

**LfL-Jahrestagung**  
**29. Allgäuer Grünlandtag**

# **Ursache und Dynamik von Harnflecken auf der Weide – Ergebnisse vom Spitalhof**

Dr. Michael Diepolder \*, Sven Raschbacher \*  
& Dr. Ludwig Nätscher\*\*

\* Institut für Ökologischen Landbau,  
Bodenkultur und Ressourcenschutz;

\*\* TUM-Weihenstephan

# Gliederung

---

- **Einleitung**
  - Nährstoffausscheidung Kuh
  - Phänomen Harnflecken
  - Wege des Harnstoffabbaus im Boden
  
- **Material und Methoden**
  - Standort, Versuchsaufbau, -durchführung, Bonituren
  - Bodenchemische Analysen, Einstufung Salzgehalt in Böden
  
- **Ergebnisse**
  - Dynamik Harnschäden und Ausmaß
  - Ergebnisse der bodenchemischen Analysen
  
- **Fazit**

# Nährstoffausscheidung Kuh

- 40-55 kg Exkrememente pro Tag
- 40% in Form von Harn (Urin);
- Ø 10 (8-12) Harnstellen pro Kuh und Tag
- Kalium (K) und Stickstoff (N) als düngungsrelevante Nährstoffe
- N zu 60-90% als Harnstoff
- Starke Nährstoffanreicherungen bei Urinstellen
- Teilweise erhebliche N-Verluste als Nitrat (Auswaschung ↓) und Ammoniak (Ausgasung ↑)

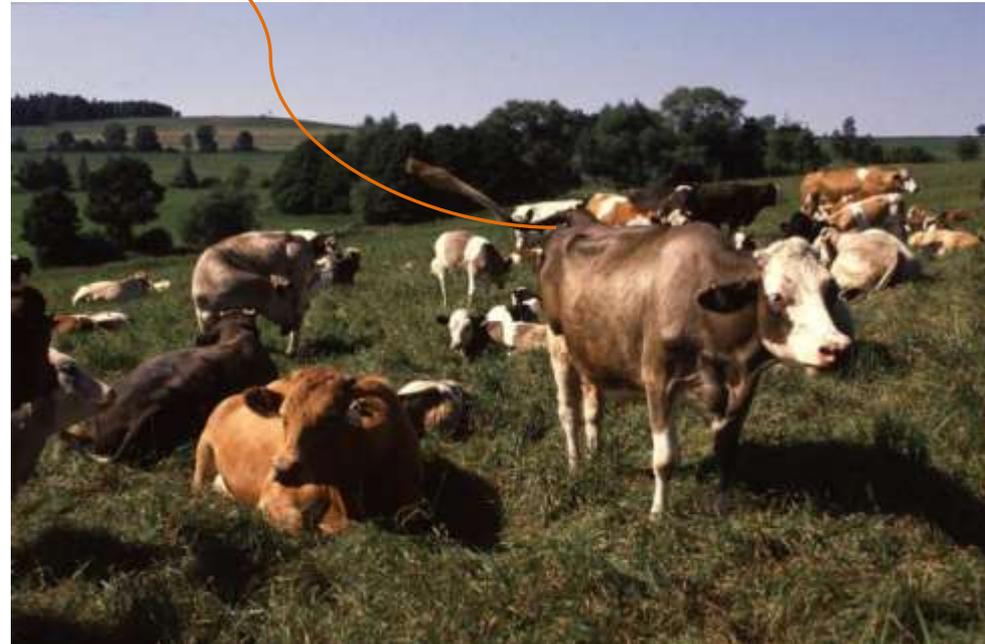


Foto: Rieder/LBP

# (Manchmal) Sichtbare Harnflecken



- Hellgelbe bis völlig „verätzte“ Stellen auf Weiden, Fehlstellen häufig von grünem Rand (Nährstoffe!) umgeben
- Unangenehm riechende Wurzelschäden an flach wurzelnden Gräsern u. Klee
- Tiefwurzler können überleben



# Sichtbare Harnflecken – Mögliche Ursachen?

- [Direkte Blattschäden durch Verätzung?]
- **Indirekte Salzschäden am Wurzelsystem?**
- Theoretisch auch denkbar: Kurzfristige **Säureschäden** des Bodens im Zusammenhang mit Prozessen des Harnstoff- bzw. Ammoniumabbaus im Boden zu Nitrat unter Freisetzung von  $H^+$ -Ionen -> Hilft **Kalken**?



