

## Abstract

Biological soil crusts (biocrusts) are cryptogamic communities forming complex biotic networks on the uppermost millimeters of the Earth's surface. Environmental factors and biotic interactions shape the community structure within the biocrust, characteristic of a particular type of biocrust. This community structure is constantly changing with its successive development. Biocrusts interact with their surrounding habitat, impacting ecosystem processes e.g., nutrient enrichment and soil stabilization. Thus, the diverse community has a broad influence on the functionality of its habitat. How these functions differ between the various biocrust types has been poorly studied, especially in temperate regions. Aiming to close this knowledge gap and concluding possible applications of these results, the field studies of this thesis investigate the successional development of biocrust communities and the respective shifts in the phototrophic community structure along dune chronosequences of the German Baltic Sea coast and an inland dune area in Northern Germany. An in-depth pedological study should reveal the factors that shape community development. Additionally, the study investigates the biocrusts' interactions with the surrounding matrix and how they actively influence it (e.g., initial soil formation processes). The pedological investigation also includes a detailed soil-chemical study of phosphorus (P) within the differing successional biocrust types.

The study results revealed that thin microalgae and cyanobacteria-dominated biocrusts were the dominating biocrust type on younger dunes, well adapted to this nutrient-poor and mobile habitat. On older and more stabilized dunes, macrophytic cryptogams i.e., mosses and lichens, formed the dominating biocrust types covering the majority of the dune surface. The initial input of organic biomass into the dune environment allows for the further development of soil. Observed soil-forming processes along the dune chronosequences were decalcification, acidification, nutrient enrichment, and the accumulation of pedogenic iron oxides confirming parent material transformation through mineral weathering. These transforming processes include shifts in the P pools. The overall total P content within the biocrusts increased along the chronosequences. Thereby, the relative proportion of the easily bioavailable P pool rose at the expense of more stable bound P, which was transformed into labile P.

The findings offer new insights into the community structure of microalgae-dominated biocrusts and their shifts into a macrophytic cryptogamic community. In conclusion, temperate coastal sand dunes seem to be unique habitats for biocrust colonization forming productive microecosystems that hold the potential to actively influence the physicochemical and biotic conditions of their surrounding environment. On a larger scale, biocrusts' key functions offer opportunities for application-oriented use, for example in dune stabilization, restoration, and coastal protection.

# Zusammenfassung

Biologische Bodenkrusten (Biokrusten) sind kryptogame Gemeinschaften, die komplexe biotische Netzwerke auf den obersten Millimetern der Erdoberfläche bilden. Umweltfaktoren und biotische Interaktionen formen die Gemeinschaftsstruktur innerhalb der Biokruste, die für einen bestimmten Biokrustentyp charakteristisch ist. Diese Gemeinschaftsstruktur verändert sich ständig mit ihrer sukzessiven Entwicklung. Biokrusten interagieren mit dem sie umgebenden Lebensraum und beeinflussen Ökosystemprozesse, z. B. Nährstoffanreicherung und Bodenstabilisierung. Somit hat die vielfältige Gemeinschaft einen großen Einfluss auf die Funktionalität ihres Lebensraums. Wie sich diese Funktionen zwischen den verschiedenen Biokrustentypen unterscheiden, ist bisher nur wenig untersucht worden, insbesondere in gemäßigten Klimazonen. Mit dem Ziel, diese Wissenslücke zu schließen und mögliche Anwendungen dieser Ergebnisse abzuleiten, untersuchen die Feldstudien dieser Arbeit die sukzessive Entwicklung von Biokruste-Gemeinschaften und die entsprechenden Verschiebungen in der phototrophen Gemeinschaftsstruktur entlang von Dünenchronosequenzen an der deutschen Ostseeküste und einem Binnendünengebiet in Norddeutschland. Eine eingehende bodenkundliche Untersuchung soll die Faktoren aufzeigen, die die Entwicklung der Gemeinschaft prägen und darüber hinaus die Wechselwirkungen beleuchten, welche die Biokruste mit der sie umgebenden Matrix hat und womit sie diese aktiv beeinflusst (z. B. anfängliche Bodenbildungsprozesse). Die bodenkundliche Untersuchung umfasst auch eine detaillierte bodenchemische Untersuchung von Phosphor (P) innerhalb der verschiedenen Biokrustentypen.

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass dünne, von Mikroalgen und Cyanobakterien dominierte Biokrusten die vorherrschenden Biokrustentypen auf jüngeren Dünen sind, die an diesen nährstoffarmen und mobilen Lebensraum gut angepasst sind. Auf älteren und stabileren Dünen bilden makrophytische Kryptogamen, d. h. Moose und Flechten, die vorherrschenden Biokrustentypen. Der anfängliche Eintrag von organischer Biomasse in die Dünenumgebung ermöglicht die weitere Entwicklung von Boden. Zu den beobachteten bodenbildenden Prozessen gehören Entkalkung, Versauerung, Nährstoffanreicherung und die Zunahme an pedogenen Eisenoxiden, die die Umwandlung des Ausgangsmaterials durch Mineralverwitterung bestätigen. Diese Umwandlungsprozesse beinhalten auch Verschiebungen in den P-Pools. Der Gesamt-P-Gehalt innerhalb der Biokrusten nimmt entlang der Chronosequenzen zu. Dabei steigt der relative Anteil des leicht bioverfügbaren P-Pools auf Kosten des stabileren gebundenen P, der in labilen P umgewandelt wird.

Die Ergebnisse bieten neue Einblicke in die Entwicklung von Mikroalgen dominierten Biokrusten und deren Übergang zu einer durch makrophytische Kryptogamen dominierten Gemeinschaft. Biokrusten sind produktive Mikroökosysteme und haben das Potenzial die physikalisch-chemischen und biotischen Bedingungen ihrer Umgebung aktiv zu beeinflussen. Die ökologischen Funktionen der Biokrusten bieten zudem die Möglichkeiten für eine anwendungsorientierte Nutzung, z. B. bei der Dünenstabilisierung und dem Küstenschutz