Erhöhung der Mobilität von Bor-Blattdüngern durch den Zusatz von Polyolen?

18. Tagung des AK Blattdüngung,
07.10.2010, Osnabrück

PD Dr. Tom Eichert, INRES-Pflanzenernährung

universitätbonn INRES
Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz

In den meisten Pflanzenarten gilt Bor als „immobil“

- geringere B-Konzentrationen in jüngeren Blättern
- blattappliziertes Bor bleibt im Blatt
- kontinuierliche B-Versorgung erforderlich

  → Blattdüngung verbessert nicht die B-Versorgung der Wurzeln und der nach der B-Applikation gebildeten Blätter

Warum ist B nicht mobil?

- da B in der Zellwand sehr fest gebunden ist
  (Brown und Hu 1994)

- da das kleine, elektrisch neutrale Borsäure-Molekül sehr membrangängig ist
  (Oertli und Richardson 1970)

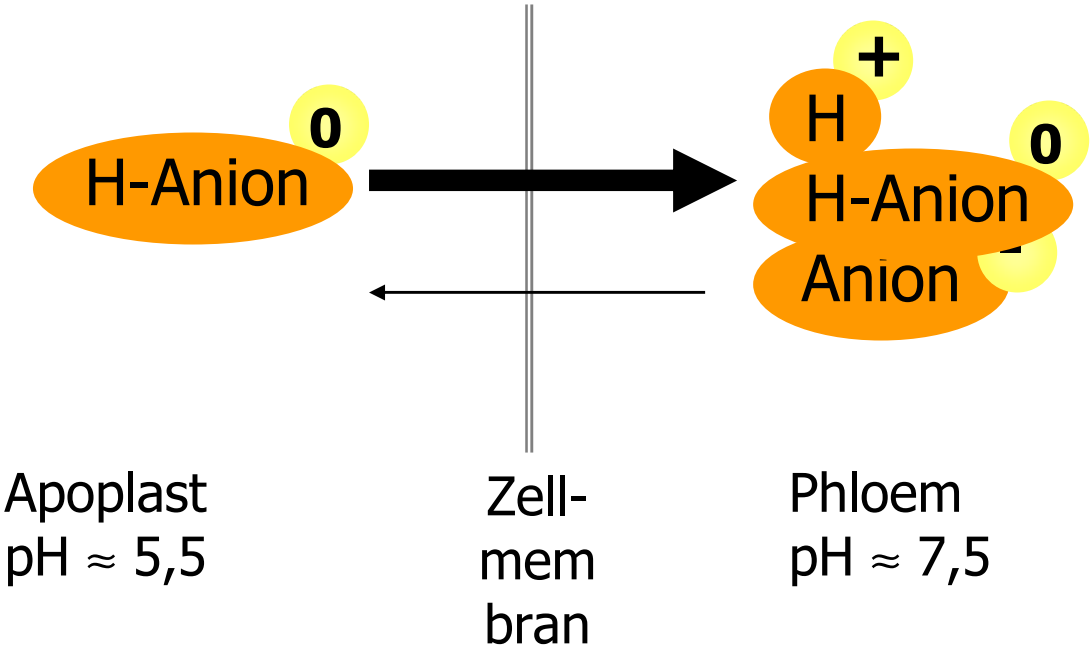
Wann ist eine Substanz Phloem-mobil?

Zwei Hypothesen

1. **Intermediate permeability (Tyree et. al 1979)**

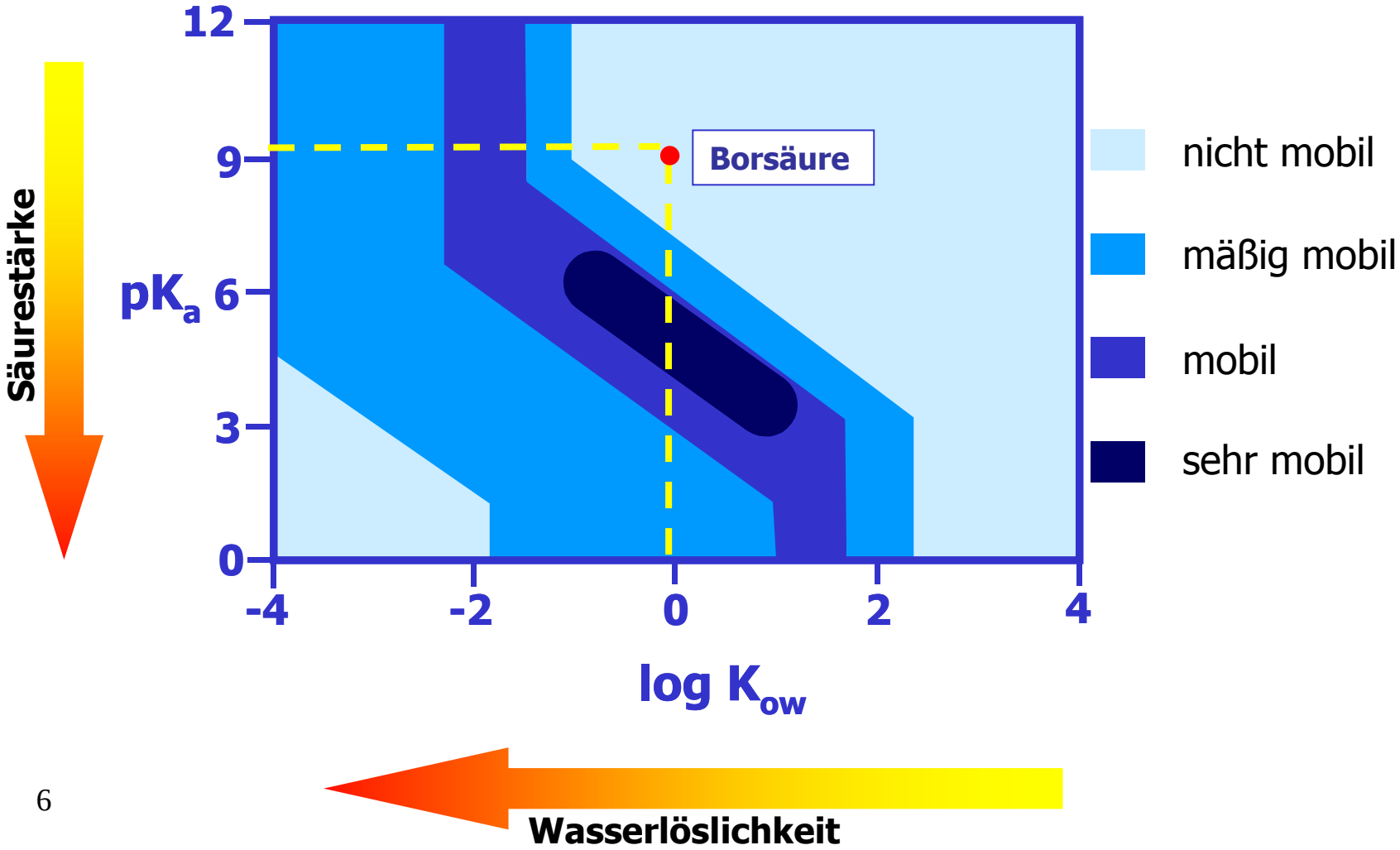
Membran-permeabilität	**Phloemmobilität**
niedrig	kann nicht ins Phloem eindringen
hoch	dringt rasch ein, tritt aber genauso rasch (noch im Blatt) wieder aus
mittel	**dringt ein, wird bis zum Wiederaustritt aus dem Blatt verlagert**