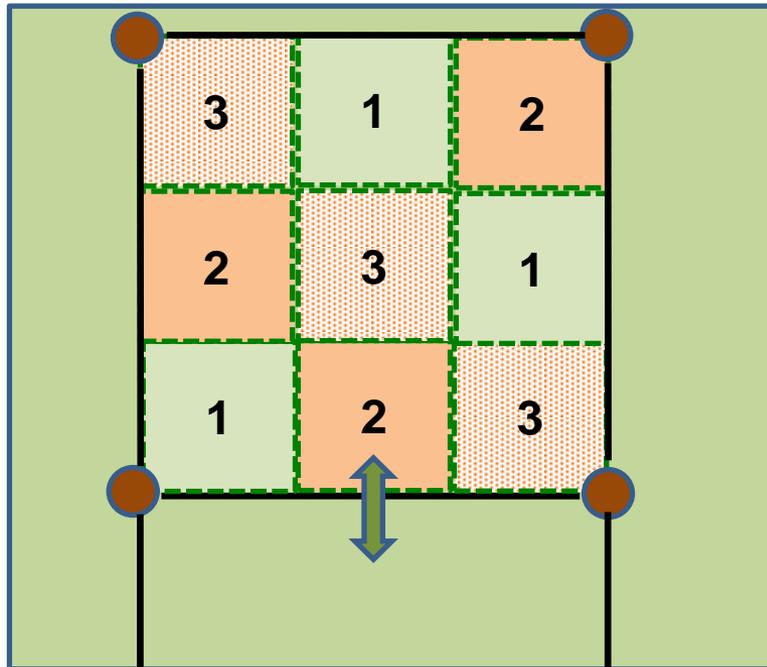
# Wege des Harnstoffabbaus im Boden \*

Gleichung	Anmerkung
I: $(\text{NH}_2)_2\text{CO} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ <b><u>Harnstoff</u></b>	Sehr schnelle <b>Harnstoffhydrolyse</b> mit Boden-Enzym Urease zu Ammoniumcarbonat
II: $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{HCO}_3^- + \text{OH}^-$ <span style="border: 1px solid blue; padding: 2px;">basisch</span>	Starker pH-Anstieg in 0-1,5 cm Tiefe innerhalb eines Tages nah an der Hydrolyse-Stelle
$\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \leftrightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$ <b>Ammonium</b> <b>Ammoniak</b>	Gleichgewicht zwischen Ammonium-Ion und Ammoniak (Gas); Mehr Ammoniak bei hohem Boden-pH, hohen Temperaturen und hoher Evapotranspiration, u.a. durch Zerfall von Ammoniumcarbonat Rund 15-25 % (bis über 40 %) des Stickstoffs können als Ammoniak verloren gehen.
$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$	
$2 \text{NH}_4^+ + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{NO}_2^- + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{H}^+$ $2 \text{NO}_2^- + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{NO}_3^-$ ----- $2 \text{NH}_4^+ + 4 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{NO}_3^- + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{H}^+$ <b>Ammonium</b> <b><u>Nitrat</u></b>	<b>Nitrifikation:</b> Ammonium wird durch Bakterienstämme ( <i>Nitrosomonas</i> u.a.) zuerst zu Nitrit und dann in einem weiteren Schritt (durch <i>Nitrobacter</i> ) weiter zu Nitrat zu oxidiert. Dieser Prozess trägt zur allmählichen Versauerung insb. von schwach gepufferten von Böden bei, da bei der Oxidation von Ammonium zu Nitrit pro Mol Ammonium 2 Mol $\text{H}^+$ -Ionen entstehen.

