

DISS. ETH NO. 29363

**MICROBIAL GROWTH AS A FUNCTION OF THE ENVIRONMENT
NUTRIENT LIMITATION, SELECTION PRESSURES AND COMMUNITY INTERACTION**

A thesis submitted to attain the degree of

DOCTOR OF SCIENCES

(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

JUSTUS WILHELM FINK

M.Sc. Mathematics, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

born on 08.02.1995

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Sebastian Bonhoeffer, ETH Zurich

Prof. Dr. Michael Manhart, Rutgers University

Prof. Dr. Martin Ackermann, ETH Zurich

Prof. Dr. Olivier Tenaillon, Université Sorbonne Paris Nord

Summary

Small single-celled microorganisms have a large effect on planet Earth. The resources that microbial species consume and release affect the human population through the climate of the oceans, the growth of agricultural crops, and the drinking water at home. The existence of these microbial species, and the efficiency of their metabolic work, is the outcome of evolutionary forces. Classically, we think of evolution as a slow process over geological times but for microbes, these processes can occur much faster. How much faster, and how the outcome depends on the environmental condition are two central questions for the field of microbial evolutionary dynamics. In order to address these questions, a well-connected set of concepts is needed. The work in this thesis contributes to this framework of concepts in three chapters. In chapter one, I analyze the current ambiguity in measuring the strength of selection and provide a new classification of relative fitness statistics. In chapter two, I study the microbial ability for growth at low nutrient concentrations (Monod growth rate affinity) and predict how microbial populations adapt their growth response to environmental nutrient concentrations. In the third and final chapter of the thesis, I provide a general measure of species interaction based on nutrient limitation and apply this measure to resolve an open problem of quantification in communities with cross-feeding. With this thesis, I form new links within the theories of microbial ecology and evolution and hope to contribute to the understanding of microbial growth as a function of the environment.

Zusammenfassung

Kleinste Mikroorganismen wirken mit grosser Tragweite auf den Planeten Erde. Durch den Verbrauch und das Freisetzen von chemischen Ressourcen berühren diese Mikroorganismen so auch den Menschen im Klima der Ozeane, im Ertrag seiner Felder und im Trinkwasser seines Zuhauses. Die Existenz dieser Vielzahl an bakteriellen Spezies und ihr vielseitiger Metabolismus sind das Ergebnis evolutionärer Kräfte. Das klassische Bild der Evolution als langfristiger, gleichsam geologischer Prozess gilt nicht für Bakterien, die eine deutlich schnellere Evolution erfahren. Die genaue Geschwindigkeit der Evolution, und wie sie von den Umweltbedingungen abhängt sind zwei zentrale Fragen der Evolutionären Dynamik. Eine erfolgreiche Bearbeitung dieser Fragen hängt nicht zuletzt von einer klaren Grundlage an Theorie und Definitionen ab. Die drei Kapitel dieser Arbeit tragen zu diesen Grundlagen bei. Im ersten Kapitel widme ich mich dem Nebeneinander mehrere Definitionen für ein-und denselben Parameter: der relativen Fitness einer mikrobiellen Mutante. Im zweiten Kapitel dieser Arbeit unterziehe ich die bakterielle Fähigkeiten für Wachstum und vor allem, die Fähigkeit für Wachstum bei geringen Konzentrationen, einer evolutionären Untersuchung. Im dritten und letzten Kapitel präsentiere ich eine allgemeine Definition für Interaktion in bakteriellen Gemeinschaften und wende sie auf ein ungelöstes Problem für Gemeinschaften mit gegenseitigem Ressourcenaustausch an. Mit dieser Arbeit gehe ich den Verbindungen zwischen der mikrobiellen Ökologie und Evolution nach und möchte damit ein besseres Verständnis des bakteriellen Wachstums insgesamt erreichen.