2. Weak acid –Hypothese (Crisp 1972)

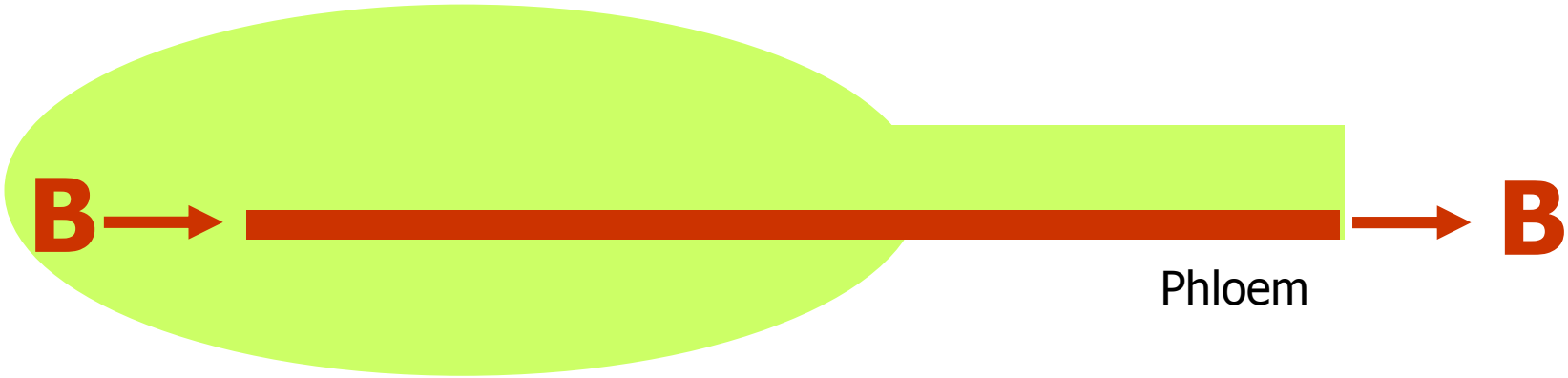


⇒ Substanzen mit mittlerer Säurestärke sind phloemmobil

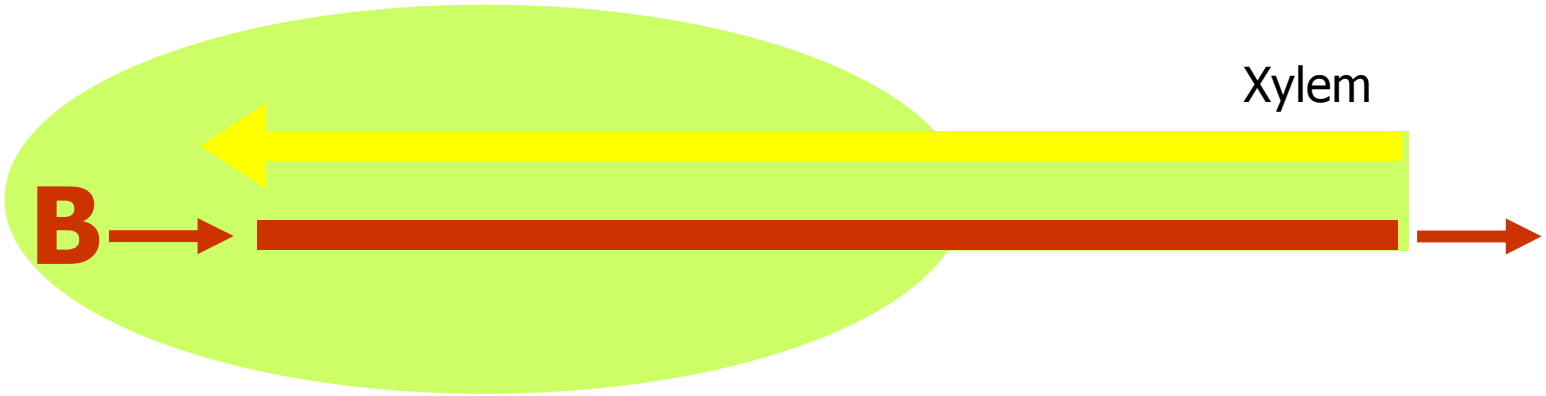
Modell für Xenobiotika von Kleier, Hsu und MA



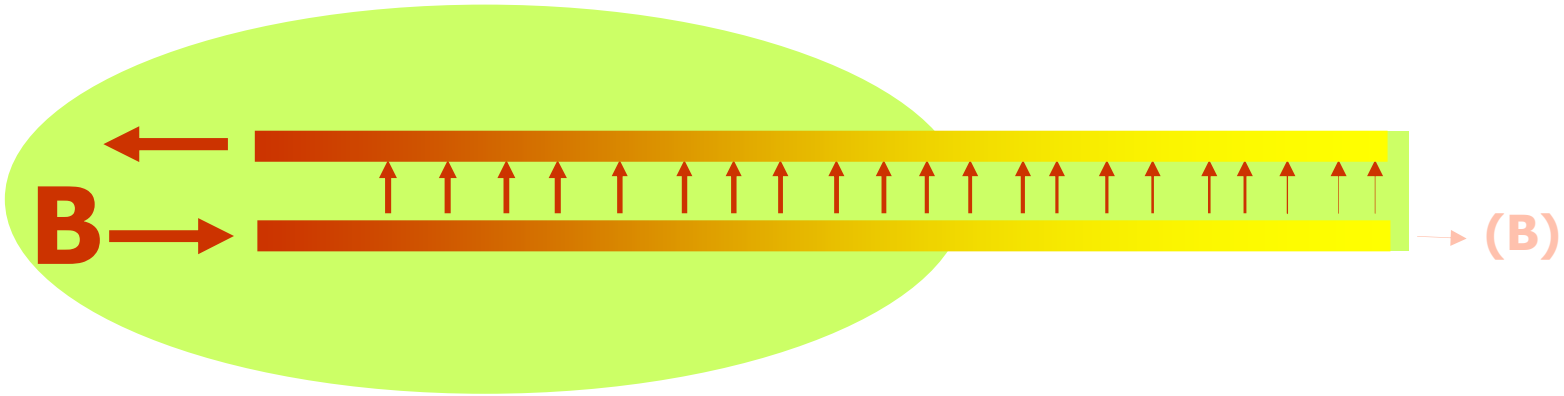
Hypothese von Oertli und Richardson (1970):



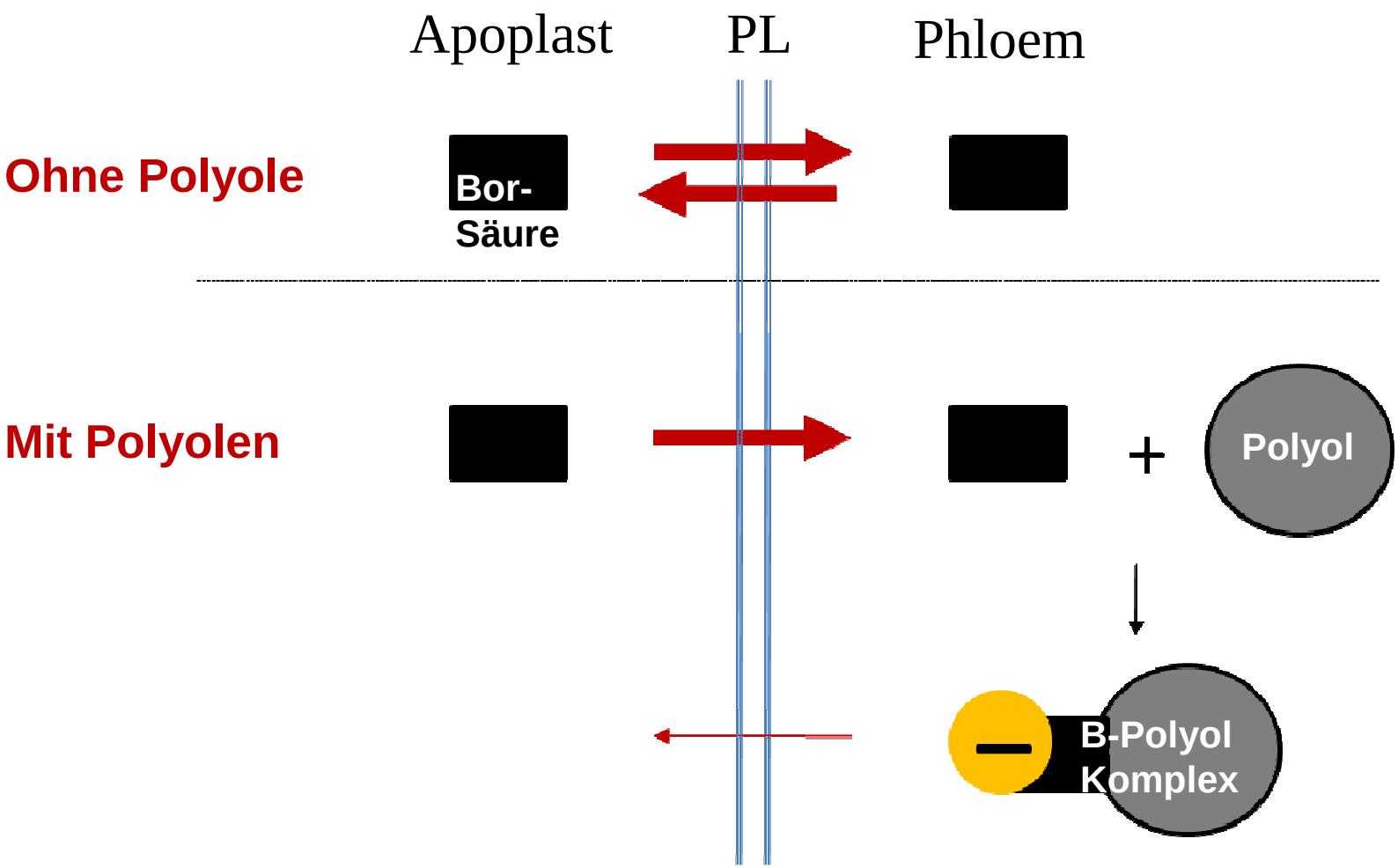
Hypothese von Oertli und Richardson:



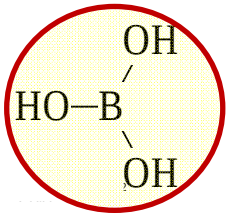
Hypothese von Oertli und Richardson:

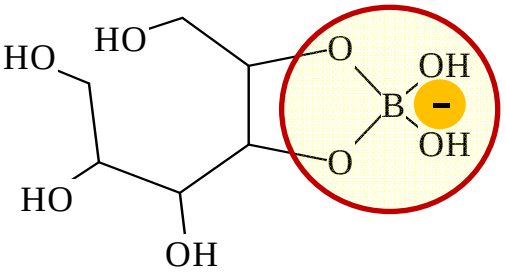


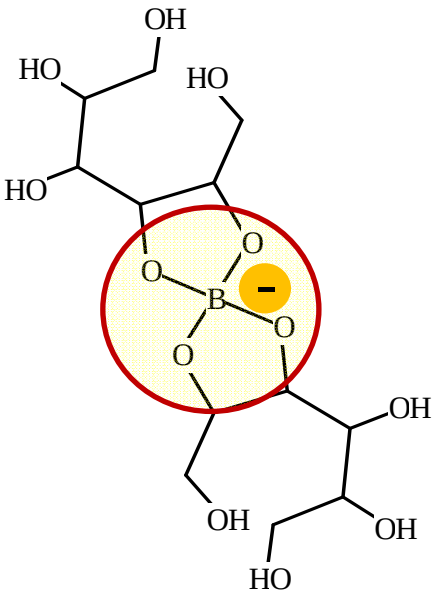
Mechanismus der B-Phloemmobilität in Pflanzen, die Polyole besitzen



Chemie der B-Polyol-Komplexe







Borsäure
Mr = 61.8
Log K_{OW} = 0.757

B-mannitol
Mr = 225.0
Log K_{OW} = -4.79

B-mannitol$_2$
Mr = 371.1
Log K_{OW} = -9.61

Hypothese:

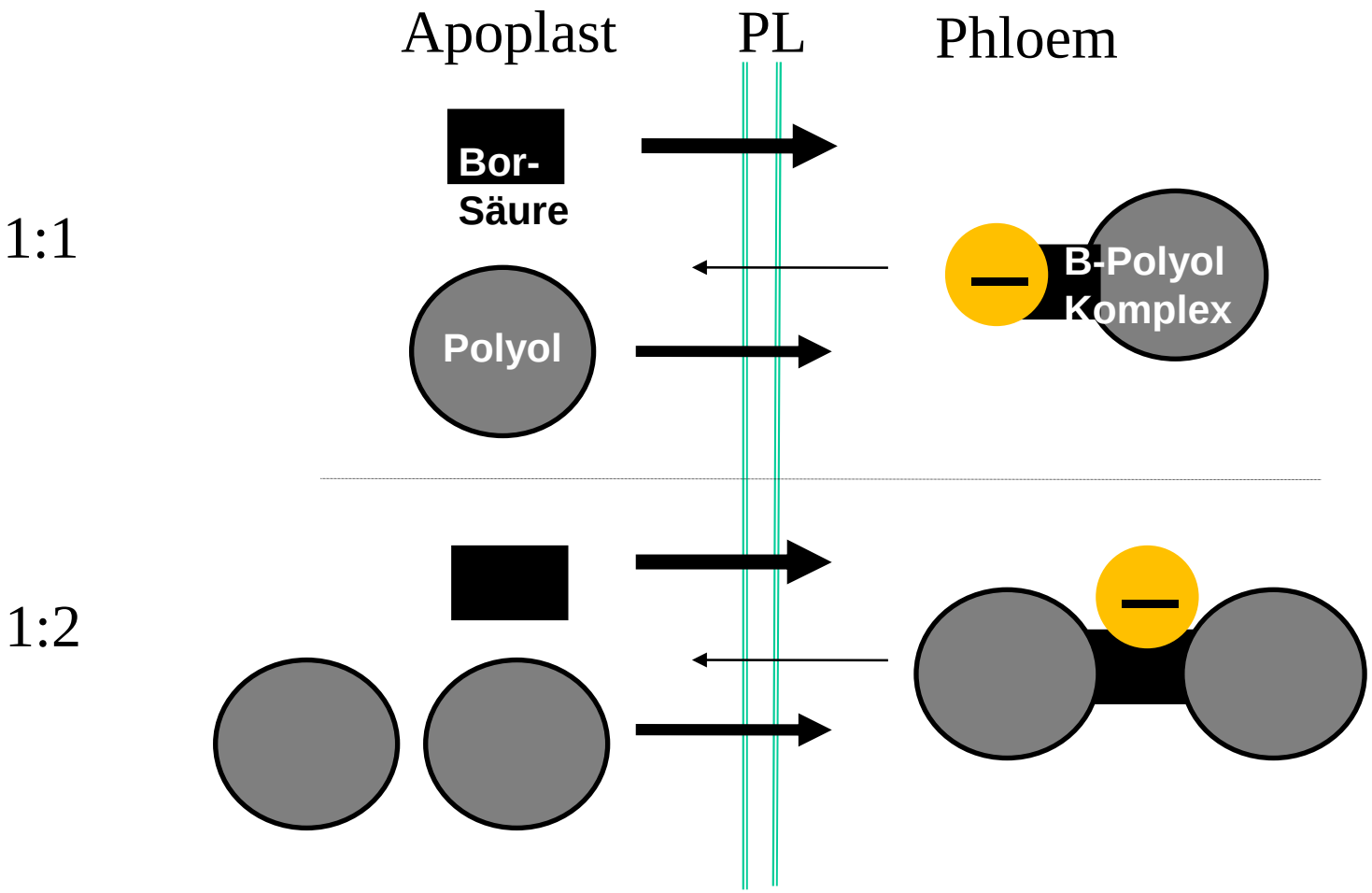
Wenn Borsäure bei der Blattdüngung zusammen mit Polyolen appliziert wird, kann die Phloemmobilität von B erhöht werden

Fragen

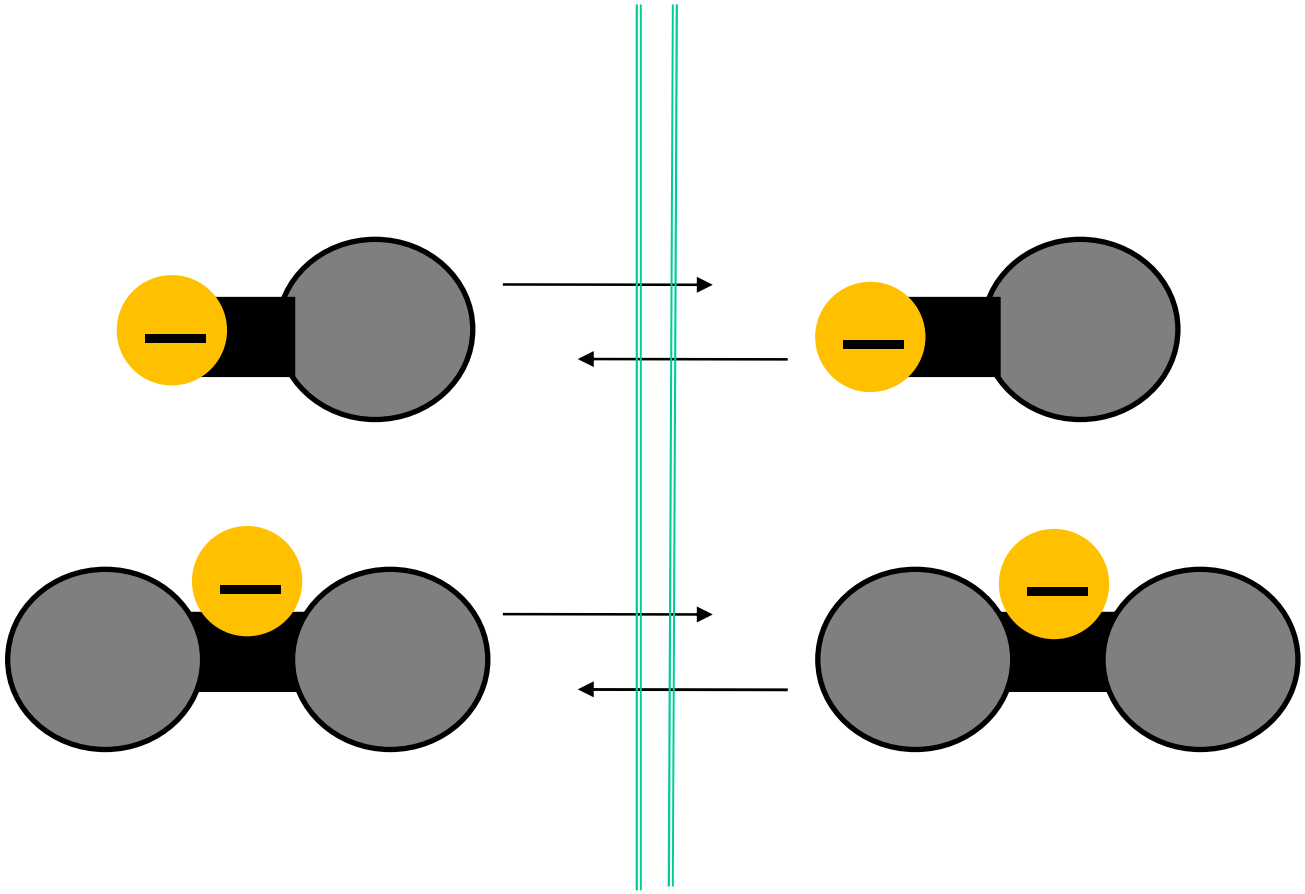
Welcher Anteil der Borsäure ist bereits außerhalb des Phloems (d.h. auf der Blattoberfläche, im Apoplasten) komplexiert?

Führt der Wechsel des pH-Werts beim Übertritt vom Apoplasten in das Phloem zu einer Erhöhung des Anteils an komplexiertem B?

Der ideale Fall: Komplexierung erst im Phloem



Ungünstig: Komplexierung bereits außerhalb des Phloems



3 Reaktionsgleichungen

$$\text{Borsäure} + \text{Polyol} \rightleftharpoons \text{Borat-Polyol-Komplex}^- + H^+ \quad K_1$$

B P BP^- H^+

$$\text{Borsäure} + 2\ \text{Polyol} \rightleftharpoons \text{Borat-Polyol}_2\text{-Komplex}^- + H^+ \quad K_2$$

