

Juni 2010

Ein Exkurs in die allgemeine Biologie zum Thema:

Symbiose

Überleben in Kooperation

Von Ingo Wöhler und Remmer Akkermann

Allgemeiner Teil

Im Laufe der Evolution haben sich spezielle Lebensgemeinschaften entwickelt, deren Organismen nur in Kooperation überleben können. Man nennt diese Vergesellschaftung und das Zusammenwirken zum gegenseitigen Nutzen Symbiose. Sie betrifft sehr unterschiedliche Partner. Das zeigen zahlreiche Beispiele, denen man fast überall auf der Erde begegnet (s. Kasten S. 3). Karl von Frisch (1967) umschrieb das allgemeinverständlich wie folgt: „Die Beziehungen zwischen verschiedenartigen Lebewesen sind vorwiegend unfreundlich. Sie kämpfen um den Lebensraum, einer frisst den anderen auf oder zehrt von ihm als Schmarotzer. Es gibt aber auch ein freundschaftliches Zusammenleben. Man nennt das Symbiose (Syn = mit, Bios = Leben). Wie beim Parasitismus finden sich viele Abstufungen: in zeitlicher Hinsicht von kurz dauernden Besuchen beim Partner bis zur Vereinigung auf Lebenszeit, in räumlicher Hinsicht von flüchtiger Berührung bis zur Verwachsung oder gar zum Eindringen des einen in den anderen; und, was das Wesen der Sache betrifft, von wechselseitigen Gefälligkeiten bis zu beiderseitiger Abhängigkeit, die über Leben und Tod entscheiden.“

Lebensgemeinschaften und Lebensräume stehen in einem engen Wechselverhältnis zueinander, abhängig auch von vielen abiotischen Faktoren. Fast jeder Organismus wirkt in dieser Synökie auf die anderen förderlich (probiotisch), regulierend oder hemmend (antibiotisch) ein. Wie äußerst komplex solche Wechselbeziehungen sind, zeigen beispielsweise die Lebensgemein-



1+2 Symbiose (Mutualismus) zwischen Pflanze und Tier: Honigbiene auf einer Blüte des Salbei. Indem sie zum Nektar drängt, drücken die Staubblätter auf den Rücken der Biene (oben); der dabei freigesetzte Pollen hängt an den Haaren fest und wird zur nächsten Salveiblüte mitgenommen.

FOTOS: ERICH LÜTHJE



schaften im Wattenmeer, im Wald oder auch in den Böden sehr deutlich. Profitiert nur eine Art davon, ohne dass die andere Art geschädigt wird, spricht man von Kommensalismus (Mitesser wie bei sozialen Insekten spezialisierte Milben, Käfer oder Krabben). Ein Zusammenleben von Organismen ohne gegenseitigen Nutzen (Neutralismus) ist weniger auffällig. Besteht zueinander nur ein lockeres Nutzverhältnis (Blütenpflanze und ihre Bestäuber wie Bienen und Fliegen), spricht man von Mutualismus; im englischen Sprachgebrauch wird dieser Begriff weitergehend verwendet. Der Parasitismus kann auch zur Symbiose gezählt werden, obwohl nur einer der beiden Organismen im Vorteil

ist und den anderen mäßig, stark bis tödlich schädigen kann. Allianzen gibt es unter Tierarten, die vor allem in Herden miteinander kooperieren. Strauße und Antilopen beispielsweise ergänzen sich mit jeweils besserem Gesichts- bzw. Geruchssinn.

Überlebenswichtige oder kurzzeitige Symbiosen

Bekannt sind überlebenswichtige (obligatorische oder Eu-) Symbiosen bei Flechten (Pilz und Alge), Korallen (Polyp und Alge) oder Blütenbestäubern (z.B. Fortpflanzungssymbiosen beim Apfelbaum und der Orchidee mit Insekten). Auch die Verdau-



3 Eine Muräne ist ein aalartiger Nachtjäger wärmerer Meere mit tief gespaltenem, stark bezahntem Maul. Krebse (Garnelen) kümmern sich an einer „Putzstation“ um die Reinigung und nutzen selbst die Nahrungsreste. FOTO: NORBERT VON ESSEN

ung ist undenkbar ohne die symbiontischen Mikroorganismen. Im menschlichen Darm leben zehnmal mehr Bakterien als der Mensch Körperzellen hat.

