



Pflanzenschutztagung Schluechthof

5. Dezember 2025

„Einfluss des Spritzwassers auf Stabilität und Wirkung von Pflanzenschutzmitteln“

Gerrit Hogrefe, N.U. Agrar GmbH Schackenthal

Überarbeitet Andreas Bürki, N.U. Agrar Swiss

Pflanzenschutztagung vom 5. Dezember 2025



Warum wirkt's nicht?

Wasserlöslichkeit

Komplexbildung

Hydrolyse

Photolyse

Volatilität

Adsorption

Wirkstoffaufnahme
Fettlöslichkeit, Witterung

Abdrift

Run-Off

Anmischen

Fahrt

Spritzen



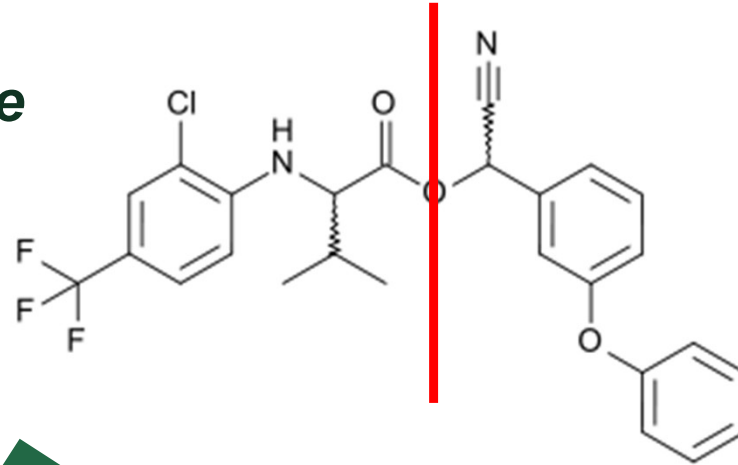
Einführung zum pH-Wert

- „Negativer dekadischer Logarithmus der Protonenkonzentration“
- dimensionslose Skala von **pH 1 (sauer)** bis **pH 14 (basisch)**
- Probleme in der landwirtschaftlichen Praxis:
 - (1) Ackerbaulich genutzte Böden
 - **Nährstoffmangel** durch (zu) hohe pH-Werte
 - **Schwermetallbelastung** durch (zu) niedrige pH-Werte
 - (2) Wasser als Trägersubstanz für Pflanzenschutzapplikationen
 - **Alkalische Hydrolyse** durch (zu) hohe pH-Werte
 - Veränderung **physico-chemischer Eigenschaften**

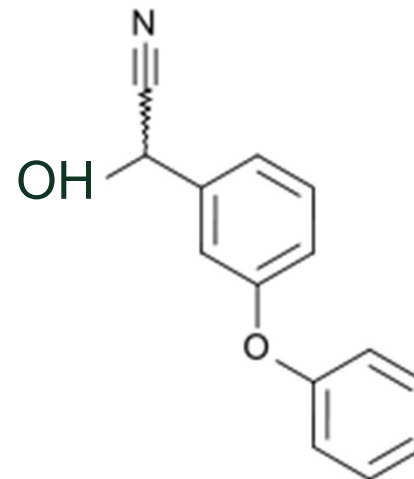
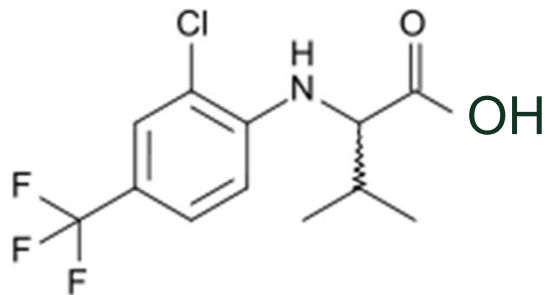


pH-Wert – alkalische Hydrolyse

**tau-Fluvalinate
(Mavrik)**



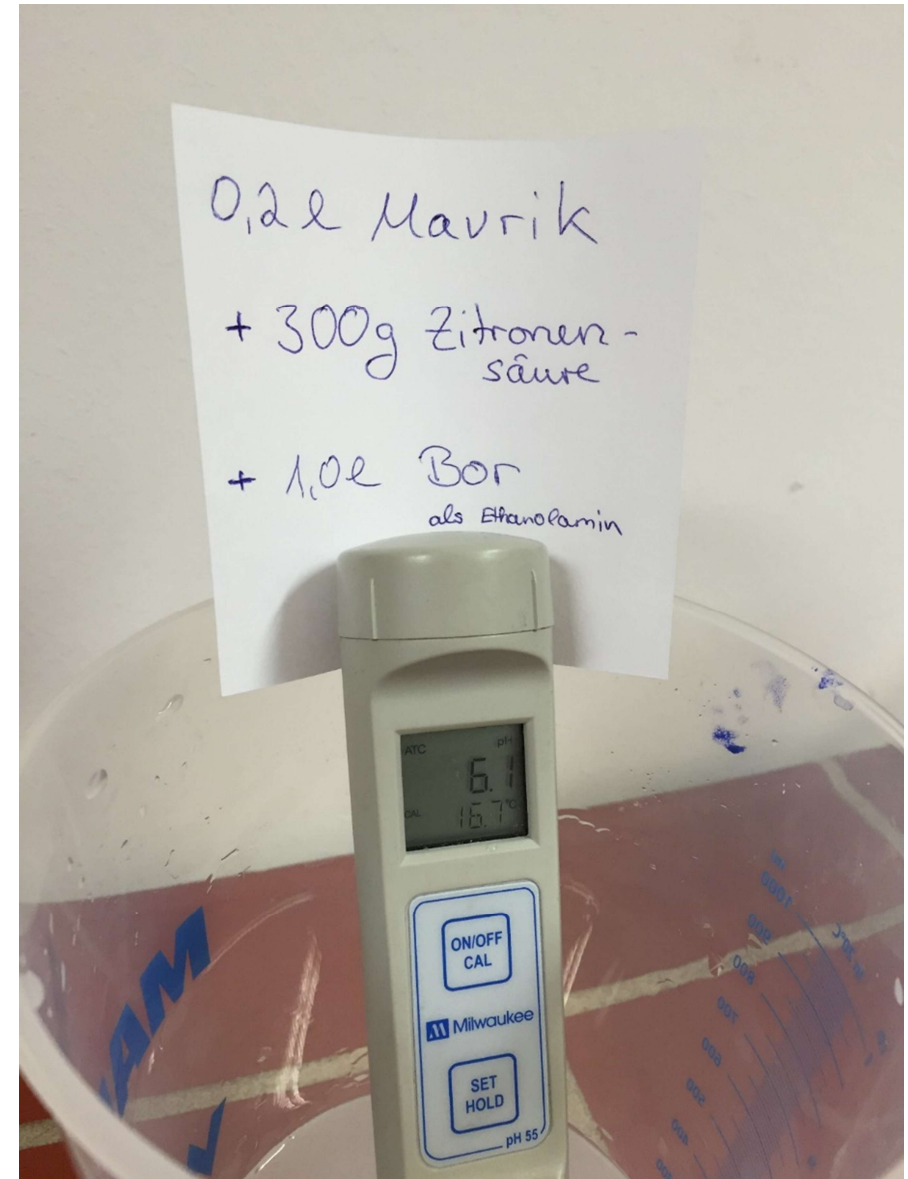
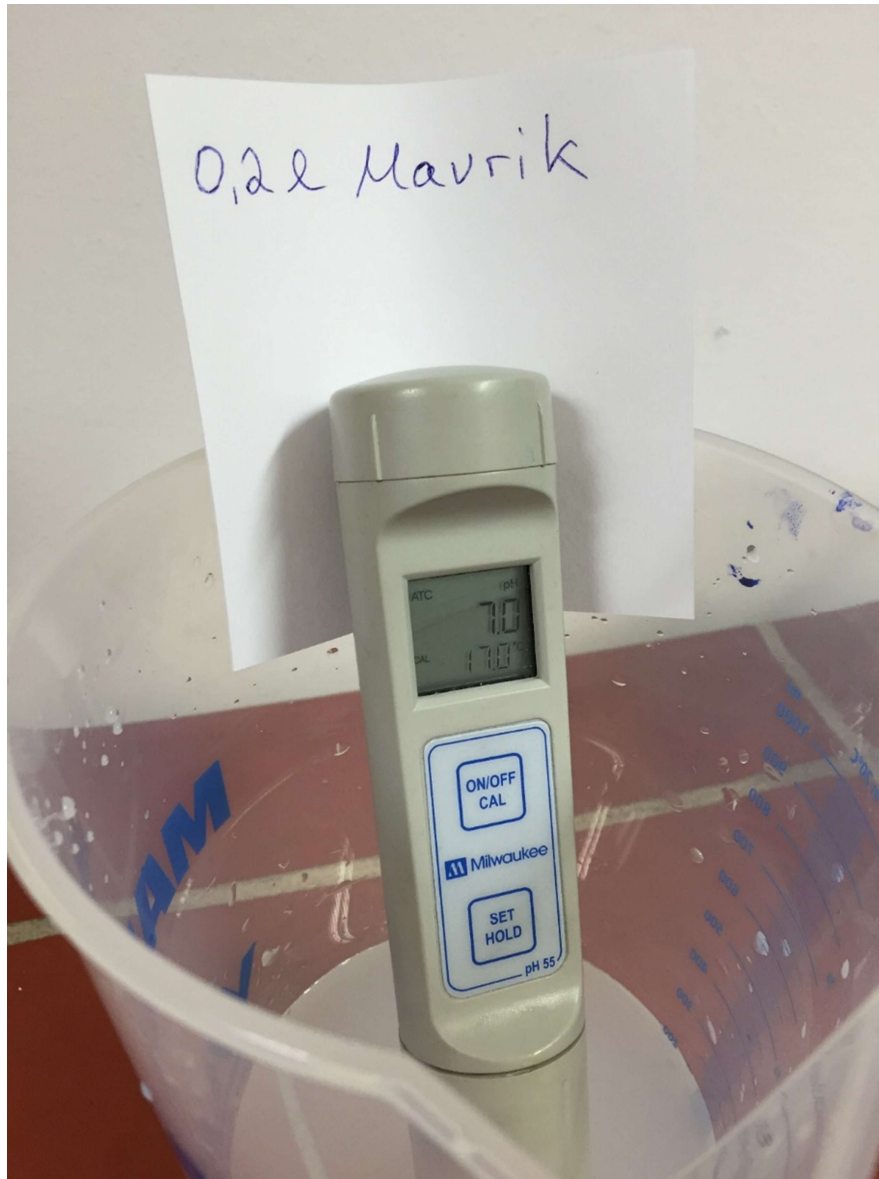
**Anlagerung freier
Hydroxyl-Gruppen**



