

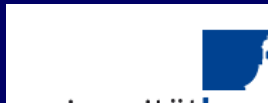
Der stomatäre Pfad der Blattdüngung – seine Bedeutung für den pflanzlichen Wasserhaushalt

Jürgen Burkhardt¹, Mauricio Hunsche², Shyam Pariyar¹

Institute of Crop Science and Resource Conservation

¹Plant Nutrition Group, ²Horticultural Science Group

University of Bonn, Germany



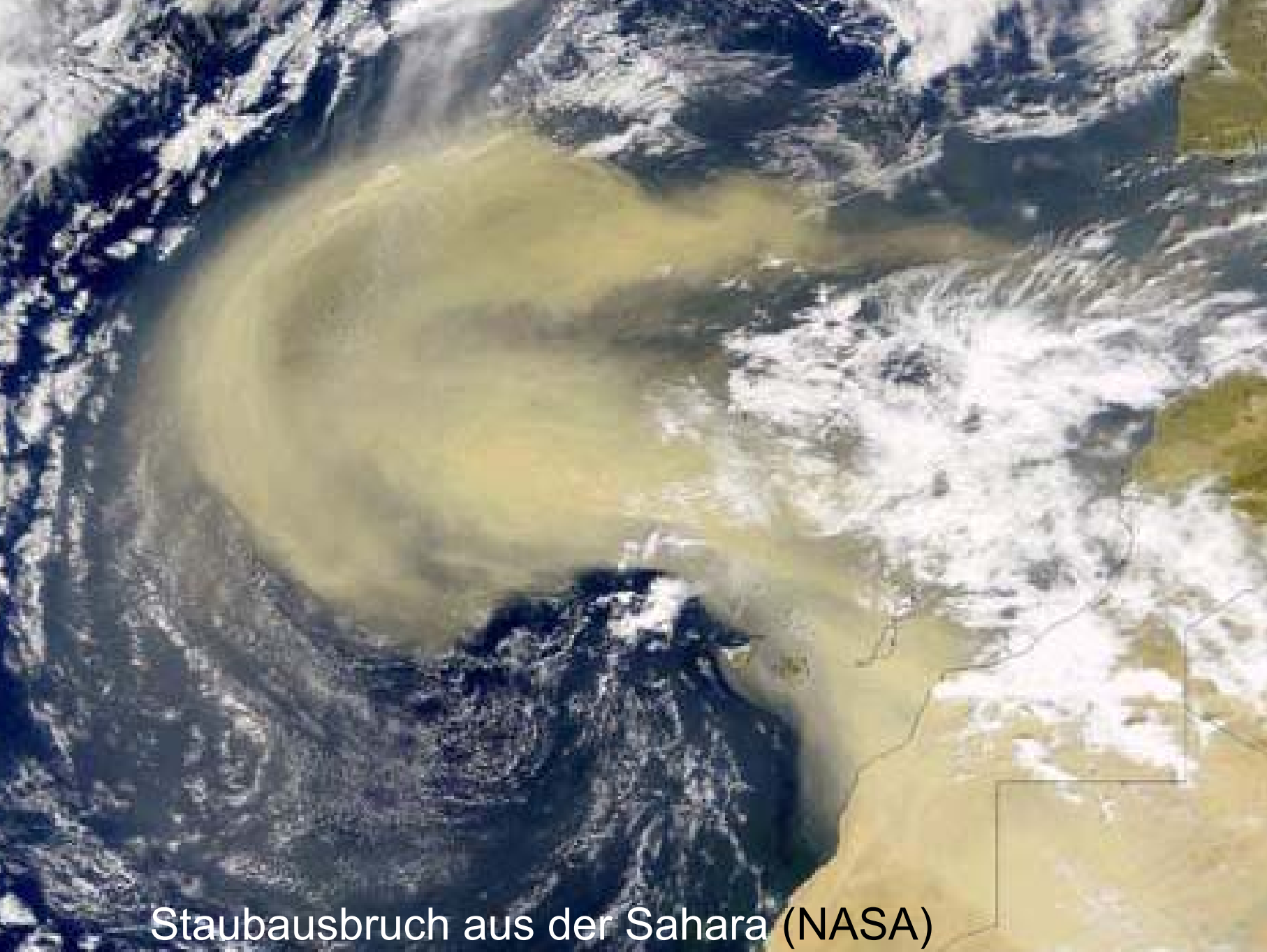


Stomatärer Transport – der beim AK Blattdüngung

- **Lange Geschichte**
- **Klare Fronten**
- **Praktische Bedeutung?**
- **Neue Entwicklungen**

Überblick

- **„Natürliche Blattdüngung“**
- **Stomatärer Pfad**
- **Blattdüngung und Wasserhaushalt**
- **„Sikkationsmittel“**
- **Zusammenfassung**



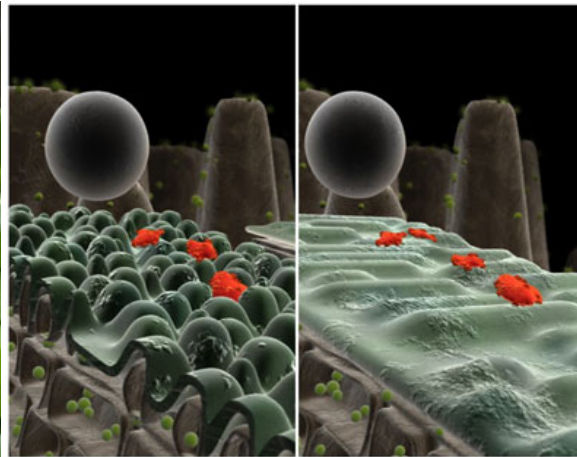
Staubausbruch aus der Sahara (NASA)

„Natürliche Blattdüngung“

- Atmosphärische Partikel oder Gase**
- Einige Ökosysteme wie z.B. das Amazonasbecken hängen von Aerosoleinträgen ab**
- Für die Einzelpflanze ist die Aufnahme über das Blatt sinnvoll – Vermeidung von Konkurrenz**

Gibt es Anpassungen von Pflanzen an natürliche Partikelregime?

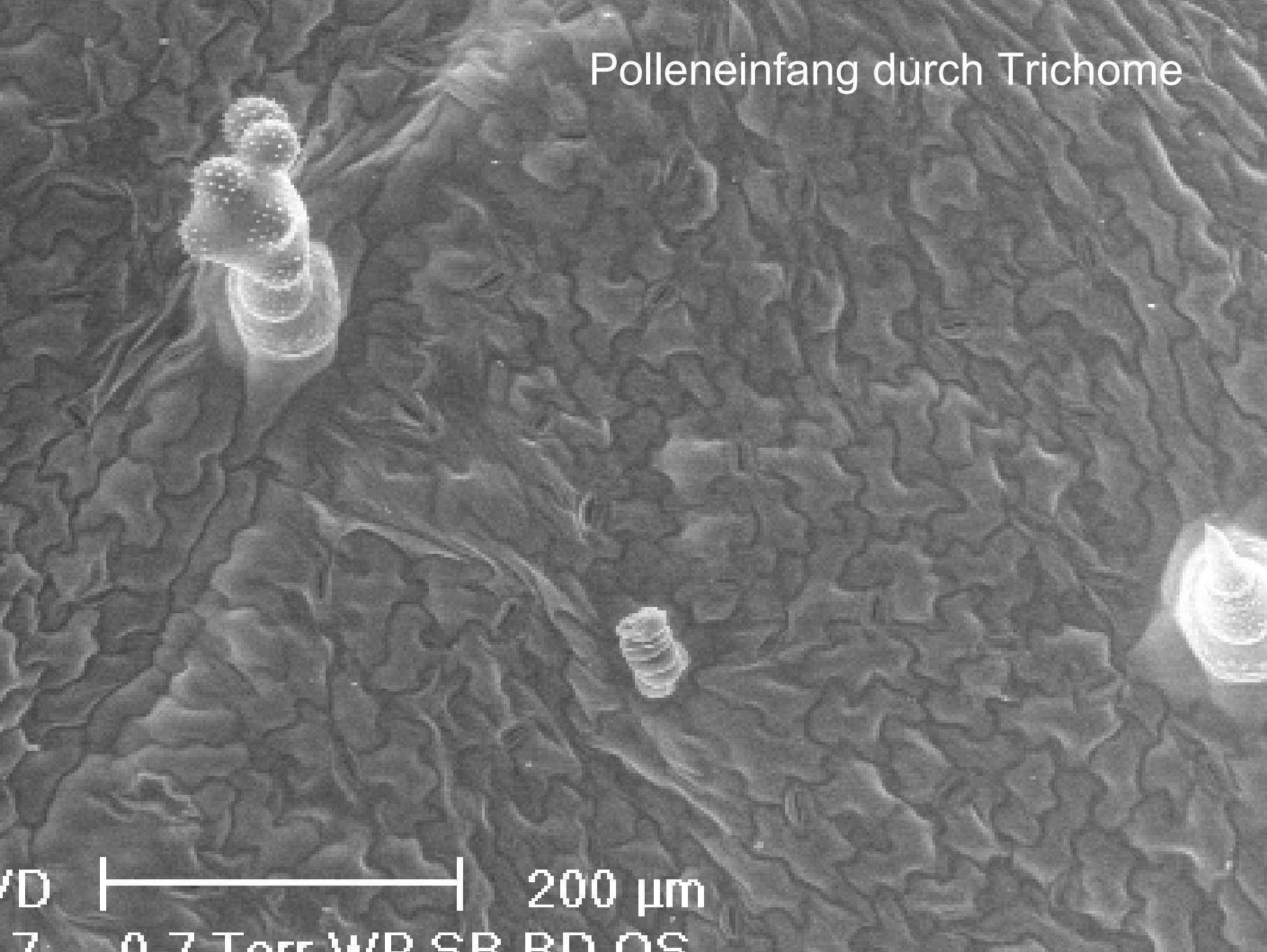
- Minimierung der Partikelakkumulation durch „Lotuseffekt“



Quelle: Barthlott

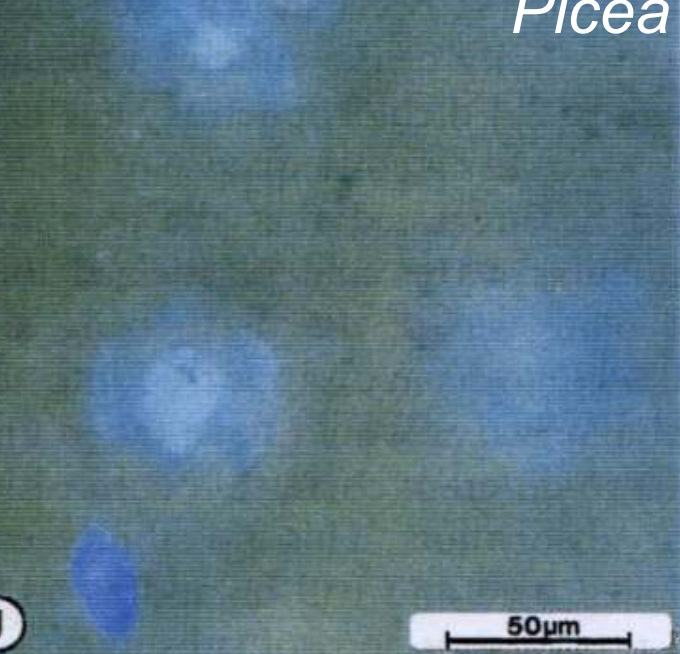
- Aber auch „Partikeleinfang“ kann sinnvoll sein
 - Nährstoffe
 - Wasser
 - Mikrorauhigkeiten der Blätter (Trichome, Wachse)