\* [zusammengefasst nach AMBERGER, 1994, LÜTKE-ENTRUP UND OEHMICHEN, 2000, HAYNES UND WILLIAMS, 1993]

# Material und Methoden - 1

- Standort **Spitalhof Kempten**;  
hofnahe, stark weidelgrasbetonte Weide auf würmeiszeitl. Jungmoräne; IS/sL;  
Bodenuntersuchung (0-10 cm): pH<sub>CaCl2</sub> 5,5-5,6; P<sub>CAL</sub> in „C“; K<sub>CAL</sub> in „E“
- **Versuchsaufbau**: Lateinisches Quadrat, 3 Varianten, 3 Blöcke; 9 Parzellen  
von je 200 m<sup>2</sup> bilden eingezäunte Weidefläche mit 4 Hauptpfosten an den Ecken  
und 2 Innenpfosten an den Seiten, zwischen denen zur Parzellenidentifikation  
(Kalkung, Zählungen, Bodenproben) Schnüre gespannt werden können.



**Variante 1: Ohne Kalkung** (Kontrolle)

**Variante 2: 1,5 t/ha gekörnter Branntkalk**  
(1,35 t CaO/ha \*); Frühjahr 2011

**Variante 3: 3,0 t/ha kohlen-saurer Kalk**  
(1,6 t CaO/ha \*); Frühjahr 2011

\* Kalkmenge entsprach mehr als das Doppelte  
der offiziellen Kalkempfehlung für Bodenart

# Material und Methoden - 2

**Versuchsdurchführung** : Frühjahr 2011 bis Herbst 2014

- **Vollweide** in Form einer **Kurzrasenweide** mit 2 Kühen (Trockensteher); Steuerung der optimalen Grasnarbenhöhe (5-7-cm) bei Futterknappheit durch Erweiterung der Weidefläche auf angrenzende Koppel
- Nach Viehabtrieb im Oktober 25 m<sup>3</sup>/ha Gülle (5% TS), zusätzlich 1x pro Jahr 30-40 kg N/ha als KAS

## Untersuchungen

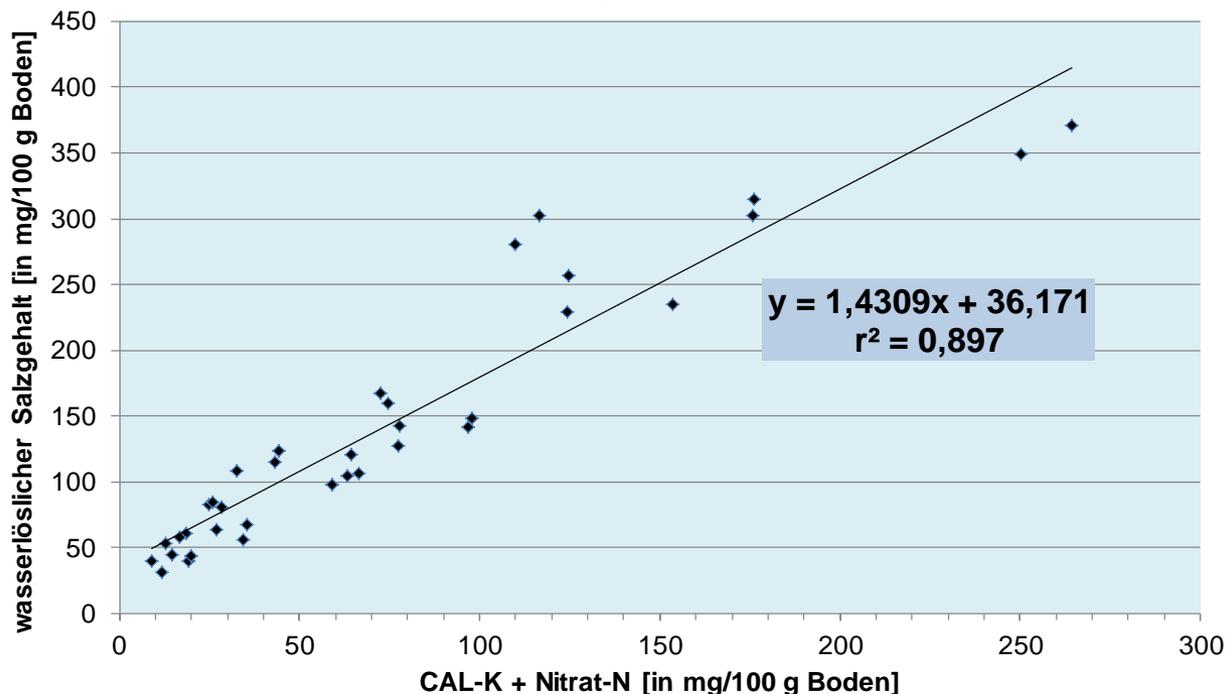
- **38 Bonitur-Termine** zur Feststellung sichtbarer Harnflecken
- Ende August 2011 (viele Harnschäden!) wurde pro Parzelle 1 Harnfleck beprobt. Im Kernbereich und ca. 10 cm außerhalb der Vergilbung in der grünen Grasnarbe. Je 10 Einstiche mit N<sub>min</sub>-Bohrer in 0-5 und 5-10 cm Tiefe. 36 Einzelproben eingefroren und im Herbst aufbereitet/analysiert.
- Analysen: **pH<sub>CaCl2</sub>-Wert**, **P<sub>2</sub>O<sub>5</sub><sub>CAL</sub>-**, **K<sub>2</sub>O<sub>CAL</sub>-Gehalt**, Nitrat<sub>CaCl2</sub>-Gehalt; **Salzgehalt** im Wasserextrakt (10:1) über elektr. Leitfähigkeit