Quelle: Adama, Deutschland



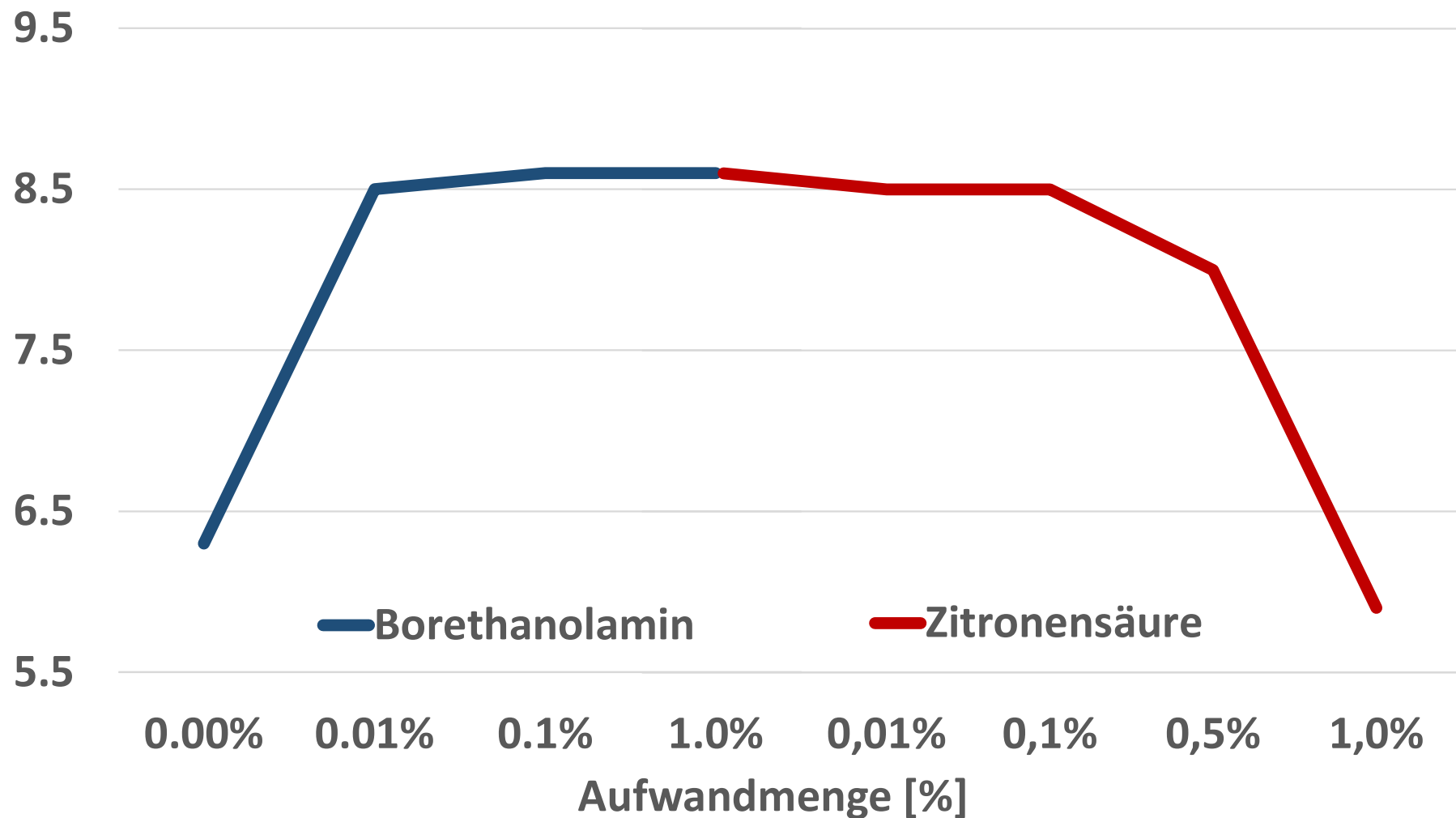
pH-Einfluss von PSM – Insektizide





pH-Einfluss von PSM – Mikronährstoffe

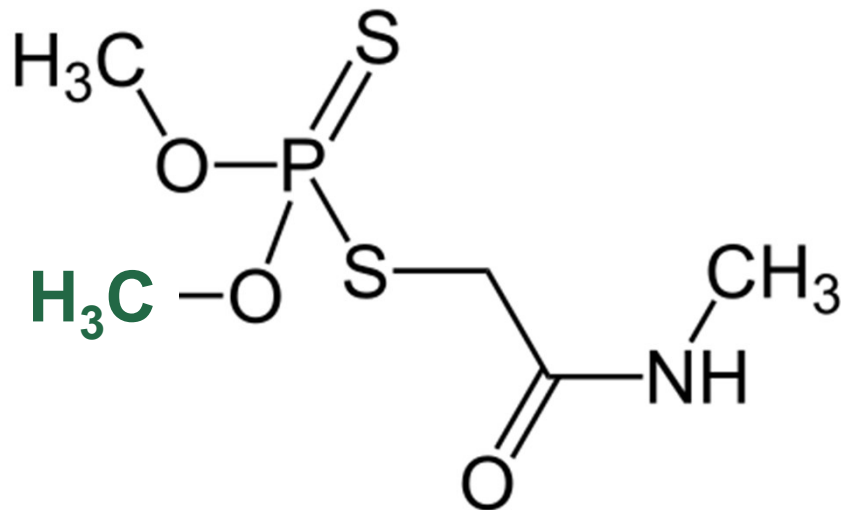
pH-Wert



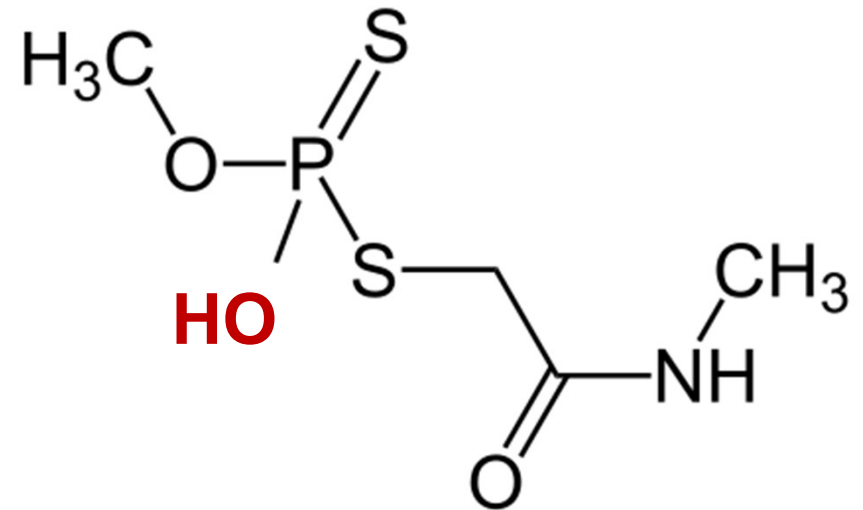


pH-Wert – alkalische Hydrolyse

Dimethoat



Desmethyldimethoat



+OH⁻

Toxizität LC₅₀ Fliege (topikal):
0,43 mg/kg

Toxizität LC₅₀ Fliege (topikal):
152 mg/kg

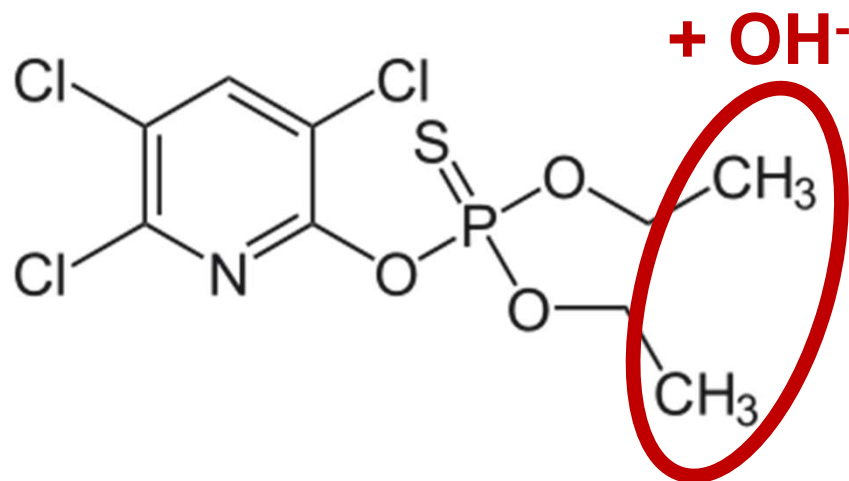
Faktor: 300



pH-Wert – alkalische Hydrolyse

Produkt: **Nurelle D** (Chlorpyrifos + lambda-cyhalothrin)

Chlorpyrifos



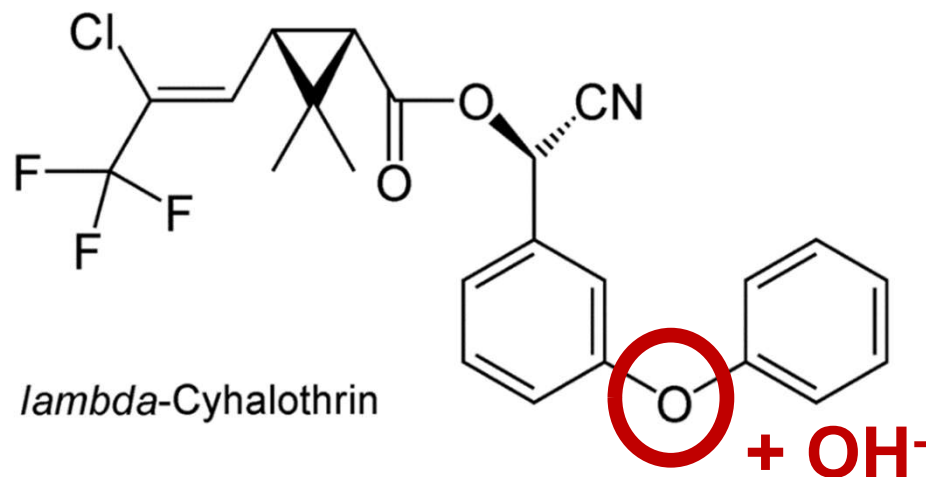
Hydrolyse (**DT₅₀**-Wert):

pH 4 → 27 Tage

pH 7 → 21 Tage

pH 9 → 13 Tage

lambda-Cyhalothrin



Hydrolyse (**DT₅₀**-Wert):

pH 7 → 453 Tage

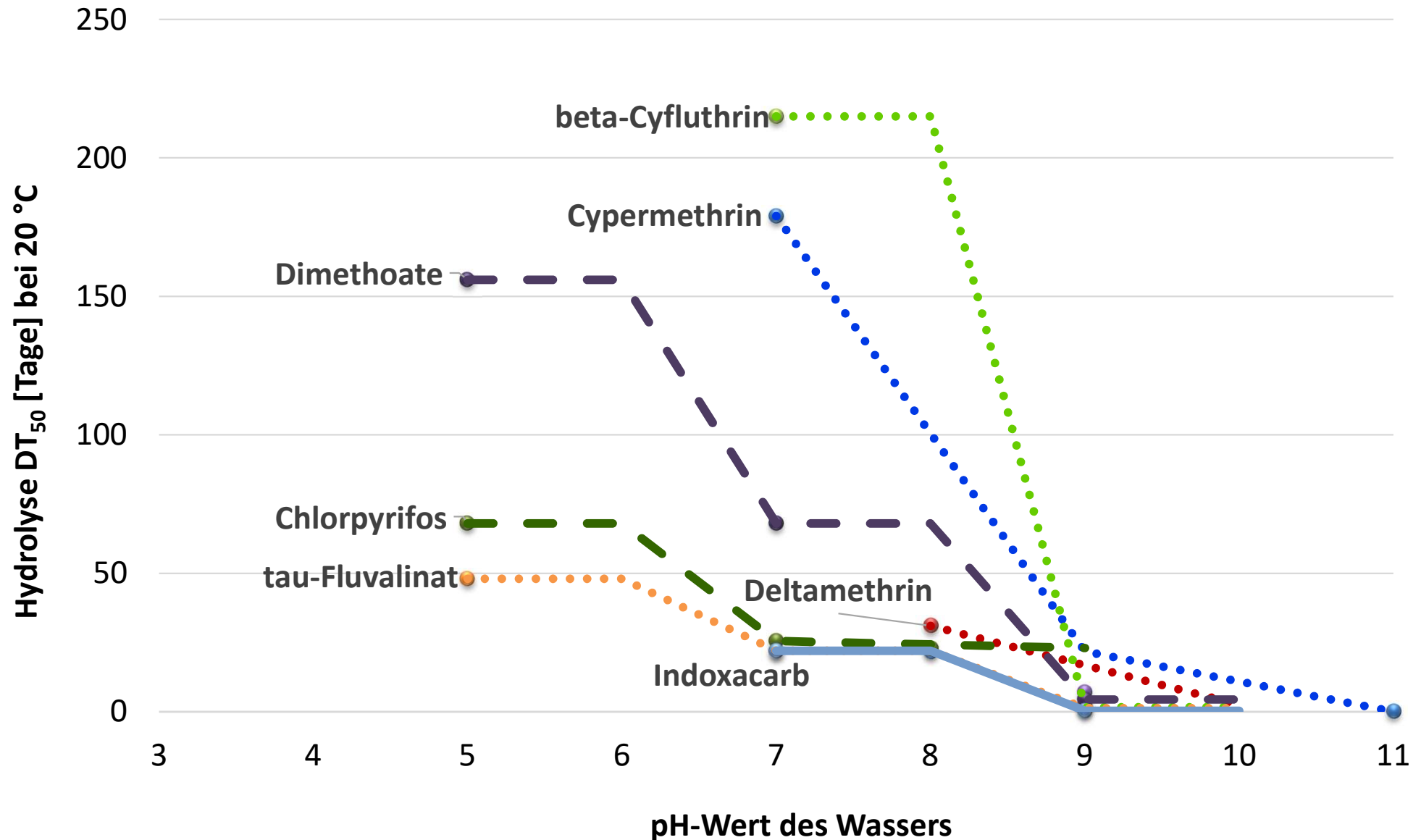
pH 9 → 7 Tage



Insektizide



Einfluss des pH-Wertes auf den hydrolytischen Abbau von **Insektiziden**





Herbizide

Teil 1: Glyphosat



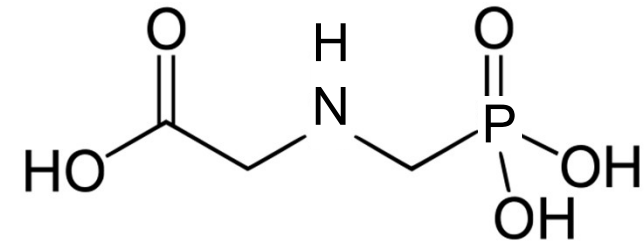
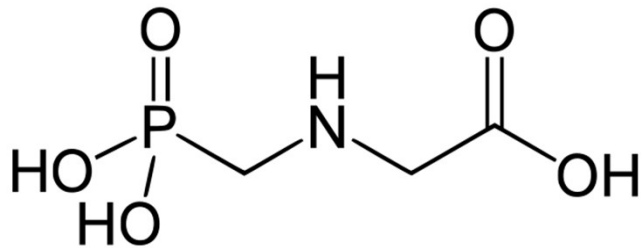
Einführung zur **Wasserhärte**

