



Achim Mall

Jahrgang 1985. 2007–2014 Biologiestudium an der Universität Freiburg, 2014–2018 Doktorarbeit in der Abteilung Mikrobiologie bei Prof. Dr. I. Berg. Seit 2019 Postdoc an der Universität Bergen, Norwegen, im K. G. Jebsen Centre for Deep Sea Research bei Prof. Dr. I. Steen.

DOI: 10.1007/s12268-019-1054-6
© Springer-Verlag 2019

■ Als vor über 60 Jahren der Calvin-Benson(CB)-Zyklus in photosynthetischen Algen und wenig später auch in chemosynthetischen Bakterien entdeckt wurde, galt er als der „autotrophe Mechanismus“. Heute ist klar, dass das voreilig war. Sechs eigenständige Wege zur autotrophen Kohlenstofffixierung und viele Varianten davon sind bekannt, die als Anpassungen an unterschiedliche Umweltbedingungen oder konvergent entstanden sind. Wir entdeckten in autotrophen und anaeroben Bakterien aus heißen Vulkanquellen zwei neue und unerwartete Stoffwechselstrategien zur Kohlenstofffixierung.

Das schwefelreduzierende Bakterium *Desulfurella acetivorans* kann heterotroph auf Acetat wachsen und nutzt hierfür den Citratzyklus. Mangels Genen für bekannte Kohlenstofffixierungswege blieb der Stoffwechselweg für autotrophes Wachstum in diesem Organismus jedoch ein Rätsel. Tatsächlich braucht *D. acetivorans* hierfür keine dedizierten Enzyme, denn es kann den Citratzyklus umkehren und so Kohlenstoffdioxid in Acetyl-CoA fixieren (Abb. 1, [1]). Diese Strategie wurde schon vor 50 Jahren vorgeschlagen, doch erst der Nachweis einer ATP-abhängigen Citratlyase lieferte eine Erklärung für

VAAM-Promotionspreis 2019

Neue Kohlenstofffixierungswege in Vulkanbakterien

ACHIM MALL

ABTEILUNG MIKROBIOLOGIE, UNIVERSITÄT FREIBURG

die energetisch ungünstige Spaltung von Citrat zu Acetyl-CoA und Oxalacetat. In *D. acetivorans* läuft diese Umsetzung ATP-unabhängig ab – was man unter physiologischen Bedingungen für unmöglich hielt. Eine hochaktive Malatdehydrogenase schafft jedoch eine extrem niedrige Oxalacetatkonzentration, und auch die Acetyl-CoA-Konzentration ist sehr niedrig. Dies verschiebt das Reaktionsgleichgewicht so weit, dass die Citratsynthese ihre Rückreaktion, die Spaltung von Citrat, katalysieren kann. Diese unerwartete Variante des Citratzyklus, der *reverse oxidative (ro)TCA cycle* kann nicht bioinformatisch abgeleitet werden, weshalb sie prinzipiell in allen anaeroben Organismen mit vollständigem Citratzyklus autotrophes Wachstum ermöglichen könnte. In der Tat wurde der gleiche Weg in einem nicht verwandten schwefelreduzierenden Bakterium nachgewiesen [2].

Im zur Klasse Clostridia gehörenden Bakterium *Ammonifex degensii* zeigten wir, dass zwei Kohlenstofffixierungswege, der reduktive Acetyl-CoA-Weg und der CB-Zyklus, gleichzeitig aktiv sind (Abb. 1, [3]). Der sauerstoffempfindliche und hitzestabile Acetyl-CoA-Weg kommt in autotrophen Clostridia häufig vor, wohingegen der CB-Zyklus noch nie in streng anaeroben oder extrem thermophilen Organismen gefunden wurde. Der CB-Zyklus in *A. degensii* verwendet zwei

archaeelle Enzyme, die bisher nicht als Teil des CB-Zyklus beschrieben wurden: eine Form-III-Ribulosebisphosphat-Carboxylase/Oxygenase (Rubisco) und Fructosebisphosphat-Aldolase/Phosphatase. Das CB-Zyklus-spezifische Enzym Sedoheptulosebisphosphatase wird durch Transaldolase ersetzt. Wahrscheinlich hat sich dieser stark modifizierte CB-Zyklus konvergent in der Klasse Clostridia entwickelt. Auch andere Vertreter dieses Phylums besitzen homologe Gene für den CB-Zyklus, allerdings ist dort der Acetyl-CoA-Weg nicht mehr vollständig. Der CB-Zyklus scheint also physiologische Vorteile gegenüber dem weit energieeffizienteren Acetyl-CoA-Weg zu bieten, selbst in anaeroben und thermophilen Organismen.

Danksagung

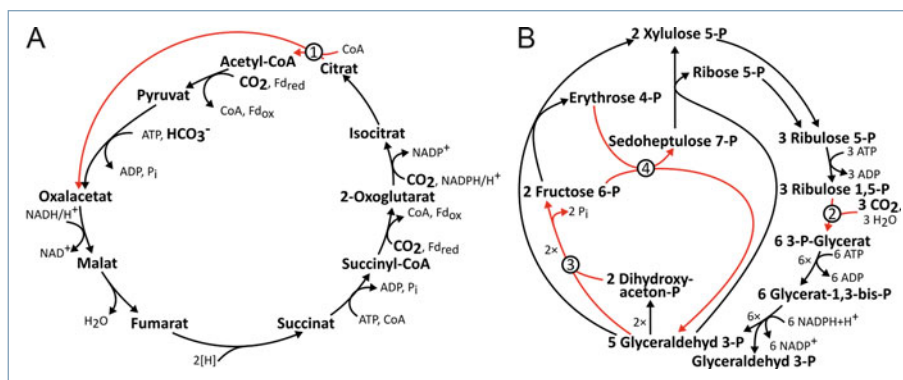
Vielen Dank an meinen Doktorvater Ivan Berg, alle an der Arbeit beteiligten Studierenden und an unsere Kooperationspartner, besonders an die Gruppe von Wolfgang Eisenreich an der TU München für die wichtigen Beiträge und gute Zusammenarbeit. Außerdem danke ich der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Förderung beider Projekte. ■

Literatur

- [1] Mall A, Sobotta J, Huber C et al. (2018) Reversibility of citrate synthase allows autotrophic growth of a thermophilic bacterium. *Science* 359:517–518
- [2] Nunoura T, Chikaraishi Y, Izaki R et al. (2018) A primordial and reversible TCA cycle in a facultatively chemolithoautotrophic thermophile. *Science* 359:559–563
- [3] Mall A, Sobotta J, Huber C et al. Emergence of the Calvin-Benson cycle in autotrophic anaerobic thermophiles. (In Revision)

Korrespondenzadresse:

Dr. Achim Mall
K. G. Jebsen Centre for Deep Sea Research
Realfagbygget – Universität Bergen
Allegaten 41
N-5007 Bergen
achim.mall@uib.no



▲ **Abb. 1:** Neue Wege zur Kohlenstofffixierung in thermophilen Bakterien. Neu entdeckte Schritte sind rot markiert. **A,** roTCA-Zyklus in *Desulfurella acetivorans*. (1) ATP-unabhängige Citratspaltung. **B,** ein anaerober und hitzestabiler CB-Zyklus in *Ammonifex degensii*. (2) Form-III-Rubisco, (3) Fructosebisphosphat-Aldolase/Phosphatase, (4) Transaldolase.

Die VAAM dankt den Sponsoren der Promotionspreise: BASF SE, Bayer AG, New England Biolabs GmbH und Evonik Industries AG.