# Salzgehalt im Boden – Zusammenhänge und Einstufung

Der mittels elektrischer Leitfähigkeit im Wasserextrakt (10:1) nach VDLUFA (1991) bestimmte Salzgehalt ist ein **Summenparameter**, welcher alle wasserlöslichen Stoffe erfasst, die als **Kationen und Anionen** vorliegen.

Beziehung zwischen dem Gehalt an CAL-K plus Nitrat-N und dem wasserlöslichen Salzgehalt (0-10 cm Tiefe; n = 36)



**> 200 mg/100 g Boden:  
=> Pflanzenschäden**

**75-200 mg/100 g Boden:  
„Sehr hoch“**

**30-70 mg/100 g Boden:  
„normal“**

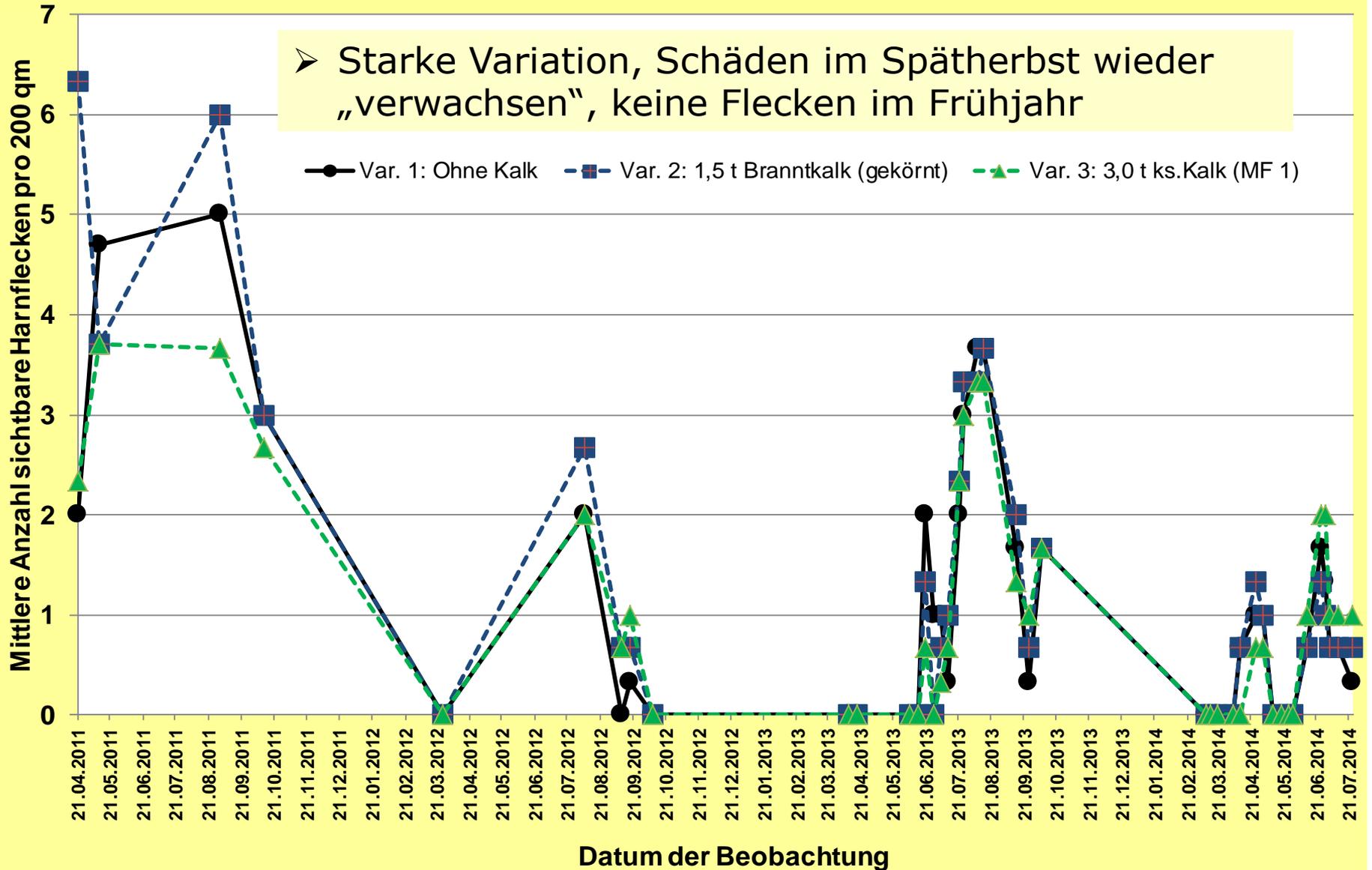
Quelle: Proben vom Spitalhof/August 2011

# Dynamik der (sichtbaren) Harnschäden

von April 2011 bis Juli 2014

➤ Starke Variation, Schäden im Spätherbst wieder „verwachsen“, keine Flecken im Frühjahr

● Var. 1: Ohne Kalk    ■ Var. 2: 1,5 t Branntkalk (gekörnt)    ▲ Var. 3: 3,0 t ks.Kalk (MF 1)



# „Harnschäden-Statistik“ des Versuchs (2011-2014)

	Anzahl	Relativ
Insgesamt durchgeführte Bonituren	38	100 %
<b>Ohne</b> Feststellung sichtbarer Harnflecken	<b>11</b>	<b>29 %</b>
<b>Mit</b> Feststellung sichtbarer Harnflecken	<b>27</b>	<b>71 %</b>
- Ø 0,1-2 Schadstellen pro Parzelle (Versuchsmittel)	18	47 %
- Ø 2,1-4 Schadstellen pro Parzelle (Versuchsmittel)	8	21 %
- Ø > 4 Schadstellen pro Parzelle (Versuchsmittel)	1	3 %

- Durchschnittlich 1,23 Harnflecken pro Parzelle (Mittel aus allen 38 Bonituren und 9 Versuchsparzellen); dies entspricht rund 60 Schadstellen pro Hektar
- Max. Ertragseinbuße (geschätzt) rund 1-2 Promille

Var. 1	Var. 2	Var. 3
Ø Flecken/Parzelle		
1,7 a	1,9 a	1,6 a

**Bei Harnschäden: Keine signifikanten Unterschiede zwischen der Kontrollvariante (1) und den beiden gekalkten Varianten (2,3)!**