Eine physiologische Arbeitsteilung erfolgt auch zwischen verschiedenen bakteriellen Konsortien. Ein bekanntes Beispiel sind die nitrifizierenden Bakterien *Nitrosomonas* und *Nitrobacter*, die aus Ammoniak im Zuge der Nitrifikation Nitrat bilden.

Andere weit verbreitete Beispiele stellen das Zusammenspiel von z. B. Milchsäurebakterien und dem Wirt oder die Aufnahme des im Blinddarm bakteriell gebildeten Vitamin K bei Gänsen, Kaninchen, Buschbabys (*Galagos* = Halbaffen) und anderen, das in einer mehr flüssigen Phase ausgeschieden und bis zu etwa 70 % wieder gefressen wird, um die Vitamine dem Körperstoffwechsel über den Dünndarm zuzuleiten (Koprophagie).

Beim freien (fakultativen) zwischenartlichen Zusammenleben ist das Einzelleben

zwar weniger günstig, aber problemlos möglich (Einsiedlerkrebse und Seeanemone, Putzer und Fische). Jeder Symbiosepartner sorgt in der Regel nur für seinen eigenen Nutzen und lässt dem jeweils anderen so viel Spielraum, dass dessen hinreichende Mitwirkung an der Symbiose erhalten bleibt.

Unterschieden wird auch zwischen Ekto- und Endosymbiosen, je nachdem wo der kleinere Symbiont lebt, ob als Seeanemone auf dem Rückenpanzer des Krebses oder auf dem Schneckengehäuse des Einsiedlerkrebse angeheftet (Ekto- oder – wie auch das spezielle Beispiel unten zeigt – als einzellige endosymbiontische Alge im Inneren von Wimpertierchen).

Symbiosen gibt es also zwischen Tieren und Tieren, Pflanzen und Pflanzen, aber auch zwischen Tieren und Pflanzen sowie zwischen allen Gruppen mit Einzellern und Mikroorganismen. Der Wirt ist dann deutlich größer, wenn es sich bei deren Symbi-

onten beispielsweise um einzellige Algen handelt, die im größeren Körper des Wirtes Schutz suchen. Ein anderes Beispiel ist der Süßwasserpolyt *Hydra*, dessen symbiontischen Algen ihn grün oder gelb färben – wenn das Meerwasser zu warm wird beispielsweise durch den globalen Klimawandel und der Kohlensäuregehalt angestiegen ist, dann produzieren diese Algen toxische Ausscheidungsprodukte. Sie werden von den Korallenpolypen ausgestoßen, die Riffe bleichen aus und sterben ab. Durch karbonatabbauende Kohlensäure wird der Zerstörungsprozess noch verstärkt.

Spezieller Teil

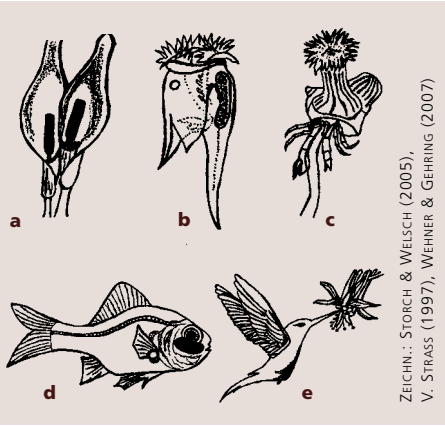
Symbiosen zwischen Wimpertierchen (Ciliaten) und Grünalgen (Chlorellen)

Eine typische Endosymbiose besteht zwischen dem Pantoffeltierchen (*Paramecium bursaria*) und der Grünalge (*Chlorella spec.*), die als Zoochlorelle im Tier lebt. Das Pantoffeltierchen gehört zu den Protozoen, Einzellern oder Urtierchen, Untergruppe Wimpertierchen oder Ciliaten.

Bei vielen Endosymbiosegemeinschaften ist die hohe Wirts- und Partnerspezifität typisch. Das Tier erkennt wahrscheinlich an der Oberflächenstruktur seine symbiontische Alge. Diese Algen befinden sich in besonderen Bläschen (Vakuolen). In den anderen, ebenfalls im Plasma befindlichen Nahrungsvakuolen können hingegen Algen und andere Nahrung verdaut werden. Dieser Vakuolentyp verfügt über ein entsprechendes Verdauungsenzym. Die meisten Leser werden sich an den Aufbau einer Zelle mit diesen kleinen Organellen erinnern.

