# Ökologie der Pilze Mutualistische Symbiosen

Flechten (mit Algen und photosynthetischen Bakterien)

Mykorrhiza und Endophyten (mit Pflanzen)

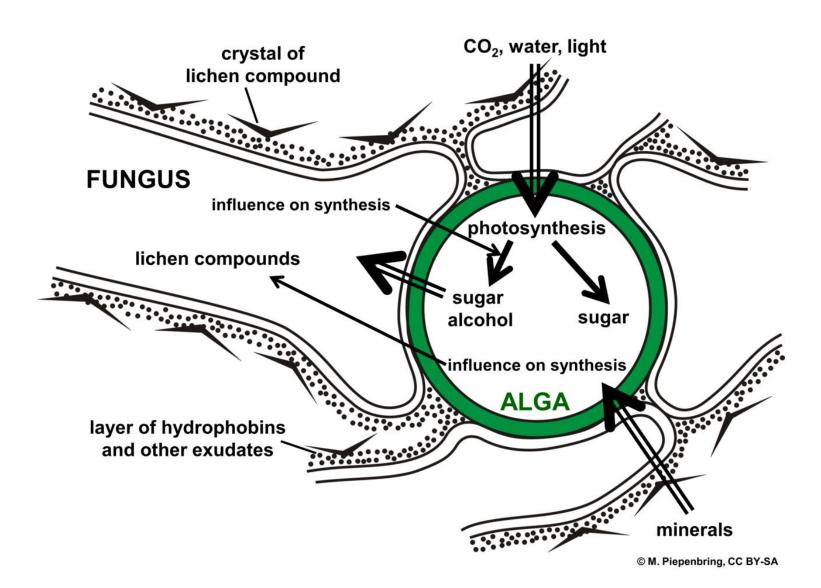
Mutualistische Symbiosen mit Tieren

Mutualistische Symbiosen mit Bakterien

## Flechten



#### Flechten: Nährstoffaustausch



### Flechten: Mycobiont

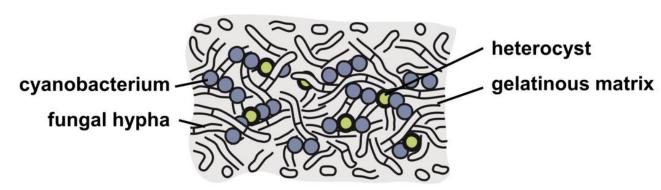
- Pilzpartner der mutualistischen Symbiose
- Ca. 20'000 Arten beschrieben, davon:
  - > 99% (19'950) Ascomycota-Arten
  - ca. 50 Basidiomycota-Arten
- Kann obligat oder fakultativ symbiotisch sein

#### Flechten: Photobiont

- photosynthetisch aktiver Partner der mutualistischen Symbiose
- Ca. 150 Arten beschrieben
- 85% der Flechten enthalten Grünalgen
- 10% der Flechten enthalten Cyanobakterien
- 5% der Flechten enthalten sowohl Grünalgen als auch Cyanobakterien (dreiteilige Flechten)
- Photobiont fakultativ symbiontisch