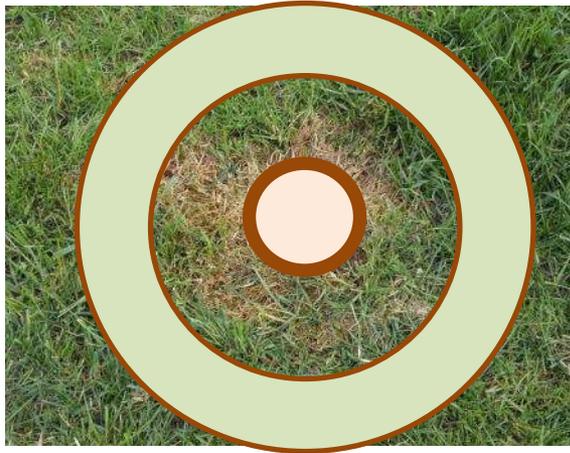
# ***Harnstelle bedeutet nicht gleich Harnfleck (Harnschaden) !***

---

- Pro Harnvorgang gelangen an Stickstoff bzw. Kalium rund das 1,7- bzw. 2,3-fache der jährlichen (!) Nährstoffabfuhr auf die Fläche.
- Es führt aber bei Weitem nicht jede Urinstelle zu einem Schaden an der Grasnarbe! Im Versuch kam es (überschlägig berechnet bei nur rund 0,5 Prozent der Urinstellen zu einem sichtbaren Harnfleck.
- Erklärung für Auftreten von Harnschäden (nach div. Autoren): Gefahr „versengter“ Stellen auf der Weide steigt mit zunehmender Harnstoff- bzw. Ionenkonzentration des Urins.
- Diese kann stark in einem weiten Bereich schwanken (Art, Individuum, Wasseraufnahme, Tageszeit, zwischen Tagen).
- Kritische Salzkonzentrationen im Boden durch Kombination mehrerer Faktoren (Harnmenge, Ionenstärke, Evapotranspiration, .....]

# Ergebnisse bodenchemischer Analysen an Harnstellen -1

(Probenahme 31.08.2011; Versuchsmittel aus 3 Varianten, 3 Whg.)



Im Schadbereich der Harnflecken höhere K-, NO<sub>3</sub>- und insg. höhere **Salzkonzentrationen** als im grünen Außenbereich.

Dies vor allem in der obersten Schicht.

Keine lokale Bodenversauerung

	0-5 cm Tiefe	
	Innen	Außen
pH-Wert <sub>CaCl2</sub>	6,1 a	5,8 b
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <sub>CAL</sub> (mg/100 g Boden)	16 a	17 a
K <sub>2</sub> O <sub>CAL</sub> (mg/100 g Boden)	172 a	69 b
NO <sub>3</sub> -N <sub>CaCl2</sub> (mg/100 g Boden)	22 a	12 b
<b>Salzgehalt</b> <sub>wasserl.</sub> (mg/100 g Boden)	<b>279 a</b>	<b>141 b</b>

5-10 cm Tiefe		
pH-Wert <sub>CaCl2</sub>	5,3 a	5,3 a
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <sub>CAL</sub> (mg/100 g Boden)	5 a	5 a
K <sub>2</sub> O <sub>CAL</sub> (mg/100 g Boden)	41 a	19 b
NO <sub>3</sub> -N <sub>CaCl2</sub> (mg/100 g Boden)	8 a	4 b
<b>Salzgehalt</b> <sub>wasserl.</sub> (mg/100 g Boden)	<b>95 a</b>	<b>54 b</b>

# Ergebnisse bodenchemischer Analysen an Harnstellen - 2

(Probenahme 31.08.2011; Mittel aus innen/außen und 3 Whg.)

