

# Total synthesis of bafilomycin A#

**Doctoral Thesis****Author(s):**

Kleinbeck, Florian Karl

**Publication date:**

2008

**Permanent link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005644492>

**Rights / license:**

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

Diss. ETH No. 17777

# **Total Synthesis of Bafilomycin A<sub>1</sub>**

A dissertation submitted to the  
**Swiss Federal Institute of Technology Zürich (ETH)**

for the degree of  
**Doctor of Sciences**

presented by

**Florian Karl Kleinbeck**

Dipl. Chem. ETH Zürich  
born May 27, 1978  
Citizen of the Federal Republic of Germany

accepted on the recommendation of

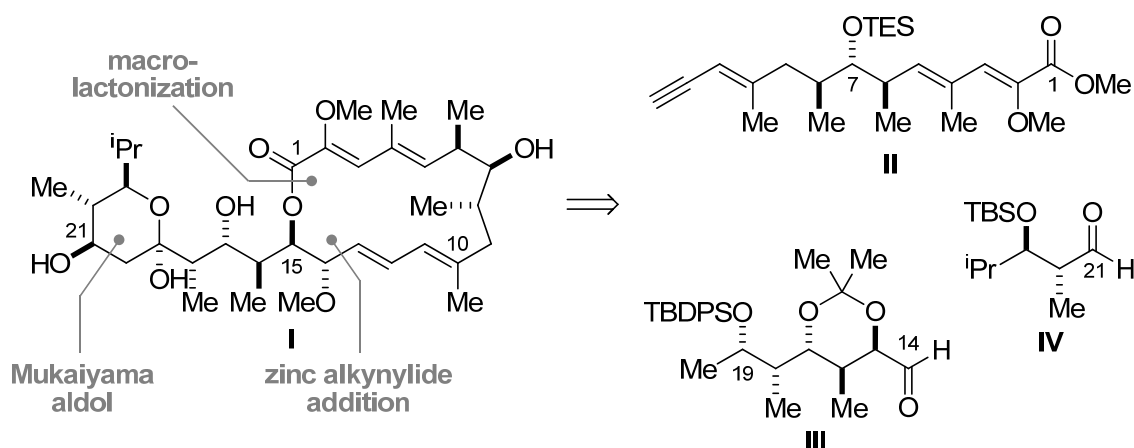
Prof. Dr. Erick M. Carreira, examiner  
Prof. Dr. Karl-Heinz Altmann, co-examiner

Zürich, 2008

## Abstract

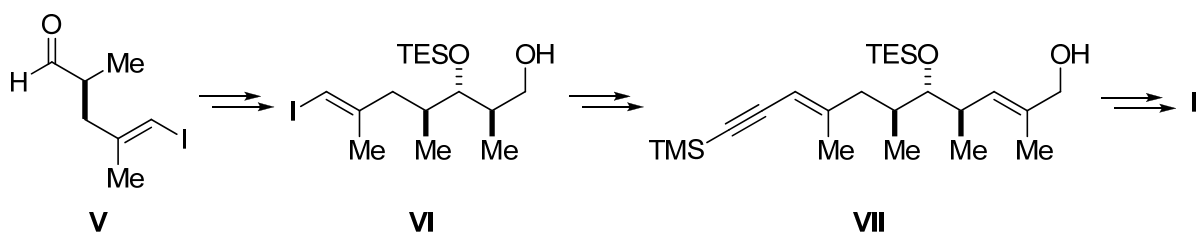
Bafilomycin A<sub>1</sub> (**I**), a member of the plecomacrolide family, was first isolated in 1983 by Werner and Hagenmaier from the actinobacterium *Streptomyces griseus* sp. *sulphurus*. Within its wide spectrum of biological activities, the selective inhibition of V-type ATPases by **I** has attracted the most attention.

This thesis describes the total synthesis of bafilomycin A<sub>1</sub> as outlined in Scheme I. The retrosynthesis relies in large part on asymmetric synthetic methods recently developed in our laboratories to effect important transformations, allowing a convergent and straightforward approach to the target structure. Enyne **II** and aldehydes **III** and **IV** were identified as key intermediates.