#### Flechten: Thallusaufbau

#### Cyanobakterienflechten (cyanolichen)

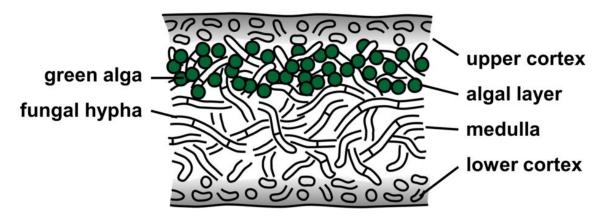


http://cyanolichens.myspecies.info/



Leptogium corticola

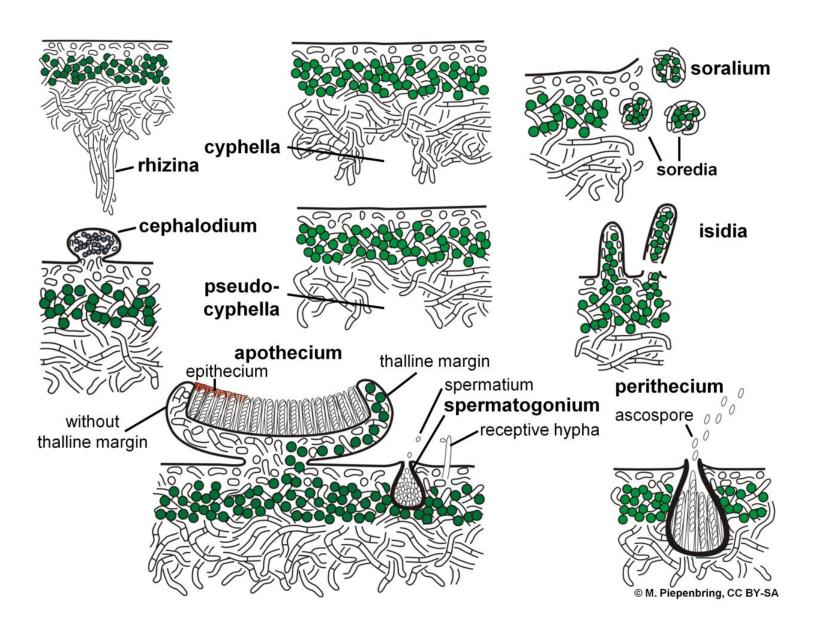
#### Algenflechten (chlorolichen)





Letharia vulpina

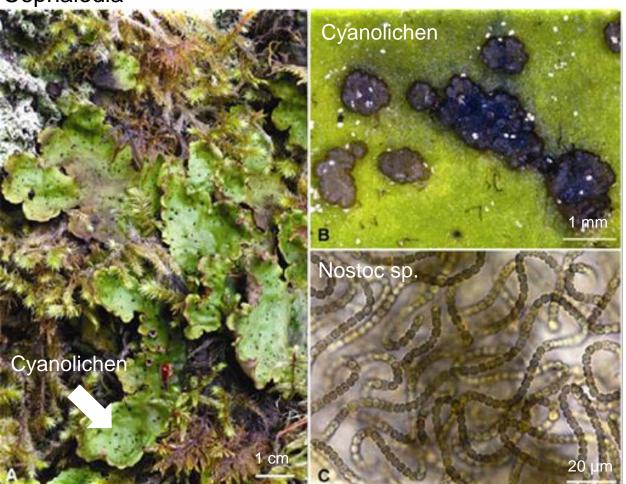
#### Flechten: Thallusaufbau



#### Flechten: Thallusaufbau

#### Dreiteilige Flechten (Pilz, Cyanobakterien und Algen)

Cephalodia



Phycosymbiodemes

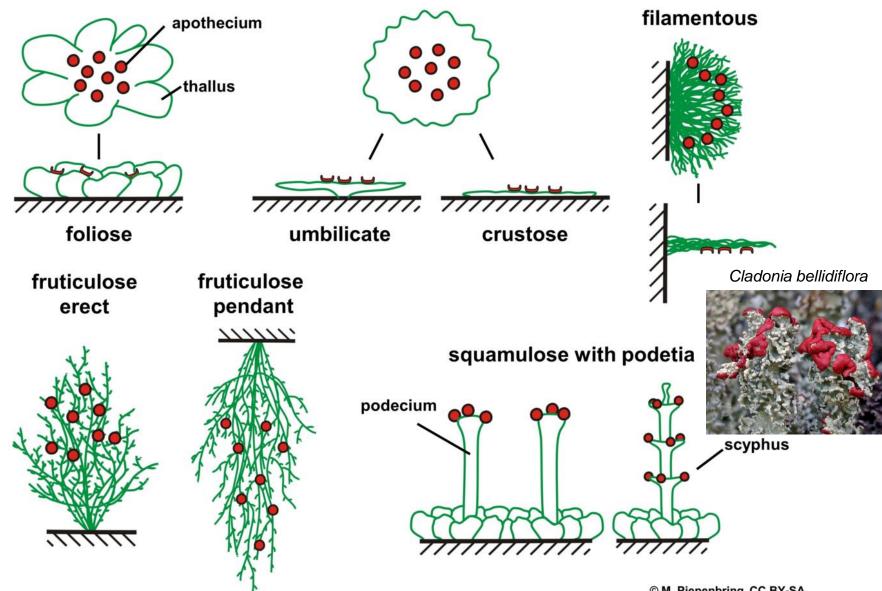


Sticta sp.