BP_2^-

$$\text{Borsäure} \rightleftharpoons \text{Borat}^- + H^+ \quad K_S$$

B^-

6 Unbekannte, 3 Gleichungen?

2 Massenbilanzen

$$[B_{gesamt}] = [B] + [B^-] + [BP^-] + [BP_2^-]$$

$$[P_{gesamt}] = [P] + [BP^-] + 2\,[BP_2^-]$$

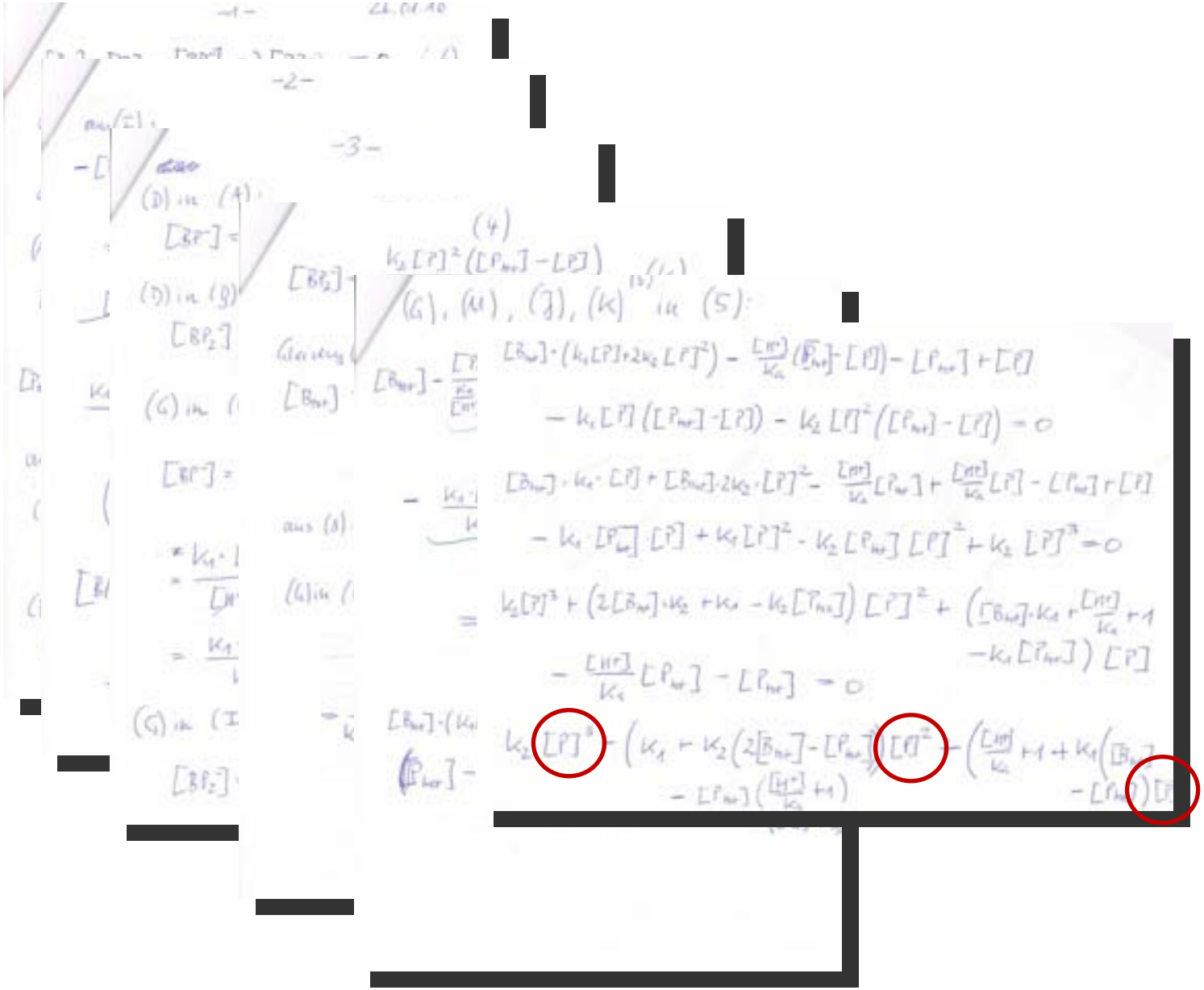
6 Unbekannte + 2 weitere Unbekannte (B_{gesamt}, P_{gesamt})
= 8 Unbekannte

3 Reaktionsgleichungen +2 Massenbilanz-Gleichungen
= 5 Gleichungen

Bei festem pH fällt $[H^+]$ als Unbekannte weg
Wenn $[B_{gesamt}]$ und $[P_{gesamt}]$ bekannt ist:

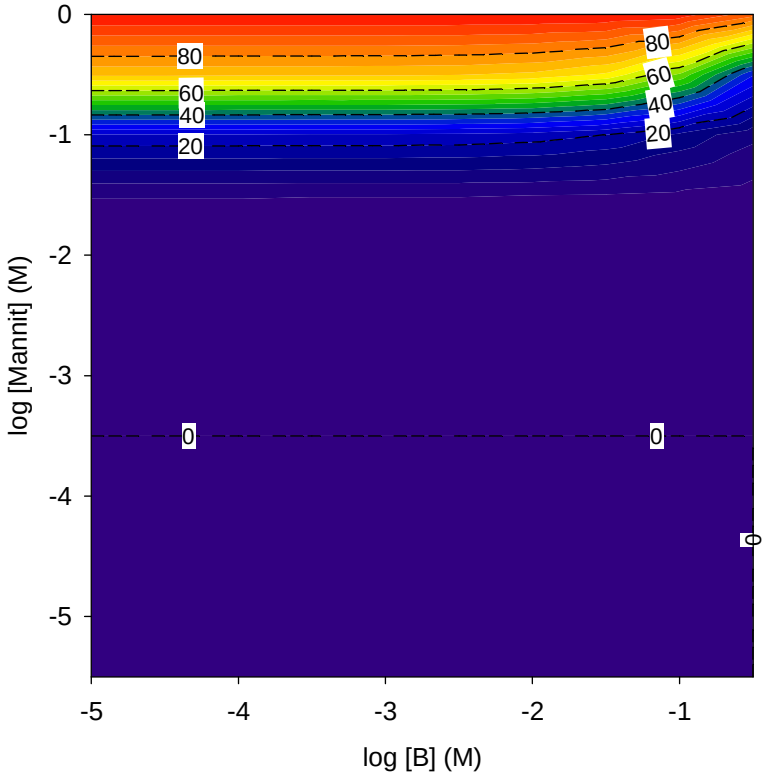
→ 5 Unbekannte, 5 Gleichungen → lösbar!

5 x 5 Gleichungssystem

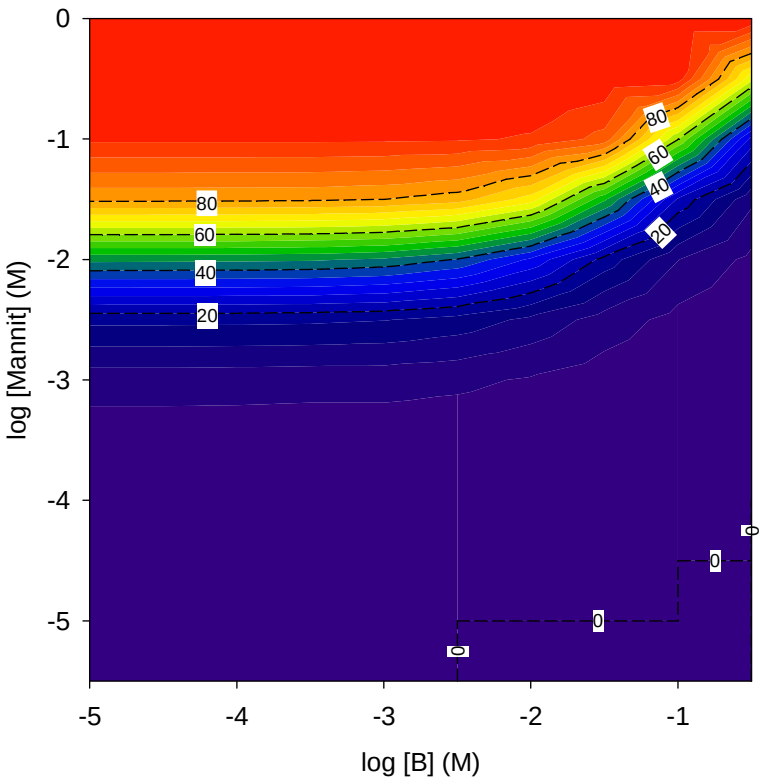


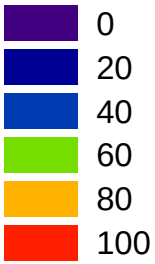
Anteil des durch Mannit komplexierten B

pH 5.5 (Apoplast)



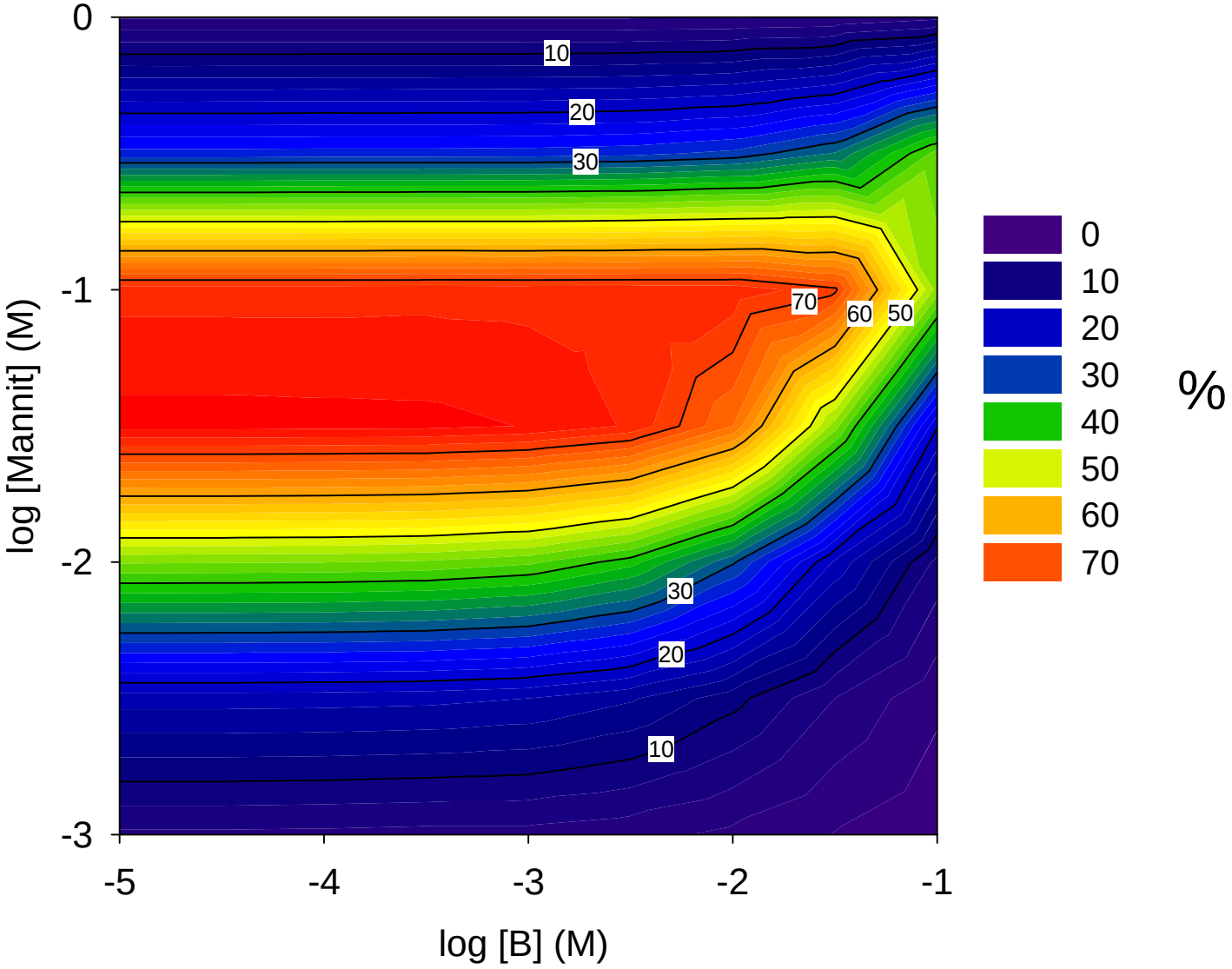
pH 7.5 (Phloem)





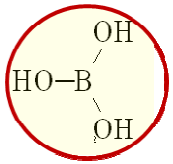
% von B_{gesamt}

Relativer Anstieg der Mannit-B-Komplexe beim Wechsel von pH 5.5 nach pH 7.5

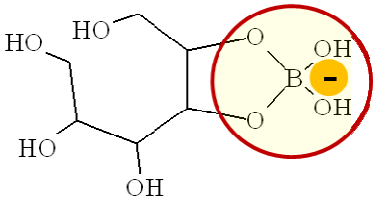


Starke und mittelstarke Komplexbildner

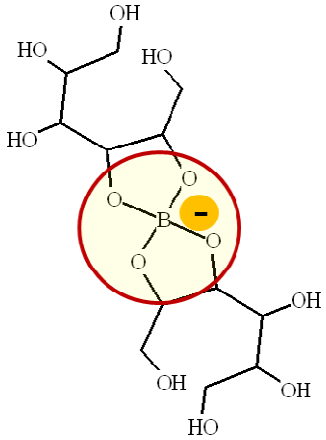
Stark:
Mannitol
Sorbitol
Dulcitol
Fructose
…



Borsäure
Mr = 61.8
Log K_{OW} = 0.757

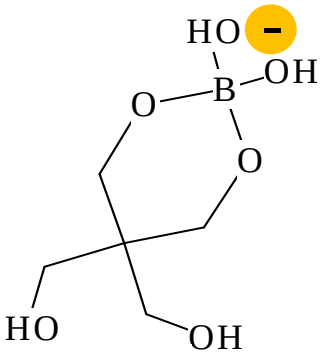


B-mannitol
Mr = 225.0
Log K_{OW} = -4.79

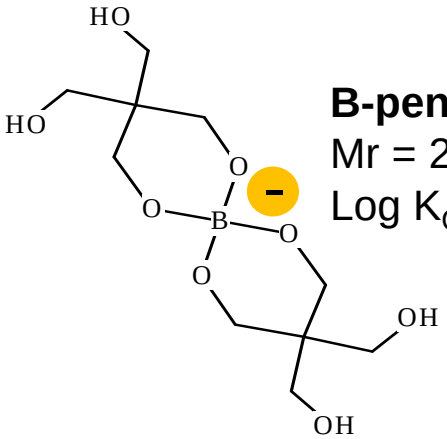


B-mannitol$_2$
Mr = 371.1
Log K_{OW} = -9.61

Mittelstark:
Pentaerythrit
Glukonsäure
Glukuronsäure
…

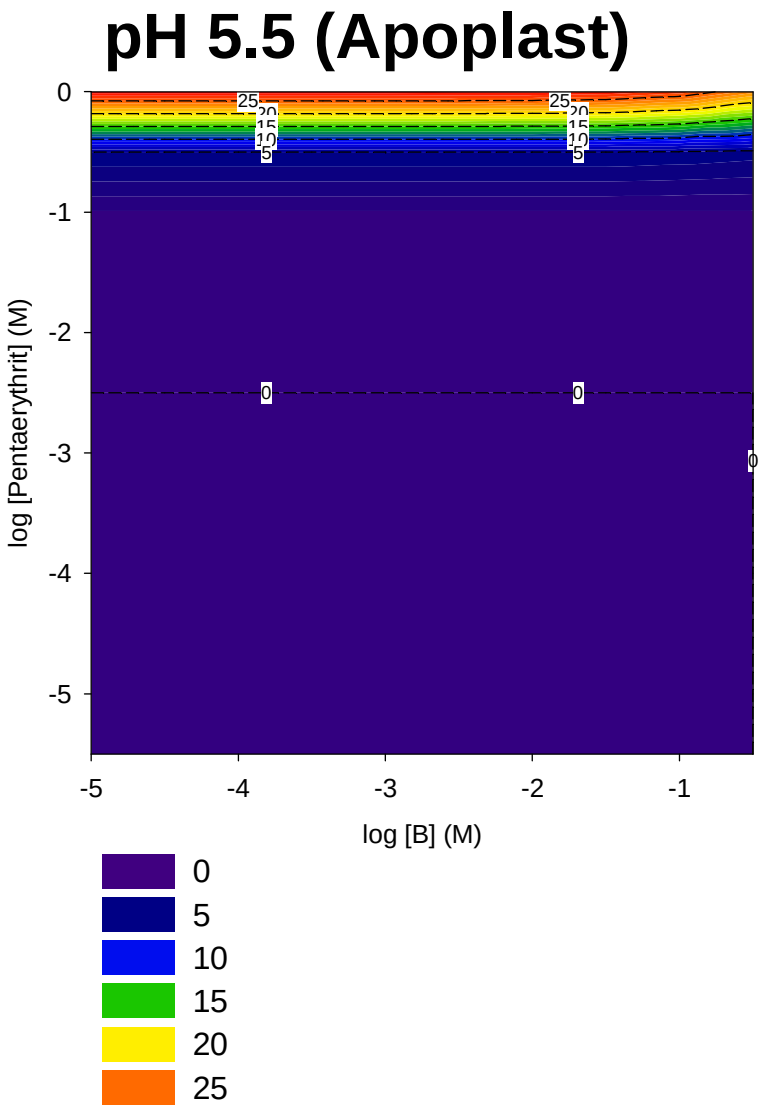


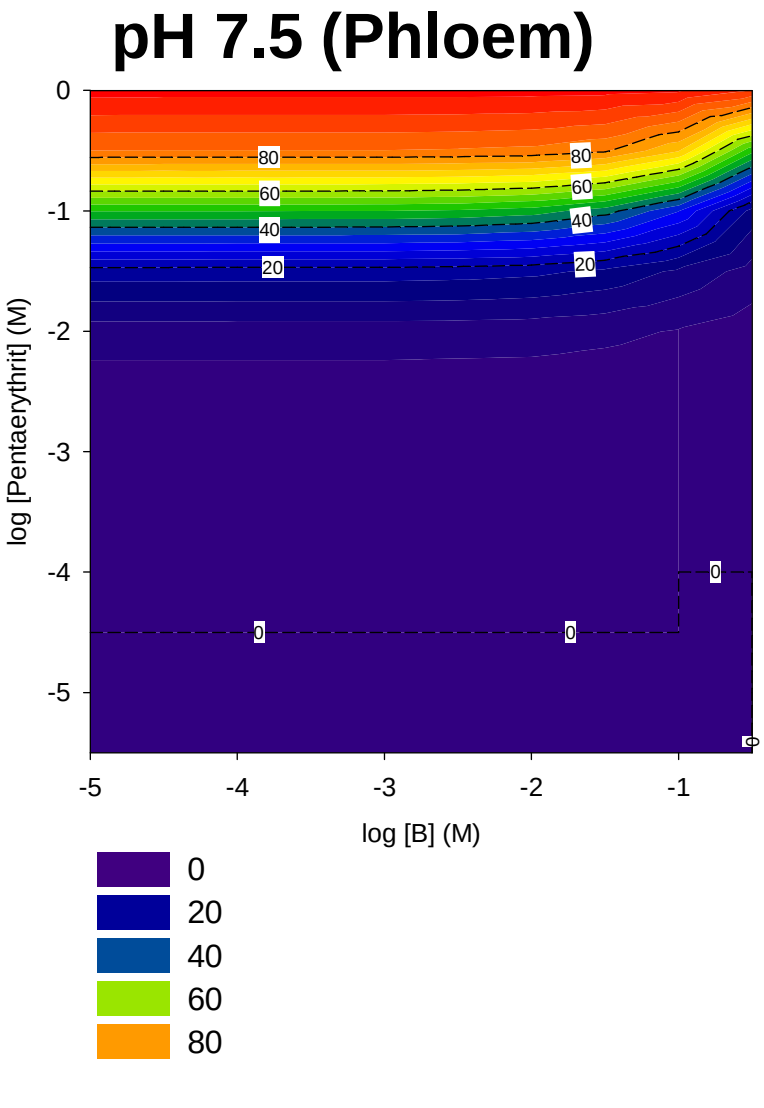
B-pentaerythrit
Mr = 179.0
Log K_{OW} = -2.76