Schon 1928 wurde nachgewiesen, dass grüne Pantoffeltierchen in einem belichteten, aber abgeschlossenen Glasgefäß Monate weiterleben konnten. Die farblosen Tiere, die keine Algen als Symbiosepartner hatten, starben nach kurzer Zeit. Weitere Untersuchungen zeigten, dass grüne *Paramecien* weniger Nährstoffe aus der Umgebung aufnehmen als algenfreie, da die Algen z. B. ihren produzierten Zucker (Maltose) an den Wirt abgeben. Die Grünalge hingegen wird vom Urtierchen mit Kohlendioxid, Phosphat und stickstoffhaltigen

4 Beispiele für Symbiosen: **a.** Aronstab mit einem Blüten-Kessel als warmes Kurzzeitgefängnis für kleine bestäubende Blütenbesucher, die Narben versorgen mit essbaren Tröpfchen; **b.** ein Ciliat aus der Gruppe der Entodiniomorpha ist obligat im Pansen von Wiederkäuern ansässig; **c.** Einsiedlerkrebse mit Actinie auf dem Schneckenhaus, er liefert regelmäßige Nahrungsreste, sie schützt gegen Angreifer; **d.** das bakteriell erzeugte Leuchtmuster am Kopf lässt in der Dunkelheit einen Tiefseefisch erkennen, das Licht zieht auch Beuteorganismen an; **e.** ein blütenbestäubender Kolibri im stehenden Schwirrflug bei der Nektartaufnahme.



ZEICHN.: STORCH & WELSCH (2005), V. STRASS (1997), WEHNER & GEHRING (2007)

Symbiose (Synökie, Mutualismus, Allianz)

(Begriff von Anton de Bary auf der 51. Versammlung
Deutscher Naturforscher und Ärzte in Kassel)

Die Symbiose ist das Zusammenleben von artverschiedenen Lebewesen mit ausgeprägter gegenseitiger Abhängigkeit zum wechselseitigen Nutzen, die Beteiligten heißen Symbionten. (abc Biologie)

Unter Symbiose verstehen wir das zeitweise oder dauernde Zusammenleben artverschiedener Organismen in enger morphologischer Verknüpfung und, insgesamt gesehen, mit wechselseitigem Nutzen. (Nultsch) – (sofern das Zusammenleben zum Schaden eines Partners ist, wird es als Parasitismus bezeichnet)

Beispiele:

- Stickstofffixierung durch Knöllchenbakterien (Symbiose v. Blütenpflanzen u. Bakterien)
- Bakterielle Konsortien in biochemischer Arbeitsteilung (*Nitrosomas/Nitrobacter*; Cyanobakterien)
- Verdauung (Symbiose von Bakterien und Protozoen in Magen/Darm aller Tiere incl. Mensch), auch unter teilweiser Verdauung der Symbionten
- Lichterzeugung durch Bakterien (Meeresleuchten durch Flagellaten *Noctiluca*, (Rippen-) Quallen, Tintenfische u. Fische der Tiefsee, Glühwürmchen (Leuchtkäfer)
- Kooperation von Algen & Pilzen (Flechten) als physiologische Kooperation
- Nährstoffaufnahme durch Mykorrhiza (Symbiose von höheren Pflanzen & Pilzen)
- Blütenbestäubung und Nektarlieferung (Ekto-Symbiose von Pflanzen mit Insekten vieler Arten, sowie mit Fledermäusen, Nektarvögeln, z. T. sehr spezifisch aufeinander nach Farbe, Blütenmorphologie, Geruch und Bewegung abgestimmt)
- Kooperationen im Korallenriff (Symbiose von Feuer-/Steinkorallen-Polypen, Schwämmen, Riesenmuscheln mit Dinoflagellaten bzw. einzell. Algen zur Fotosynthese)
- Schutz- u. Transportgemeinschaft (Einsiedlerkrebs & Seeanemone/& Ersatzpanzer)
- Schutz-/Habitat und Nahrungsquelle (Termiten und Pilze, Seestern & Krabbe, Hohltiere auf Rücken von Krebs zum Schutz vor Feinden)
- Schutz und Nahrungslieferung (Ameisen und Blattläuse)
- Putzer von Oberflächen (Symbiose zw. Fisch & Fisch, Fisch & Krebs, Säuger & Vogel)
- Wohngemeinschaft (Symbiose zw. Fisch & Garnele, Singvogel & Greif am Nest)

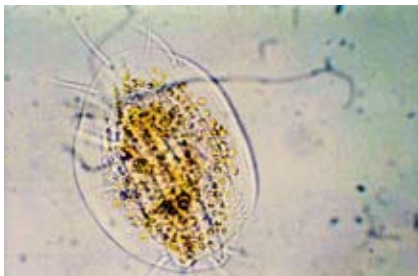


6 Flechten sind das Musterbeispiel für die obligate Symbiose zwischen assimilierenden Blau- oder Grünalgen und meist vorherrschenden Schlauch- oder (seltener) Ständerpilzen. Da sie sensibel auf Schadstoffe in der Luft reagieren, werden sie auch als Bioindikatoren für Industrieabgase eingesetzt. FOTO: DIETER TORNOW

das Zusammenwirken der beiden unterschiedlich großen Zellkerne einer Symbiose gleichkommt, bevor sich im Verlauf der Evolution nach dem Einziehen von zellteilenden Membranen die Schwelle zur Mehrzelligkeit einstellt. Ein ähnliches Phänomen kann man bei den Mitochondrien vermuten, die möglicherweise auf ihre Eigenständigkeit verzichtet haben und symbiontisch mit dem Kern im Plasma vergesellschaftet sind.

E. daidaleos lebt in langsam fließenden oder stehenden Gewässern, bei der eng verwandten Art *E. patella* haben nur die Individuen aus dem Faulschlamm häufiger symbiontische Grünalgen. In einer frischen Wasserprobe sind nur wenige grüne *Euplotes* zu finden. Sie sind aber öfter mit farblosen Gattungen zusammen, von denen sie sich aufgrund ihrer Größe und Farbe unterscheiden.

Schnell teilende Organismen haben weniger Zoochlorellen als eine statische Kultur.



5 *Euplotes daidaleos* mit symbiontischen Grünalgen (Chlorella). FOTO: INGO WÖHLER

Substanzen versorgt und ist auch vor Feinden und Umwelteinflüssen geschützt.

Ein anderer Ciliat ist *Euplotes daidaleos* (Abb. 5). Es sind einzellige Tiere, und sie haben ihren Namen auch von den als Bewegungsorganellen dienenden Wimpern (Cilien). Die Cilien sind kürzer als die peitschenartigen Geißeln, grundsätzlich aber gleich gebaut. Diese *Euplotes*-Art besitzt 18 Cilien, die sich unterschiedlich über die Außenwand der Zelle verteilen. Die Cilien dienen der Schwimm- und Kriechbewegung. Benachbarte Cilien können auch zu stärkeren Borsten (Cirren) ausgebildet sein. Ihre Hauptaufgabe besteht darin, Nahrungspartikel an den Zellmund zu strudeln.

Euplotes daidaleos hat einen flachen, ovalen bis runden Körper und ist von einer dicken Wand (Pellikula) umgeben. Das vegetative, sich nicht teilende Tier ist etwa 90 μm lang und 60 μm breit ($1\mu = 10^{-6} = 1$ Tausendstel mm); die sich vegetativ durch Zweiteilung vermehrende *E. daidaleos* sind größer, geschlechtlich fortgepflanzte sind dagegen kleiner und runder.

Geschlechtlich pflanzt sich *Euplotes* durch Konjugation fort, also durch Genaustausch (Sexualität ohne Vermehrung), die Vermehrung findet durch 2-Teilung statt. Bei *Euplotes* tritt, wie bei allen Ciliaten, der so genannte Kerndualismus auf, d.h., man findet nebeneinander zwei Kerntypen: den meist polyploiden Makronucleus, der den gesamten Stoffwechsel und die Bewegungsvorgänge regelt und den diploiden Mikronucleus, der bei den Geschlechtsvorgängen eine Rolle spielt. Auch hierbei stellt sich die Frage, ob



7 Pilze sind unverzichtbare Begleiter der heimischen Flora, insbesondere Symbionten der Gehölze und Orchideen. Als Mykorrhiza stärken sie mit ihren schlauchigen Auswüchsen die Vitalität der Bäume. Andere Pilze sorgen auf parasitischem oder saprophytischem Weg für die Zersetzung organischer Reste. Hier ist ein Steinpilz zu sehen. FOTO: GEORG MÜLLER



Foto: BSH-Archiv

8 Orchideen wie die Gruppe der Ragwurze locken bestäubende Insekten und Spinnen durch hochgradige Imitation (Mimikry) ihrer Blütenlippe von weiblichen Symbionten an (Fliegen-, Hummel-, Bienen-, Spinnen-Ragwurz).