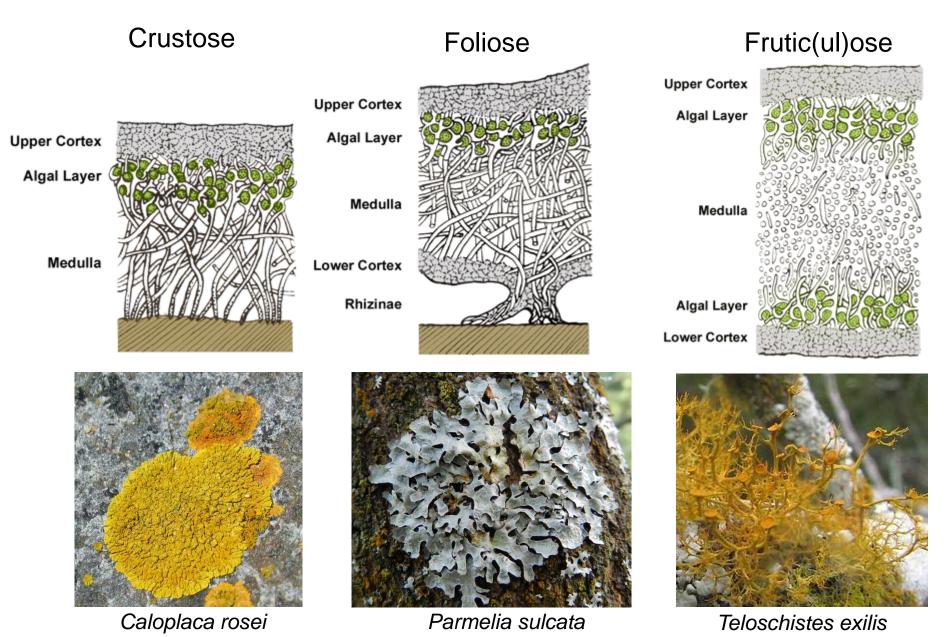
Peltigera leucophlebia

Kaasalainen et al. 2009 Grube and Wedin 2016

#### Flechten: Thallusformen

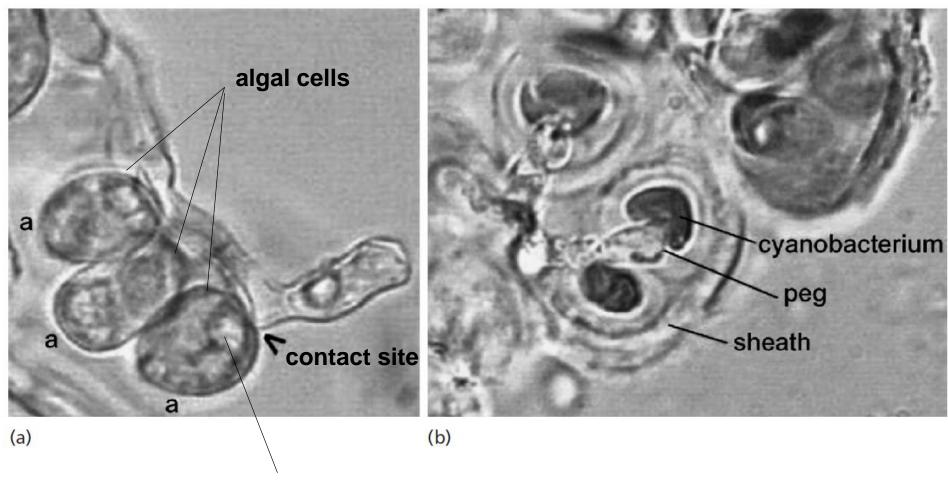


#### Flechten: Thallusformen und -aufbau



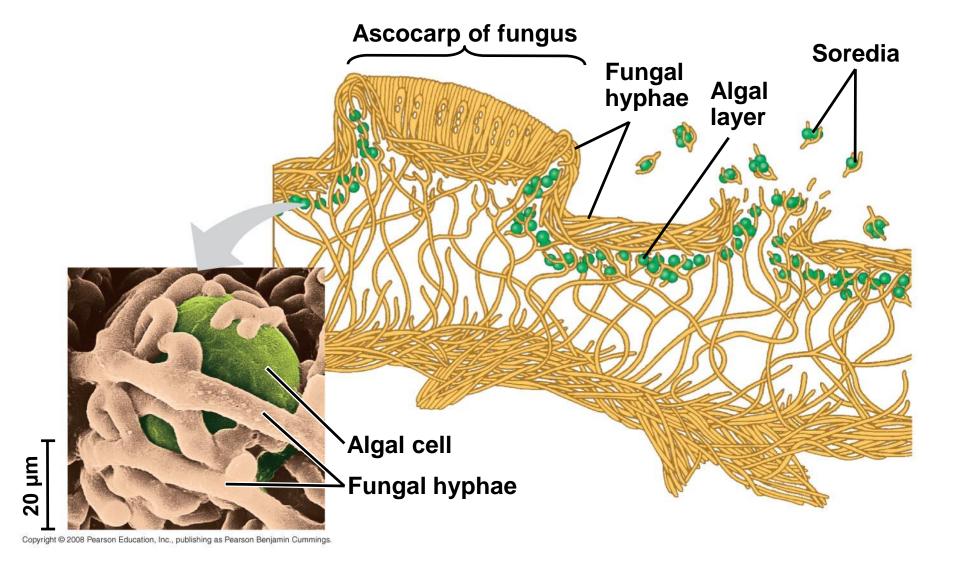
#### Flechten: Nährstoffaustausch

Algenflechte (*Peltula* sp.) Cyanobakterienflechte (*Collema* sp.)



evtl. haustorium

### Flechten: Reproduktion und Verbreitung



#### Flechten: Reproduktion und Verbreitung



Soralien mit Soredien auf Vulpicida pinastri

Isidien auf Parmelia saxatilis



Apothezien mit thallischem Rand auf Xanthoria parietina

### Flechten: Invasion durch andere Mycobionten

#### Invasion eines Thallus von Cladonia durch Diploschistes





### Flechten: Optionale Lichenisierung

#### Schizoxylon albescens auf toter Zitterpappel (Populus tremula)



Saprophytisches Apothezium



Lichenisiertes Apothezium

#### Flechten: Holobiont

Table 1 A summary of culture dependent studies of lichen associates

Lichen species	Lichen habitat	Taxonomic diversity of the isolated microbiota	Roles of microbiota within the symbiosis/potential biotechnological applications	References
Unidentified	Terrestrial	Actinobacteria	None suggested/ Bioactive	González et al. (2005)
Cladonia digitata, C. rangiferina, C. coniocraea, C. pyxidata, C. coccifera, Pseudevernia furfuracea, Hypogymnia physodes, Roccella psychopsis, R. fuciformis	Terrestrial	Firmicutes, Actinobacteria, Alphaproteobacteria, Betaproteobacteria, Gammaproteobacteria	N-fixing/ Diazotrophic bacteria	Cardinale et al. (2006)
Canoparmelia caroliniana, C. crozalsiana, C. texana, Parmotrema sanctiangeli, P. tinctorum	Cyanolichens from rain forest in Brazil	Gammaproteobacteria	N-fixing, phosphate solubilization, IAA production, nutrition contribution via amino acid release	Liba et al. (2006)