Polleneinfang durch Trichome



VD | 200 μm
7 0.7 Torr WP SP PD OS

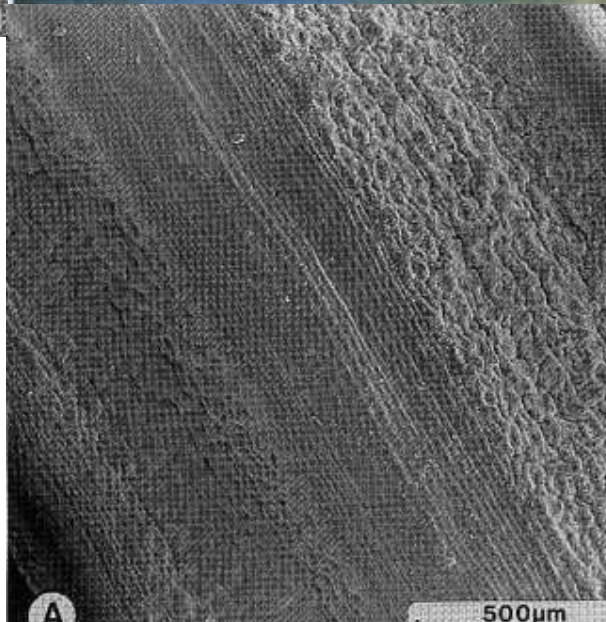
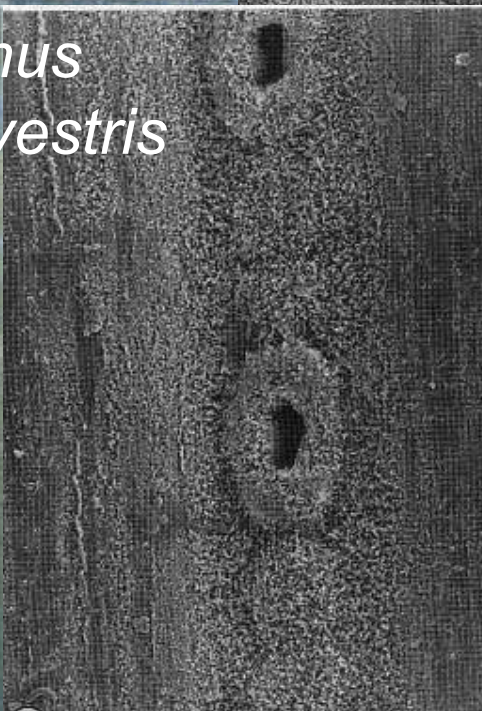
Picea abies



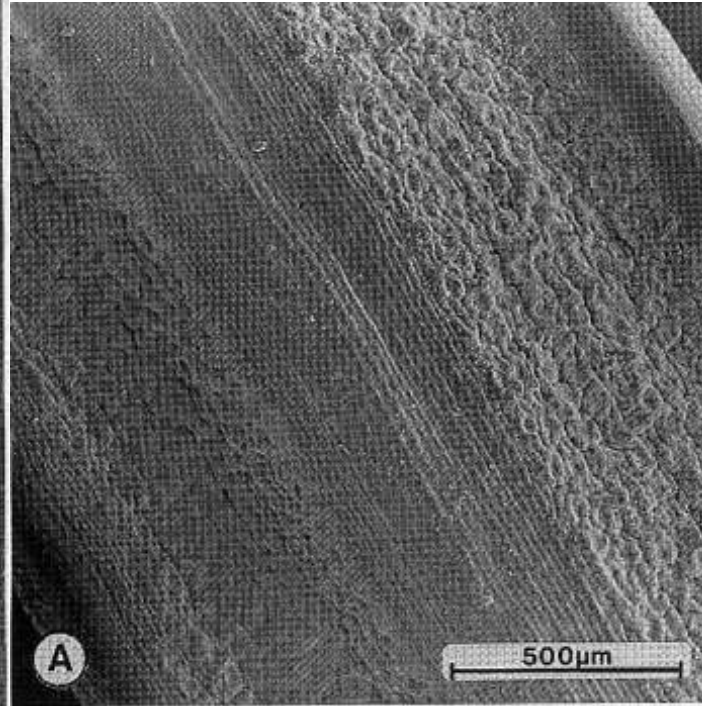
Abies alba



*Pinus
silvestris*



Gibt es Anpassungen von Pflanzen an natürliche Partikelregime?



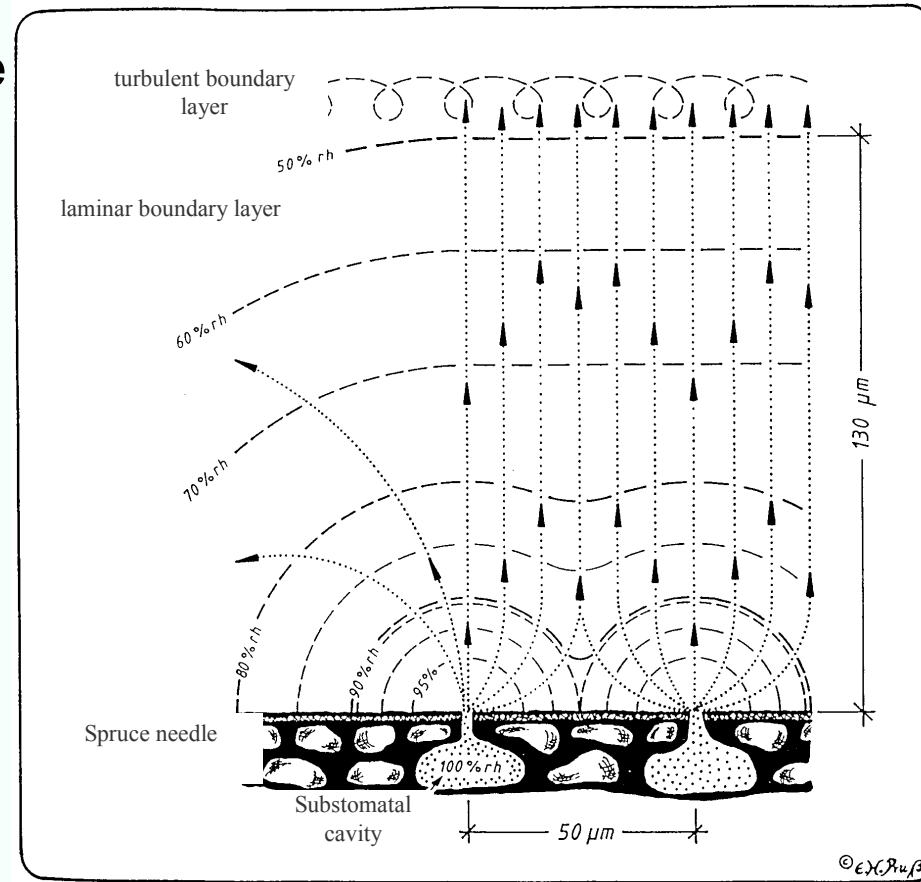
Epicuticuläre Wachse könnten Anpassungen darstellen, um effektiv nährstoffhaltige Partikel einzufangen.

Sinnvoll, da natürliche Aerosolkonzentrationen langfristig stabil

Mobilität hygroskopischer Partikel

Deliqueszenz durch hohe Luftfeuchte

- tagsüber durch Transpiration
- nachts durch hohe Umgebungsluftfeuchte



Deliquescenz



Verallgemeinerter Partikelbegriff

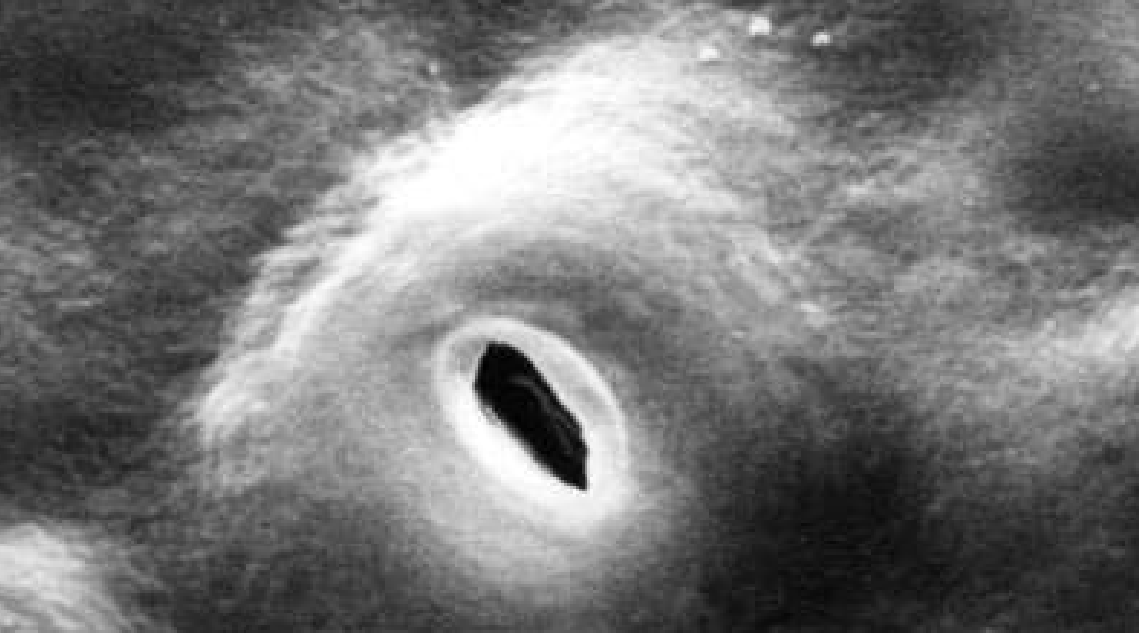
- Definition
„Hygroskopische Partikel auf Blattoberflächen“:

**Wasserlösliche Ablagerungen inkl. Blattdüngung atmosphärischen
oder pflanzlichen Ursprungs auf Blättern.**

Aerosolablagerungen, getrockneter Regen, Exudate, Leaching
i.d.R. Salze, aber auch Harnstoff.

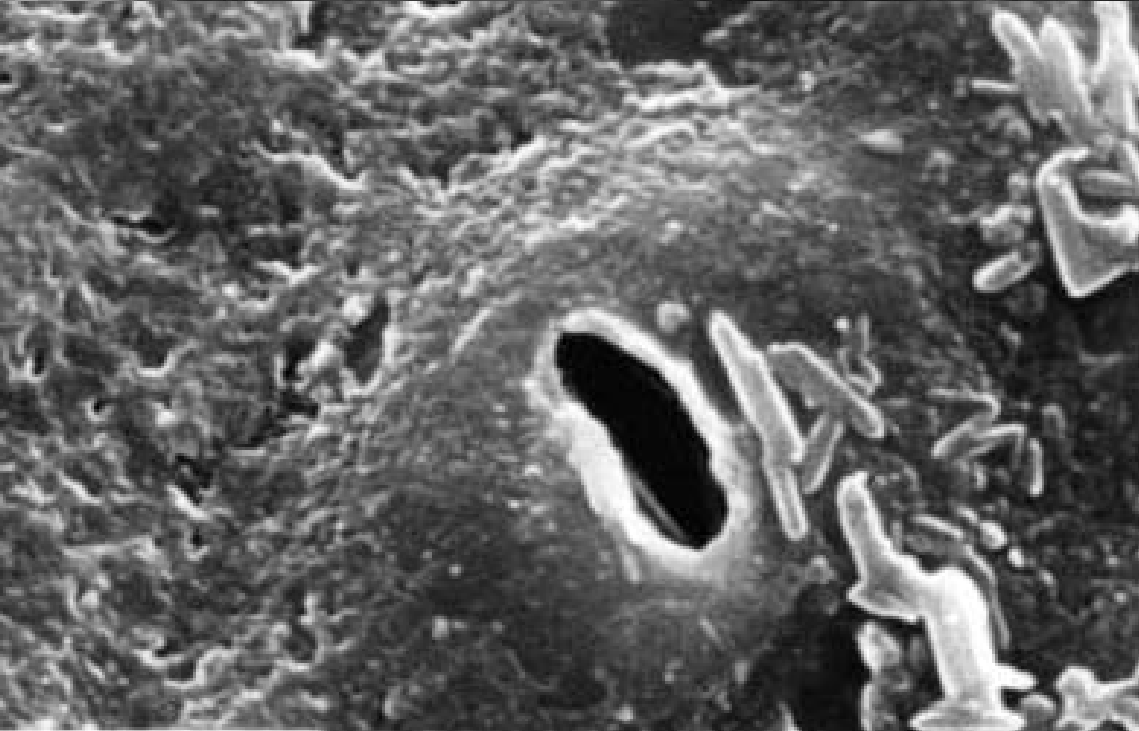
Müssen nicht in kristalliner Form vorliegen!

Liegen auf transpirierenden Oberflächen i.d.R. auch nicht
kristallin vor!



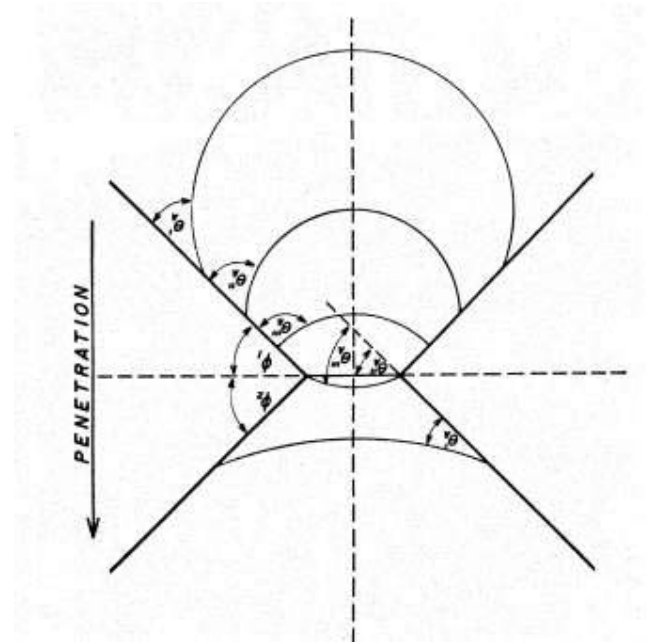
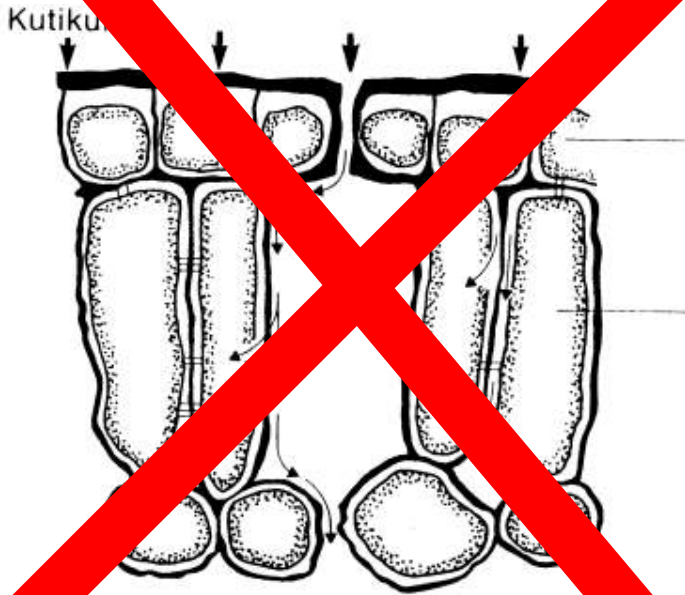
Buchenblätter

Partikelfreie Reineluft



Normale Umgebungsluft

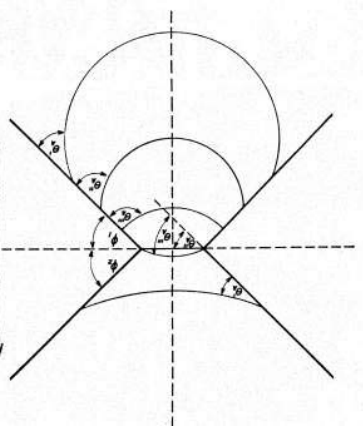
Aufnahme von Wasser und gelösten Stoffen über das Blatt – Chronologie der Konzepte



(Schönherr & Bukovac,
Plant Phys., 1972)

„Theoretischer Beweis“:
**Stomatäre Aufnahme
unmöglich**

Aufnahme von Wasser und gelösten Stoffen über das Blatt – Chronologie der Konzepte



(Schönherr &
Bukovac,
Plant Phys., 1972)

„Theoretischer Beweis“:
Stomatäre Aufnahme
unmöglich

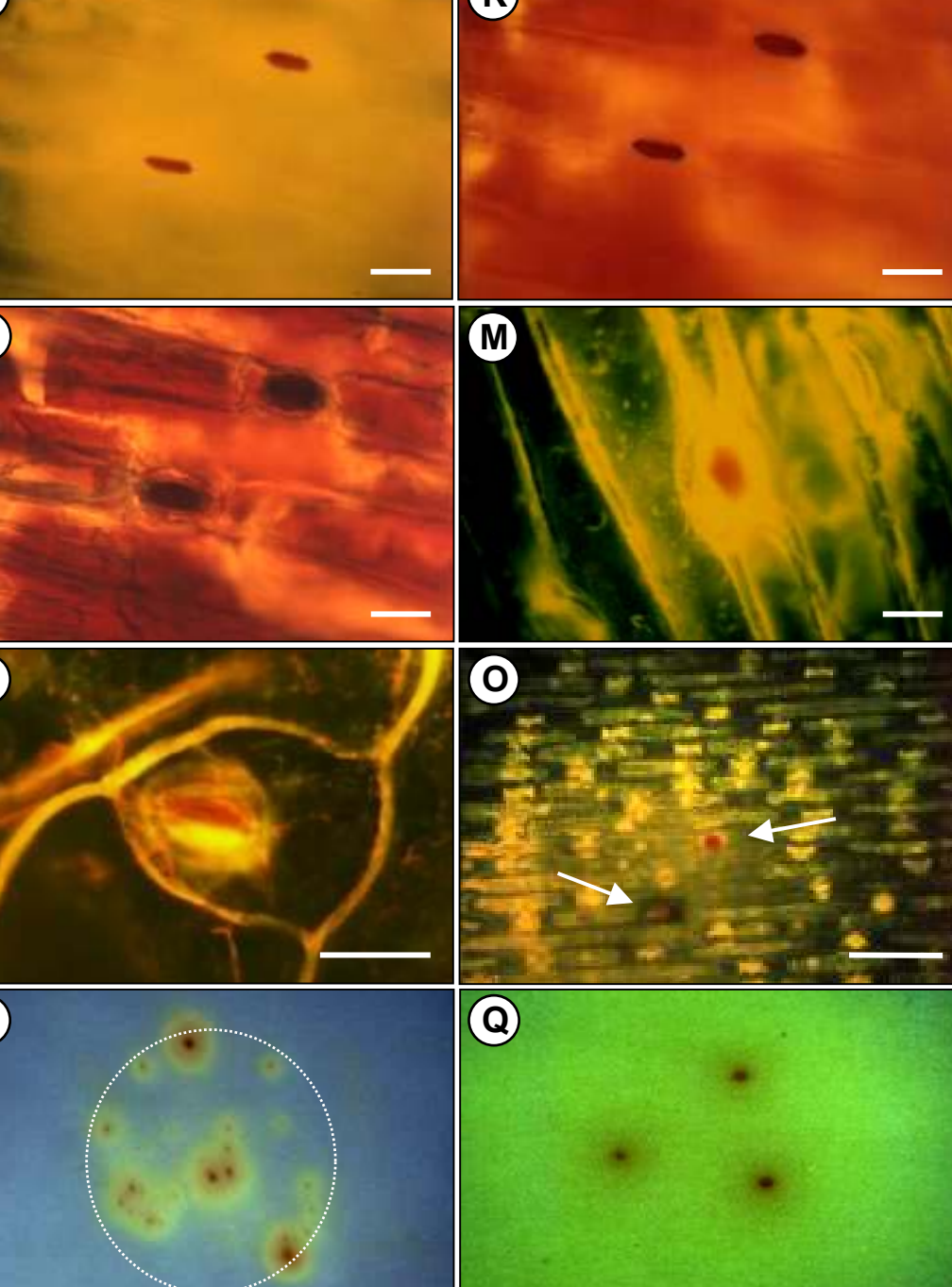
Nachweis dünner Wasserfilme auf hydrophoben Oberflächen von Fichtennadeln:

Entstehung durch Anlagerung von Wasser an hygroskopische Partikel

→ „Tropfenmodell“ nicht allgemeingültig

Erstreckung von Wasserfilmen in Stomata denkbar

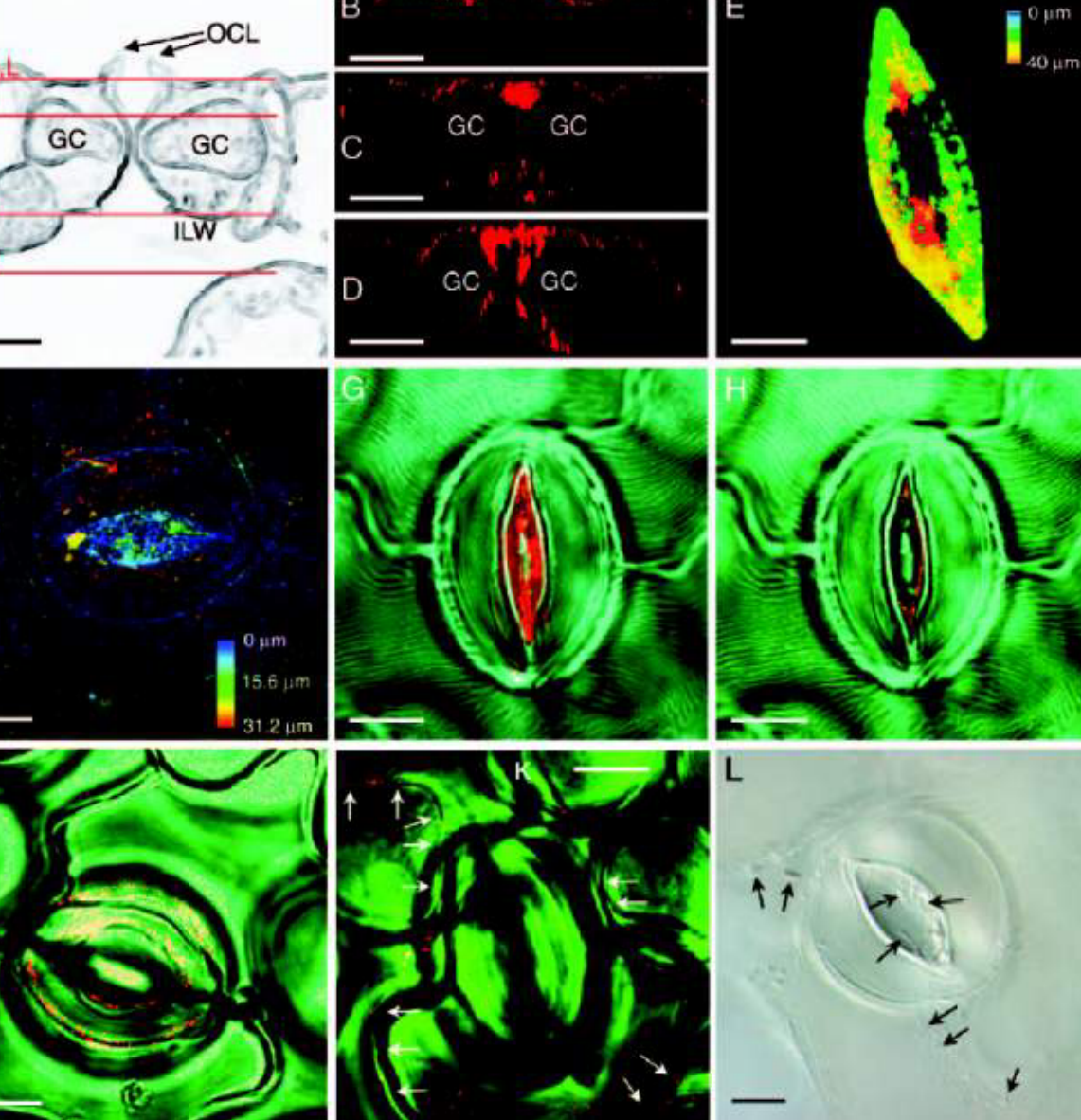
(Burkhardt, 1994)



Erster Nachweis für stomatären Transport – Aufnahme fluoreszierender Lösung

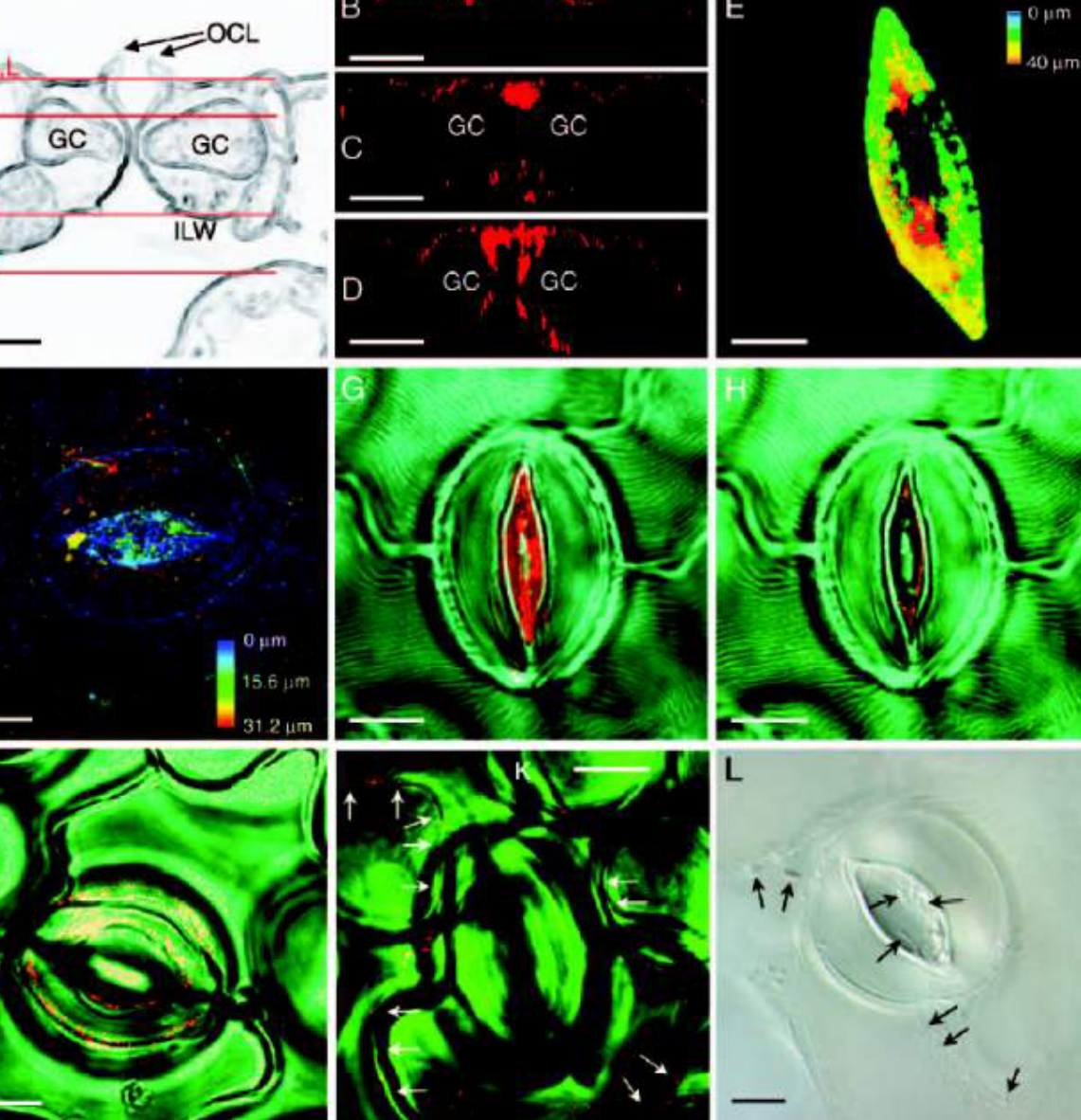
(Eichert, Goldbach & Burkhardt,
Bot. Acta, 1998);

(Eichert & Burkhardt, *J. Exp. Bot.*,
2001)



**„Ultimativer Beweis“
des stomatären
Transportwegs:**

**Aufnahme von in
Wasser dispergierten
fluoreszierenden
Nanopartikeln
(Konfokale Laser-
Mikroskopie)**



**„Ultimativer Beweis“
des stomatären
Transportwegs:**

**Aufnahme von in
Wasser dispergierten
fluoreszierenden
Nanopartikeln
(Konfokale Laser-
Mikroskopie)**

Gegenwärtige Situation

Es gibt etliche weitere Arbeitsgruppen, die von stomatärem Transport ausgehen:

z.B.

Burgess & Dawson, Plant Cell and Environment, 2004:
The contribution of fog to the water relations of *Sequoia sempervirens* (D. Don): foliar uptake and prevention of dehydration

Wilkinson & Davies, J. Exp. Bot. 2008: „The apoplastic pH of intact *Forsythia intermedia* (cv. Lynwood) and tomato (*Solanum lycopersicum*) plants has been manipulated using buffered foliar sprays“

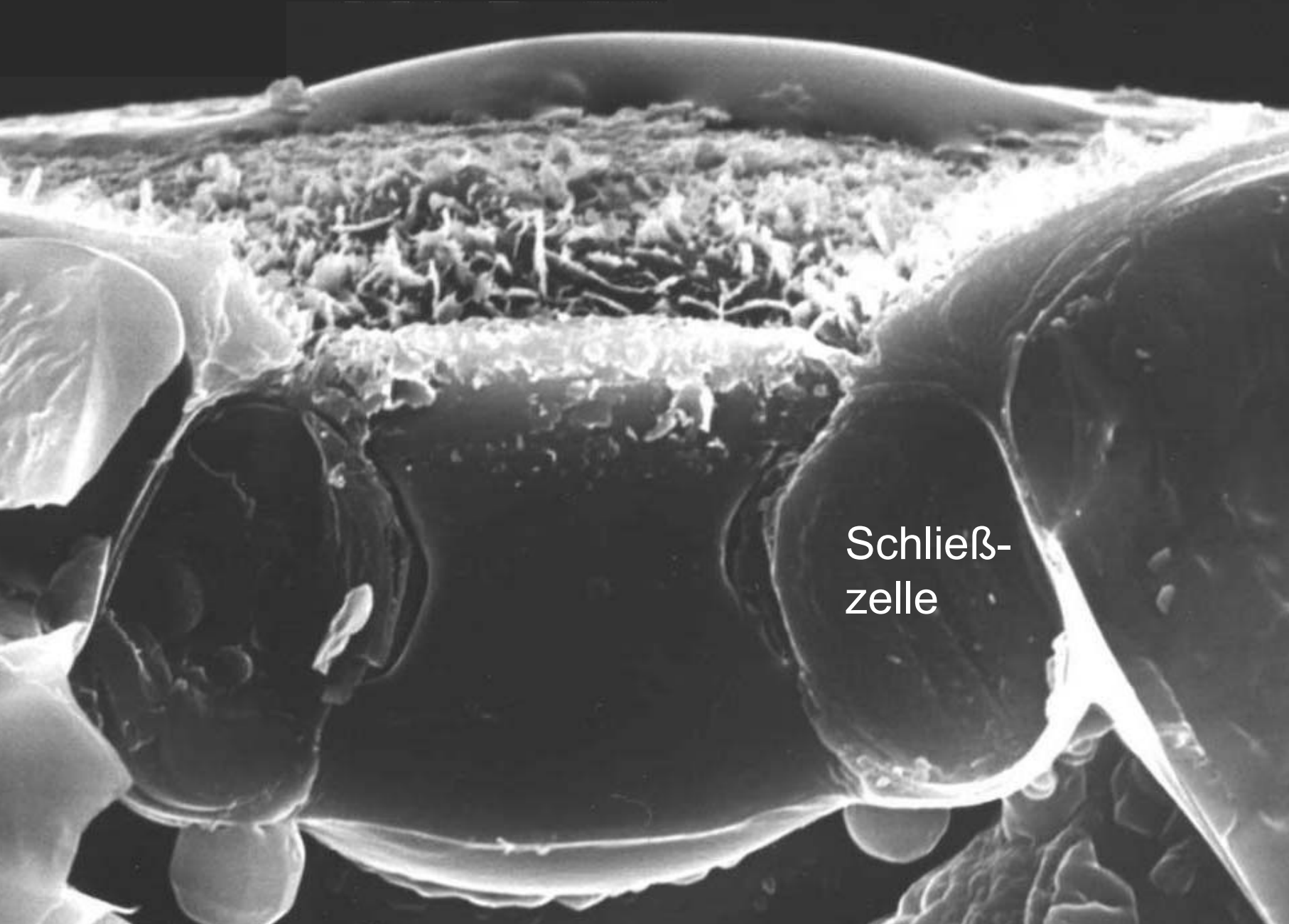
Jetziger Kenntnisstand

Stomatäre Aufnahme von Wasser und gelösten Stoffen ist auch unter natürlichen Bedingungen (d.h. ohne Tenside o.ä.) möglich

Sie betrifft allerdings nur einen Teil der Stomata

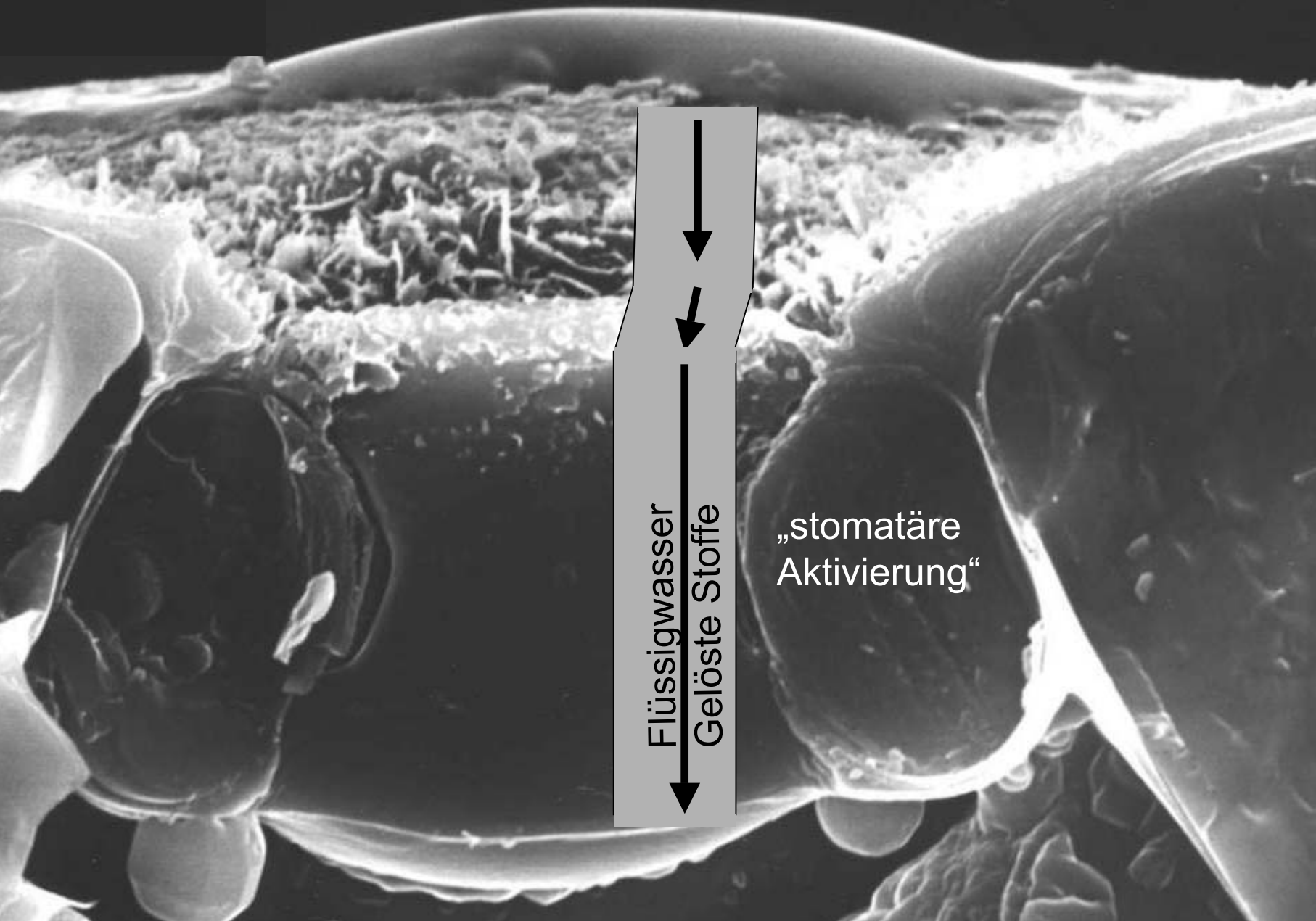
Es gibt bevorzugte Gebiete für stomatären Durchtritt, z.B. unter den Rändern eingetrockneter Tropfen

Für erstmaligen Durchtritt scheint eine „Aktivierung“ nötig.



Schließ-
zelle

Partikel



Flüssigwasser
Gelöste Stoffe

„stomatäre
Aktivierung“

Hydraulische Aktivierung der Stomata (HAS)

- **Etabliert Flüssigwasserfilm entlang der stomatären Wände**
- **Überwindung einer Aktivierungsschwelle**
- **„statistische“ Entstehung (s. Blattdüngungserfolg!)**
- **Mechanismus: hydrophobe Oberfläche wird hydrophil**
- **Verschiedene Entstehungsmechanismen denkbar: Schleim, Bakterien, Salze**



Gesättigte Salzlösung „kriecht“.