Auch farblose Tiere werden beschrieben. Dies kann ein Hinweis darauf sein, dass *E. daidaleos* nicht abhängig von den symbiontischen Algen ist. Im Cytoplasma von *E. daidaleos* leben auch Bakterien; in der Literatur wird sogar von einer trilateralen Symbiose zwischen Tier, Alge und Bakterium gesprochen. Andererseits ernährt sich dieser Ciliat von Bakterien, Algen, Flagellaten und anderen kleinen Ciliaten.

Eine obligate Symbiose zwischen drei Arten, wie sie bei heißen Quellen im Yellowstone-Nationalpark festgestellt wurde, ist bei wikipedia.org wie folgt beschrieben:

Das Gras *Dichanthelium lanuginosum* toleriert mit dem Pilz *Curvularia protuberata* im Wurzelbereich noch Temperaturen von nahezu 70°C. Allein können beide nur ca. 38°C überstehen. Zwingend notwendig bei dieser Symbiose ist der dritte

Beteiligte, das Virus CthTV (*Curvularia thermal tolerance virus*), das den Schimmelpilz befällt. Wird dieses Virus entfernt, verliert der Pilz seine Hitzebeständigkeit und mit ihm geht auch das Gras am heißen Standort zugrunde.

Lichtanpassung

Versuche unter kontrollierten Bedingungen konnten zeigen, dass im *Euplotes daidaleos* in der beleuchteten und nicht gefütterten Versuchsvariante die Anzahl der Algen im Tier deutlich um fast 50 % angestiegen ist. Dieses deutet darauf hin, dass *Euplotes*, das über keine externen Nahrungsquellen verfügen konnte, den Lebensraum seiner Symbionten erweitern lässt. Auf diese Weise kann *Euplotes* überleben, indem es wahrscheinlich die bei der Fotosynthese durch die Algen gebildeten Zuckerverbindungen verwertet. Dieses Verhaltensmuster spiegelt sich bereits unter den hier gewählten Bedingungen auch schon nach kürzerer Versuchsdauer wider. Hohe Beleuchtungsstärken verträgt *E. daidaleos* nicht. Nach 7 Tagen waren bei 9000 Lux keine Ciliaten im Kulturmedium nachweisbar.

Im Dunkeln sind autotrophe Organismen nicht in der Lage, Fotosynthese zu treiben, folglich werden die Syntheseprodukte, z. B. Kohlenhydrate, nicht gebildet. Die Zoochlorellen sind deshalb als Endosymbiosepartner für *E. daidaleos* wertlos. Im Versuchsansatz mit Fütterung der Grünalge *Chlorogonium elongatum* kann das Tier wohl beide Algenarten – die freilebenden

Chlorogonien und die symbiontischen Chlorellen – fressen. Auf diese Weise – im Dunkeln und mit Fütterung – ließen sich algenfreie *E. daidaleos* herstellen. Ursprünglich grüne Tiere wurden im Dunkeln bei 22°C Raumtemperatur in Erlenmeierkolben gehalten. Die Kultur wurde unregelmäßig mit *C. elongatum* gefüttert.

Im Versuchsansatz ohne Fütterung im Dunkeln konnten nach 4 Wochen keine *E. daidaleos* mehr nachgewiesen werden. Schon nach kürzerer Kulturdauer hatte sich die symbiontischen Algen im Tier signifikant vermindert. *Euplotes* kann unter diesen Bedingungen nicht überleben.

Bei *E. daidaleos* scheint die Bildung einer stabilen Symbiose mit Chlorella bei guter externer Nährstoffversorgung und Licht gegeben zu sein.

