Sauer, 1992

UNIVERSITÄT
BERN

Effizienz vs. Romantik
Was können unsere Kühe leisten?

Prof. Dr. Josef J. Gross

Veterinär-Physiologie
Vetsuisse Fakultät
Universität Bern, Schweiz

Warum geben Kühe Milch?

Aufgaben der Laktation in der Brutpflege

- Ernährung des Neugeborenen + Kuh-Kalb-Bindung durch Saugen

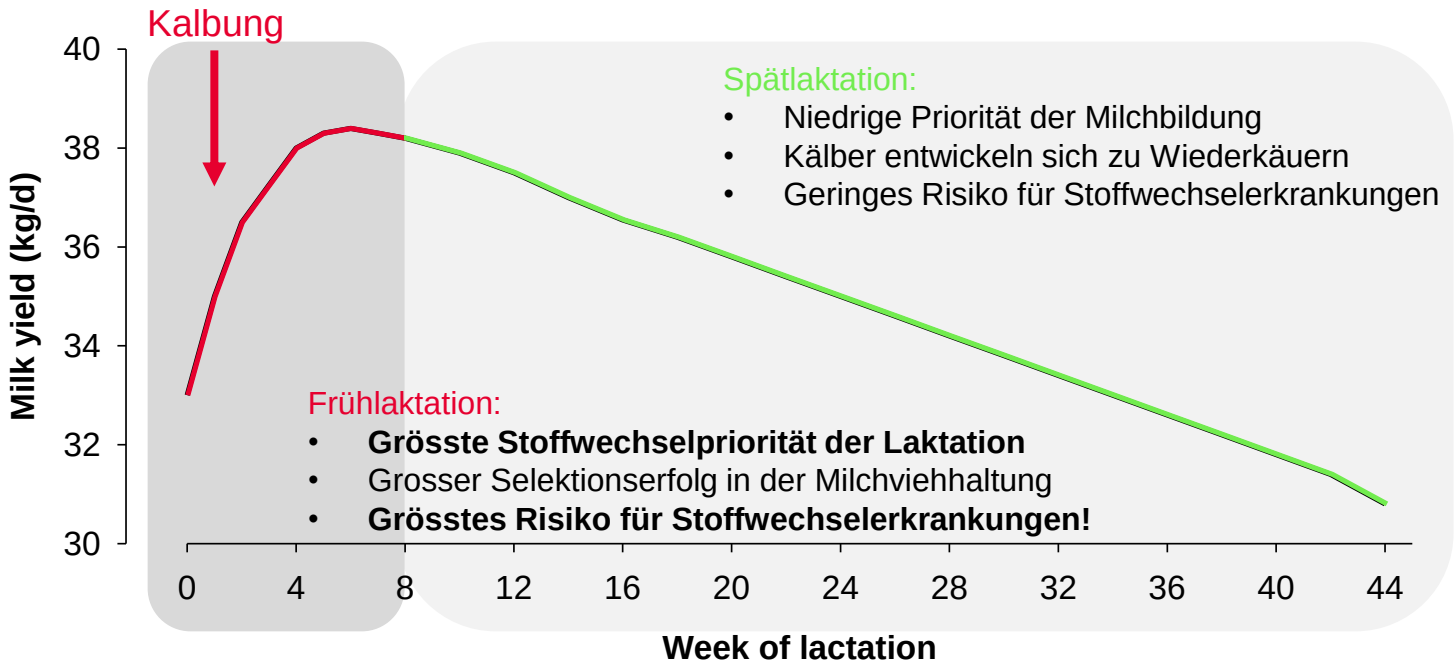
  ➡ Hohe Stoffwechselpriorität der Milchproduktion

- Kolostrum: Passive Immunisierung beim Kalb (alle Ungulaten)

  ➡ Hohes Niveau Milchsekretion bereits zur Abkalbung

Laktation des Wiederkäuers in der Evolution:

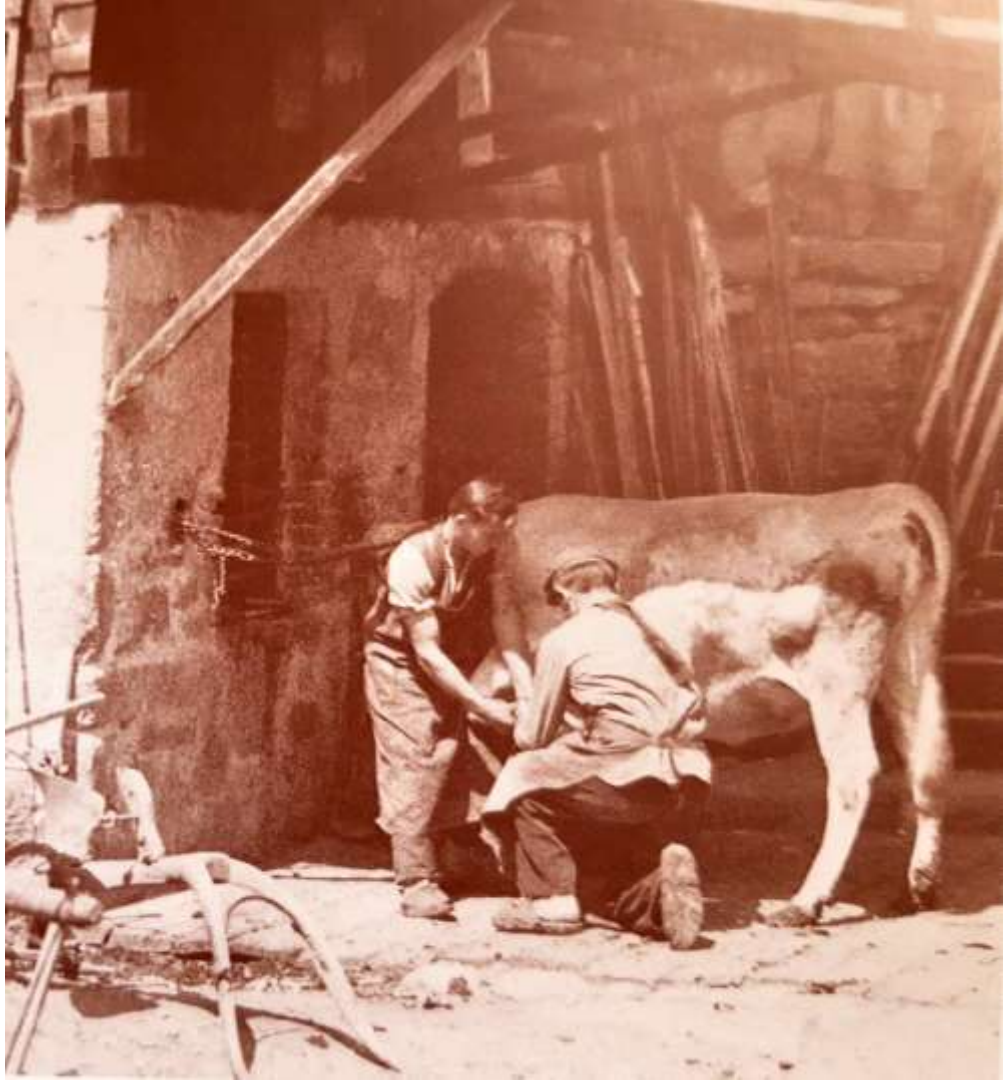
Bedeutung für das Kalb in der Früh- und Spätlaktation



Züchterisch bedingte hohe Milchmenge beruht auf der genetisch bedingten Priorisierung der Nährstoffversorgung für das Euter

Foto: Swissmilk

Neuer "Konsument" mit grösserem Bedarf, aber unveränderte Funktionsweise.



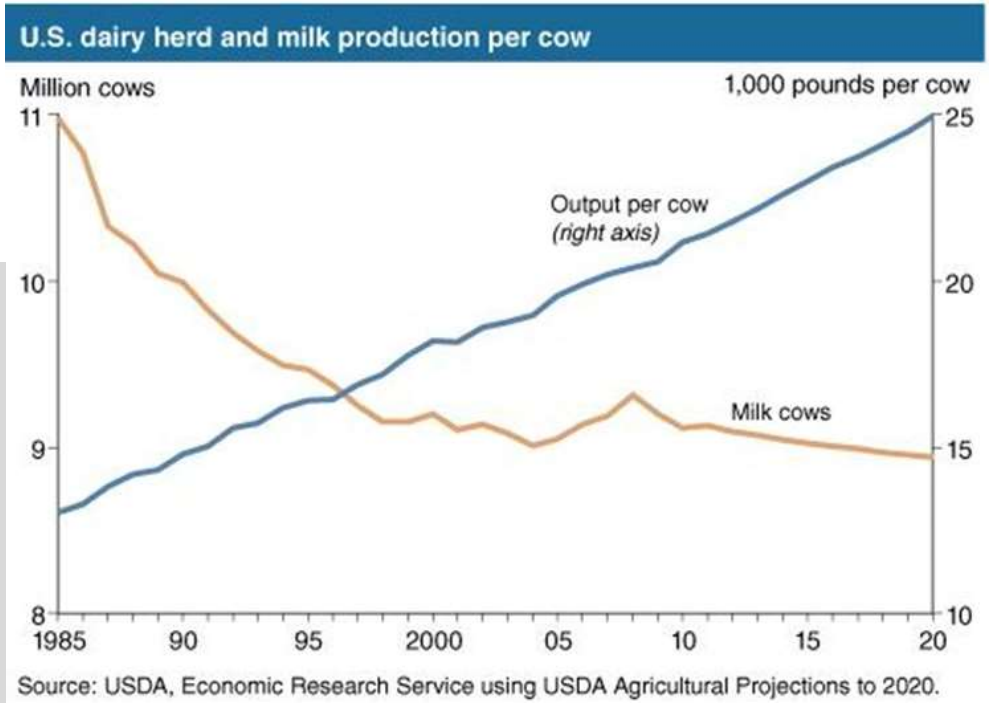
Ortmaier, 2009

Milchproduktion bei Kühen steigt weiter.

- Aktuell keine Leistungsgrenze der Milchdrüse in Sicht.

Aber:

- Energie und Nährstoffe müssen für das Euter verfügbar sein
- Exterieur, Gesundheit und Stoffwechsel der Kuh müssen zum Euter passen



Produktionserkrankungen

- Überwiegend in der Frühlaktation (negative Energiebilanz!)
- Beeinträchtigung des Immunsystems
- Stoffwechsel- und Infektionserkrankungen

Beispiele:

- Ketose
- Mastitis
- Lahmheit
- Labmagenverlagerung
- Fruchtbarkeitsprobleme
- (Störungen Mineralstoffhaushalt: Festliegen - Gebärparese, …)
- usw.

Die Züchtung hat die Anforderungen an den Stoffwechsel massiv erhöht

Energiebedarf bei verschiedenen Spezies für Laktation und Wachstum (MJ ME/Tag)			
	Erhaltungs-bedarf	Leistungsbedarf	Gesamtbedarf
Kuh, 25 kg milk/d	60	130	190
Sau, 7 kg milk/d	22	50	72
Mensch, 0.9 kg milk/d	9.1	3.6	12.7
Mastbulle, 1000 g/d ADG	55	33	88
Menschl. Baby, 50 g/d ADG	1.4	1.0	2.4
Sportler/Kletterer, 1000 m	9	5	14

Kirchgessner et al. 2008

Die Züchtung hat die Anforderungen an den Stoffwechsel massiv erhöht

Selz-Pralle Aftershock 3918:
39'489 kg Milch (365 Tage, 3. Laktation)
→ 108 kg/Tag!

1,405 kg Fett
1,086 kg Eiweiss
Aktuelle Lebensleistung: 138'000 kg Milch

Holstein International

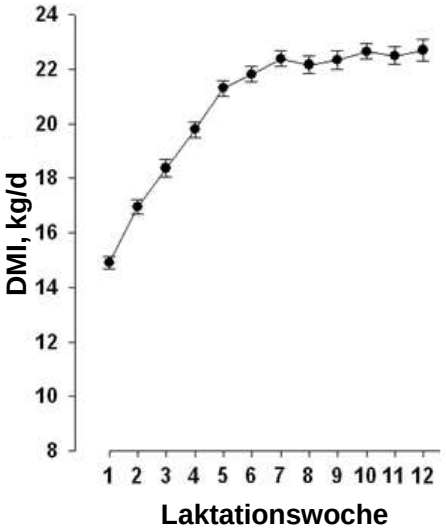
Grenzen nicht für das Euter, aber für die Kuh

Die Kuh ist ein Wiederkäuer:

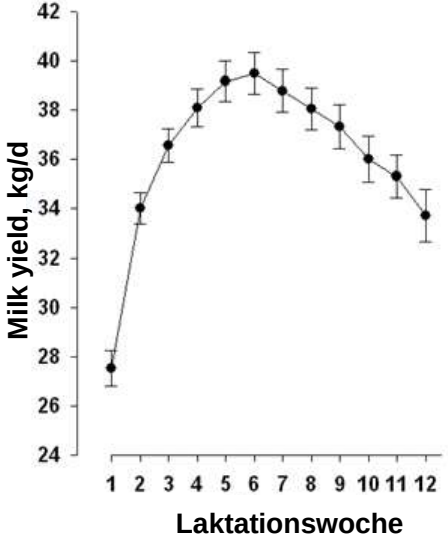
- Limitierte Energiedichte wegen notwendigem Faseranteil
- Pansengeschützte Nährstoffe teuer und nur teilweise ausreichend
- Kraftfutter zur Kompensation des Nährstoffdefizits sollen nicht im Pansen abgebaut werden. Entsprechende Produkte müssen meist importiert werden (z.B. Soja-Protein)
- Hormonale Regulation, Stoffwechsel und Immunsystem der Kuh scheinen teilweise an die Grenzen zu stossen.
  → Vermehrt Reproduktionsprobleme, Stoffwechselerkrankungen, Infektionskrankheiten

Start in die Laktation

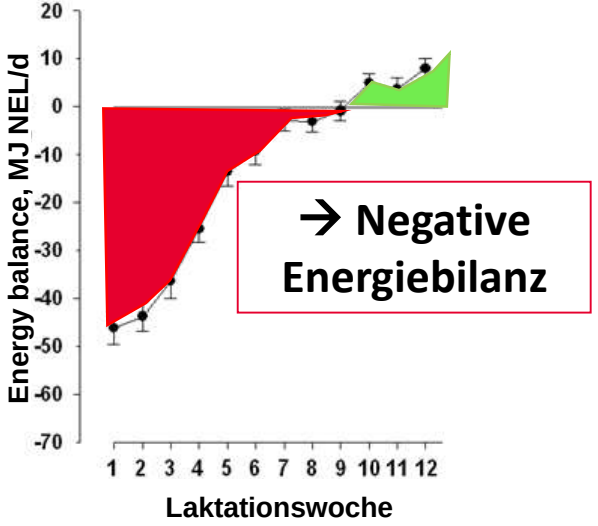
Futteraufnahme



Milchleistung



Energiebilanz



Milchproduktion steigt nach der Abkalbung schnell an trotz Energie- und Nährstoffdefizit (Priorität der Milchdrüse)

Gross et al. (2011): J. Dairy Sci. 94, 1820-1830

Die Rolle der Glucose für die Milchproduktion

Mit Einsetzen der Laktation werden über 80 % der Glucose in der Milchdrüse verbraucht:

- **Energiequelle:** kann teilweise eingespart und durch andere Energiequellen (Fettsäuren!) ersetzt werden
- **Substrat für Lactose-Synthese: Glucose kann nicht ersetzt werden**

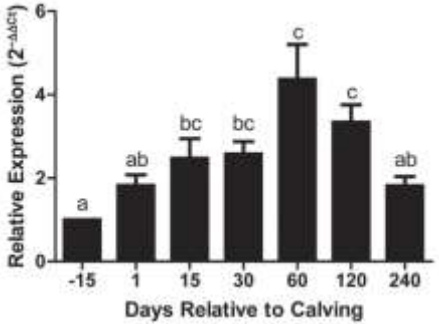
Glucose wird durch verschiedene membrangebundene Transporter aus dem Blut in die Milchdrüsenzellen transportiert:

- **GLUT1**: aktiviert unabhängig von Insulin vor allem durch Hypoxie (als Signal für erhöhten Bedarf)
- **GLUT4:** aktiviert durch Insulin (Homöostase)

Aufnahme von Glucose durch die Milchdrüse

Frühlaktation:

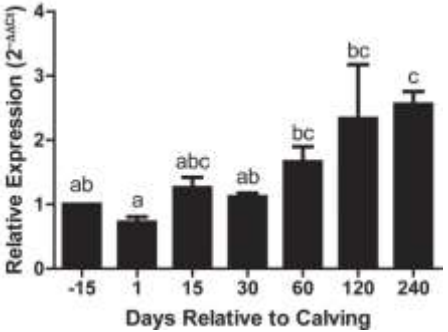
- Gerichteter Nährstoffffluss zur laktierenden Milchdrüse durch niedriges Insulin
- nur möglich durch Insulin-unabhängige Aufnahme: GLUT1



GLUT1
Insulin unabhängig

Spätere Laktation:

- GLUT4 Expression in der Milchdrüse nimmt zu, während GLUT1 abnimmt.
- Glucose-Aufnahme wird zunehmend abhängig von Insulin (Homöostase).



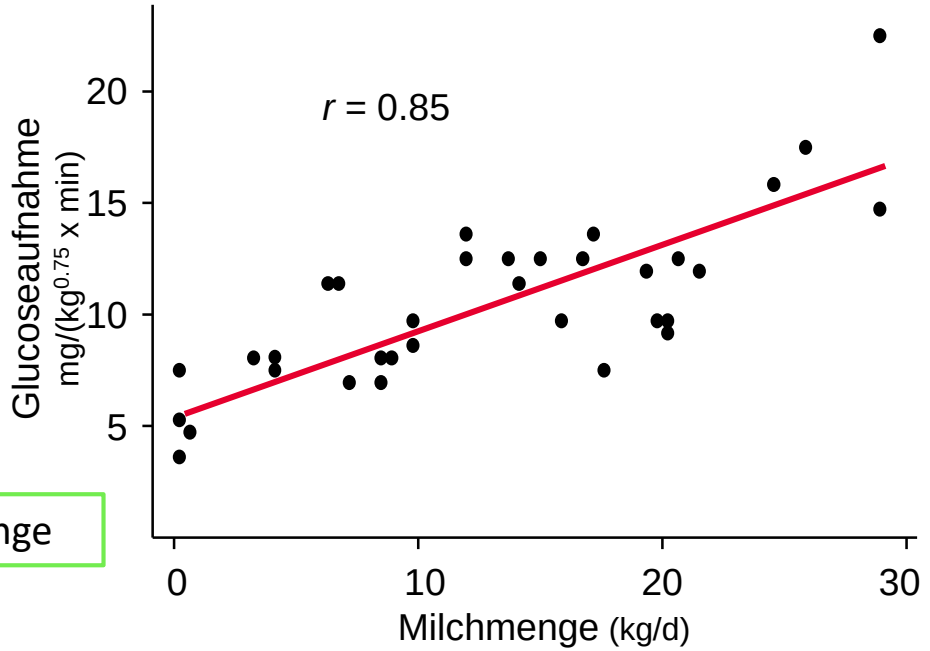
GLUT4
Insulin abhängig

Mattmiller et al. (2011): J. Dairy Sci. 94, 2912-2922

Verfügbare Glucose bestimmt die Milchmenge

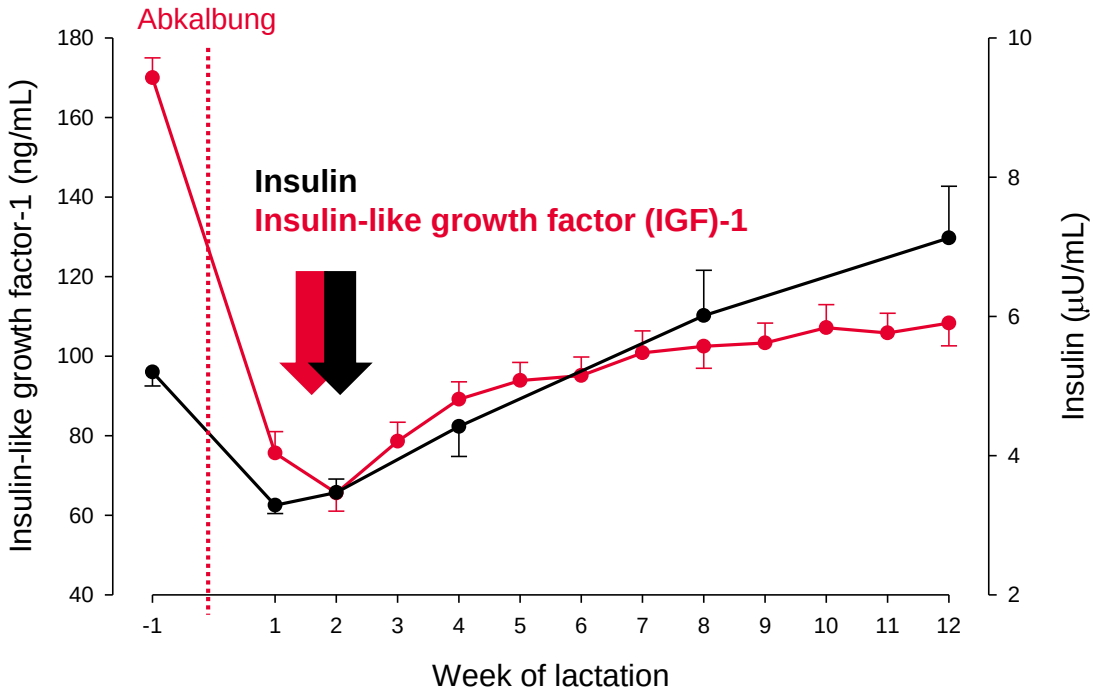
Lactosesynthese und Milchmenge zeigen eine lineare bzw. positive Korrelation mit der Glucoseaufnahme in die Milchdrüse

(z.B. Nielsen and Jakobsen, 1993; Hurtaud et al., 2000; Kim et al., 2001; Nielsen et al., 2001; Cant et al., 2002; Huhtanen et al., 2002)



Glucose → Lactose → Osmose (H_2O) → Milchmenge

Charakteristische endokrine Anpassungen in der Frühlaktation



Niedriges Insulin:

- Keine Einlagerung von Nährstoffen
- Ungehemmte Lipolyse

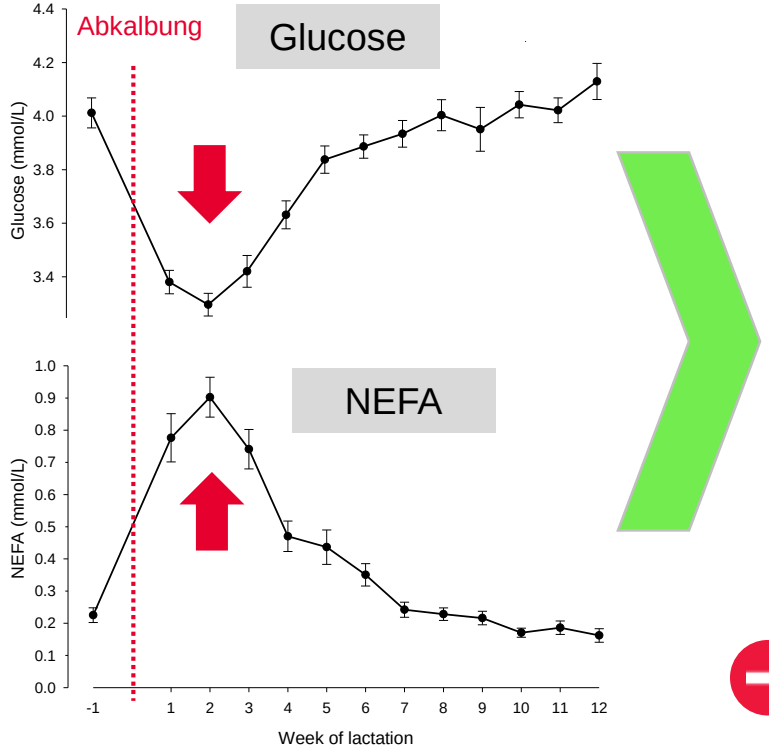
Niedriges IGF-1:

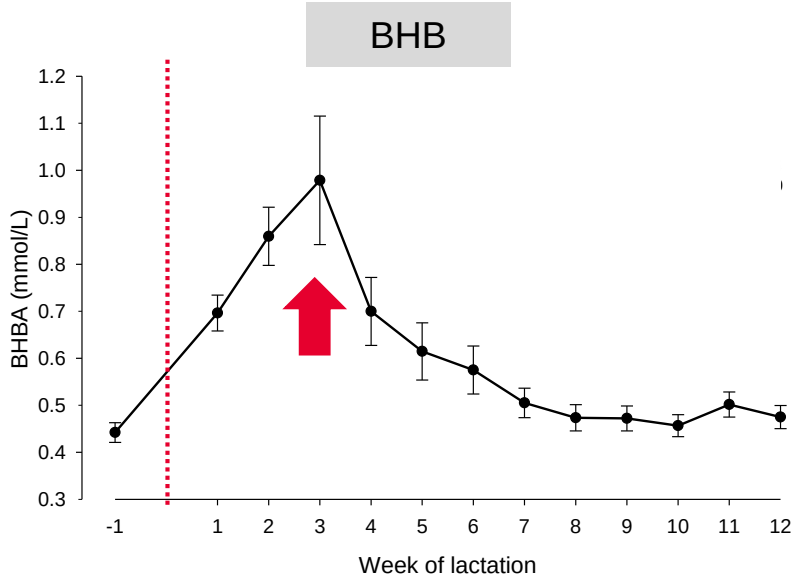
- Kein negatives Feedback für GH
- hohes GH → Lipolyse

Katabole Stoffwechsellage
(Exzessive) Lipolyse

Gross et al. (2011): J. Dairy Sci. 94, 3484-3494

Charakteristische metabolische Anpassungen in der Frühlaktation

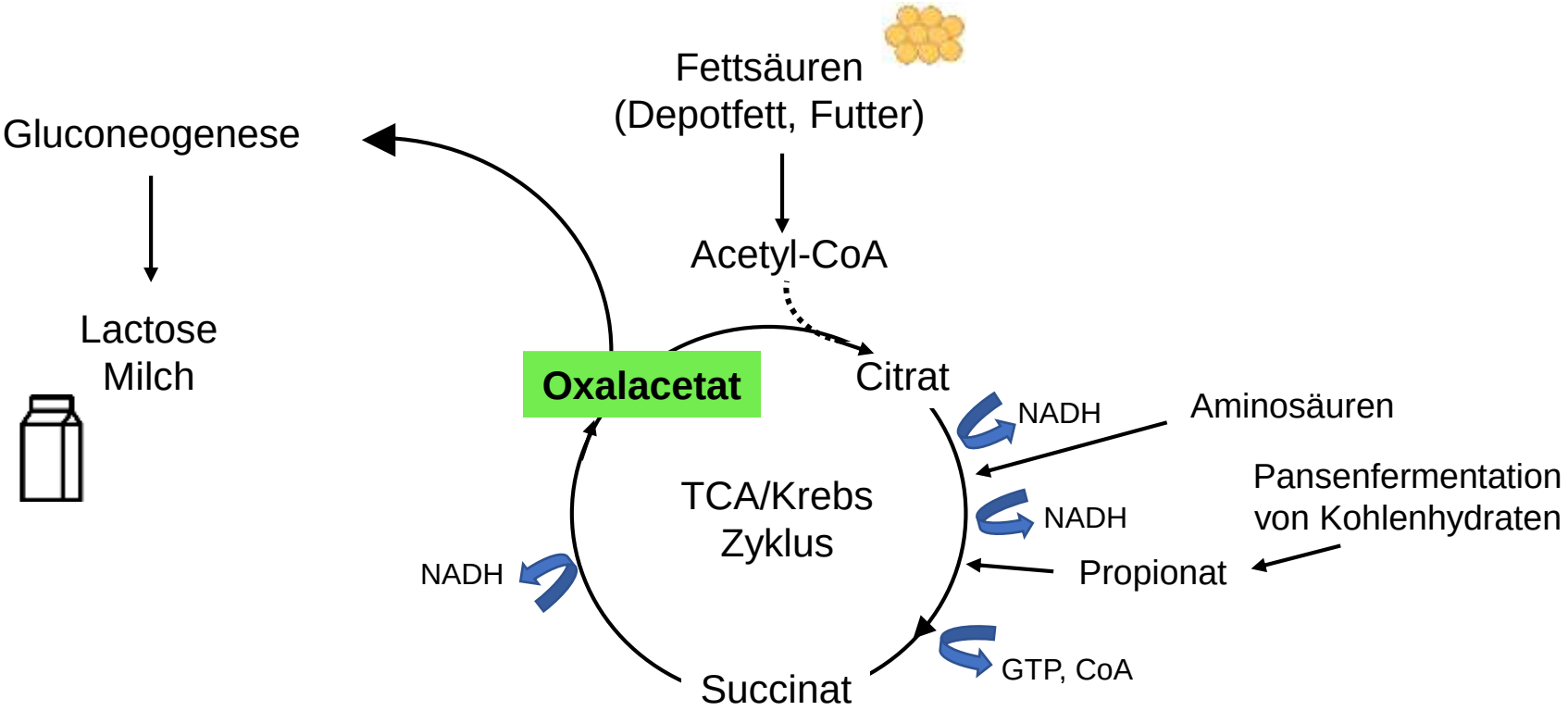




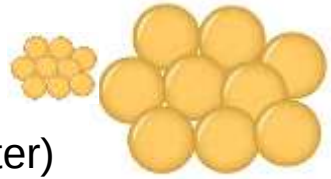
Marker für metabolischen Stress

Bruckmaier & Gross (2017): Anim. Prod. Sci. 57, 1471-1481

Klassisches Modell der Ketogenese



Klassisches Modell der Ketogenese



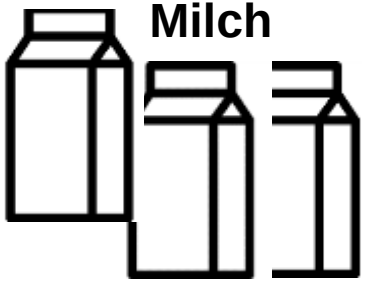
Fettsäuren
(Depotfett, Futter)

Gluconeogenese

Acetyl-CoA

Ketonkörper
(Acetacetat, BHB, Azeton)

Lactose
Milch



Oxalacetat

Citrat

NADH

Aminosäuren

Pansenfermentation
von Kohlenhydraten

NADH

TCA/Krebs
Zyklus

Propionat

NADH

GTP, CoA

Succinat

(Subklinische) Ketose: BHB > 1–1.5 mM

Symptome:

- Verminderte Futteraufnahme
- Reduzierte Glucosekonzentration
- Negative Auswirkungen auf das Immunsystem

Begrenzte Nährstoffversorgung über Ration und Glucose

Ziel:

- Priorisierte Nutzung von BHB im Stoffwechsel?
- Einsparung von Oxaloacetat?

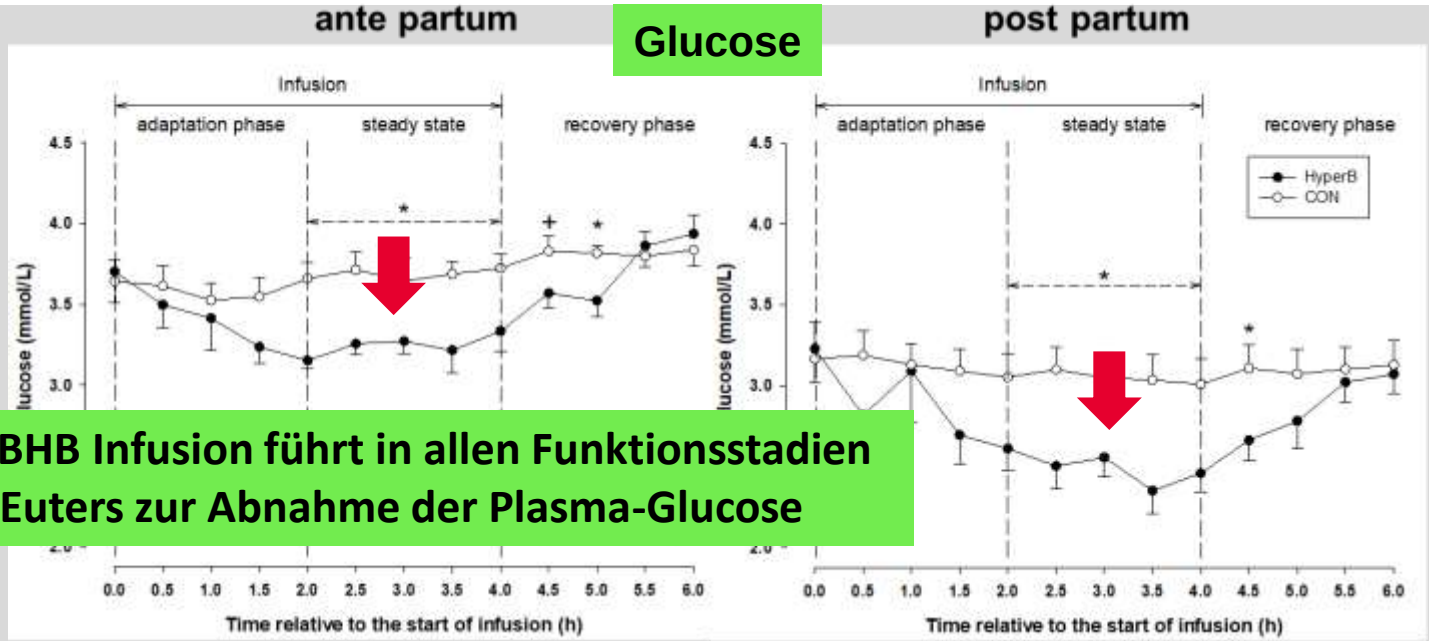
Spezifische Situation bei Milchkühen:

- Nicht nur Energiebedarf, sondern insbesondere hoher spezifischer Glucosebedarf für die Lactose-Synthese.
- Fast vollständiger Glucose-Abbau aus der Nahrung im Pansen, und keine Bildung von Glucose aus Rohfaser.

→ Glucose hauptsächlich aus Neubildung in der Leber (Gluconeogenese)

Experiment: Infusion von BHB

bei Transitkühen vor und nach der Abkalbung



Die BHB Infusion führt in allen Funktionsstadien des Euters zur Abnahme der Plasma-Glucose

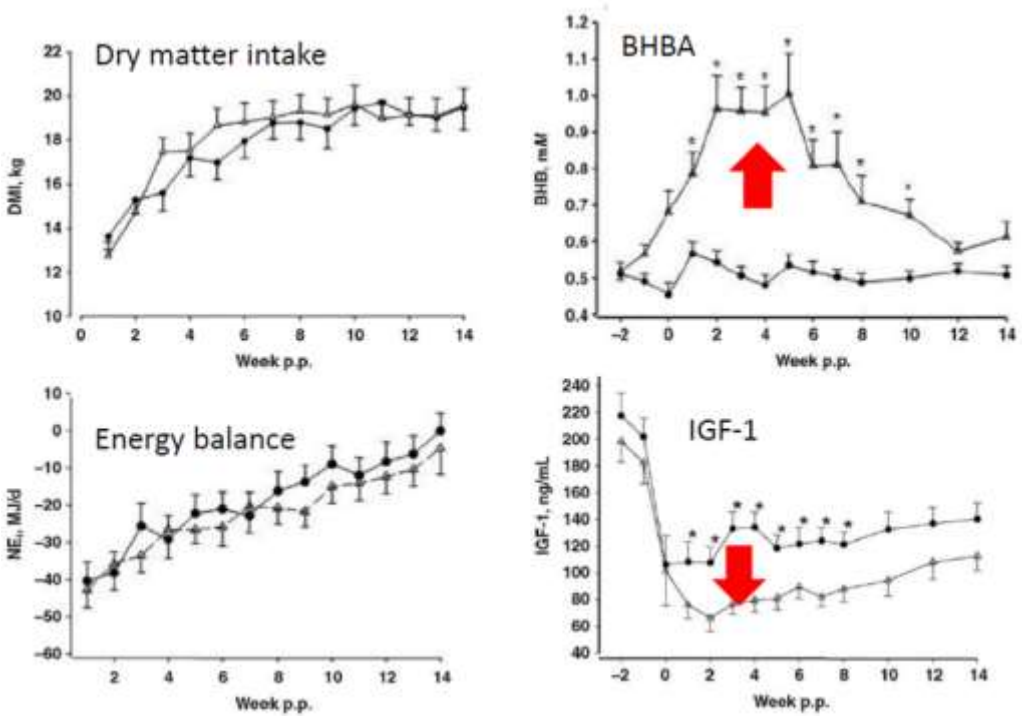
Zarrin et al. (2017): J. Dairy Sci. 100, 2323-2333

Aber: Variation bei Anpassungsreaktionen!

- Versuch mit 45 Kühen im gleichen Betrieb
- wöchentliche Blutproben
- Eingeteilt nach BHB (> 1 mM mindestens einmal)

- Mechanismen weitgehend unbekannt.

- IGF-1 ist ein guter Indikator für den Erfolg der metabolischen Anpassung.

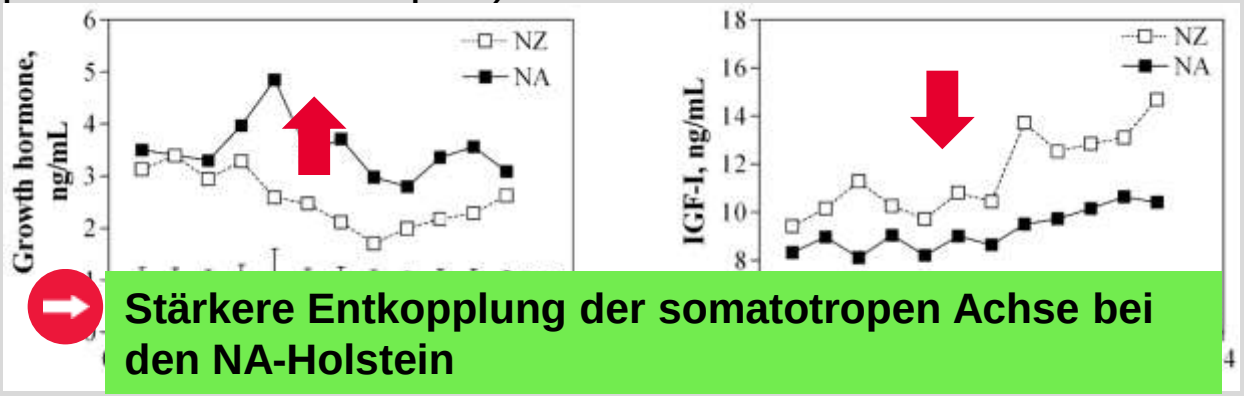


Kessel et al. (2008): J. Anim. Sci. 86, 2903-2912

Endokrine und metabolische Anpassung an die Laktation (verschiedene Zuchtlinien)

- Hohe BHB-Konzentration bedeutet eingeschränkte Anpassungsfähigkeit.
- Grosse individuelle Unterschiede der Anpassungsfähigkeit des intermediären Stoffwechsels (Entkopplung der somatotropen Achse unter dem Einfluss von (niedrigem) Insulin (hepatischer GH-Rezeptor).
- Einfluss der Genetik?

  Butler et al., J. Endocrinol. 2003
  Chagas et al., J. Dairy Sci. 2009
  Lucy et al., J. Dairy Sci. 2009
  Grala et al., J. Dairy Sci. 2011
  Ha et al., PlosOne 2015
  Gross & Bruckmaier, J. Dairy Sci. 2019



Grala et al. (2011): J. Dairy Sci. 94, 303-315

Analyse Gen-basierter Stoffwechselwege

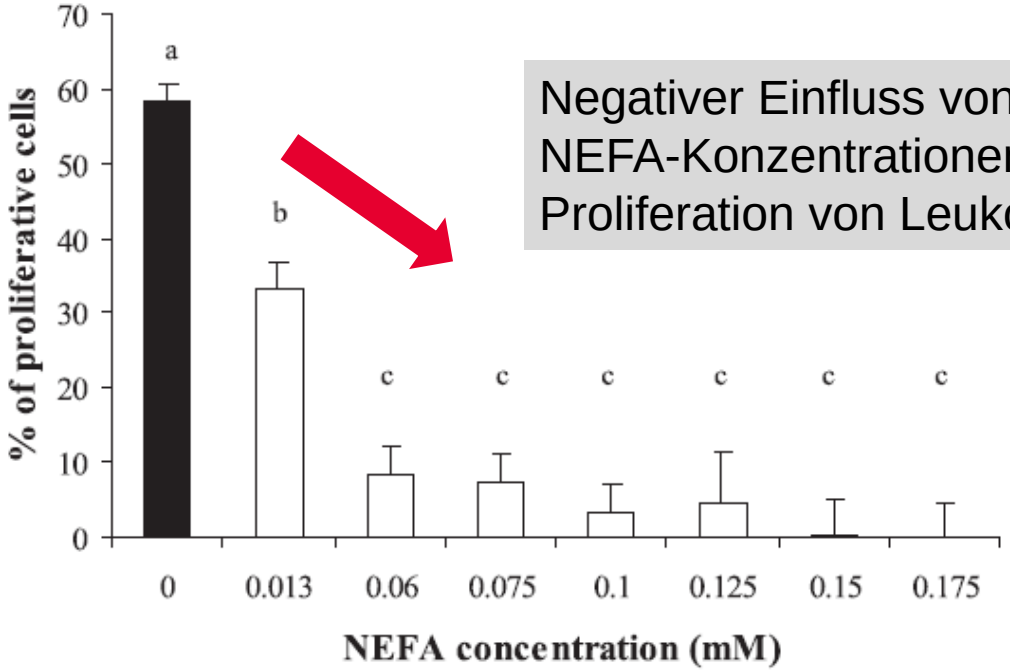
mit Einfluss auf NEFA, BHB und Glucose

Phenotype	Time	Pathways
NEFA	T2	Histidine metabolism
		Sulfur metabolism
	T2/T1	Glycerolipid metabolism
		Glycerophospholipid metabolism
		Taurine and hypotaurine metabolism
BHBA	T2	Retinol metabolism
		Tyrosine metabolism
		Inositol phosphate metabolism
		Steroid hormone biosynthesis
	T2/T1	Synthesis and degradation of ketone bodies
		Tryptophan metabolism
		Inositol phosphate metabolism
glucose	T2	Steroid biosynthesis
		Other glycan degradation
		Fatty acid elongation
		Ether lipid metabolism
	T2/T1	Ether lipid metabolism
		Starch and sucrose metabolism
		Steroid hormone biosynthesis
		Glycerophospholipid metabolism

- Genotypisierung (777k) von 282 Milchkühen
- 3 Rassen (Holstein, Brown Swiss und Swiss Fleckvieh)
- Messung von Stoffwechselparametern und deren Veränderungen während der Transitphase
- Polymorphismen von verschiedenen Stoffwechselwegen beeinflussen einen oder mehr der 3 Schlüsselmetaboliten.

Ha et al. (2015): PLoS ONE 10(3): e0122325.

Stoffwechselstatus und Immunsystem



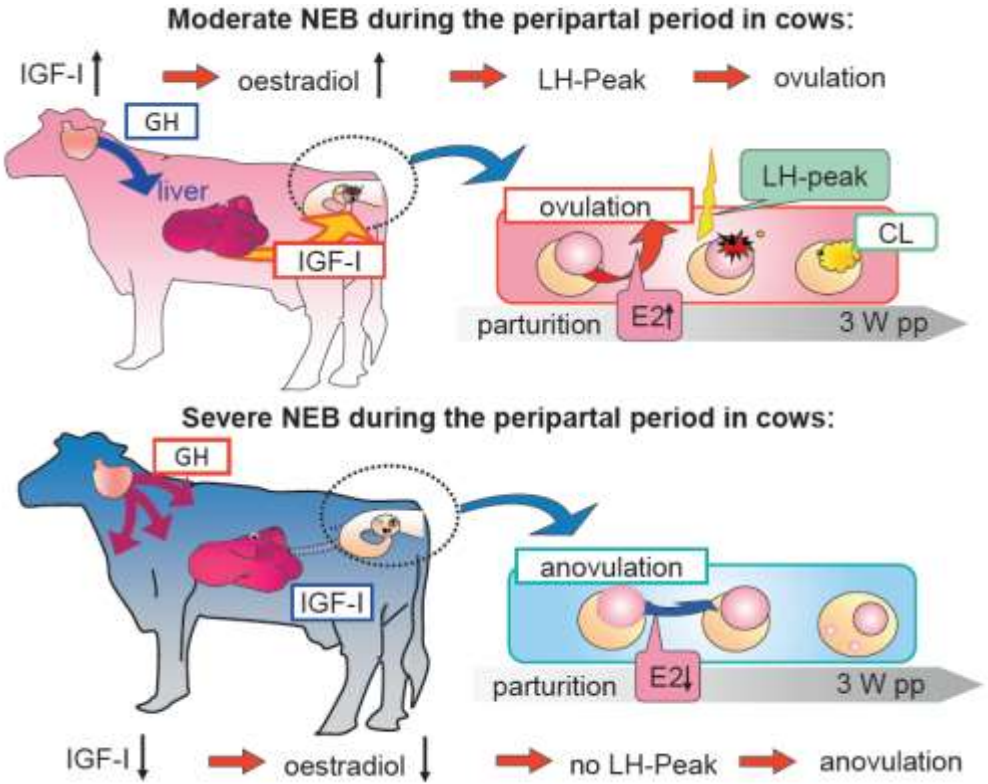
Negativer Einfluss von erhöhten NEFA-Konzentrationen auf die Proliferation von Leukozyten.

Lacasse et al. (2018): Res. Vet. Sci. 116, 40-46

Reproduktion/Fruchtbarkeit

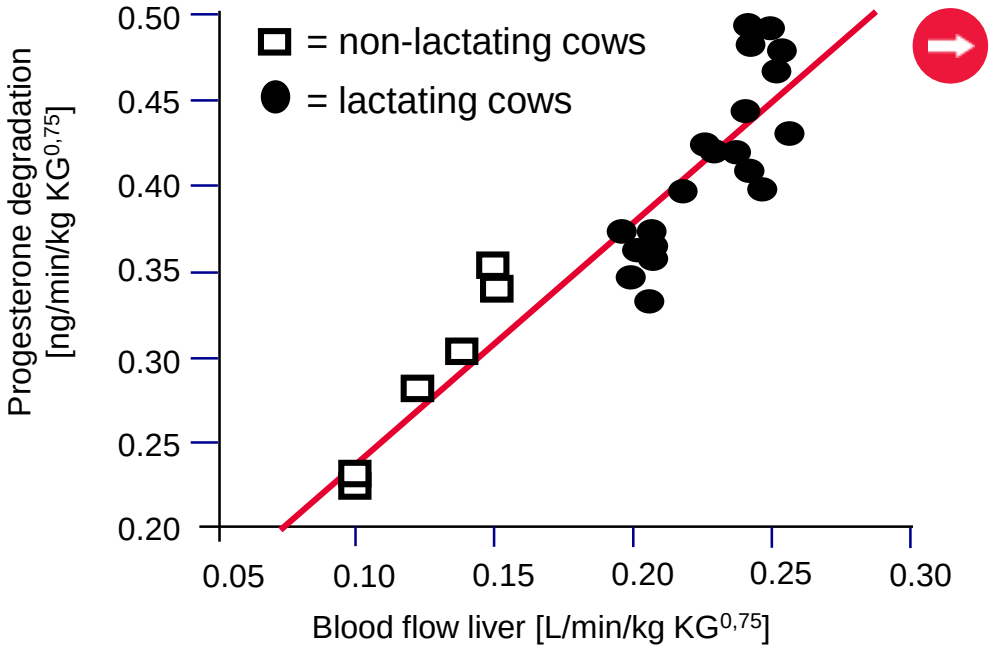
Einfluss Stoffwechselstatus

IGF-1, Östrogen und Reproduktion



Mod. from Kawashima et al. (2012): J. Reprod. Dev. 58, 10-16

Versuch: Leberdurchblutung und Abbau von exogenem Progesteron



Aktiver Stoffwechsel
- starke Leberdurchblutung
- starker Abbau von Progesteron
- Niedrige Progesteron-Konzentration