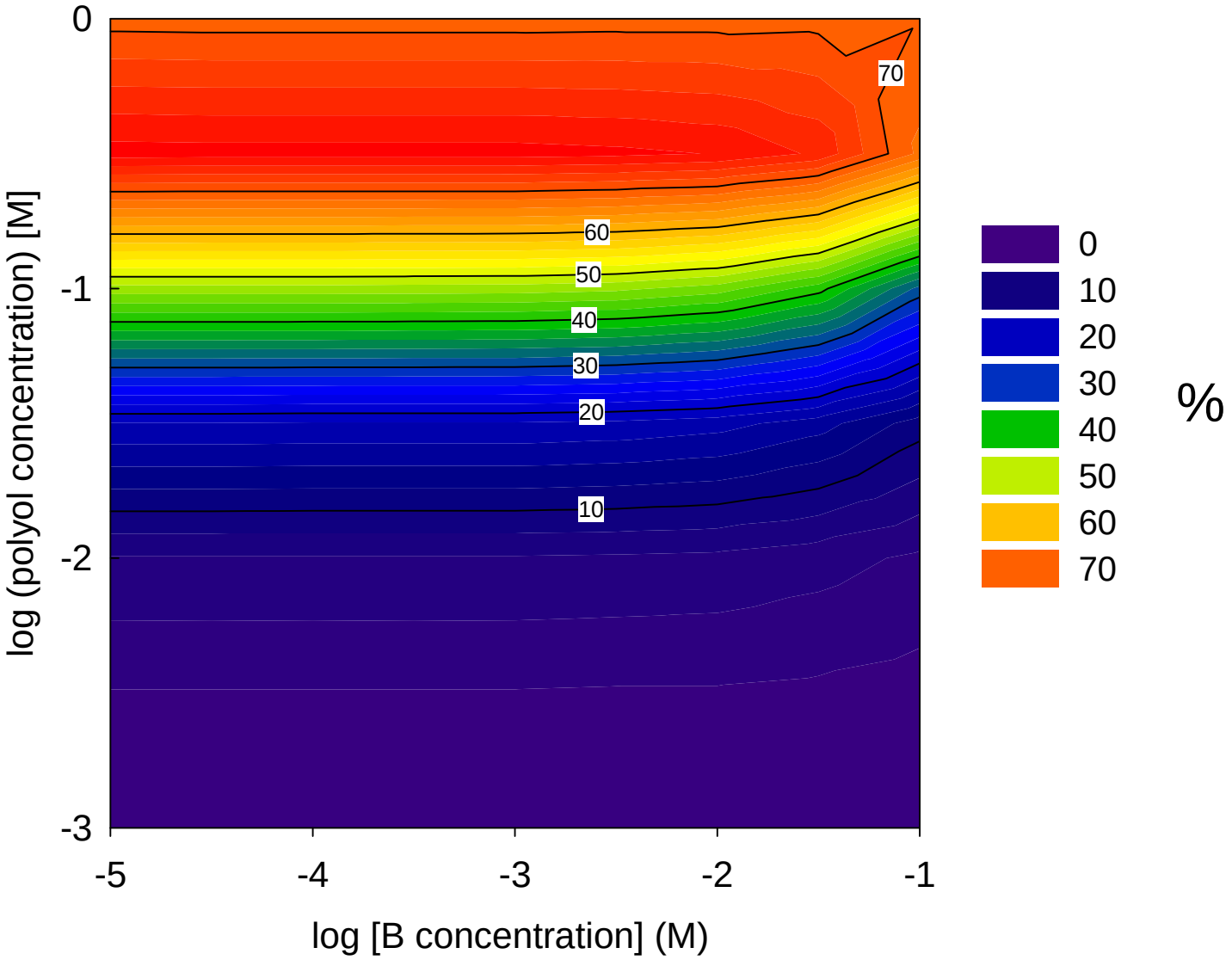
B-pentaerythrit$_2$
Mr = 279.1
Log K_{OW} = -5.56

Anteile des durch Pentaerythrit komplexierten B

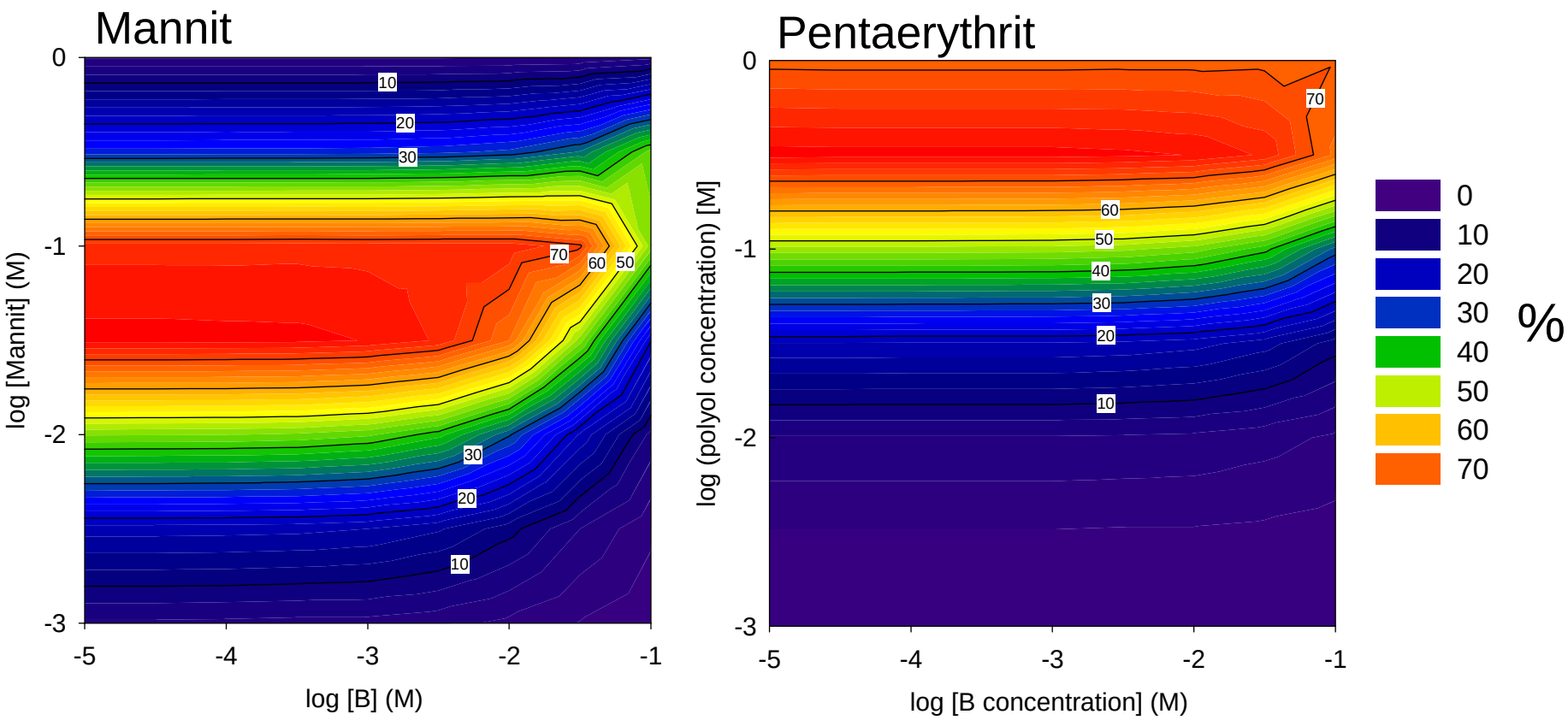




Relativer Anstieg der Pentaerythrit-B-Komplexe beim Wechsel von pH 5.5 nach pH 7.5



Vergleich Mannit – Pentaerythrit (pH 5.5 nach pH 7.5)

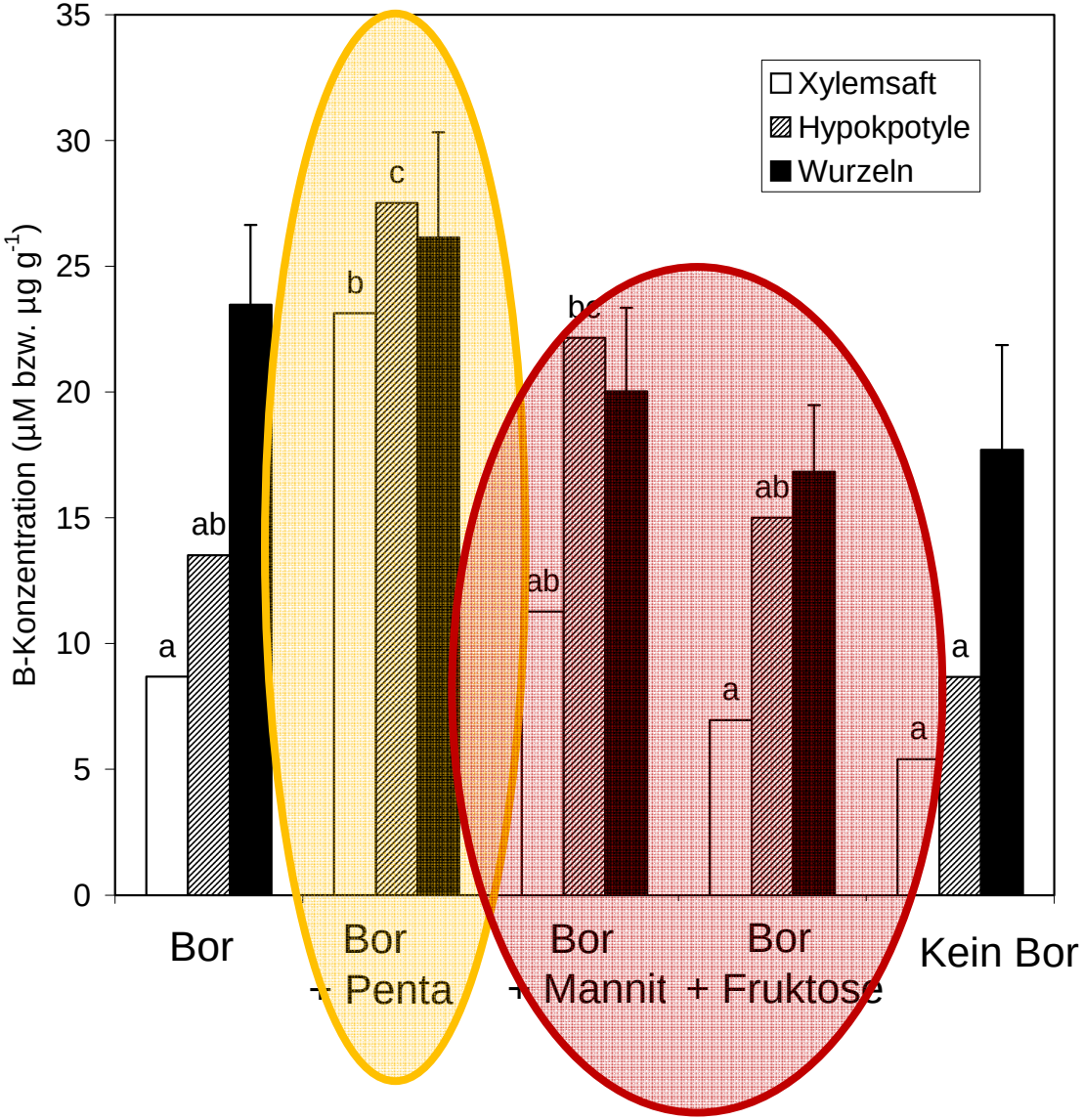


Fazit - Was folgt aus diesen theoretischen Überlegungen?