- „**Stoffmengenkonzentration der im Wasser gelösten Ionen der Erdalkalimetalle**“
- Skala in „Deutschen Härtegraden“ [°dH]
- 1° dH entspricht etwa 1,78 ° fH
 - weich: bis 8,4 °dH = 15 ° fH
 - mittelhart: 8,4 bis 14 °dH = 15 ° - 25 ° fH
 - hart: über 14 °dH = über 25 ° fH
- „Härtebildner“: **Ca²⁺ Mg²⁺ Fe²⁺ Mn²⁺ Al³⁺**
- Probleme in der landwirtschaftlichen Praxis:
 - Wirkstoffinaktivierung durch **Komplexbildung** in hartem Spritzwasser

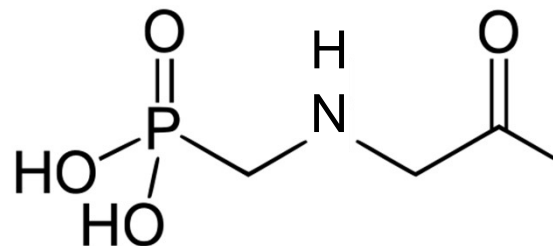


Wasserhärte – Komplexbildung

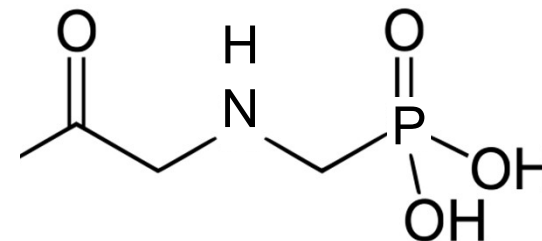
Glyphosate



Anlagerung eines
zweiwertigen Kations

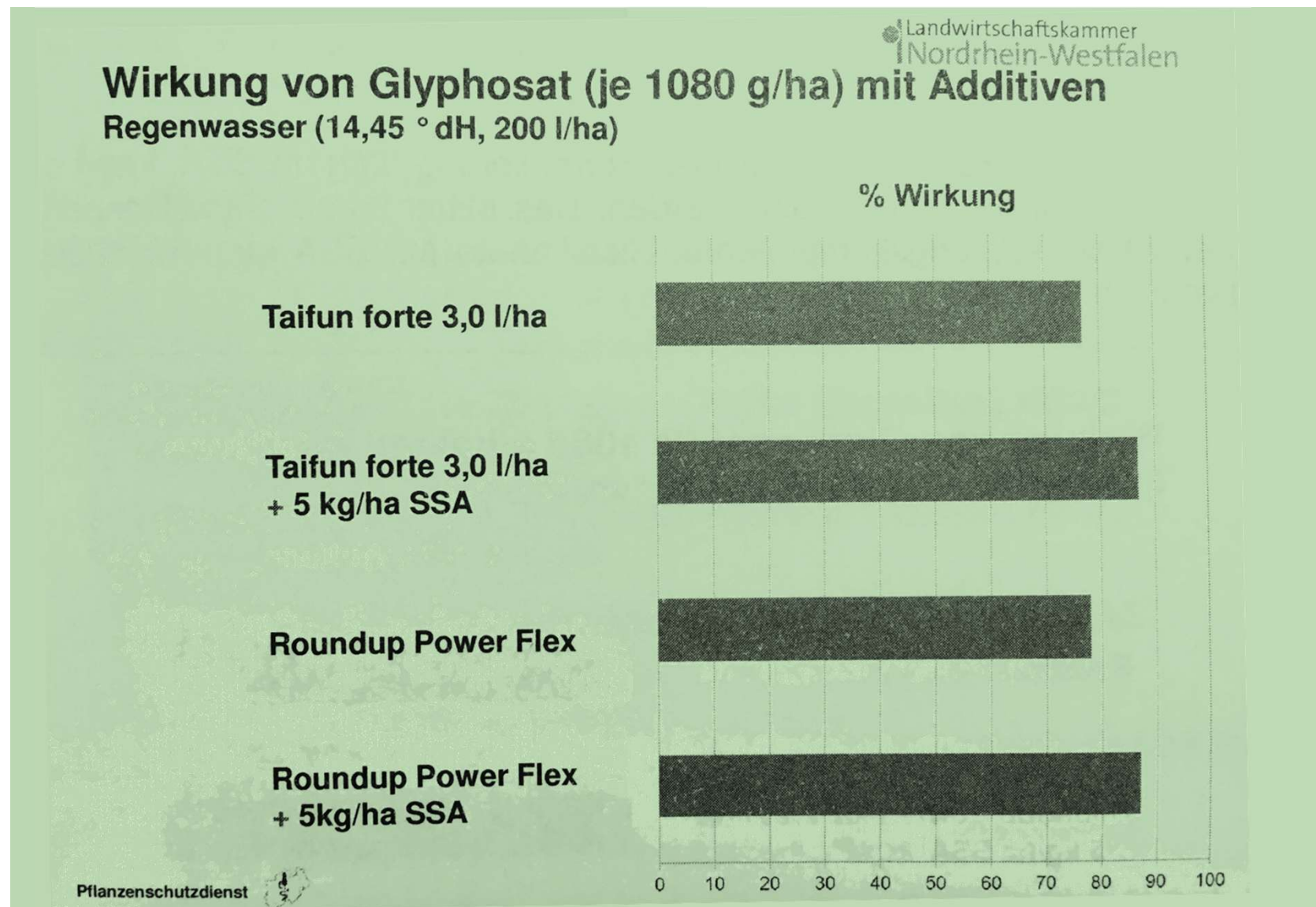


Ca





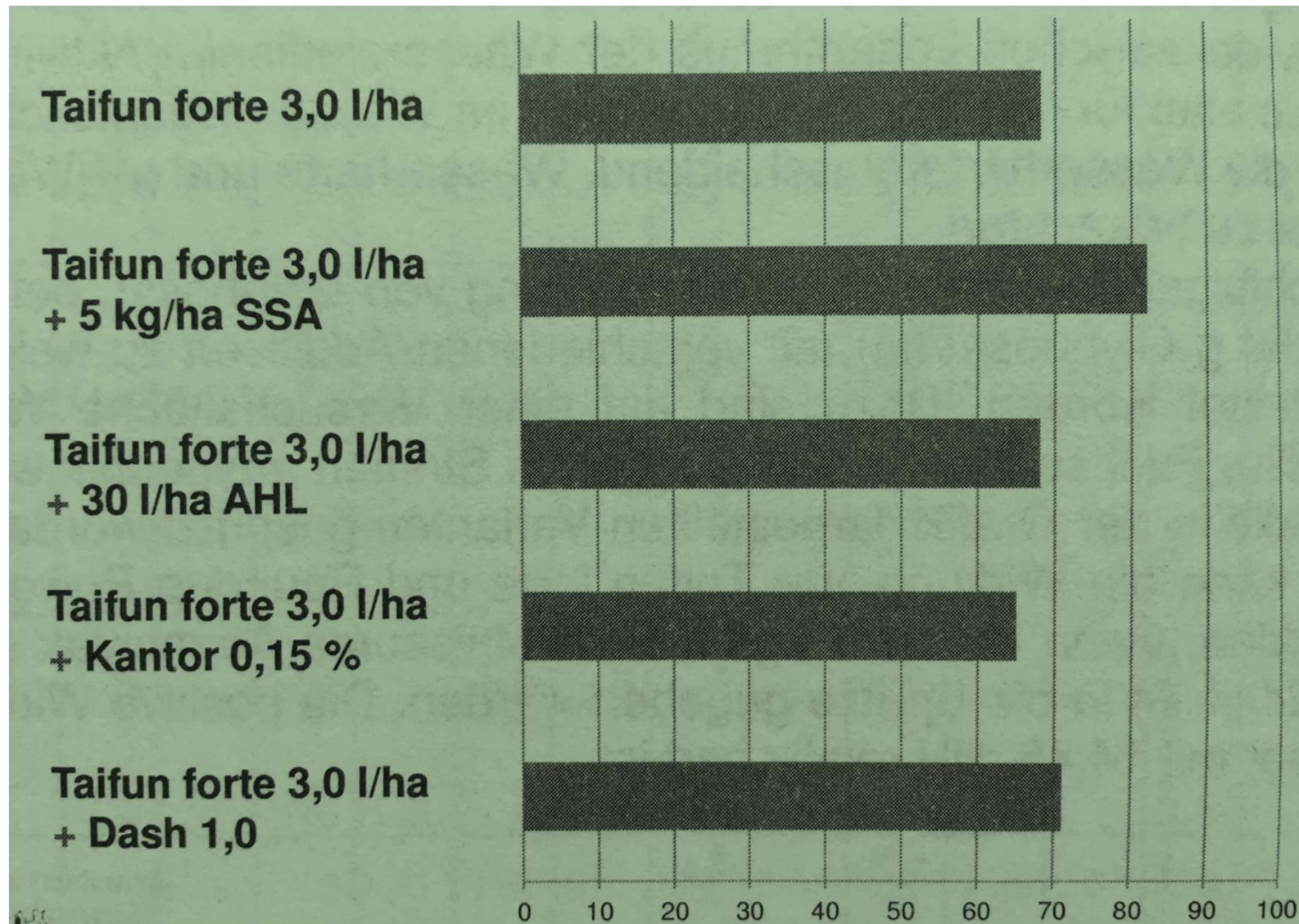
Glyphosat – Einfluss von Additiven



Quelle: Klingenhausen, LWK NRW



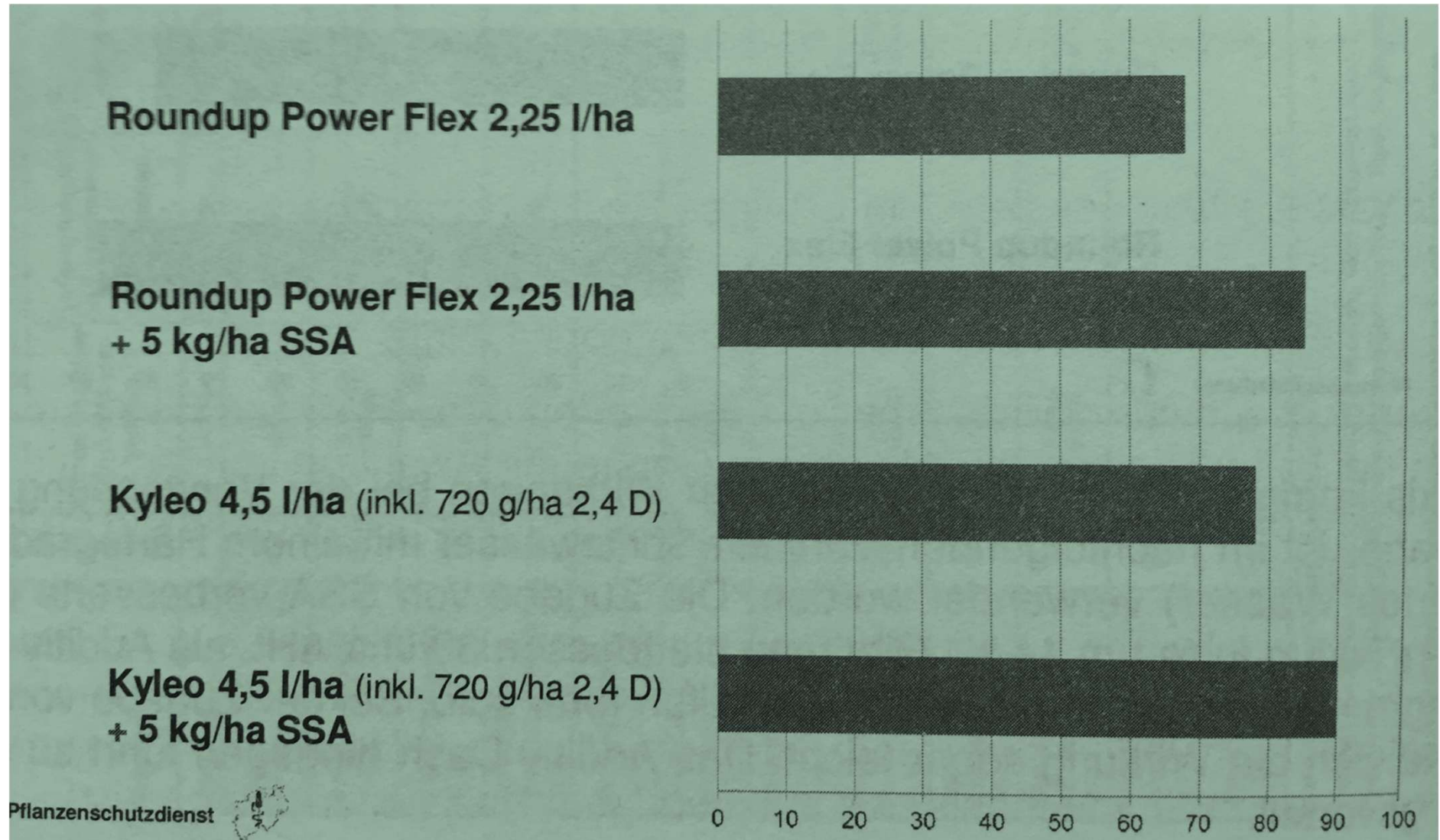
Glyphosat – Einfluss von Additiven



Quelle: Klingenhausen, LWK NRW



Glyphosat – Einfluss von Additiven

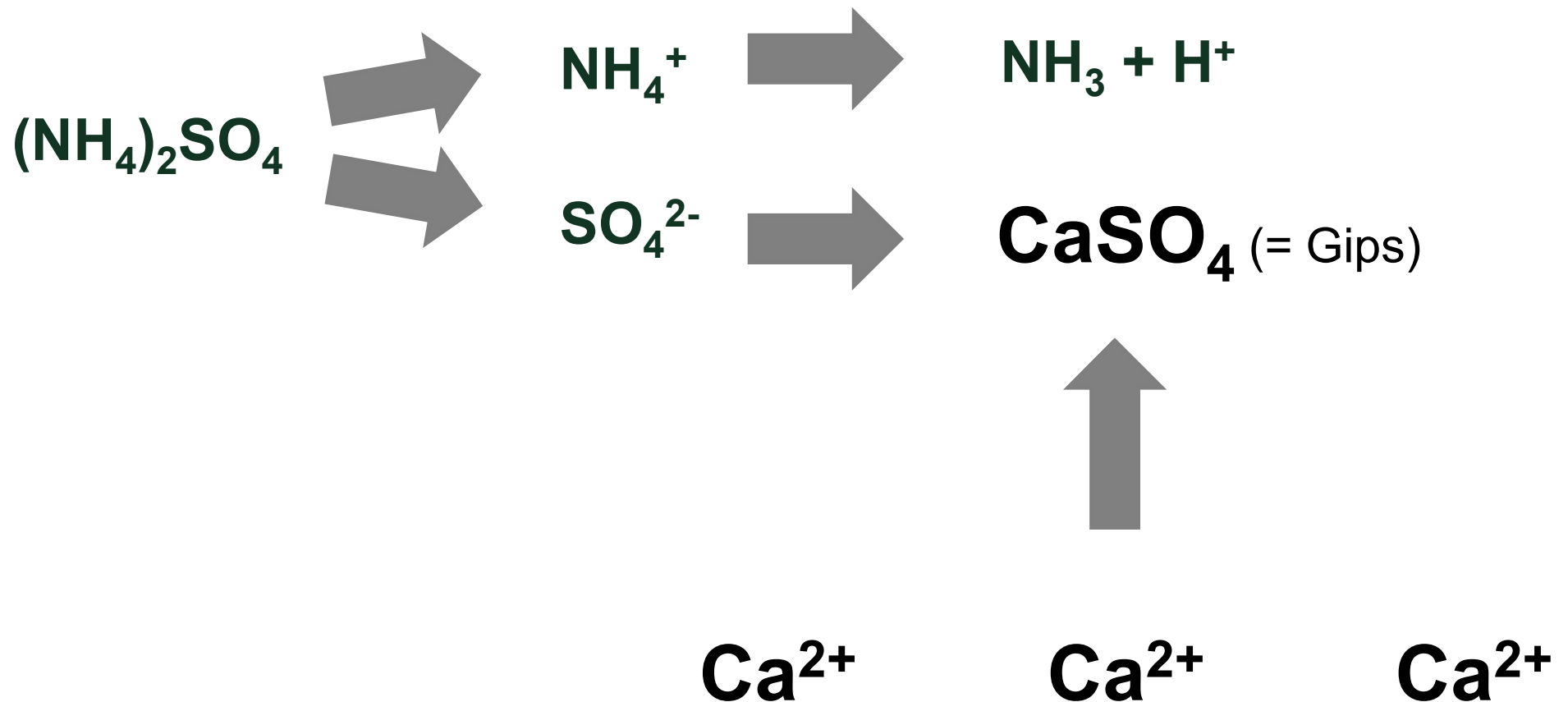


Quelle: Klingenhausen, LWK NRW



Glyphosat – Wie wirkt SSA?

SSA = Ammoniumsulfat (AMS):





Glyphosat – Welche SSA-Menge wird benötigt?



Glyphosat – Einfluss der SSA-Zumischung

Table 1. ED₅₀ values for the foliar activity of glyphosate-trimesium sprayed in deionised water with and without ammonium sulphate (2.5g litre⁻¹)

<i>Species</i>	<i>ED₅₀ (g AE ha⁻¹)</i>	<i>Significance^a</i> <i>(P < 0.05)</i>
<i>C arvensis</i>	332	a
+ AMS	246	bc
<i>A theophrasti</i>	290	ab
+ AMS	161	c
<i>S halepense</i>	42	d
+ AMS	24	d

^a Treatments denoted by a different letter are significantly different based on 95% confidence limits.

Quelle: Hall et al., 2000



Glyphosat – Einfluss der SSA-Zumischung

Table 2. ED₅₀ values for activity of glyphosate-trimesium applied to roots of plants in hydroponics, with and without ammonium sulphate (2.5g litre⁻¹)

Species	ED ₅₀ (μM)	Significance ^a (P < 0.05)
<i>C arvensis</i>	120	a
+ AMS	20.6	b
<i>A theophrasti</i>	37.1	ab