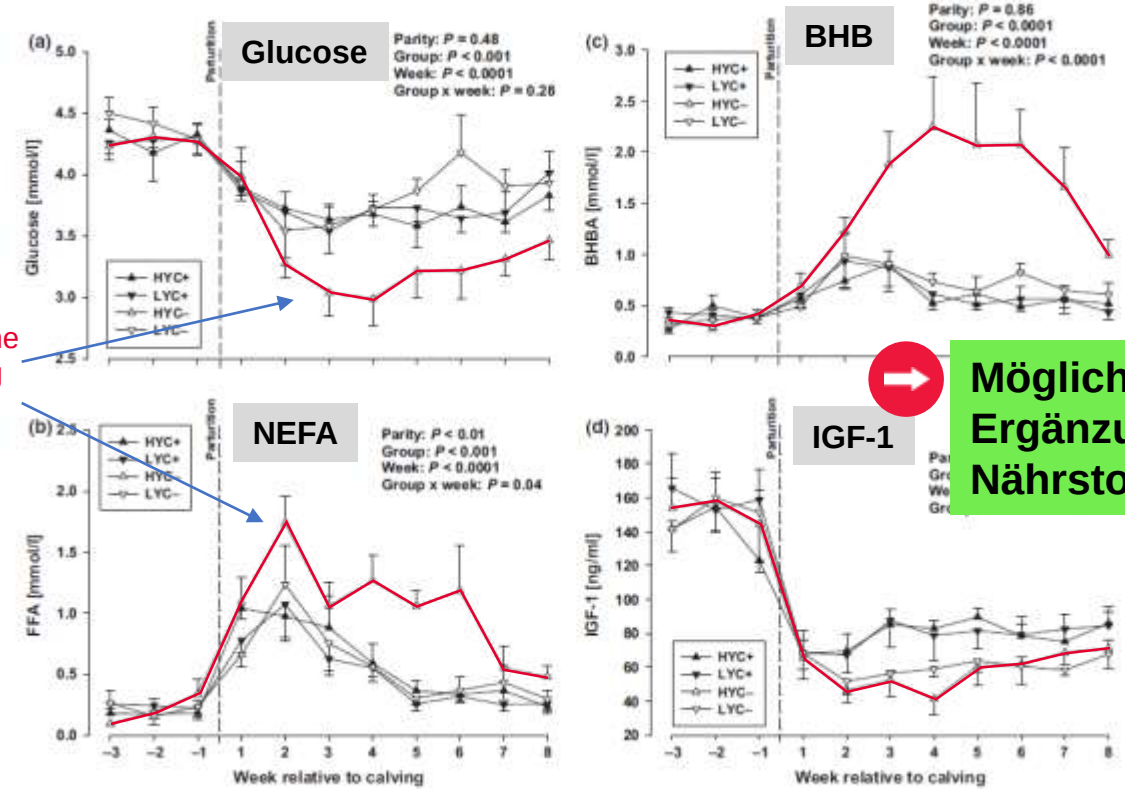
Erhöhtes Risiko für
- kurze Brunst, fehlende Symptome
- niedrige Konzeptionsrate
- Embryonaltod

Sangsritavong et al. (2002): J. Dairy Sci. 85, 2831-2842

Josef Degenhart
Schwaighausen

Back to nature: Weidefütterung

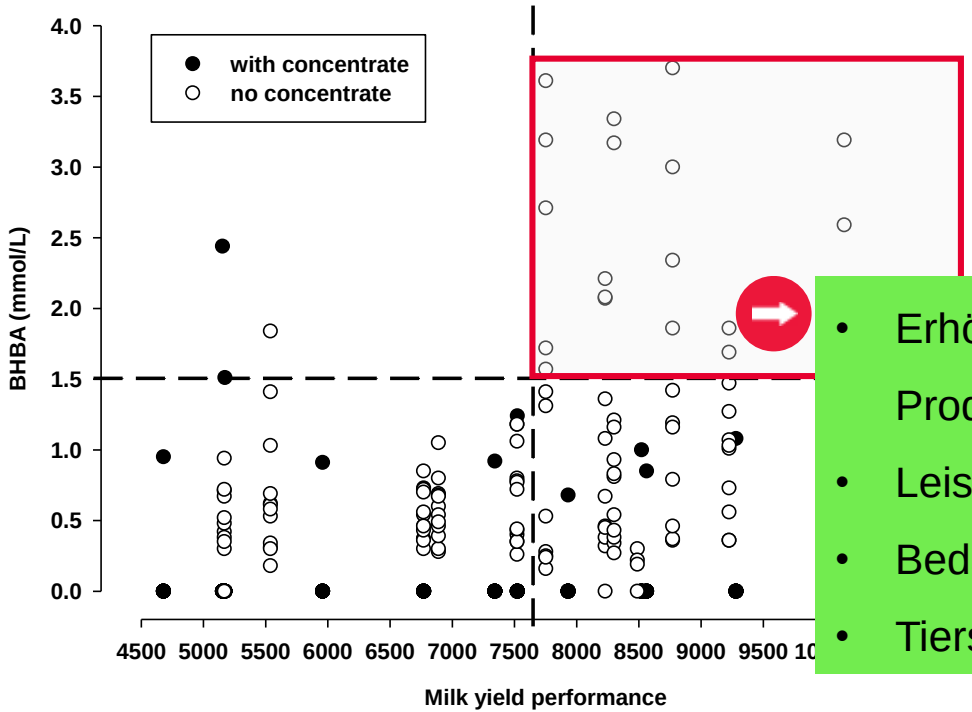
Hochleistende Milchkühe bei reiner Grasfütterung ohne zusätzliches Kraftfutter



Möglichst optimale Ergänzung mit Nährstoffen!

Zbinden et al. (2017): J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 101, 767-778

Back to nature: Weidefütterung



- Erhöhtes Risiko für Produktionserkrankungen!
- Leistungsgrenze bei Grasfütterung?
- Bedarfsgerechte Fütterung?
- Tierschutz?

Zbinden et al. (2017): J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 101, 767-778

Zusammenfassung: Physiologische Grenzen (1)

- Genetisch bedingte Stoffwechselpriorität der Milchdrüse ist Grundlage für hohe Milchleistungen
- Risiko für unzureichende Stoffwechselanpassung und Produktionserkrankungen
- Individuelle Unterschiede bei der Stoffwechselanpassung eröffnen Möglichkeiten zur Zucht auf stoffwechselstabilere Kühe

Zusammenfassung: Physiologische Grenzen (2)

- Negative Nährstoff- und Energiebilanz beeiträchtigen das Immunsystem → Erhöhtes Risiko für Infektionserkrankungen
- Niedrige Glucose- und erhöhte Konzentrationen an freien Fettsäuren und Ketonkörpern können das Immunsystem beeinträchtigen
- Enge Beziehung zwischen Fruchtbarkeit und Stoffwechsellage

UNIVERSITÄT BERN

Programm & Anmeldung unter https://bolfa-icfae.unibe.ch

UNIVERSITÄT
BERN

Vielen Dank für Eure Aufmerksamkeit!