Auch auf hydrophoben Oberflächen?

SEM (Environmental Scanning Electron Microscope):

NaCl auf hydrophober Tomatenkutikula

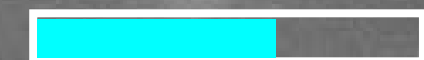
55% RH



100 μm

A short, thick white horizontal line located below the text '100 μm'.

81% RH

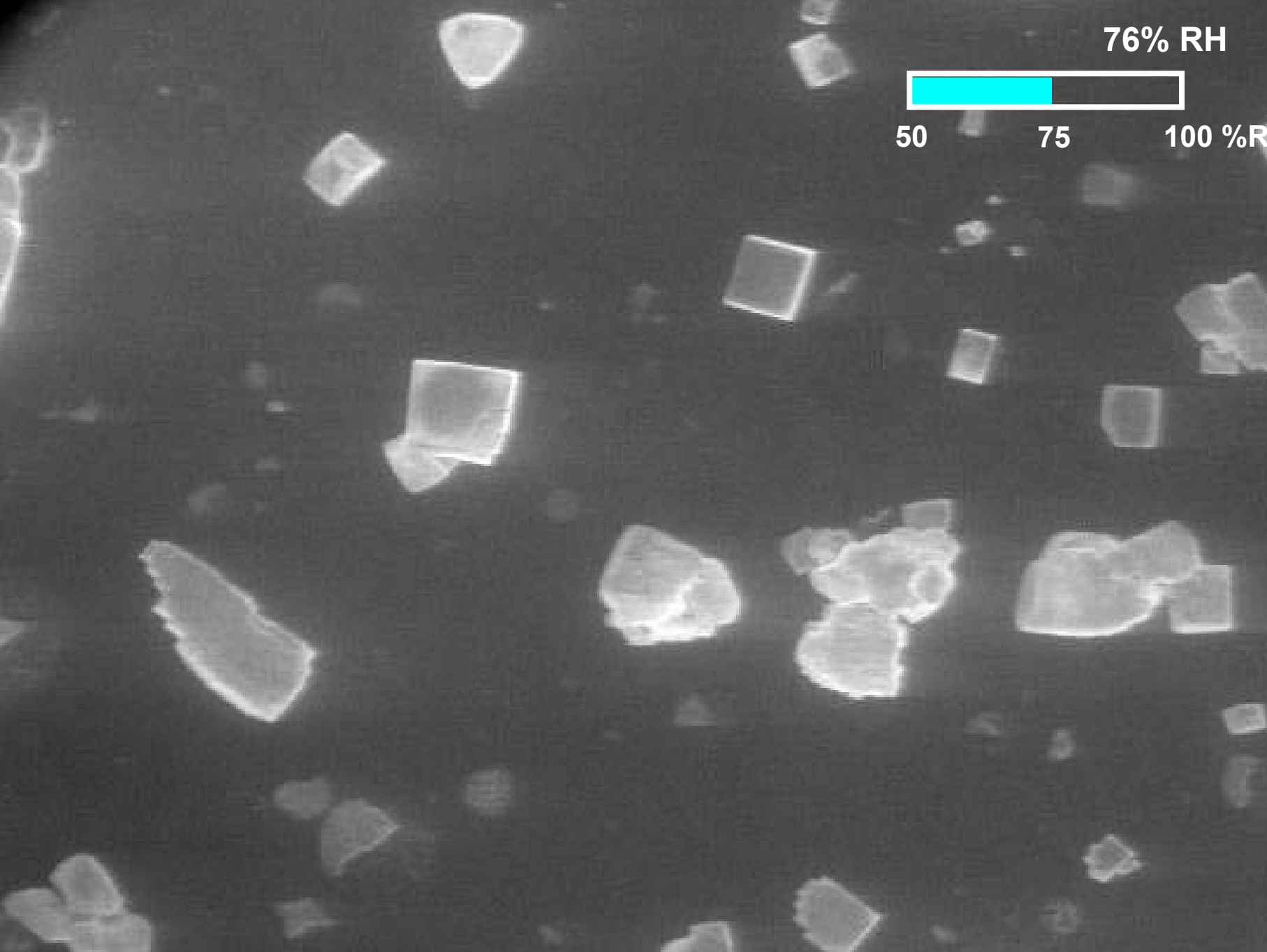
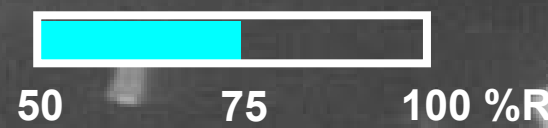


50

75

100 %R

76% RH



72% RH



50

75

100 %RH

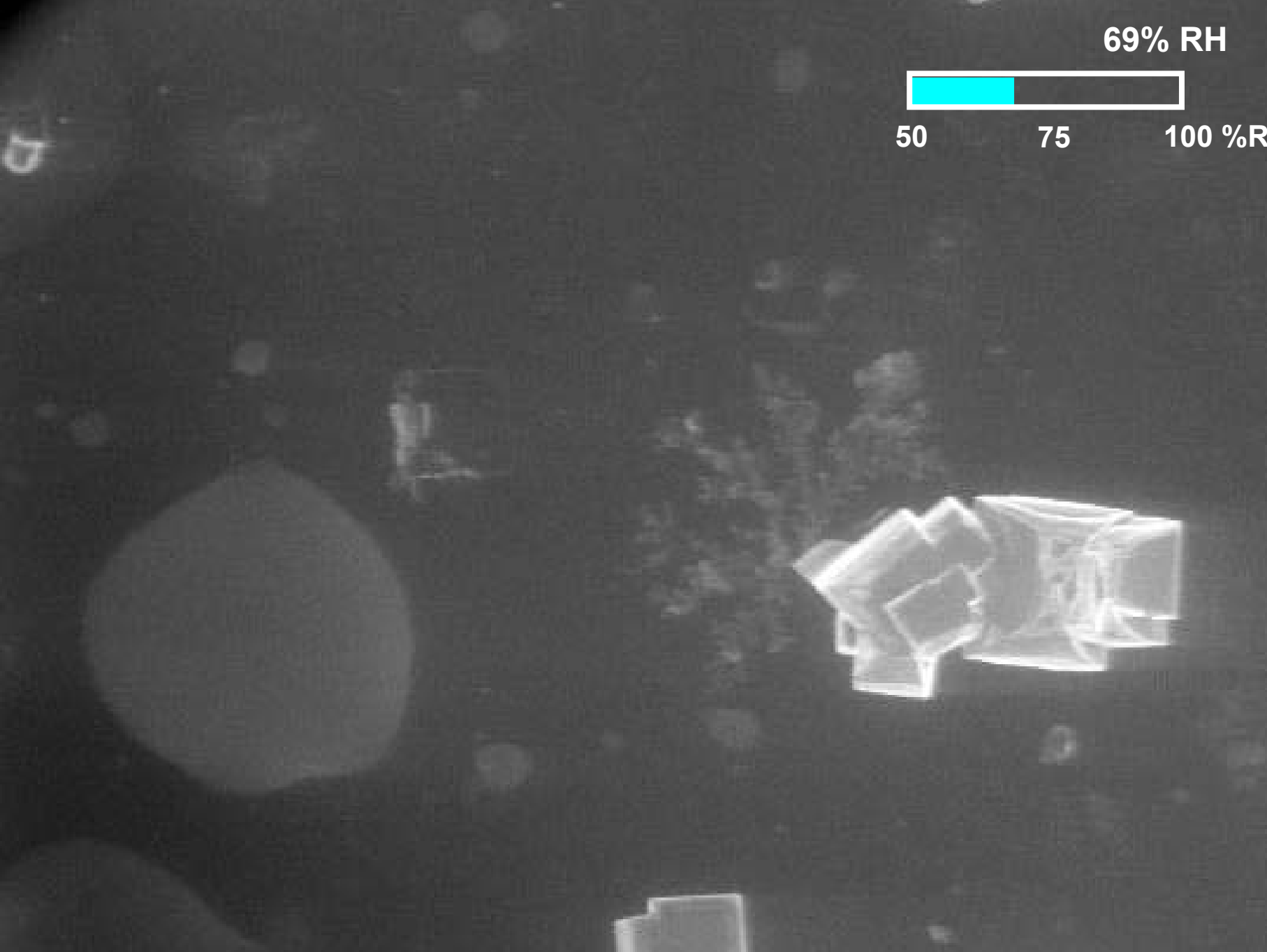
69% RH



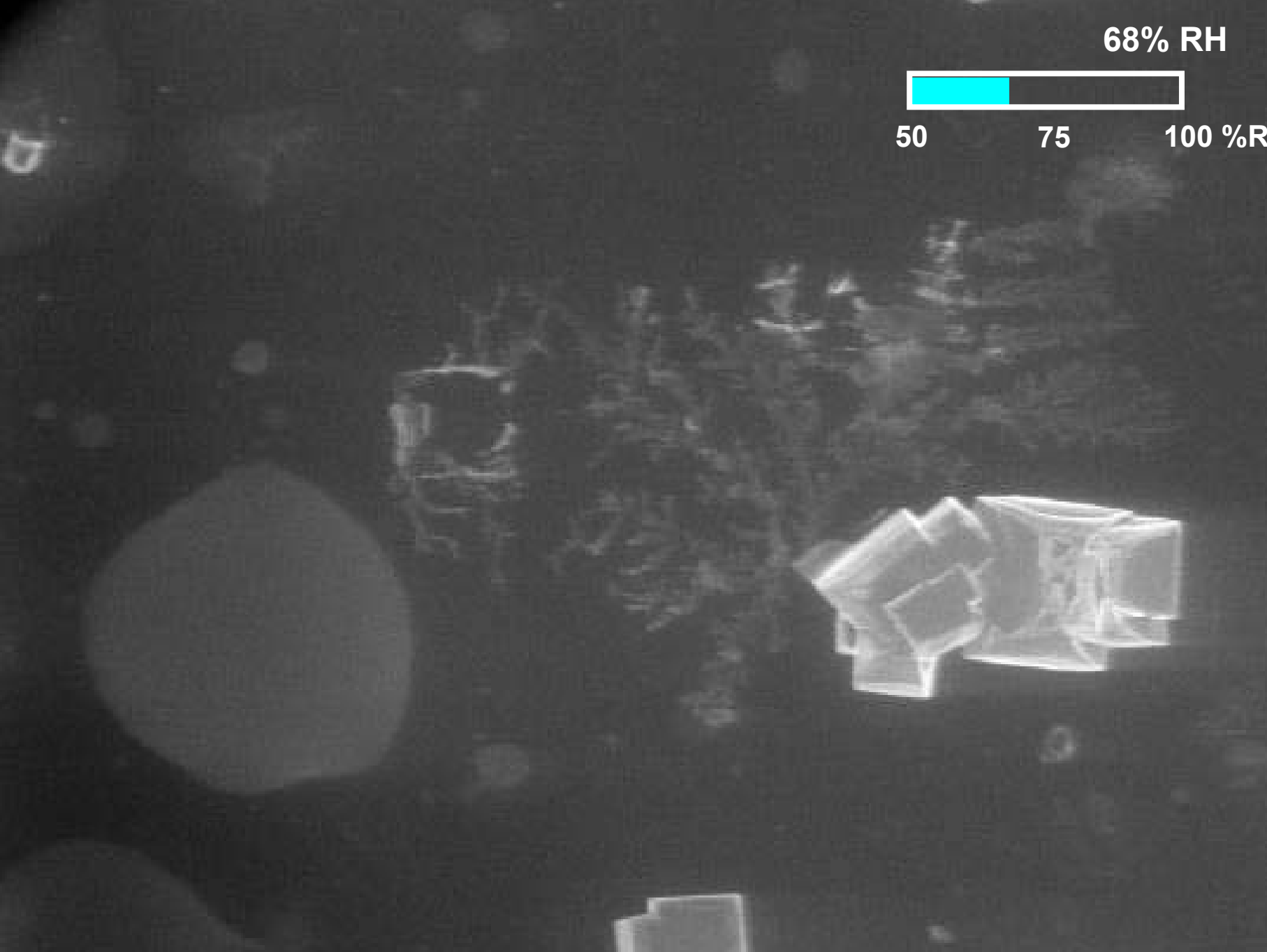
50

75

100 %R



68% RH

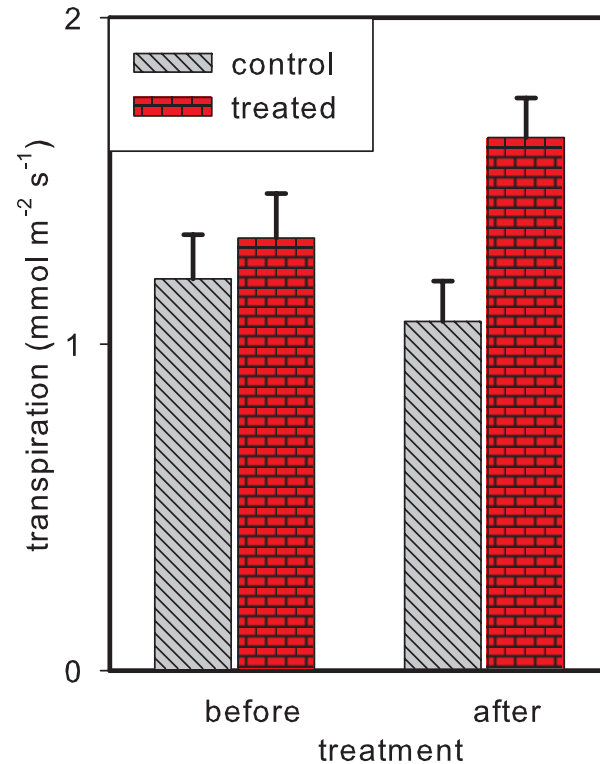


Blattdüngung und Wasserhaushalt

- **HAS → Nährstoff- und Wasserhaushalt sind verknüpft**
- **Es gibt eine Reihe älterer Veröffentlichungen, die eine Erhöhung der Transpiration durch Partikel belegen (und nur sehr wenige, die das umgekehrte behaupten)**
- **Blattverbrennungen (-verätzungen)**
- **Trocken- oder Salzstress?**

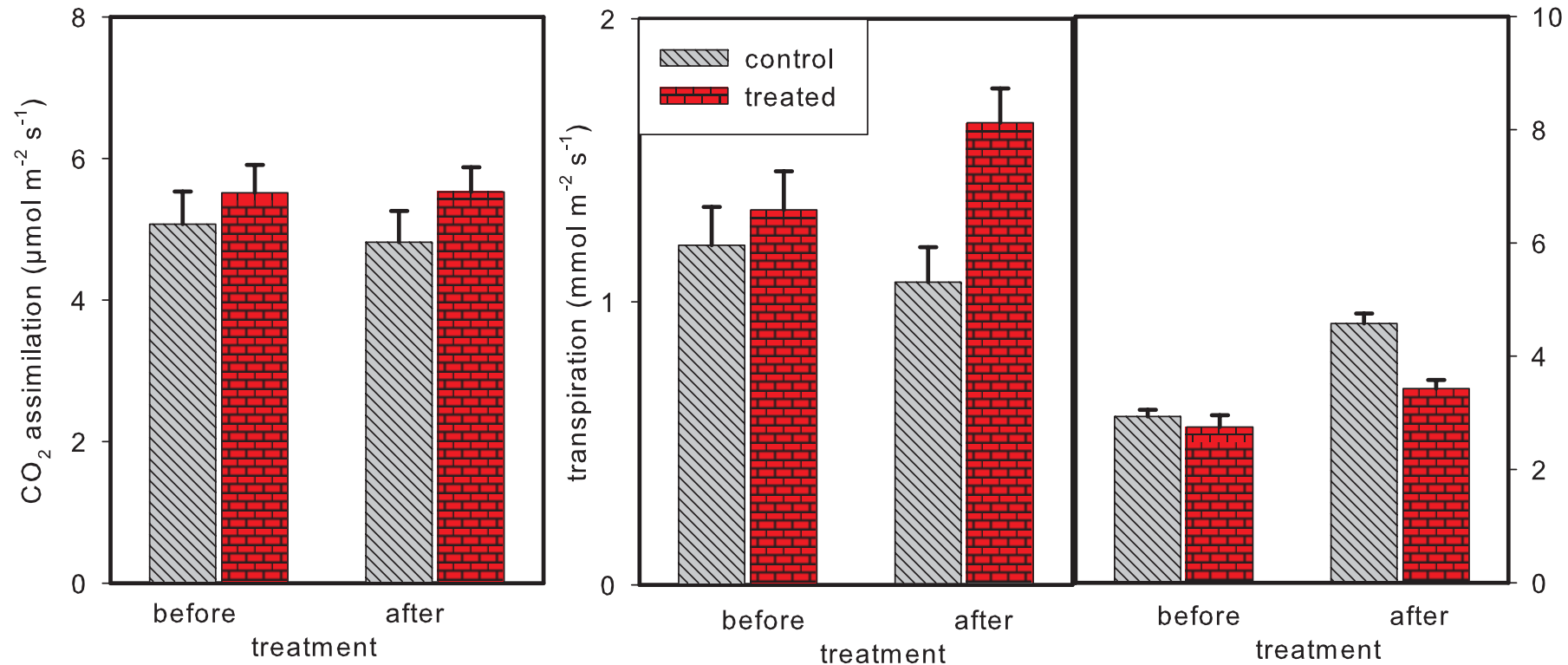
Zunahme der Transpiration bei

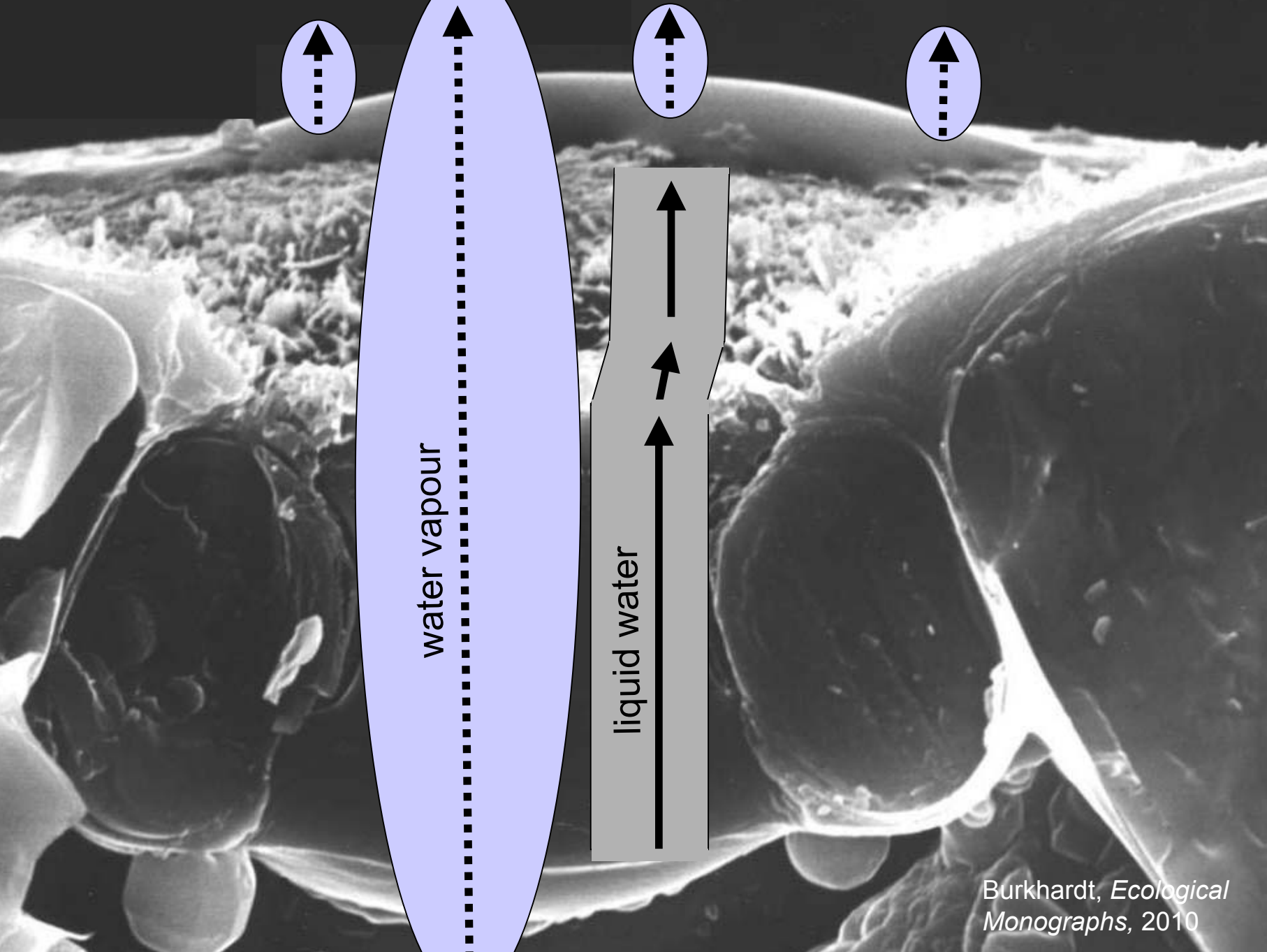
Behandlung von Bohnenblättern mit K_2HPO_4 Tropfen



Zunahme der Transpiration bei

Behandlung von Bohnenblättern mit K_2HPO_4 Tropfen

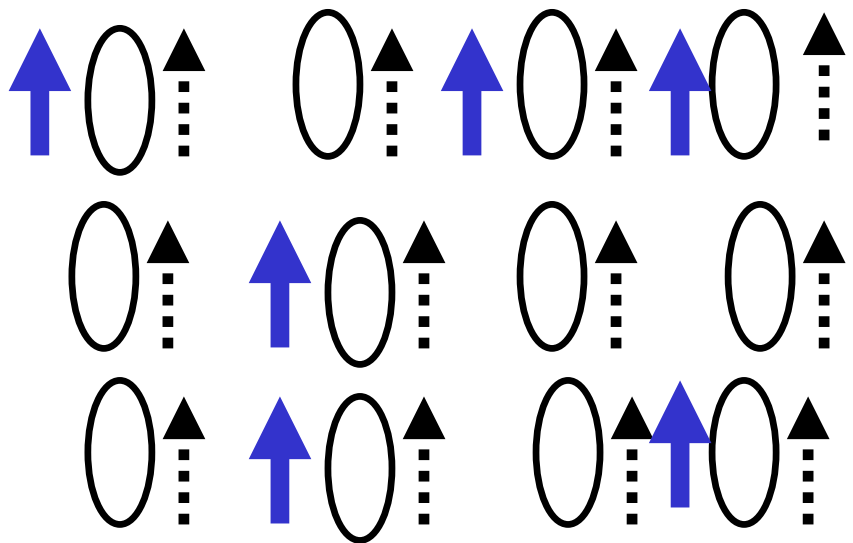




water vapour

liquid water

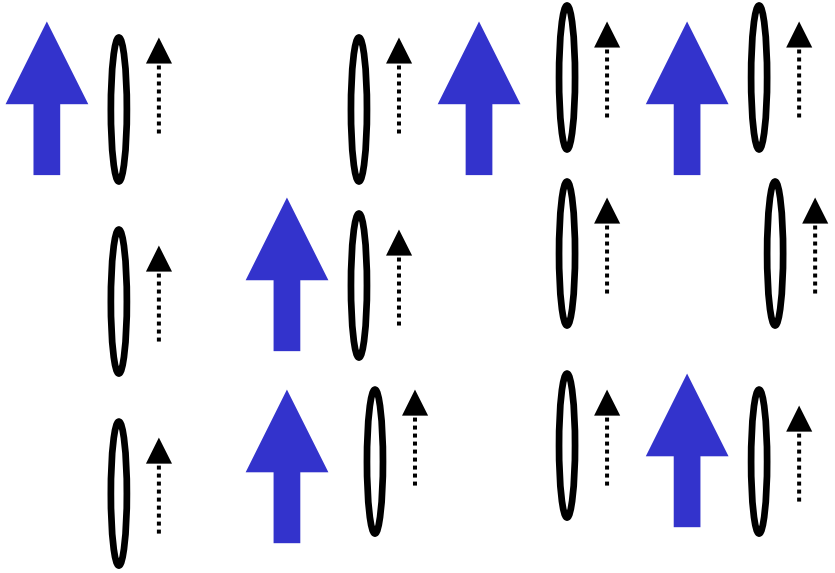
Feuchte Luft

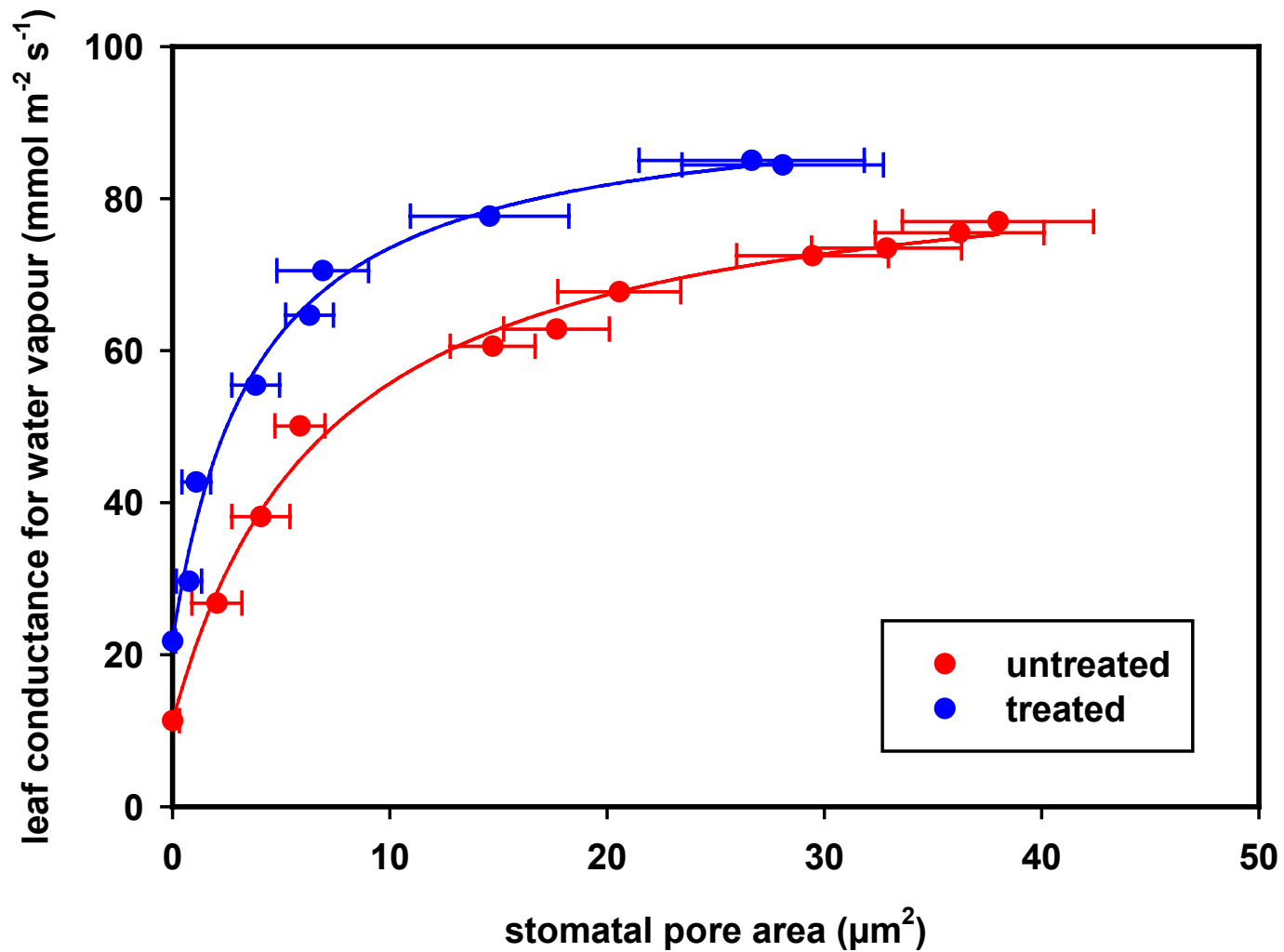


Transpiration
(Wasserdampf)

Docht
(Flüssigwasser)

Trockene Luft





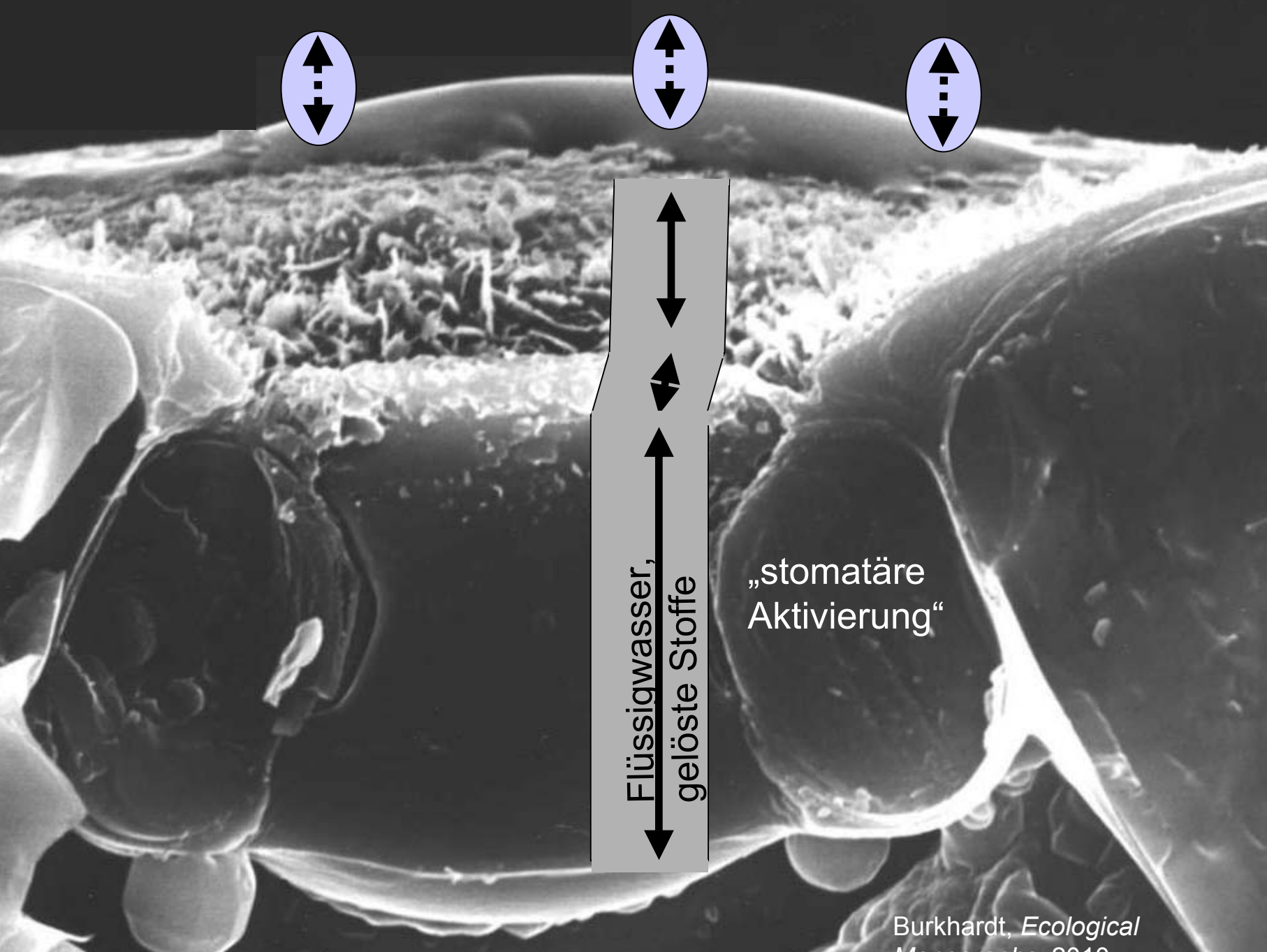
(Burkhardt, Kaiser, Goldbach & Kappen, *Bas. Appl. Ecol.* 2001)

„Verbrennungen“ bzw. „Verätzungen“ bei Blattdüngung

- **v.a. bei AHL (Konzentration)**
- **Bei AHL ist nicht Ammoniak die Ursache**
- **Trocken- oder Salzstress?**

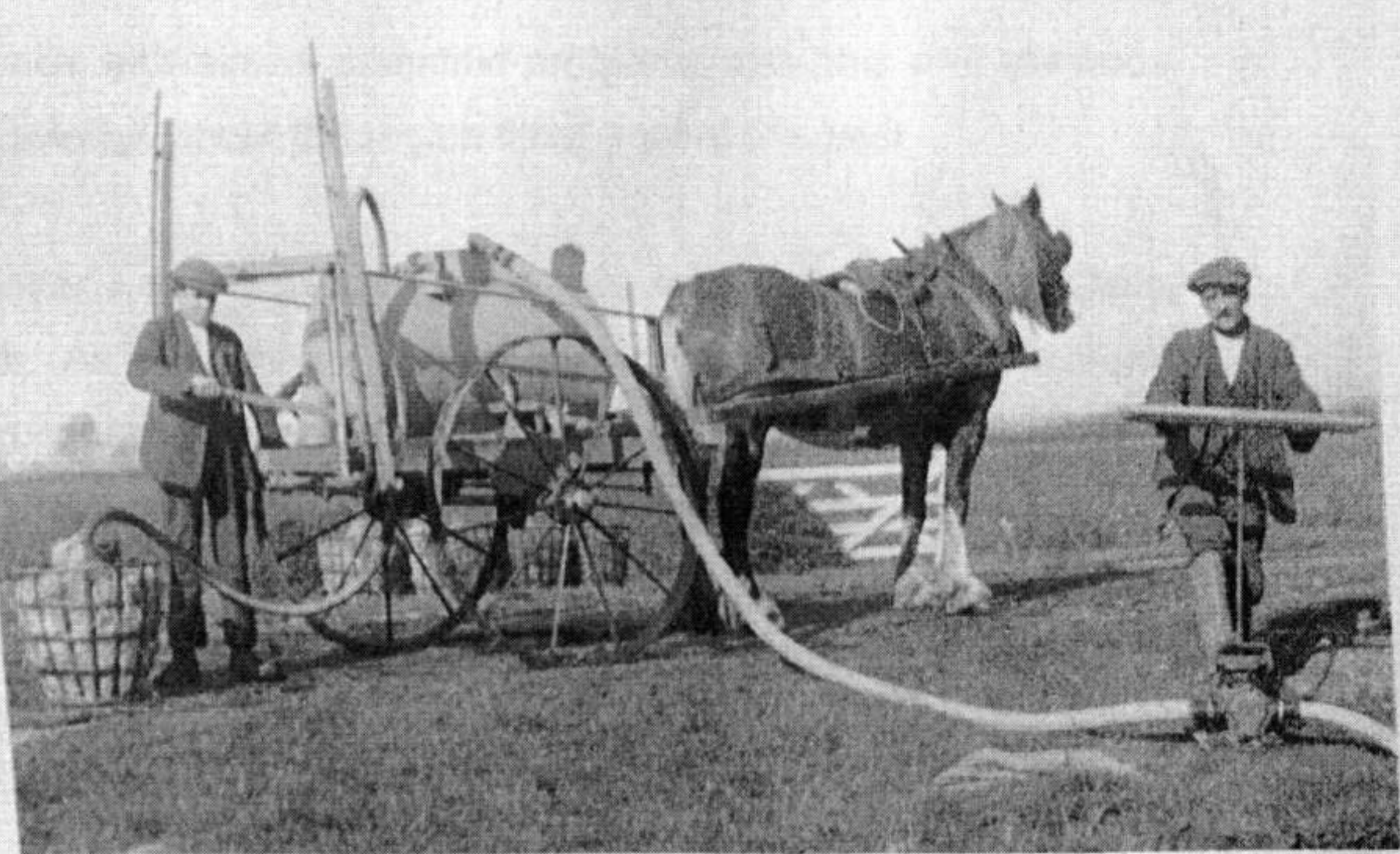
Trocken- oder Salzstress?

- **Wasser- und Salzstress zeigen zunächst ganz ähnlich Symptome**
 - **Dehydrierung einzelner Zellen durch hohe Salzkonzentration in der Umgebung**
 - **Effektiver Abtransport des Wassers durch HAS und Dochtwirkung würde Trockenstress erklären**
- Anwendung abends (stomatäre Öffnung kein Problem!)**



Flüssiqwasser,
gelöste Stoffe

„stomatäre
Aktivierung“



Filling the machine with water and acid.