Cladonia arbuscula, Lecanora polytropa, Umbilicaria cylindrica	Saxicolous above tree line in Austria	Alphaproteobacteria, Actinobacteria, Firmicutes, Betaproteobacteria, Gammaproteobacteria	N-fixing, proteolysis, chitionlysis, glucanolysis, phosphate solubilization, IAA production, antagonistic	Grube et al. (2009)
Acarospora flavocordia, Lecanora fuscobrumea, Lecidea cancriformis, Rhyzocarpon sp., Umbilicaria decussata, Usnea antarctica, Xanthoria elegans	Antarctic	Actinobacteria, Gamnaproteobacteria, Deinococcus-Thermus, Firnicutes	None suggested	Selbmann et al. (2010)
Cladonia sp. Cladonia rangifernia, Sphaerophorus globose	Epigeal bog in N-Russia (Karelia and Arctic tundra)	Actinobacteria, Acidobacteria, Alphaproteobacteria, Betaproteobacteria	None suggested	Pankratov (2012)
Ochrolechia sp.	Arctic region	Alphaproteobacteria, Betaproteobacteria	None suggested/ antibacterial and antioxidant activity	Kim et al. (2014)
Usnea sp., Cladonia borealis, Psoroma sp., Stereocaulon sp., Umbilicaria sp., Cetraria sp., Cladonia sp., Ochrolechia sp.	Antarctic and Arctic regions	Actinobacteria, Bacteroidetes, Deinococcus-Thermus, Firmicutes, Alphaproteobacteria, Betaproteobacteria, Gamnaproteobacteria	Nutrient supply (proteolysis and lipase activity)	Lee et al. (2014)
Lecanora helicopis, Verrucaria ceuthocarpa, Hydropunctaria maura, Caloplaca verruculifera	Seashore lichens, Northern Iceland	Alphaproteobacteria, Bacilli, Actinobacteria, Flavobacteria, Cytophagia, Sphingobacteria, Gammaproteobacteria	Proteolysis, glucanolysis, amylolysis, phosphate solubilisation, nitrogen fixation	Sigurbjörnsdóttir et al. (2014)
Lobaria pulmonaria	Maple trees in the Alps		Nutrient supply phosphate solubilization, antagonistic activity	Grube et al. (2015)
Lobaria pulmonaria	Three different locations in Austria	Betaproteobacteria, Gammaproteobacteria, Actinobacteria, Firmicutes	Antagonistic activity	Cernava et al. (2015a)
Lobaria pulmonaria	Three different locations in Austria		Volatile organic compound production, spermidine production, hydrogen cyanide production	Cernava et al. (2015b)