- Sowohl der starke B-Komplexbildner **Mannit** als auch der schwächere B-Komplexbildner **Pentaerythrit** könnten theoretisch zu einer Anreicherung von Bor im Phloem führen
- für eine substantielle B-Anreicherung ist bei **Pentaerythrit** eine wesentlich höhere Konzentration erforderlich als bei **Mannit**
- **Mannit** ist jedoch hydrophiler als **Pentaerythrit**
  → ist daher weniger Membran-permeabel
- außerdem komplexiert **Mannit** bei pH-Werten von 5-6 einen höheren Anteil von B als **Pentaerythrit**
  → bereits im Apoplasten bilden sich mit Mannit höhere Anteile von B-Komplexen, die kaum ins Phloem aufgenommen werden können

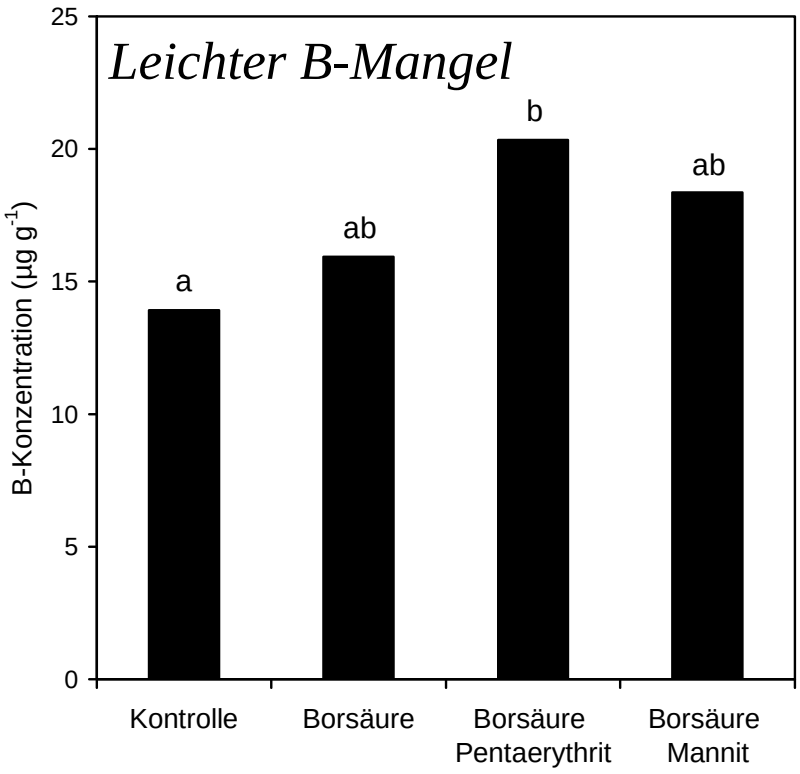
Keine eindeutigen Vorteile für starke (Mannit) oder mittelstarke (Pentaerythrit) Komplexbildner ableitbar!

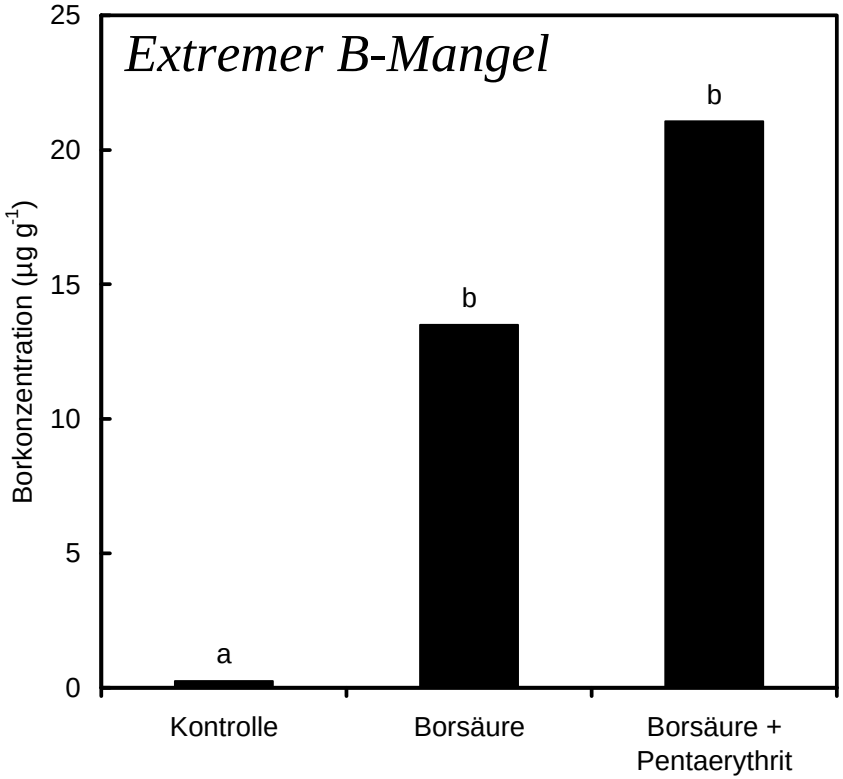
Einfluss von Polyolen auf die B-Verlagerung in Ricinus-Keimlingen



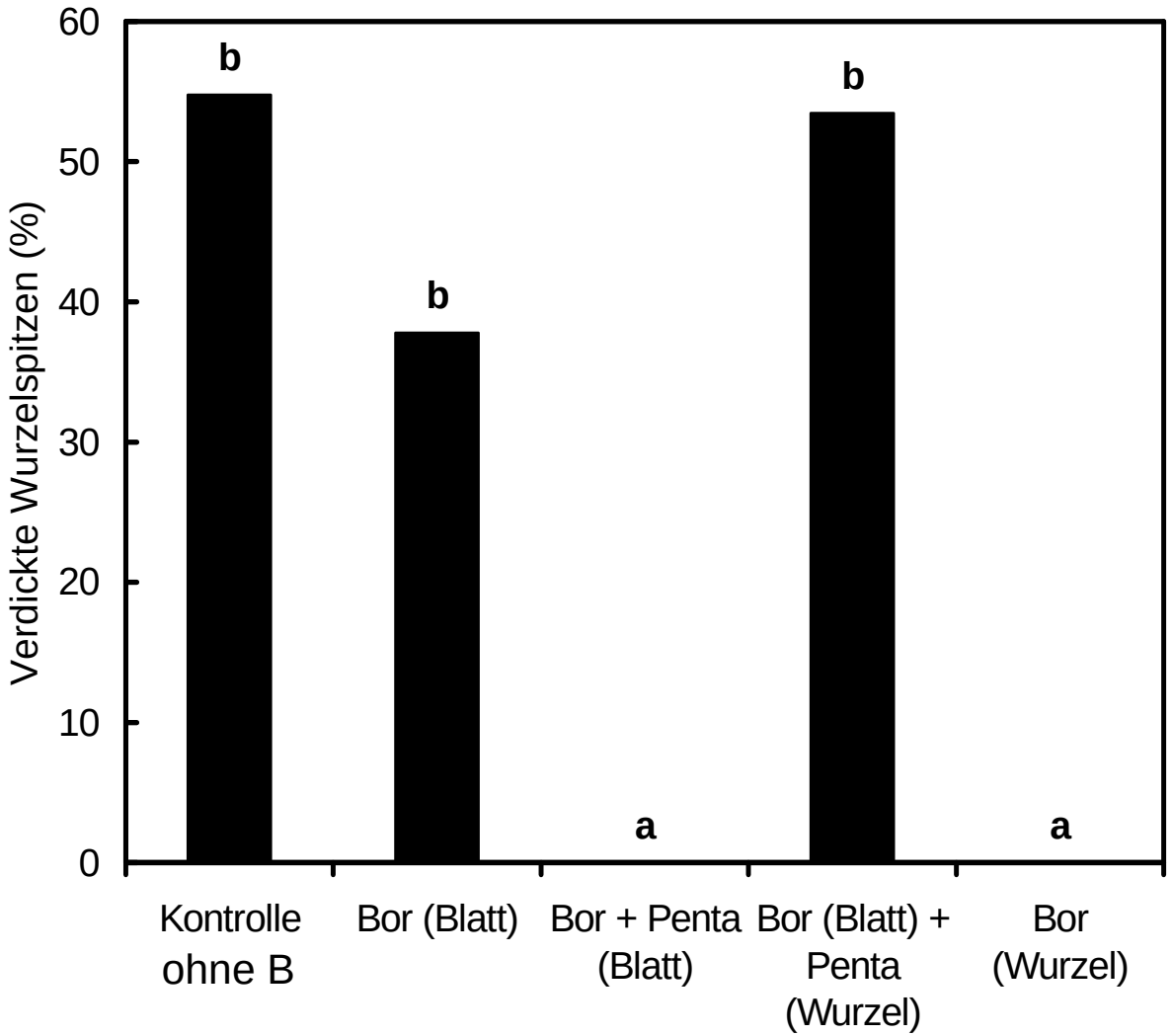
Blattdüngung mit
10 mM Borsäure
100 mM Polyol