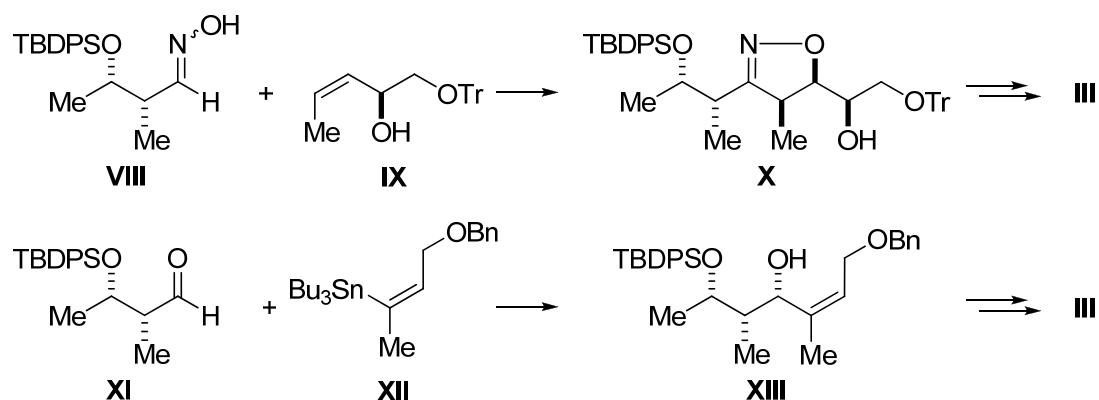
**Scheme I.** Retrosynthetic strategy.

Enyne **II** was synthesized in 14 linear steps. A Masamune *anti*-aldol reaction with aldehyde **V**, prepared itself by a Myers alkylation, set the *anti,anti*-stereotriad in the fragment. Further elaboration of intermediate **VI** into allylic alcohol **VII** was accomplished by a Sonogashira coupling and a Wittig reaction. A final Horner-Wadsworth-Emmons reaction afforded enyne **II** (Scheme II).



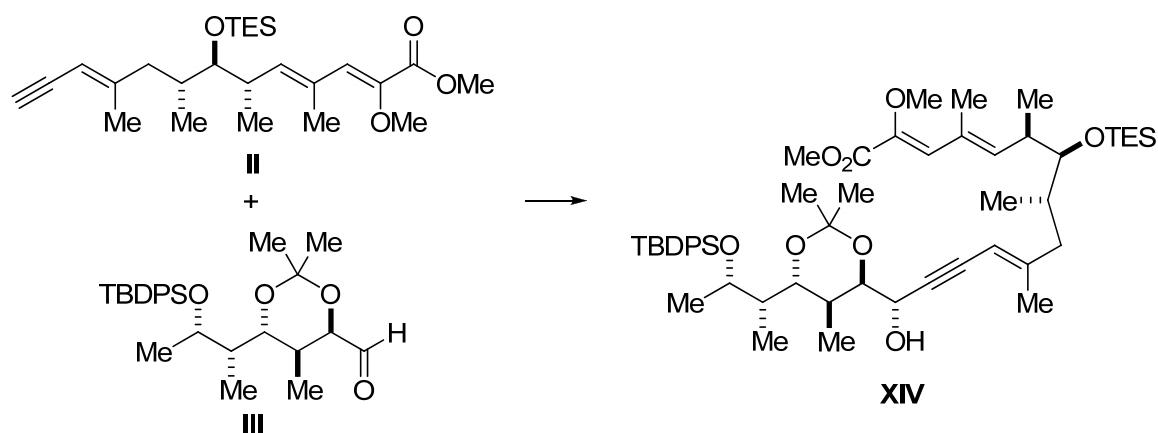
**Scheme II.** Synthesis of enyne fragment **II**.

Two independent routes were developed to access aldehyde fragment **III**. In the first, a nitrile oxide cycloaddition between allylic diol **IX** and oxime **VIII** afforded isoxazoline **X**, which could be transformed into aldehyde **III** by reductive opening and subsequent *anti*-reduction of the intermediate  $\beta$ -hydroxy ketone (Scheme III). In the second route, diastereoselective addition of a lithium alkenyl species derived from stannane **XII** to aldehyde **XI** and subsequent hydroboration of the intermediate alkene **XIII** furnished the same aldehyde **III** (Scheme III).



**Scheme III.** