird. Der Glukosetoleranztest ist ein klassischer Belastungstest zur Prüfung der Insulinfunktion (FUHRMANN u.a., 1989; STAUFBENBIEL u.a., 1992; REINICKE, 1993).

Im Zeitraum der Trockenstehperiode und der Laktation vollziehen sich signifikante Veränderungen in der Reaktion der Kühe auf eine intravenöse Glukosebelastung. Die in den Abbildungen 3, 4, 5 dargestellten Ergebnisse entsprechen denen früherer eigener Untersuchungen (STAUFBENBIEL u.a., 1992) sowie auch solcher anderer Autoren (LOMAX u.a., 1979; SARTIN u.a., 1985; KENNEDY u.a., 1987; SANO u.a., 1991, 1993). Die endokrine Regulation ist post partum auf die Unterstützung des Metabolitenstromes in Richtung Milchdrüsenngewebe ausgerichtet, was durch eine möglichst sparsame Entnahme von Metaboliten aus dem Blut durch die anderen Körpergewebe unterstützt wird. Diese Wirkung wird durch die sehr geringe Insulin-

reaktion der Kühe auch bei mit Fortschreiten der Laktation steigender Glukosehalbwertszeit und Glukosefläche unterstützt (Abb. 3, 4). Die Glukoseelimination wird in der Frühaktation in erster Linie über den Verbrauch in der Milchdrüse reguliert, was sich anschaulich an dem Quotienten A_1 / A_G ablesen läßt (Abb. 5). Dieser Quotient gibt den Regelaufwand seitens des Insulins für die Elimination der intravenösen Glukosebelastung wieder. Am Ende des Untersuchungszeitraumes in der 36. Laktationswoche deutet sich an der sprunghaften Zunahme der Glukosehalbwertszeit, des zeitgleichen Anstieges der A_1 , A_G , A_1 / A_G eine Umstellung der endokrinen Regulation vom Katabolismus in Richtung Anabolismus an. Die laktationsabhängigen Veränderungen zwischen Katabolismus und Anabolismus werden durch die RFD anschaulich wiedergespiegelt, die sich parallel zur A_1 bzw. A_1 / A_G ändert (Abb. 4). Die Abnahme der RFD ist ein quantitatives Maß für die Lipolyseintensität, die Zunahme für die Lipogeneserate (STAUFENBIEL, 1997) bzw. für die Energiebilanz (STAUFENBIEL u.a., 1993). Die aufgezeigte Laktationsdynamik der Reaktion der Kühe auf den Glukosetoleranztest unterstützt insgesamt die Milchleistung. Die weite Streuung der Einzelwerte (Abb. 5) läßt erkennen, daß ausgeprägte tierindividuelle Unterschiede bestehen und daß diese mit dem Glukosetoleranztest quantifiziert werden können.

Wenn die aufgezeigte Dynamik in der Reaktion des Glukosetoleranztestes auf die Glukosebelastung auf endokriner Ebene die realisierte Milchleistung determiniert, dann müssen sich signifikante Korrelationen zwischen den Parametern des Glukosetoleranztestes und der Milchleistung nachweisen lassen. Mit diesem Ziel wurde bei den Jungkühen aus Tabelle 2 der Glukosetoleranztest in der ersten Laktationswoche durchgeführt und die Ergebnisse mit den Daten der Milchleistungskontrolle der folgenden Laktation in Beziehung gesetzt (Tab. 3). Die geringen Zusammenhänge zwischen den Parametern zur Beurteilung der Glukosereaktion und den Milchleistungskennwerten lassen sich damit erklären, daß die Glukose die geregelte Größe ist. Der Organismus ist zur Aufrechterhaltung der Homöostase bestrebt, den Glukosestoffwechsel in sehr engen Grenzen konstant einzustellen. Diese Aufgabe wird im wesentlichen vom Insulin übernommen. Die Parameter zur Beurteilung der Insulinfunktion sollen die Inanspruchnahme der Regelkapazität quantifizieren. Das läßt sehr viel engere Beziehungen zur Milchleistung erwarten. Tatsächlich zeigen A_1 und I_{\max} sowohl zur Einsatz- als auch zur Gesamtlaktationsleistung (305-Tageleistung) ausgedrückt als Originalmilchmenge, auf 4 % Milchfett korrigierte Milchmenge (FCM), Milchfettmenge, zur Summe aus Milchfett- und Milcheiweißmenge und etwas eingeschränkt auch zur Milcheiweißmenge signifikant negative Korrelationen im Bereich zwischen -0,3 und -0,6. Diese Ergebnisse stimmen in der Größenordnung und im Vorzeichen mit den Befunden anderer Autoren überein (WALSH u.a., 1980; HART, 1983; HERBEIN u.a., 1985; GHIRARDI und COOK, 1987). Auch wenn es sich dabei nur um phänotypische Korrelationen handelt, belegen diese Ergebnisse die zentrale Rolle des Insulins bei der endokrinen Determination der Milchleistung und die Eignung der eingesetzten Methode zur Quantifizierung dieser Zusammenhänge.