Einfluss von einer B-Blattdüngung mit oder ohne Polyolen auf die B-Konzentration in Spross-Spitzen in *Vicia faba*

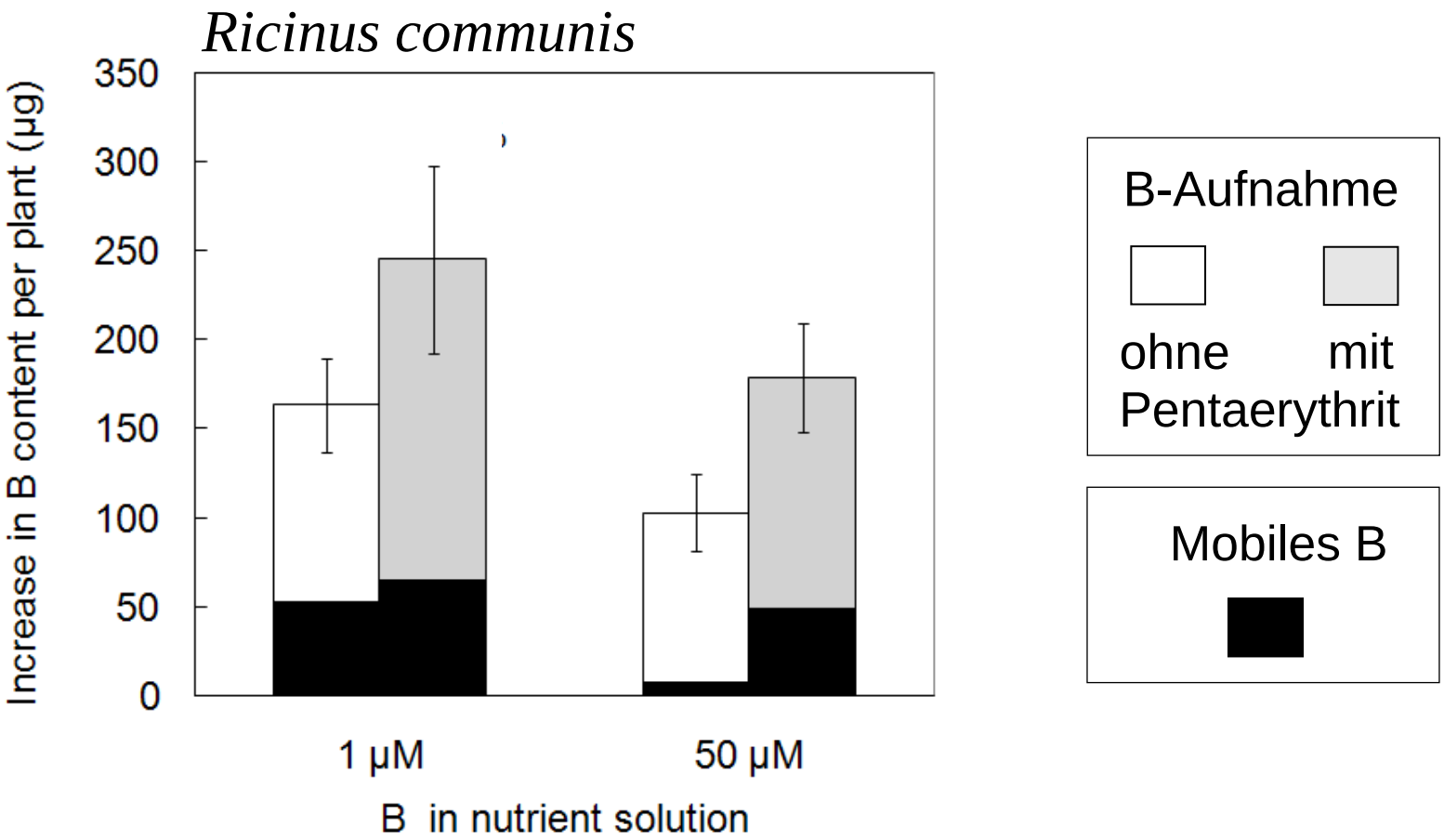




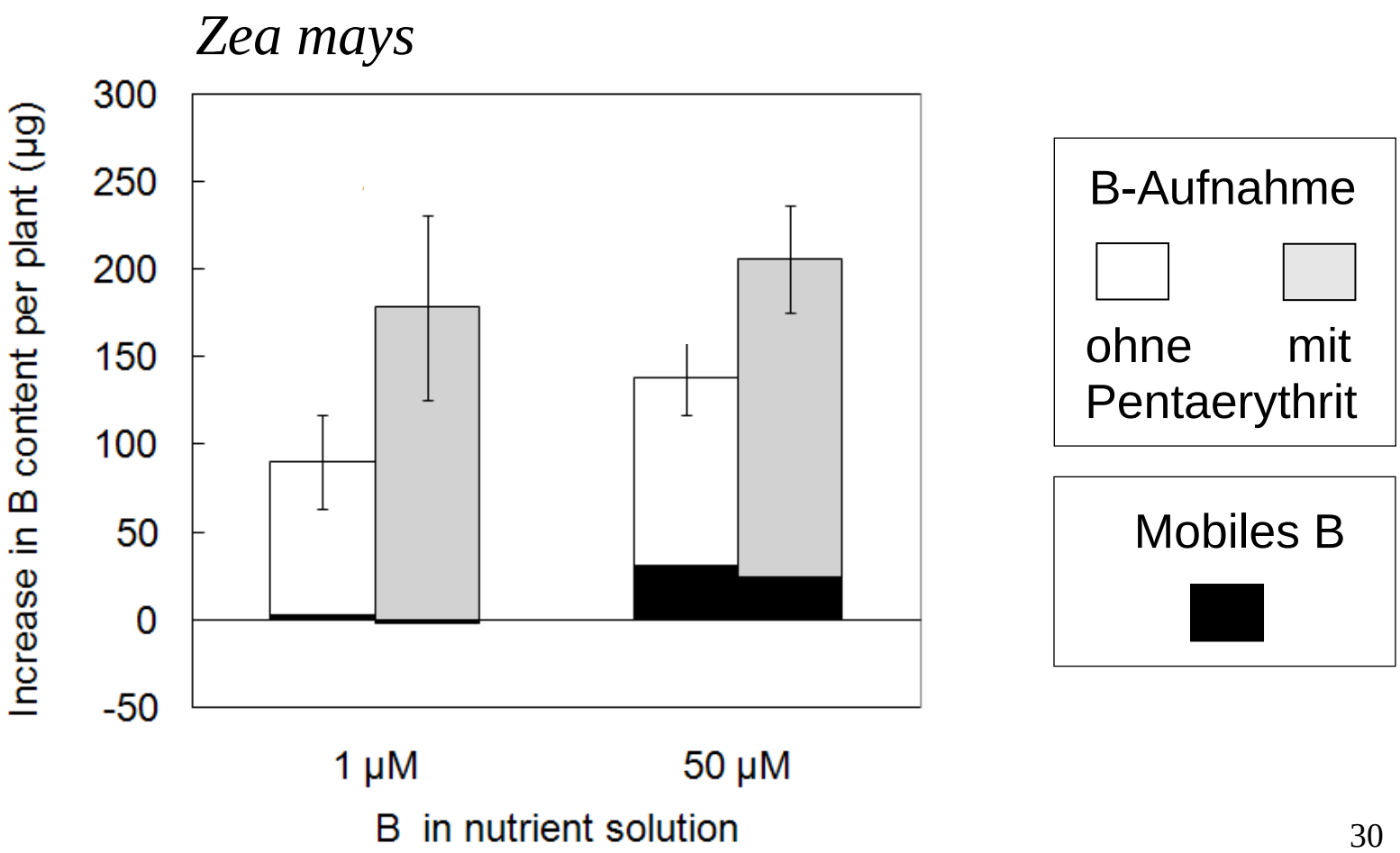
Effekt einer B-Blattdüngung mit/ohne Pentaerythritol auf B-Mangelsymptome der Wurzeln von *Vicia faba*



Einfluss des B-Versorgungszustands auf den Effekt von Pentaerythrit auf die B-Mobilität



Einfluss des B-Versorgungszustands auf den Effekt von Pentaerythrit auf die B-Mobilität



Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

- Bor ist nur in Polyol-produzierenden Pflanzenarten mobil, da sich in diesen B-Polyol-Komplexe im Phloem bilden
- In allen anderen Pflanzenarten ist B dagegen nicht mobil, wodurch Wurzeln und neugebildete Sprossteile nicht von einer B-Blattdüngung profitieren können.
- Theoretisch wäre es denkbar, in diesen Pflanzenarten durch die kombinierte Blattapplikation von B zusammen mit Polyolen künstlich zu induzieren
- Theoretisch könnten sowohl starke als auch mittelstarke Komplexbildner zu einer B-Anreicherung im Phloem führen.

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

- Starke Komplexbildner wie Mannit sind allerdings oft so lipophob, dass sie nicht in ausreichenden Raten ins Phloem aufgenommen werden können.
- Weniger starke Komplexbildner wie Pentaerythrit könnten besser geeignet sein, allerdings erfordern sie für eine ausreichende B-Komplexierung weitaus höhere Konzentrationen als die starken Komplexbildner
- Erste Pflanzenversuche ergaben, dass starke Komplexbildner wie Mannit, Sorbit oder Fructose die B-Mobilität weniger stark erhöhten als der nur mittelstarke Komplexbildner Pentaerythrit
- Der Effekt von Pentaerythrit auf die B-Mobilität war jedoch variabel, meistens gering und abhängig vom B-Status und der Pflanzenart