Betrachtet man das Endosymbiosesystem *E. daidaleos/Chlorella spec.* auch vom Standpunkt der Evolution, dann muss eine Infektion möglich sein, sonst hätte *E. daidaleos* im Laufe seiner Entwicklungsgeschichte chlorellenfrei werden müssen. ■

IMPRESSUM

Naturschutzverband Niedersachsen e.V. (NVN)/Biologische Schutzgemeinschaft Hunte Weser-Ems e.V. (BSH) mit Unterstützung des NaturschutzForum Deutschland e.V. (NaFor).
Text: Dr. Dr. Ingo Wöhler (Spez. Teil, Lektorat), Prof. Dr. Remmer Akkermann (Allg. Teil). **Fotos:** Erich Lüthje, Georg Müller, Dieter Tornow, Norbert von Essen, Ingo Wöhler. **Zeichnungen:** Sonja Lübben. **Redaktion:** Prof. Dr. Remmer Akkermann, Liesa von Essen, B.A. **Gestaltung:** Rudi Gill, Mitarbeit Jürgen Schröder (München). **Bezug:** BSH, D-26203 Wardenburg. Sonderdrucke für die gemeinnützige Öffentlichkeits- und Bildungsarbeit werden, auch in Klassensätzen, zum Selbstkostenpreis ausgeliefert, soweit der Vorrat reicht. Einzelabgabe 0,50 € (in Briefmarken zuzügl. adr. A4-Freiumschatz). Der Druck dieses Merkblattes wurde ermöglicht durch den Beitrag der Vereinsmitglieder. © NVN/BSH. **Unveränderter Nachdruck** für gemeinnützige Zwecke ist mit Quellenangabe erlaubt. Jeder, der Natur- und Artenschutz persönlich fördern möchte, ist zu einer **Mitgliedschaft** eingeladen. Steuerlich abzugsfähige Spenden – auch kleine – sind hilfreich. **Bank:** LzO (BLZ 280 501 00) Konto Nr. 000 44 30 44. **Adressen:** BSH, Gartenweg 5/Friedrichstr. 2a, D-26203 Wardenburg, www.bsh-natur.de Tel.: (04407) 51 11, Fax: (04407) 67 60, Email: info@bsh-natur.de – NVN, Alleestraße 1, 30167 Hannover, www.naturschutzverband.de Tel.: (0511) 7002 00, Fax: (0511) 7045 33, Email: info@naturschutzverband.de. Homepage des Naturschutzforums: www.nafor.de Auflage: 2000. Das NVN/BSH-Merkblatt wird auf 100% Recyclingpapier gedruckt. Es ist im BSH-Internet abrufbar. **Einzelpreis:** 0,50 €.

LITERATUR

Allgemeiner Teil

- Akkermann, R. & v. d. Ohe, W. (Hrsg., 2004): Honigbienen, Apis mellifera.- Inf. z. Naturschutz u. Landschaftspf. in Nordwestdeutschland, 7., 304 S., Runge/BSH Wardenburg
- Görtz, H.-D. (1988): Formen des Zusammenlebens.- 200 S., Wissensch. Buchges. Darmstadt, (ISBN 3-534-01938-5)
- Höppner, H. (1985): Ohne Pilze kein Wald. Bedeutung und Schutz der Pilze im Ökosystem Wald.- BSH/NVN Merkbl. 4/85, 4 S., Wardenburg
- Reinke, H.-D. (1989): Flechten. Partnerschaft zwischen Pilz und Alge.- BSH/NVN- Merkbl. 8/89; 4 S., Wardenburg.
- Storch, V. & Welsch, U. (2005): Kurzes Lehrbuch der Zoologie. – 8. A., 672 S., Elsevier, Spektrum Akad. Verlag, Heidelberg
- Streble, H. & Krauter, D. (2006): Das Leben im Wassertropfen – Mikroflora und Mikrofauna des Süßwassers.- 10. A., 429 S., Kosmos Franck Stuttgart
- Wehner, R. & Gehring, W. (2007): Zoologie.- 24. Aufl., 945 S., Thieme Stuttgart

Spezieller Teil

- Diller, W. F. und D. Kounaris (1966): Description of a zoochlorella-bearing form of Euplotes, *E. daidaleos* N. SP. (Ciliophora, Hypotrichida), Biol. Bull. 131, 437-445
- Heckmann, K. (1983): Endosymbionts of Euplotes in Intracellular Symbiosis ed. by Kwang W. Jeon, Academic Press
- Wöhler, I. (1983): Kultur des Endosymbiose-Systems Euplotes daidaleos-Chlorella spec. unter definierten Wachstumsbedingungen, Diplomarbeit FB Biologie, Univ. Göttingen.