Die untersuchten Jungkühe gehören den Rassen SMR und HF an. Die Punktwolken für

die Beziehung zwischen der Insulinreaktion (A_1) und der Milchmengenleistung (Abb. 6) bzw. Milchfettleistung (Abb. 7) lassen erkennen, daß die Rassenzugehörigkeit kein wesentliches Differenzierungsmerkmal ist. Vielmehr bilden alle Kühe unabhängig von ihrer Rasse ein kontinuierliches Spektrum, das hauptsächlich von der Leistungshöhe bestimmt wird.

Hervorzuheben ist die gute Aussage der Meßgröße I_{\max} im Vergleich zu A_1 (Tab. 3). Sollte sich dies in weiteren Untersuchungen bestätigen, würde das den Verzicht auf A_1 zugunsten der alleinigen Verwendung von I_{\max} rechtfertigen. Das ist deshalb explizit hervorzuheben, da der methodische Aufwand zur Bestimmung von I_{\max} wesentlich geringer als von A_1 ist.

Literatur

- FUHRMANN, H.; EULITZ-MEDER, C.; GELDERMANN, G.; SALLMANN, H.-P.:
Zur Evaluierung von Hormon- und Metabolitenprofilen nach Infusion von Glucose, Propionat und Butyrat beim Rind. Berl. Münch. Tierärztl. Wschr. 102 (1989), 188-193
- GHIRARDI, G. G.; COOK, R. M.:
Insulin and glucose plasma levels in cows producing 32 and 20 kg FCM in early lactation. J. Dairy Sci., Champaign, Ill. 70 (Suppl.) (1987), 120
- HART, I. C.:
Endocrine control of nutrient partition in lactating ruminants. Proc. Nutr. Soc. 42 (1983), 181-193
- HERBEIN, J. H.; AIELLO, R. J.; ECKLER, L. I.; PEARSON, R. E.; AKERS, R. M.:
Glucagon, insulin, growth hormone, and glucose concentrations in blood plasma of lactating dairy cows. J. Dairy Sci., Champaign, Ill. 68 (1985), 320-325
- KENNEDY, A. D.; TEKPETEY, F. R.; INGALIS, J. R.; PALMER, W. M.:
Effect of stage of lactation and diet on serum insulin level and mononuclear leucocyte insulin receptor characteristics in dairy cows. Can J. Anim., Ottawa 67 (1987), 721-733
- LEUTHOLD, G.; WILHELM, H.; MÜLLER, U.:
Heritabilität und Zuchtwertdifferenzen der Futteraufnahme und der Energiebilanz von Kühen des Schwarzbunten Milchrindes. Züchtungskunde, Stuttgart 63 (1991), 342-353
- LEUTHOLD, G.; WALTER, A.; REINECKE, P.; HENNEBERGER, S.; MÜLLER, U.:
Genetische Variabilität biochemischer Merkmale des Intermediärstoffwechsels beim Milchrind und deren Eignung zur indirekten Selektion auf Futteraufnahme und Energiebilanz. Arch. Tierz., Dummerstorf 35 (1992), 53-63
- LEUTHOLD, G.; MÜLLER, U.; REINECKE, P.; BRUNSCH, C.; LEUCHT, W.:
Eignung biochemischer Merkmale des Energiestoffwechsels zur indirekten Selektion auf Nährstoffaufwand und „residual feed intake“ beim Milchrind. Arch. Tierz., Dummerstorf 36 (1993), 299-314
- LOMAX, M. A.; BAIRD, G. D.; MALLINSON, C. B.; SYMONDS, H. W.; SHAW, S. R.:
Differences between lactating and non-lactating dairy cows in concentration and secretion rate of insulin. Biochem. J. 180 (1979), 281-289
- MÜLLER, U.:
Züchterische und physiologische Bewertung von Merkmalen der Effizienz beim Milchrind und Möglichkeiten ihrer indirekten genetischen Verbesserung. Humboldt- Universität Berlin, Diss., 1994
- MÜLLER, U.; DALLE, T.; LEUTHOLD, G.; STAUFENBIEL, R.; KRÜGER, M.; KRETZSCHMAR, C.; SEIDLER, T.; SCHMIDT, M. F. G.:
Züchtungsbiologische Charakterisierung der Beziehungen zwischen Stoffwechselindikatoren und immunkompetenten Merkmalen bei hungerbelasteten Milchrindbullen. Arch. Tierz., Dummerstorf 41 (1998), 359-370
- REINICKE, U.:
Der intravenöse und modifizierte Glukosetoleranztest beim Milchrind - Einflußfaktoren und Beziehungen zur Milchleistung. Freie Universität Berlin, Diss., 1993