+ AMS	0.41	e
<i>S halepense</i>	10.1	c
+ AMS	3.46	d

17,2 %

1,1 %

34,3 %

^a Treatments denoted by a different letter are significantly different based on 95% confidence limits.

Quelle: Hall et al., 2000

Mineral	<i>C arvensis</i>	<i>A theophrasti</i>	<i>S halepense</i>	5% LSD
Calcium (% dry weight)	1.49	3.14	0.97	0.34
Magnesium (% dry weight)	0.31	0.33	0.50	0.06

Herbizidrückstände bereiten Probleme





Glyphosat –

Gründe für unzureichende Wirkung

1) zu geringe Glyphosatkonzentration

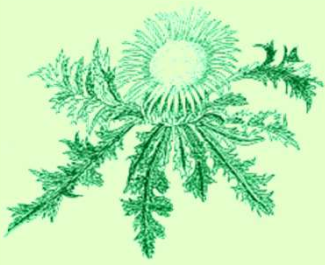
- a) zu geringe Glyphosataufwandmenge
- b) zu hohe Wasseraufwandmenge

2) hohe Kationenfracht im Spritzwasser komplexiert Glyphosat

- a) hartes Wasser (Calcium, Magnesium)
- b) Rückstände von Mikronährstoffen auf Salzbasis in der Spritze (Mangansulfat, Bittersalz, Cu-Questuran, Zinkuran etc.)

3) Kationenbelag auf der Pflanze

- a) Regentropfen „schleudern“ Bodenpartikel auf die Pflanze
- b) Wind lagert Erosionsteilchen auf den Pflanzen ab
- c) Drüsenhaare auf der Blattoberfläche, die anorganische Komponenten ausscheiden können, darunter auch Calcium und Magnesium



Glyphosat – Welche SSA-Menge wird benötigt?

5 kg Ammonsulfat fein



Herbizide

Teil 2: Wuchsstoffe



Einführung in chemische Eigenschaften der Wirkstoffe (**$\log P_{o/w}$**)

$\log P_{o/w}$ = Octanol/Wasser-Verteilungskoeffizient

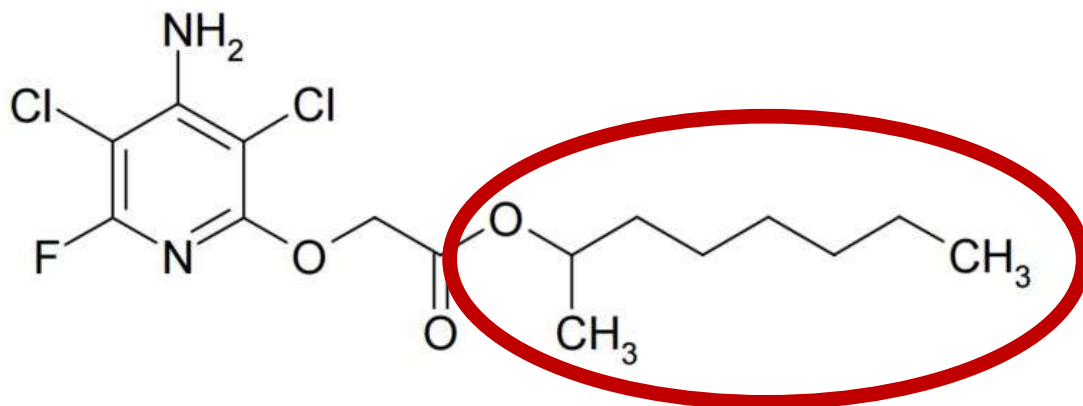
- Angabe zur Fett-/Wasserlöslichkeit eines Wirkstoffes
 - Werte >1 : lipophil (fettlöslich)
 - Werte 0-1:
 - Werte <0 : hydrophil (wasserlöslich)
- Wichtig für Aufnahme in die Pflanze und Verteilung innerhalb der Pflanze



pH-Wert – alkalische Hydrolyse und $\log P_{o/w}$ -Veränderung

Produkt: **Tomigan / Starane** (Fluroxypyr-MHE)

Fluroxypyr-MHE



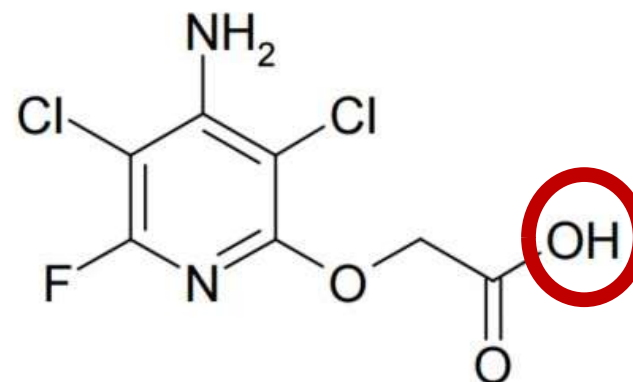
Hydrolyse (**DT₅₀**-Wert):

pH 5 -> über 454 Tage

pH 7 -> über 454 Tage

pH 9 -> **3,2 Tage**

Fluroxypyr



Lipophilie (**log P_{ow}**-Wert):