Schottland, um 1930: Abtötung des Kartoffelkrauts mit chemischen Desikkantien.
verwendete Säuren, Basen und Salze: H_2SO_4 , H_3AsO_4 , NaClO_3 , KI , NaOH ,



Ltz Augustenberg, 2007

“Sikkationsmittel”: heute Reglone, Diquat, Glyphosat etc....

And now for something completely different:

„Wachsverschmelzungen“

Bislang keine schlüssigen Erklärungen

Wachsveränderungen wurden nicht festgestellt

Auftreten amorpher Partikel nicht Erwähnt

→ Identität?

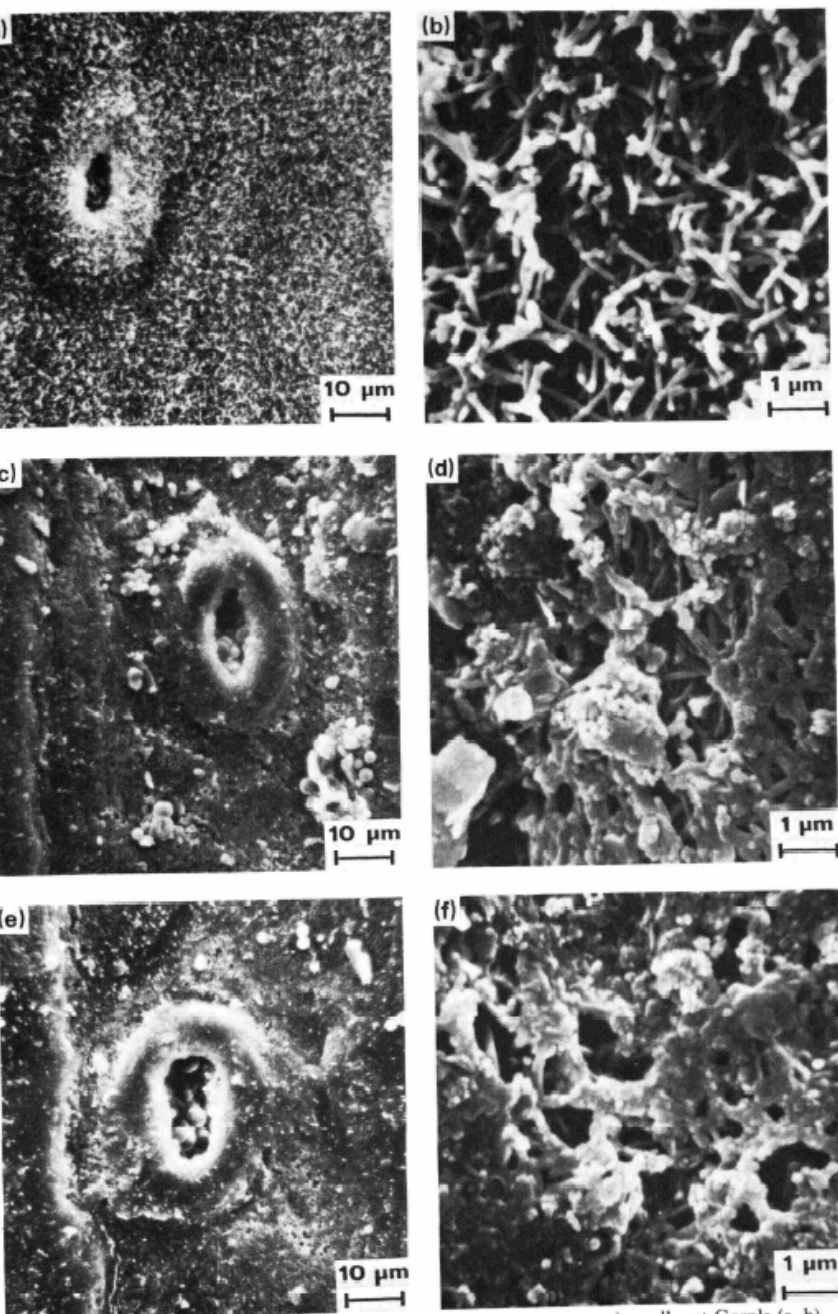
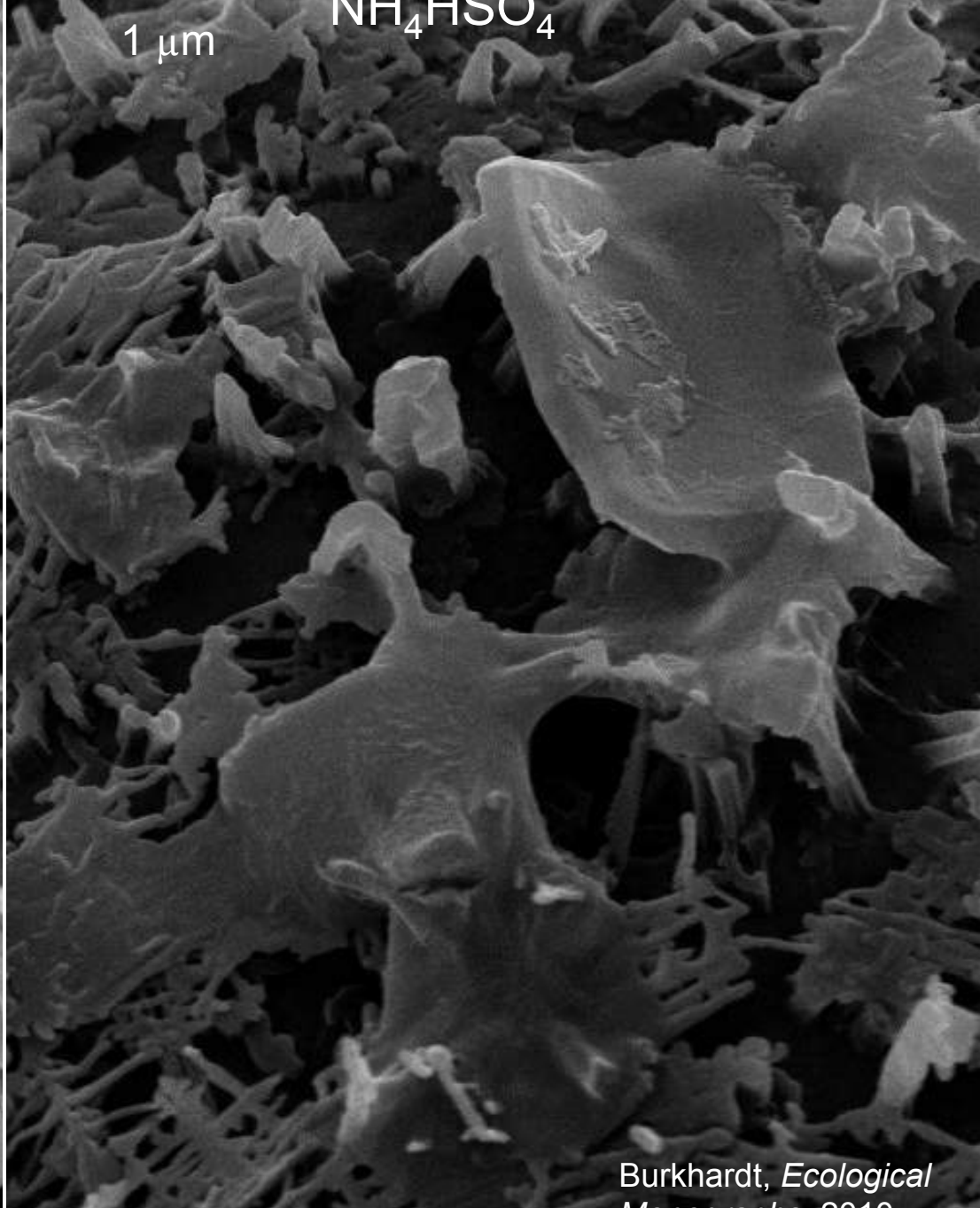
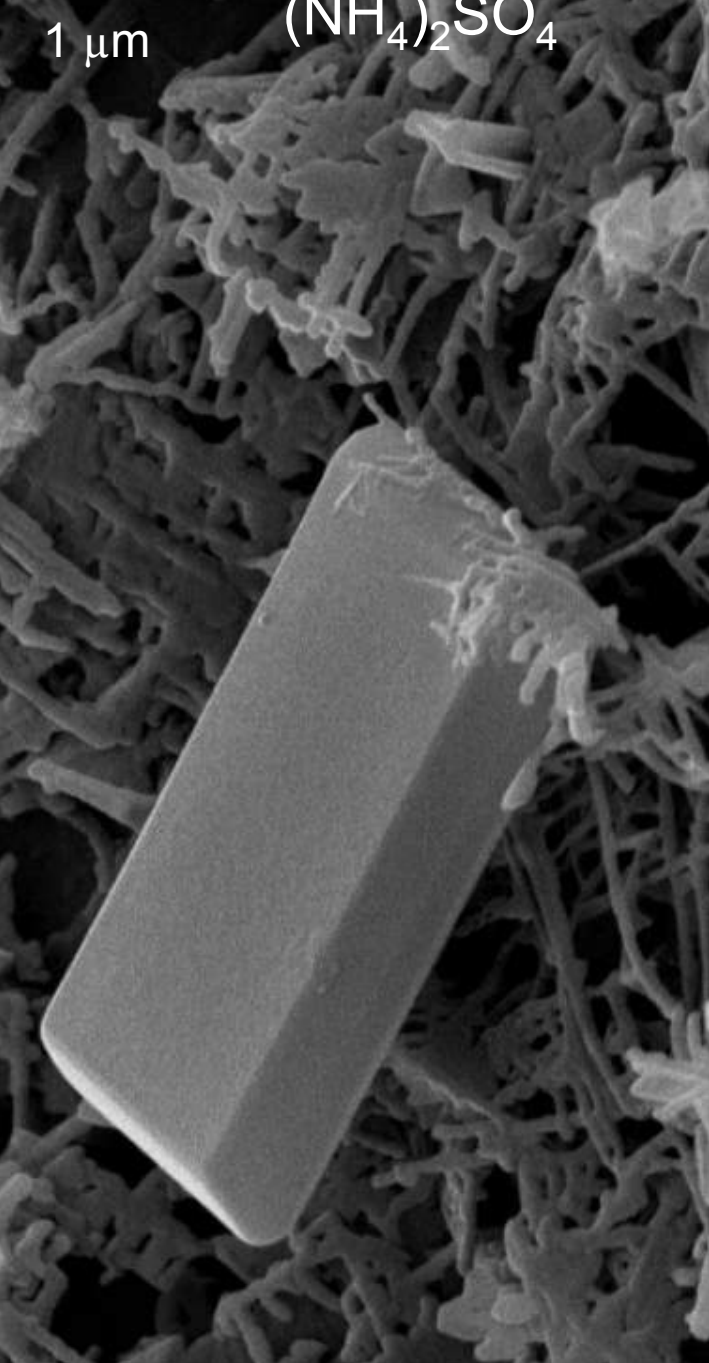


Fig. 4. Epicuticular wax morphology of Scots pine (Altyre provenance) needles at Gorple (a, b) 0 to 1 year-old needles; (b, c) 1 to 2 year-old needles; (e, f) 2 to 3 year-old needles. Micrographs (b, c, d, f) show massive deposits of small spherical pulverized

(Gressley and Fowler, 1986)



Zusammenfassung (1)

- **Wasser- und (Nähr-)Stofftransport können effektiv über die Spaltöffnungen erfolgen (sie müssen aber nicht).**
- **Erforderlich ist zunächst die „hydraulische Aktivierung der Stomata“ (HAS).**
- **Der Grad der HAS steigt mit Partikelkonzentration und Anwesenheit von Tensiden.**
- **Der Gesamtwiderstand für den stomatären Transport hängt vom Grad der HAS ab.**
- **Die Richtung des Austauschs wird durch Konzentrations- bzw. Wasserpotential-Gradienten bestimmt.**

Zusammenfassung (2)

- **HAS hat nützliche Aspekte für die Pflanze (Nährstoff-, Wasseraufnahme), erhöht aber die Gefahr unkontrollierten, exzessiven Wasserverlusts.**
- **Ziel ist die Erreichung des „Optimums“, zwischen maximaler Nährstoffaufnahme bei gleichzeitiger Sicherheit für den Wasserhaushalt.**

→ Aufgabe der Praxis

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!