0-5 cm Tiefe	Variante 1: Kontrolle	Variante 2: 1,5 t/ha CaO	Variante 3: 3,0 t/ha CaCO <sub>3</sub>
pH-Wert <sub>CaCl2</sub>	5,7 b	6,0 ab	6,3 a
K <sub>2</sub> O <sub>CAL</sub> (mg/100 g Boden)	93 b	159 a	109 b
<b>Salzgehalt</b> <sub>wasserl.</sub> (mg/100 g Boden)	<b>160 b</b>	<b>234 a</b>	<b>234 a</b>
5-10 cm Tiefe			
pH-Wert <sub>CaCl2</sub>	5,3 a	5,5 a	5,2 a
K <sub>2</sub> O <sub>CAL</sub> (mg/100 g Boden)	25 b	46 a	19 b
<b>Salzgehalt</b> <sub>wasserl.</sub> (mg/100 g Boden)	59 b	94 a	70 b

# Fazit

---

- Harnflecken sind Stellen mit hohen N- und vor allem K-Anreicherungen
- Auch bei Grünlandstandorten mit günstigen Niederschlags- und Temperaturverhältnissen können Harnflecken auftreten, dabei ist eine ausgeprägte Dynamik feststellbar.
- Sehr hohe lokale Salzkonzentrationen im Oberboden waren die Ursache von Harnschäden auf der Weide am Spitalhof.
- Gemessen an der Gesamtzahl von potentiellen Urinstellen war im Versuch das Auftreten von Harnschäden bzw. und der kurzfristig geschädigte Anteil an der Weidefläche sehr gering.
- Die untersuchten Maßnahmen (einmalige Kalkung als kohlenaurer Kalk bzw. als Branntkalk weit über Höhe der Erhaltungskalkung) bewirkten keine Reduzierung bzw. Verhinderung von Harnschäden.
- Im Versuch konnten ferner zwischen den Varianten keine Unterschiede der (hochwertigen) Pflanzenbestände der Parzellen festgestellt werden.

Dank an die Mitarbeiter des LVFZ Spitalhof für die Versuchsbetreuung  
sowie an Siegfried Steinberger (LfL/ITE) für die Anregung zum Versuch

**Danke für Ihre Aufmerksamkeit!**

[www.lfl.bayern.de/iab/gruenland/](http://www.lfl.bayern.de/iab/gruenland/)

# Ergebnisse bodenchemischer Analysen an Harnstellen - 2

(Probenahme 31.08.2011; Mittel aus 3 Whg.)

0-5 cm Tiefe	Variante 1: Kontrolle		Variante 2: 1,5 t/ha CaO		Variante 3: 3,0 t/ha CaCO <sub>3</sub>	
	Innen	Außen	Innen	Außen	Innen	Außen
pH-Wert <sub>CaCl2</sub>	5,90	5,50	6,17	5,80	6,67	6,17
K <sub>2</sub> O <sub>CAL</sub> (mg/100 g Boden)	132	54	240	78	143	74
<b>Salzgehalt</b> <sub>wasserl.</sub> (mg/100 g Boden)	<b>213</b>	<b>108</b>	<b>345</b>	<b>123</b>	<b>278</b>	<b>191</b>
5-10 cm Tiefe						
pH-Wert <sub>CaCl2</sub>	5,27	5,27	5,53	5,40	5,23	5,23
K <sub>2</sub> O <sub>CAL</sub> (mg/100 g Boden)	36	14	65	26	21	16
<b>Salzgehalt</b> <sub>wasserl.</sub> (mg/100 g Boden)	76	43	128	60	79	60

# Botanische Zusammensetzung des Pflanzenbestands im Frühjahr 2013

	Variante			Ø
	1	2	3	
	In % der Frischmasse			
Deutsches Weidelgras	54	50	50	51
Wiesenrispe	12	15	7	11
Gemeine Rispe	14	19	24	19
Lägerrispe	2	Spuren	1	1
Jahriges Rispe	<1	1	1	<1
Σ Gräser	83	85	82	83
Σ Käuter	7	6	8	7
Σ Klee	11	9	10	10
Ø Futterwertzahl (n. KLAPP)	7,37	7,37	7,33	7,36