pH 5 -> 2,00

pH 7 -> **0,04**



- 0,75 l/ha → pH 3,2
- 1,50 l/ha → pH 2,8

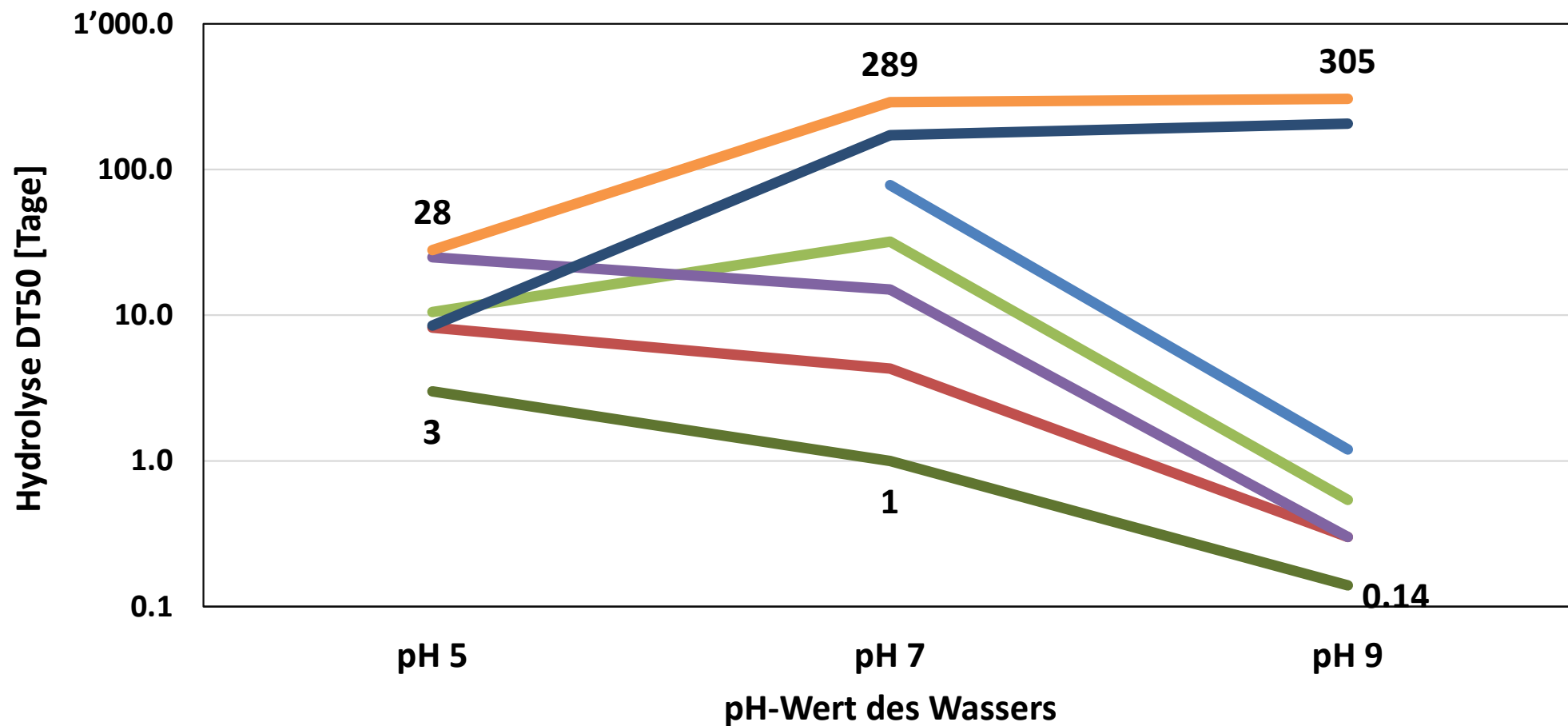


Herbizide

Teil 3: ACCase- und ALS-Hemmer



Einfluss des pH-Wertes auf den hydrolytischen Abbau von **Graminiziden**



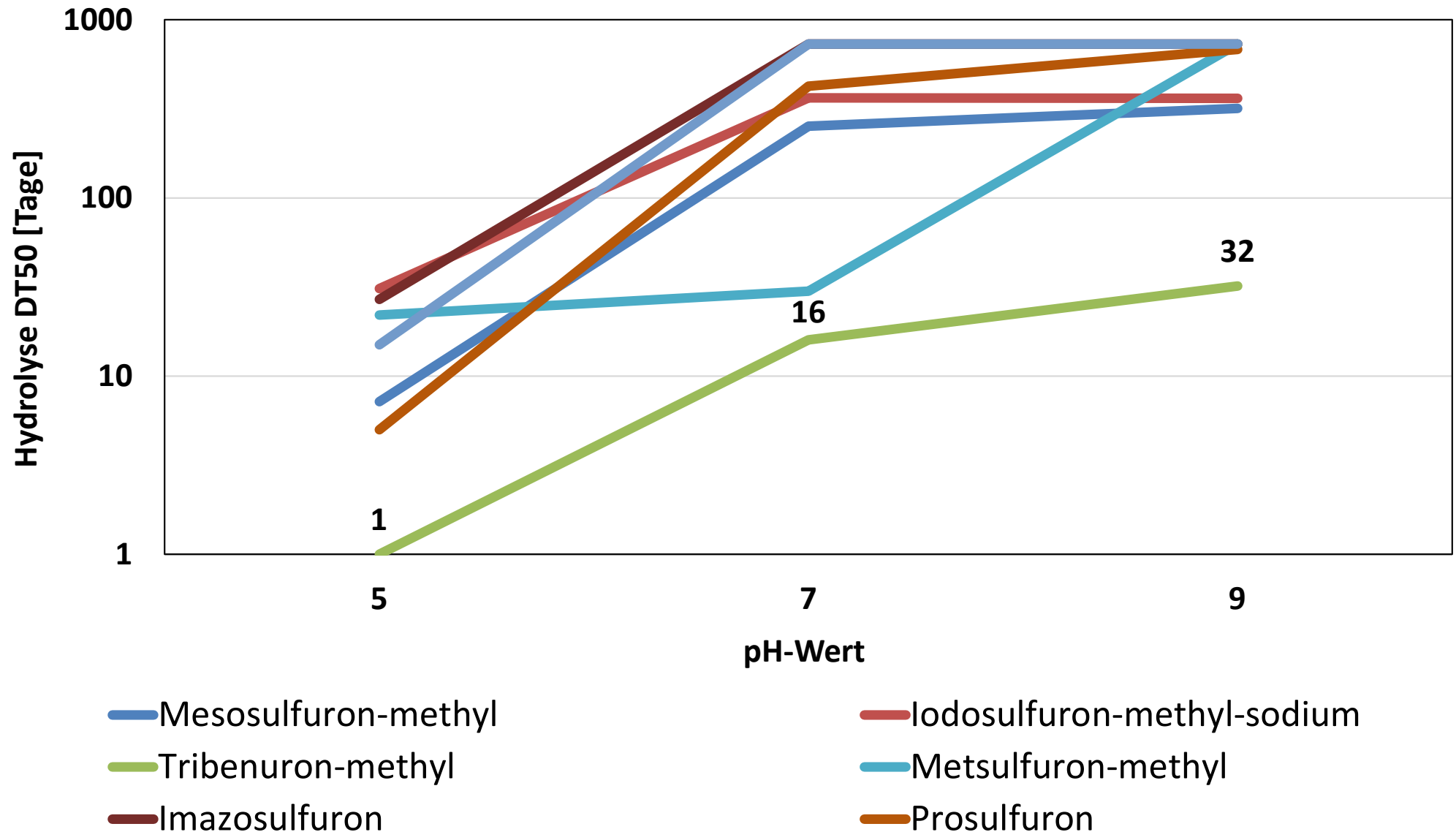
Fluazifop-P-butyl
Pinoxaden
Flumioxazin

Quizalofop-P-tefuryl
Clethodim

Propaquizafop
Cycloxydim

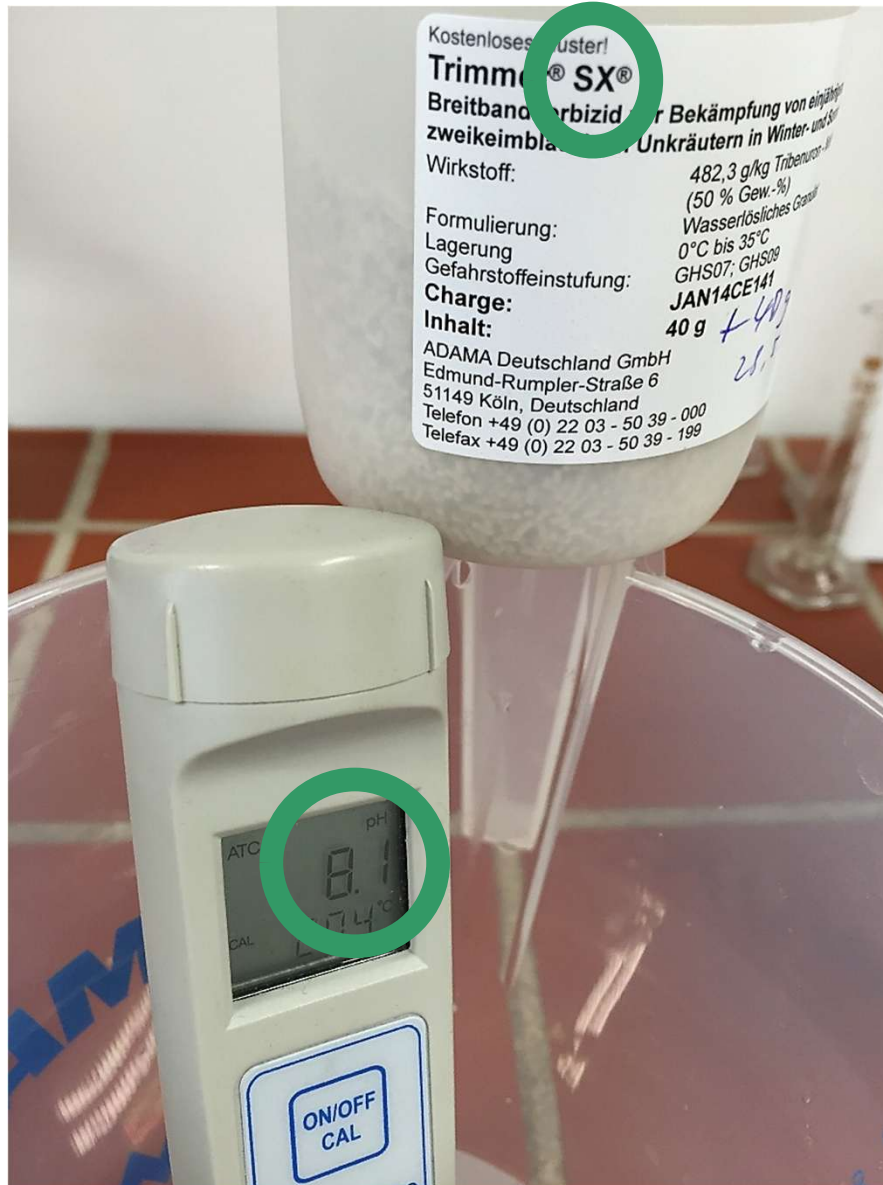


Einfluss des pH-Wertes auf den hydrolytischen Abbau von **Sulfonylharnstoffen**





pH-Einfluss von PSM – Sulfonylharnstoffe im Getreide



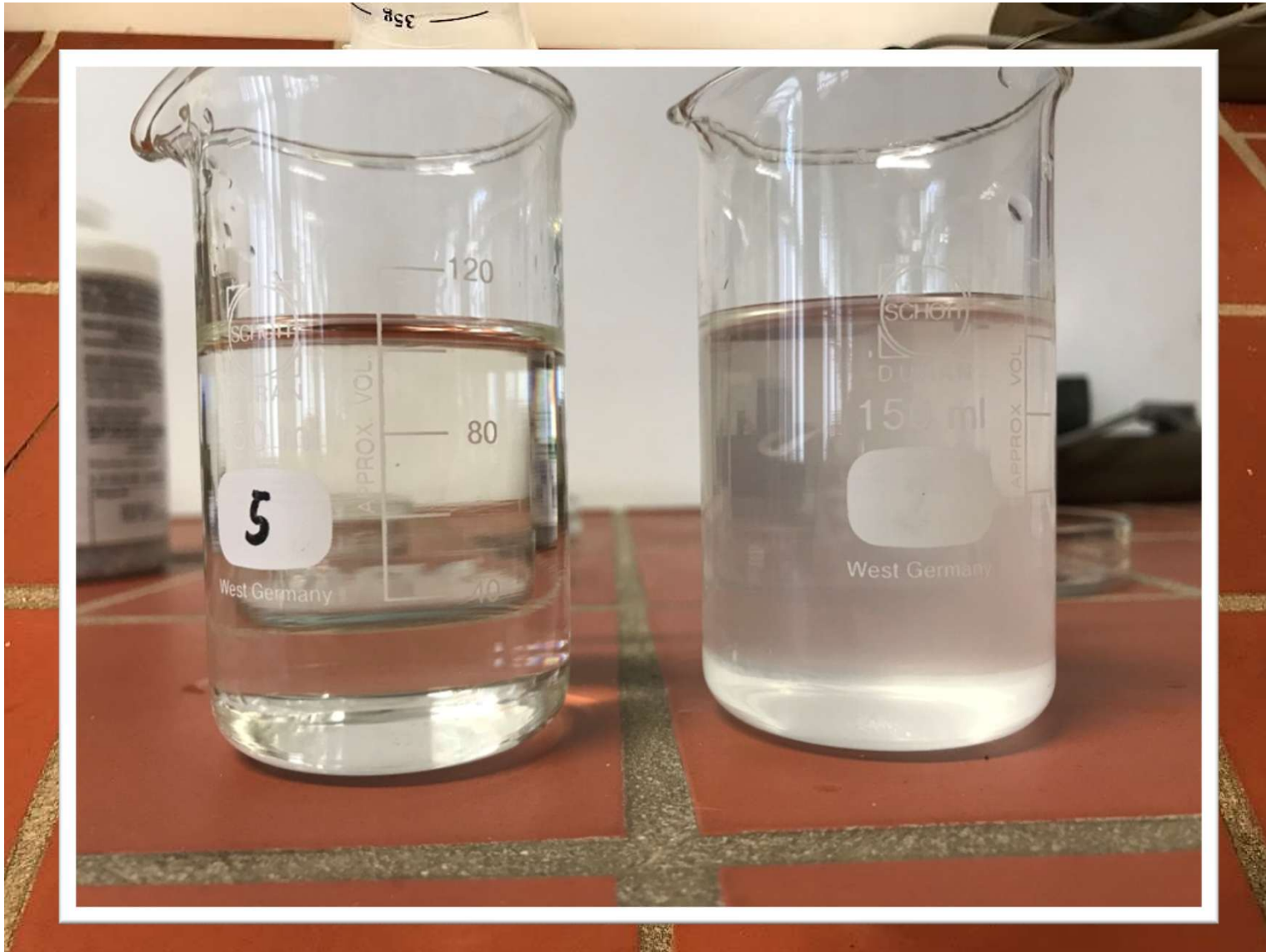
SX-Formulierung
= basischer Puffer

Abhängig von Aufwandmenge
des Sulfonylharnstoffes

- 30 g → pH 7,7
- 60 g → pH 8,0
- Mein Herbizid im
Frühjahr Concert SX



Löslichkeit von Sulfonylharnstoffen – Einfluss der **Formulierung**