# Functions of non-photosynthetic, lichen-associated bacteria (and yeasts)

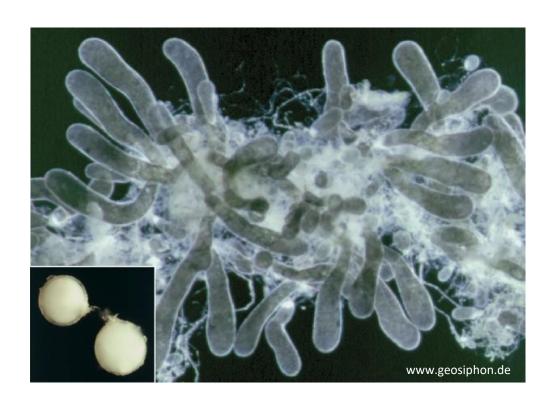
- N<sub>2</sub>-fixation
- Plant hormone and vitamin production
- Nutrient (phosphate, nitrate...) solubilization
- Production of defense molecules (toxins, antibiotics, volatiles...)

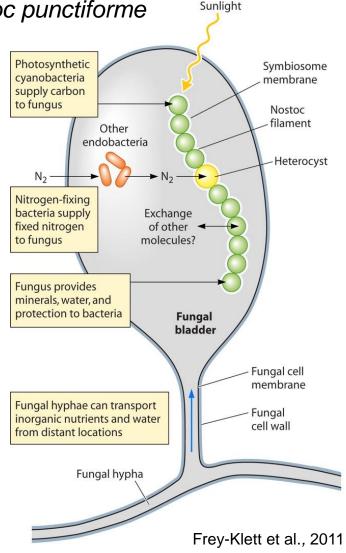
Evernia prunastri (Eichenmoos)

Sigurbjörnsdottir et al. 2016

# Geosiphon: Flechte aus Glomeromycota und intrazellulären Cyanobakterien

Geosiphon pyriformis (Glomeromycota) and Nostoc punctiforme





# Geosiphon: Flechte aus Glomeromycota und intrazellulären Cyanobakterien

Geosiphon pyriformis (Glomeromycota) and Nostoc punctiforme

BLO: bacteria-like organism

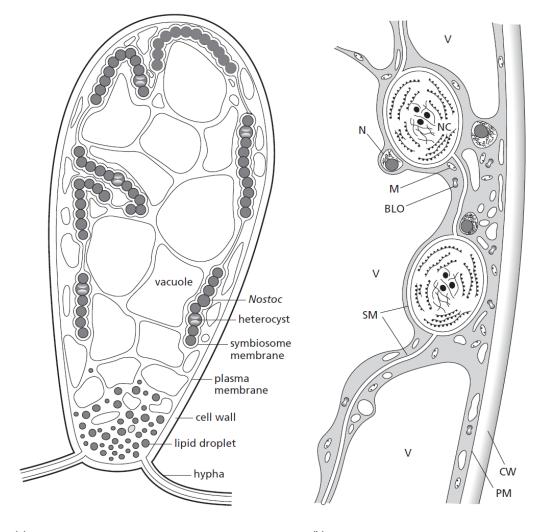
CW: cell wall M: mitochondrion

N: nucleus NC: nostoc cell

PM: plasma membrane

SM: symbiosome membrane

V: vacuole



# Endosymbiose zwischen Nostoc und Geosiphon pyriforme