- SANO, H.; NAKAI, M.; KONDO, T.; TERASHIMA, Y.:
Insulin responsiveness to glucose and tissue responsiveness to insulin in lactating, pregnant, and nonpregnant, nonlactating beef cows. *J. Anim. Sci.*, Albany, N.Y. **69** (1991), 1122-1127
- SANO, H.; NARAHARA, S.; KONDO, T.; TAKAHASHI, H.; TERASHIMA, Y.:
Insulin responsiveness to glucose and tissue responsiveness to insulin during lactation in dairy cows. *Domestic Anim. Endocr.* **10** (1993), 191-197
- SARTIN, J. L.; CUMMINS, K. A.; KEMPPAINEN, R. J.; MARPLE, D. N.; RAHE, C. H.; WILLIAMS, J. C.:
Glucagon, insulin, and growth hormone response to glucose infusion in lactating dairy cow. *Am. J. Physiol.* **248** (1985), E108-E114
- SCHALLENBERGER, E.; OSTENKÖTTER, H.-W.; HASENPUSCH, E.; SCHAMS, D.; KALM, E.:
Endokrine Reaktion von Bullen auf einen Stoffwechselbelastungstest. *Züchtungskunde*, Stuttgart **68** (1996), 165-177
- STAUFENBIEL, R.; LANGHANS, J.; ROSSOW, N.; LEUTHOLD, G.:
Verhalten der Rückenfettdicke, der Aktivitäten der NADP-abhängigen Dehydrogenasen des Fettgewebes sowie der Fettgewebsbestandteile Fett und Protein und ihre Aussage zum Energiestoffwechsel der Milchkuh. *Arch. exper. Vet. med.*, Leipzig **43** (1989), 885-895
- STAUFENBIEL, R.; STAUFENBIEL, B.; LACHMANN, I.; KLUKAS, H.:
Fettstoffwechsel und Fruchtbarkeit bei der Milchkuh. *Prakt. Tierarzt coll. vet.* **XXII** (1991), 18-25
- STAUFENBIEL, R.; RISCHK, U.; SCHUMACHER, B.; BECKER, W.:
Untersuchungen zum Glukose-Insulin-System der Milchkuh mittels Tagesprofilen und mit dem Glukosetoleranztest. *Mh. Vet.-Med.*, Jena **47** (1992), 467-474
- STAUFENBIEL, R.; LACHMANN, I.; BAUER, J.; STAUFENBIEL, B.:
Energie- und Fettstoffwechsel des Rindes - Beziehungen der Rückenfettdicke zur Energieaufnahme und zur Energiebilanz. *Mh. Vet.-Med.*, Jena **48** (1993), 58-66
- STAUFENBIEL, R.:
Konditionsbeurteilung von Milchkuhen mit Hilfe der sonographischen Rückenfettdickenmessung. *Prakt. Tierarzt coll. vet.* **XXVII** (1997), 87-92
- WALSH, D.S.; VESELY, J.A.; MAHADEVAN, S.:
Relationship between milk production and circulating hormones in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, Champaign, Ill. **63** (1980), 290-294

Eingegangen: 27.10.1998

Akzeptiert: 01.12.1998

Anschriften der Verfasser

Prof. Dr. habil. RUDOLF STAUFENBIEL, Dr. UWE REINICKE
Klinik für Klauentiere des Fachbereiches Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin
Königsweg 65
D-14163 Berlin

Prof. Dr. habil. LOTHAR PANICKE
Forschungsinstitut für die Biologie landwirtschaftlicher Nutztiere
FB Populationsbiologie und Züchtungsforschung
Wilhelm-Stahl-Allee 2
D-18196 Dummerstorf