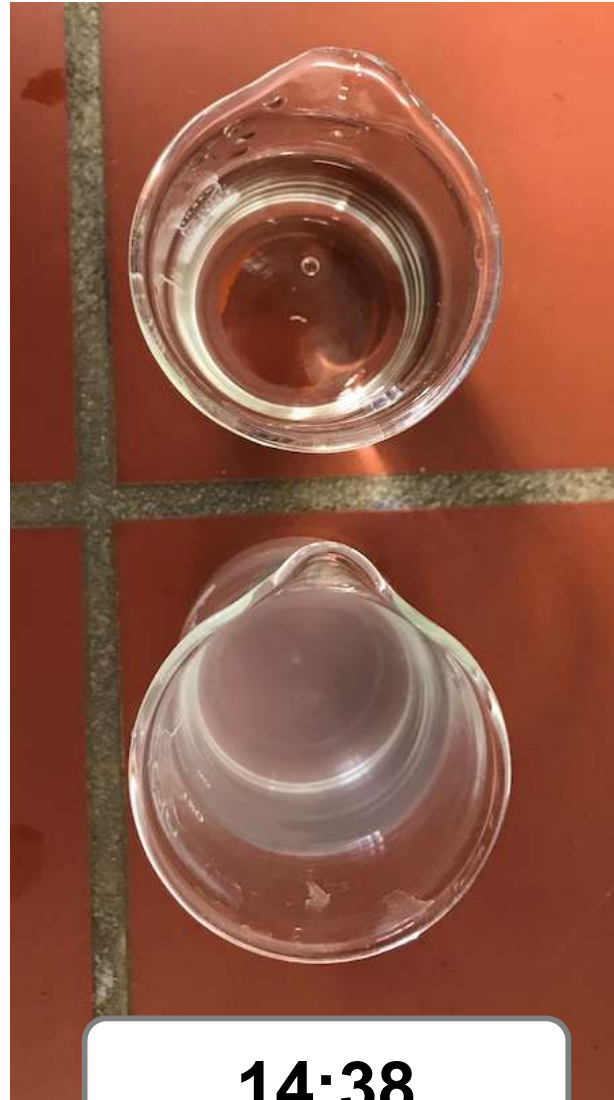




Löslichkeit von Sulfonylharnstoffen – Einfluss der **Formulierung**



14:36



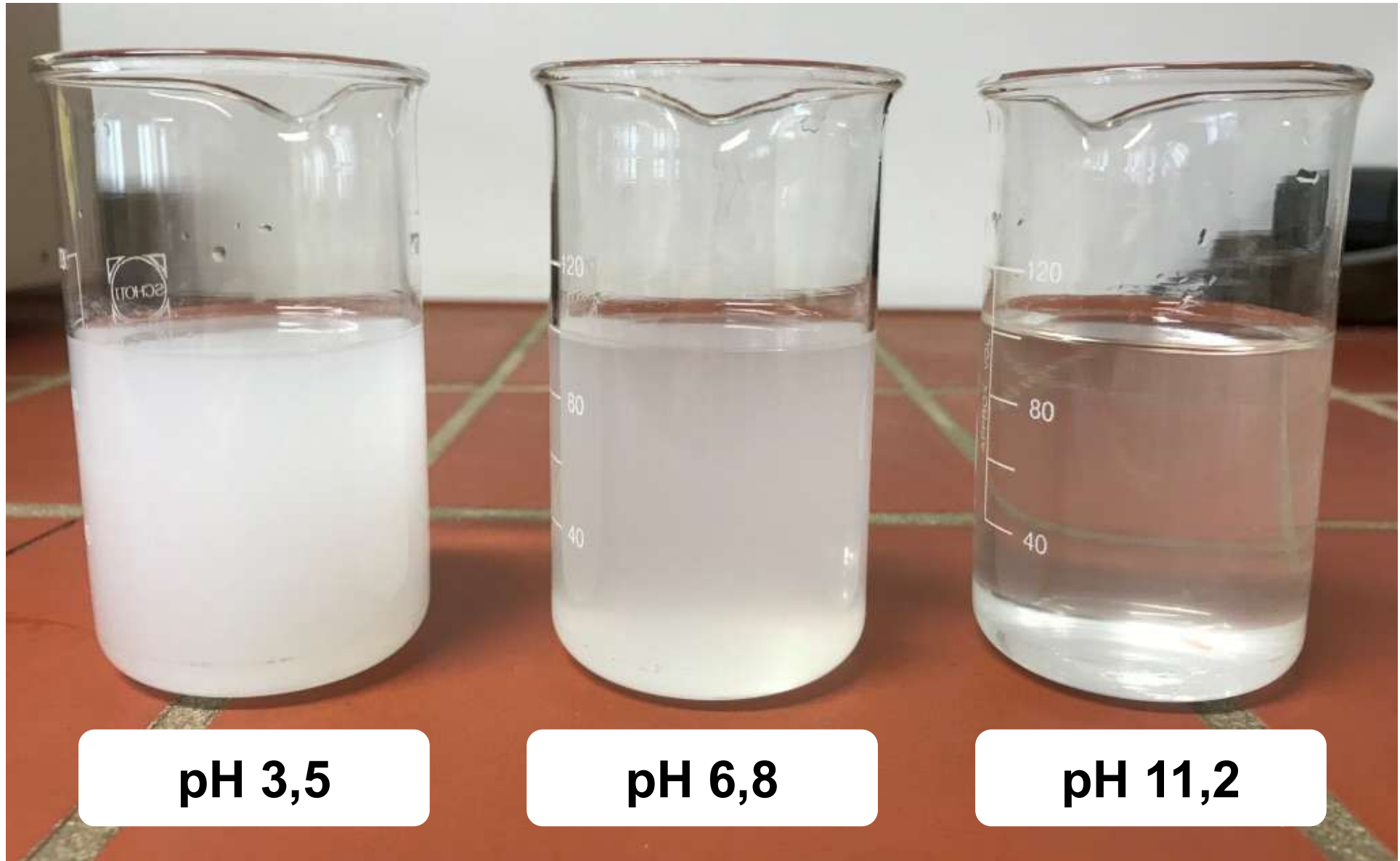
14:38



14:42



Löslichkeit von Sulfonharnstoffen – Einfluss des **pH-Wertes**





Löslichkeit von Sulfonylharnstoffen – Einfluss der **Temperatur**

12 °C



16 °C

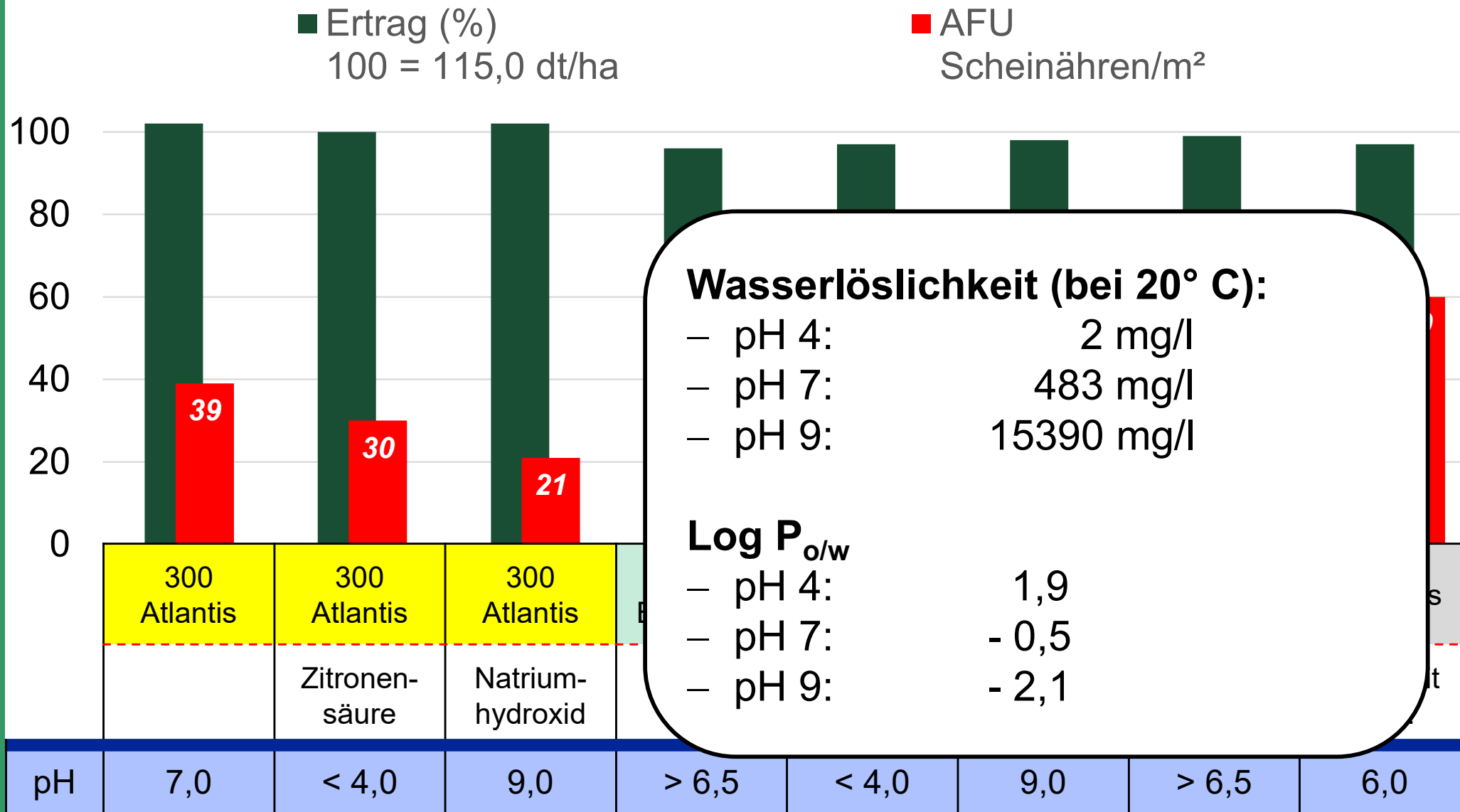


22 °C





Einfluss von Herbizid und pH-Wert der Spritzbrühe auf AFu-Wirkungsgrad und WW-Ertrag 2014





Zusammenfassung

■ Sulfonylharnstoffe

- „SX“-Formulierungen (u.a.) erhöhen pH-Wert
- pH-Absenkung erhöht $\text{Log } P_{o/w}$ (Atlantis FHS)

■ Wuchsstoffe

- pH-Absenkung erhöht $\text{Log } P_{o/w}$ (Ariane C)

➤ Zukünftig:

Für **maximale Herbizidwirkung** müssen folgende Parameter aufeinander abgestimmt werden:

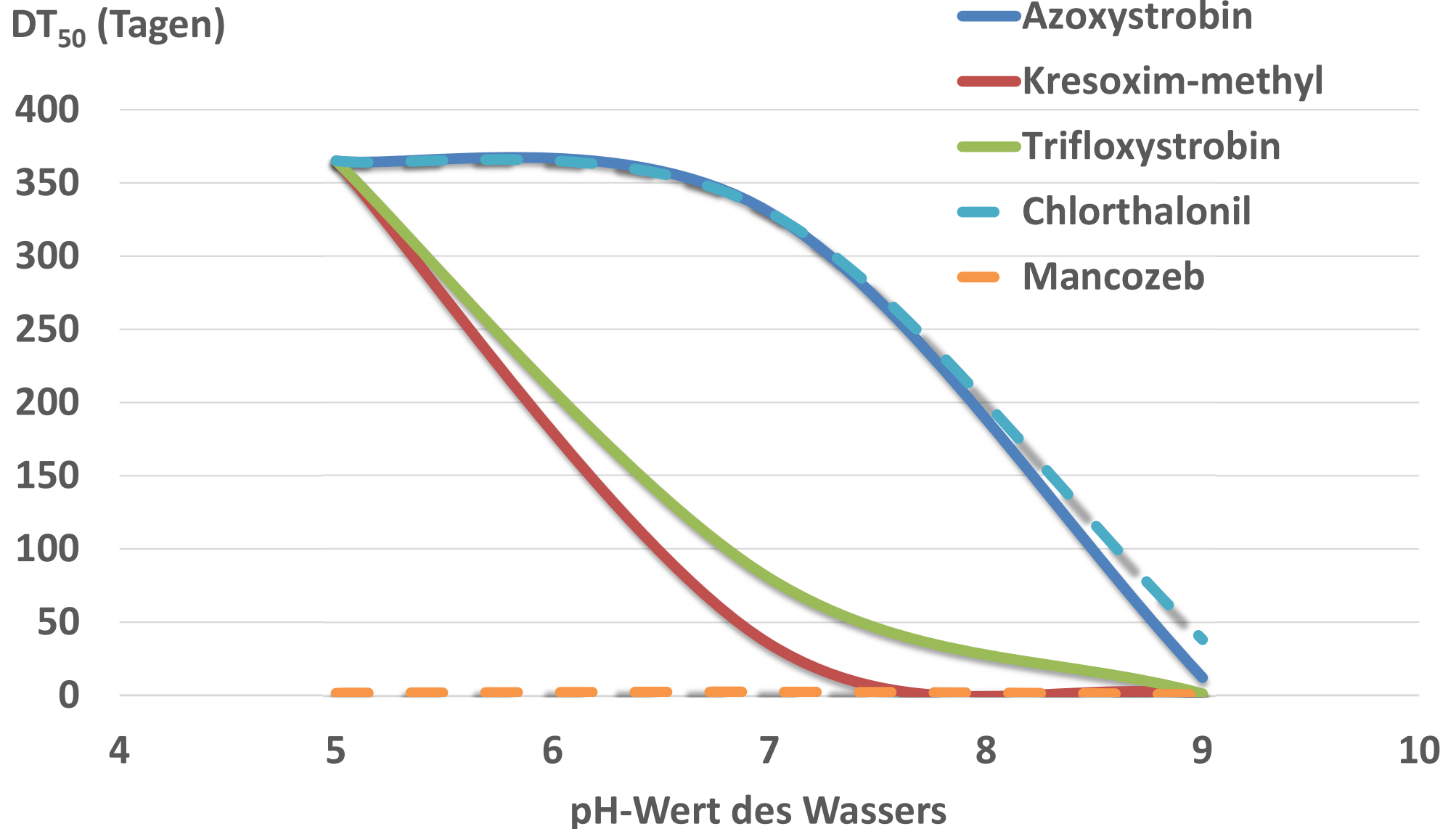
- physicochemische Eigenschaften der Wirkstoffe ($\text{log } P_{o/w}$) sowie und Zusätze (HLB)
- Kutikula-Beschaffenheit der zu bekämpfenden Unkräuter



Fungizide

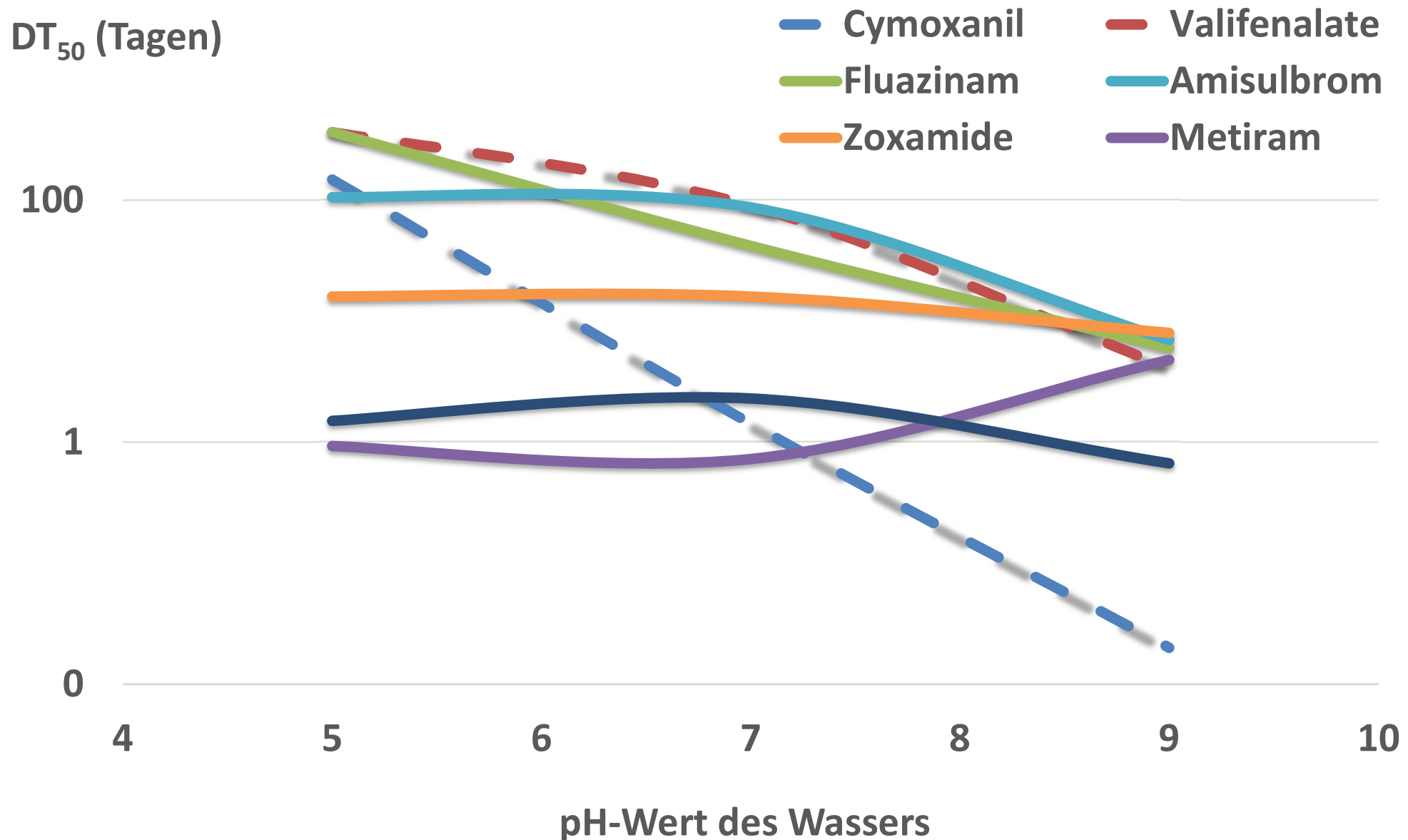


Einfluss des pH-Wertes auf den hydrolytischen Abbau von **Fungiziden**



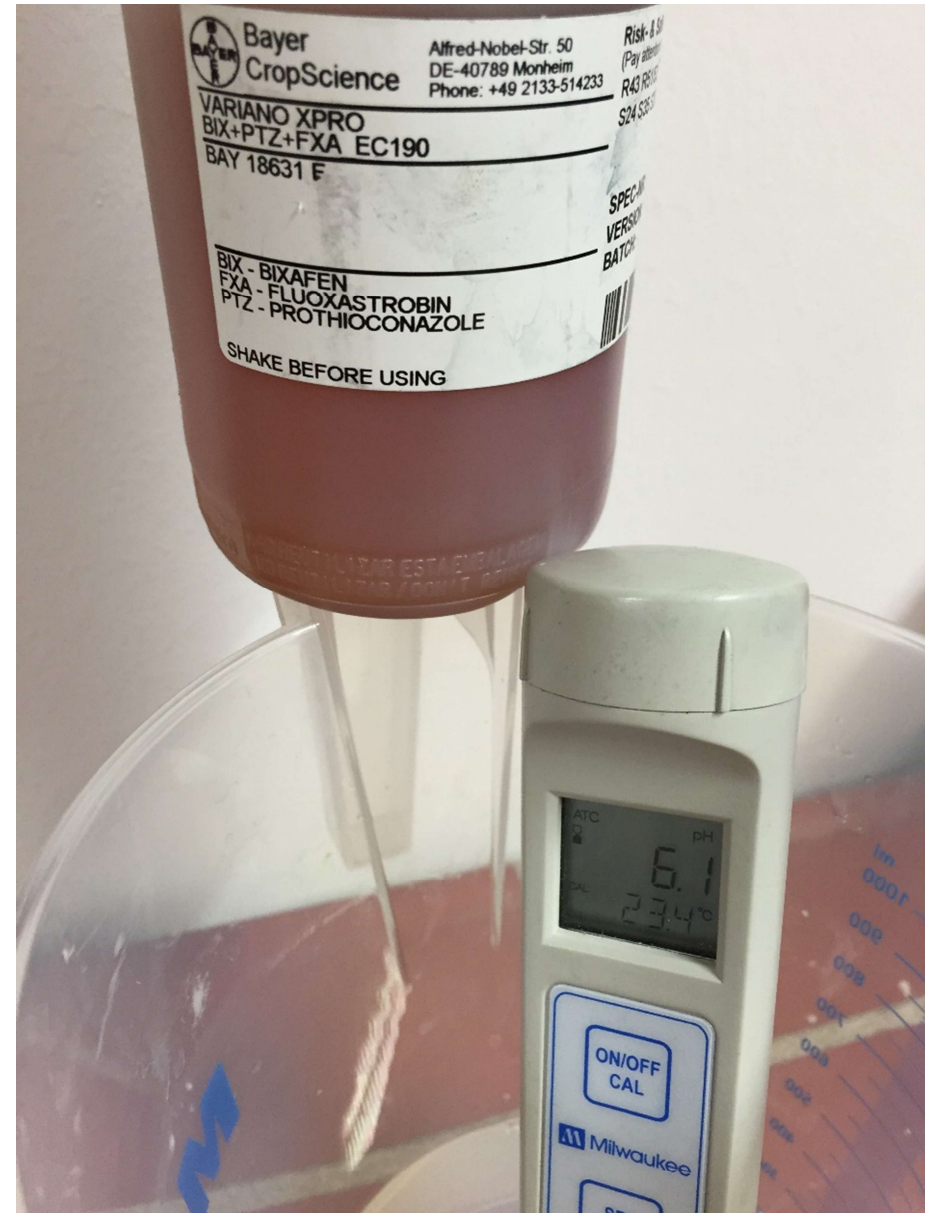


Einfluss des pH-Wertes auf den hydrolytischen Abbau von **Fungiziden**





pH-Einfluss von PSM – Fluoxastrobin-haltige Produkte





Wachstumsregulatoren



pH-Einfluss von PSM – Wachstumsregulatoren

pH-Wert

7.5

6.5

5.5

4.5

3.5

2.5

1.5

0%

50%

100%

Aufwandmenge [% der max. zugelassenen Aufwandmenge]

CCC 720

Medax Top

Moddus

Cerone 660

Carax

Toprex



Wachstumsregulatoren – Wirkstoffspezifische Empfehlungen

(1) Chlormequat / Mepiquat

- geringer $\log P_{o/w}$ erschwert Eindringen in die Pflanze
- pH-Wert ohne Einfluss auf $\log P_{o/w}$
- Zugabe von Penetrationsförderern (Li 700)

(2) Trinexapac-ethyl

- niedriger pH-Werte verlangsamt hydrolytischen Abbau und erhöht den $\log P_{o/w}$

(3) Ethephon

- niedriger pH-Wert verlangsamt hydrolytischen Abbau

(4) Prohexadion-Ca

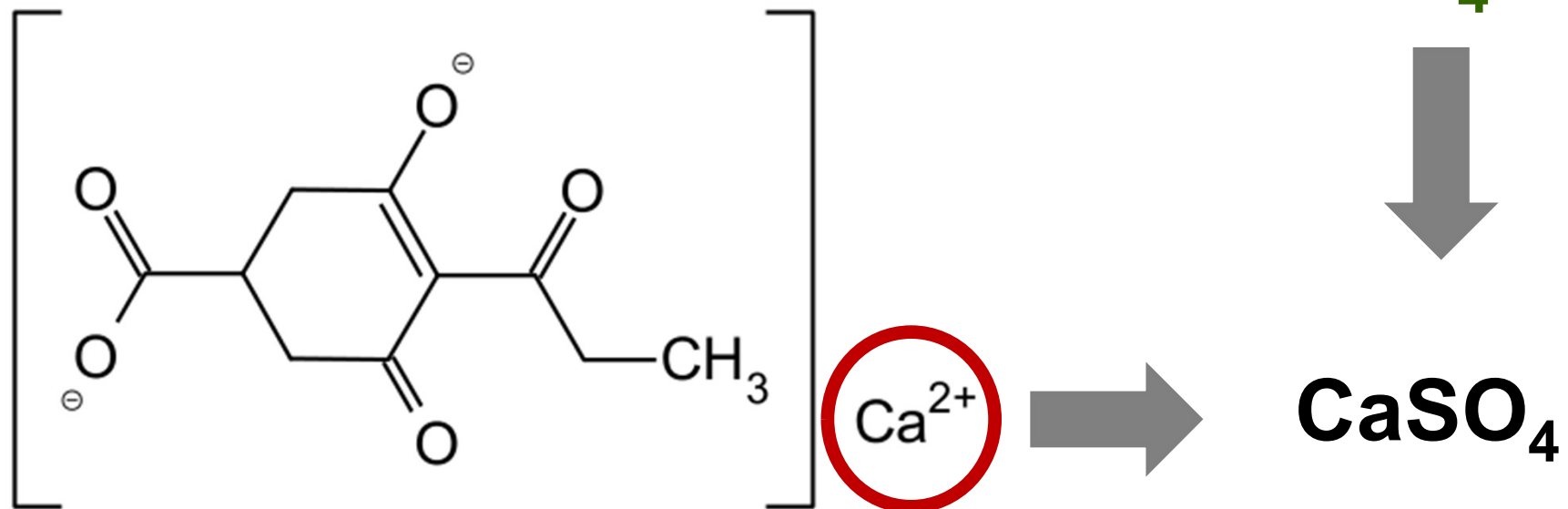
- Calcium muss entfernt werden
(→ erhöhte SSA-Zugabe bei hartem Wasser)
- neutrale bis leicht erhöhte pH-Werte verlangsamen hydrolytischen Abbau



Wachstumsregulatoren – Warum Medax Top + Turbo?

Prohexadion-Ca

- Ca-Ionen „abfangen“
- Wirkstoff „aktivieren“





Konditionierung des Spritzwassers



Spritzwasser-Eigenschaften nach Herkunft

	Stadtwerke	Brunnen	Niederschlag
Wasserhärte	weich - hart	weich - hart	weich
Temperatur	kalt - warm	(sehr) kalt	kalt - warm
pH-Wert	6,5 - 8 (9,5)	6 - 8	5 - 6
Schaumneigung	möglich	kaum	ja

Quelle: verändert nach Luckhard, 2013



Hilfsmittel – pH-Meter

- elektrisches pH-Meter zur Schnell-Bestimmung von pH-Wert und Temperatur
- deutlich höhere Genauigkeit als Messstäbchen
 - pH-Wert ($\pm 0,1$)
 - Temperatur ($\pm 0,1$)
- Gelegentliche Kalibrierung ist sinnvoll. Dafür notwendige Pufferlösungen (pH 4 / pH 7) sind in der Regel nicht im Lieferumfang enthalten.
- Preis pH-Meter: ca. 60 €
- Preis Pufferlösungen: ca. 15 €
- Lohnenswerte Anschaffung für jeden!





Hilfsmittel – Leitfähigkeitsmessgerät

- Leitfähigkeit erlaubt Rückschlüsse auf Gesamthärte
- Umrechnung: 35 $\mu\text{S}/\text{cm}$ entsprechen ca. 1 Grad deutscher Härte
- Neben Ca^{2+} und Mg^{2+} erhöhen auch die Nicht-Härtebildner Na^{+} und K^{+} sowie Anionen die Leitfähigkeit. Wasser mit hohen Frachten dieser Ionen liefert leicht erhöhte Härte-Ergebnisse.
- Preis: 30 €
- Lohnenswerte Anschaffung vor allem, wenn Wasserqualität schwankt:
 - bei wechselnden Wasserquellen (Lohnunternehmer)
 - bei vorrangigem Einsatz von Regenwasser
- Achtung: Leitfähigkeit ist temperaturabhängig!





Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$] und Gesamthärte?

Gebiete mit heterogener geologischer Zusammensetzung für erste Aussagen zur Herkunft und Typisierung des Wassers zwischen der Leitfähigkeit (LF in $\mu\text{S}/\text{cm}$ bezogen auf 25 °C) und dem Mineralstoffgehalt M in mg/L (nicht Gesamthärte) einen Zusammenhang gibt:

Für gering mineralisierte Wässer:

$$M = 0,58 * LF + 0,001 * LF^2$$

Für Carbonat-Wässer:

$$M = 0,925 * LF$$

Für Gips-Wässer:

$$M = 0,95 * LF$$

Diese Abschätzungen für den Mineralstoffgehalt ersetzen aber keine genauen Härtebestimmungen.



Wasserkonditionierung – **Wasser enthärten und pH-Wert senken**

(1) Verhältnis von **Wirkstoffmolekülen** zu **Härtebildner** verbessern

- Wirkstoffmenge erhöhen
- Wasseraufwandmenge verringern
- Problem: **geringe Wasserlöslichkeit** einiger Wirkstoffe

(2) Härtebildner „austauschen“: **Ionenaustauscher**

- Na^+ -Ionen ersetzen Ca^{2+} -Ionen und Mg^{2+} -Ionen
- Anschaffung eines größer dimensionierten Ionenaustauschers zur professionellen Wasseraufbereitung



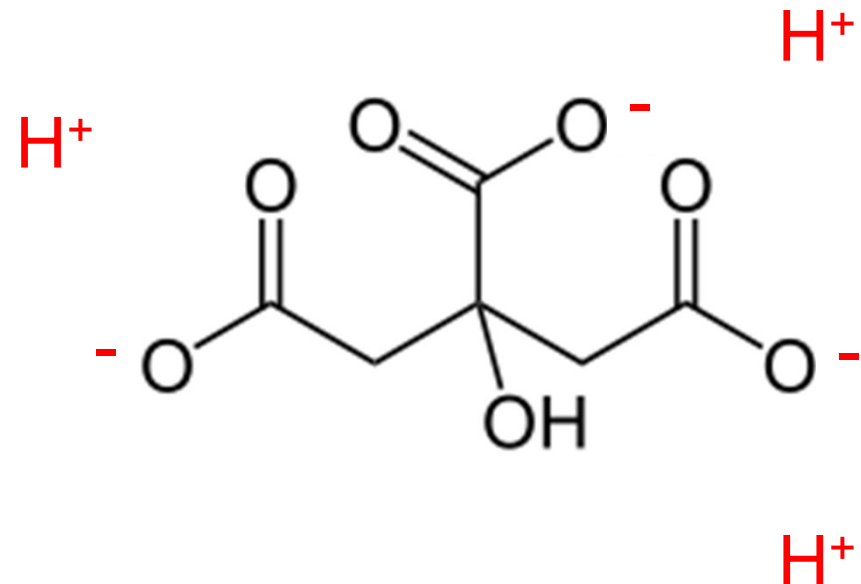
Wasserkonditionierung – Wasser enthärten und pH-Wert senken

(3) Zugabe von **Zusätzen**:

– **SSA** $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$



– **Zitronensäure** $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$





Wasserkonditionierung – kommerzielle Produkte





Wasserkonditionierung – kommerzielle Produkte



Produkt: **pH FIX 5**

Empfohlene Aufwandmenge:
0,05 – 0,2 %

Praxisversuche:
Ausgangs-pH des Wassers: **7,2**

Konzentration	pH-Wert Wasser
0,05 %	6,0
0,10 %	3,4
0,15 %	2,8
0,20 %	2,7



Wasserkonditionierung – kommerzielle Produkte



Produkt: **pH FIX 5**

Empfohlene Aufwandmenge:
0,05 – 0,2 %

Praxisversuche:
Ausgangs-pH des Wassers: **6,8**

Konzentration	pH-Wert Wasser
0,05 %	2,9
0,10 %	2,6
0,15 %	2,5
0,20 %	2,4



Wasserkonditionierung – kommerzielle Produkte



Produkt: **X-Change**

Empfohlene Aufwandmenge:
0,10 – 0,25 %

Praxisversuche:
Ausgangs-pH des Wassers: **7,2**

Konzentration	pH-Wert Wasser
0,10 %	5,7
0,15 %	5,3
0,20 %	5,1
0,25 %	4,9



Wasserkonditionierung – kommerzielle Produkte



Produkt: **X-Change**

Empfohlene Aufwandmenge:
0,10 – 0,25 %

Praxisversuche:
Ausgangs-pH des Wassers: **6,8**

Konzentration	pH-Wert Wasser
0,10 %	4,5
0,15 %	4,4
0,20 %	4,4
0,25 %	4,4



Wasserkonditionierung – kommerzielle Produkte



Produkt: **Kantor**

Empfohlene Aufwandmenge:
0,15 %

Praxisversuche:
Ausgangs-pH des Wassers: 6,8

Konzentration	pH-Wert Wasser
0,05 %	4,8
0,10 %	4,5
0,15 %	4,3



Wasserkonditionierung – kommerzielle Produkte



Produkt: **Li700**

Empfohlene Aufwandmenge:
1,0 – 1,5 l/ha

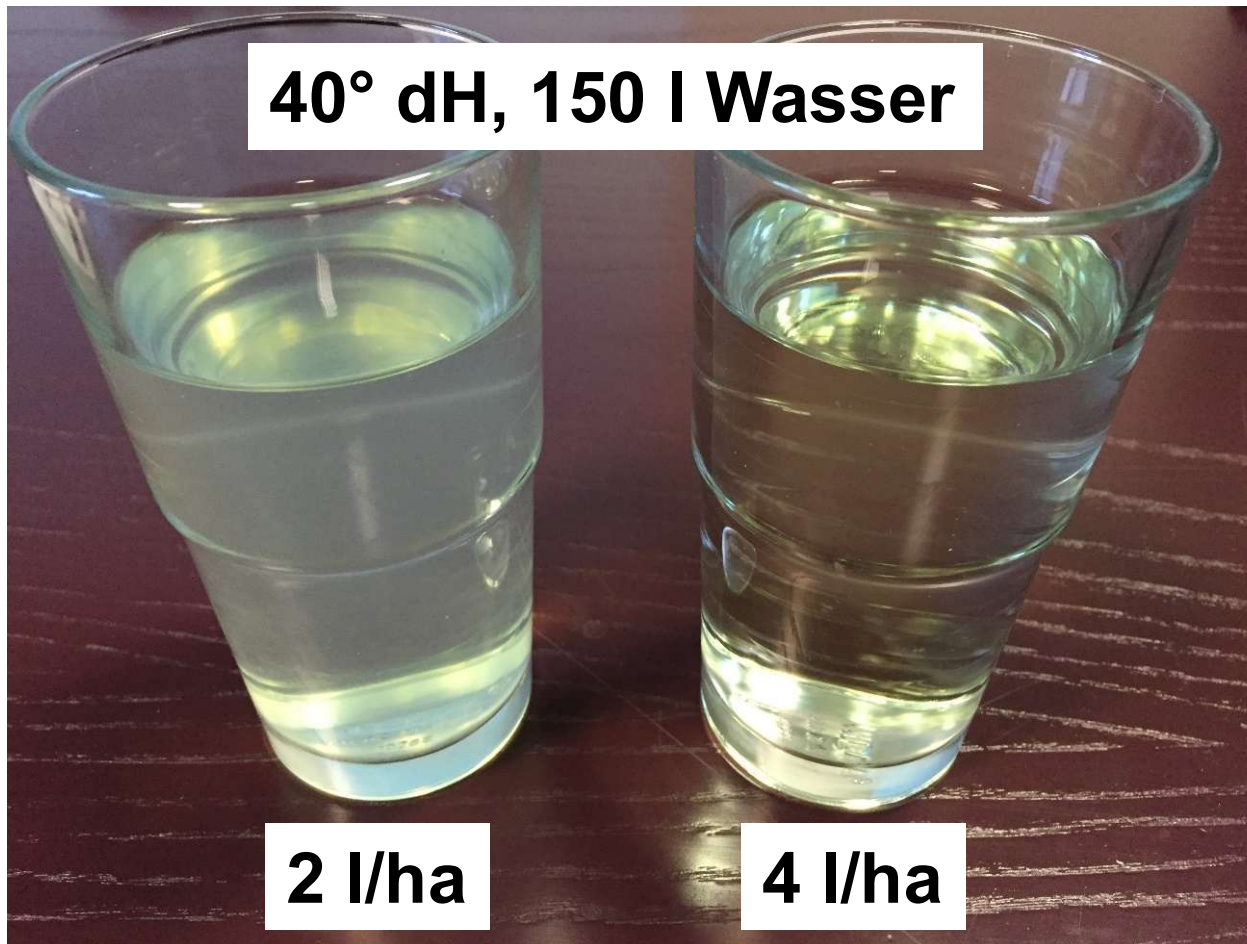
Praxisversuche:
Ausgangs-pH des Wassers: **6,8**

Konzentration	pH-Wert Wasser
0,1 %	3,8
0,3 %	3,5
0,5 %	3,4



Wasserkonditionierung – kommerzielle Produkte

Produkt: **Wuxal Top P** (neue Formulierung)



Faustformel:

**1 l Wuxal Top P
pro
10° dH**



Zusammenfassung

- Bestimmung der betriebsindividuellen Werte für Wasserhärte und pH-Wert sind unerlässlich
- Für die Konditionierung des Spritzwasser müssen die Anforderungen der Wirkstoffe bekannt sein
- Dabei muss zwischen Wirkstoffgruppen **und** Wirkstoffen innerhalb dieser Gruppen differenziert werden
- Als Zusätze eignen sich neben organischen Säuren und SSA auch kommerzielle Produkte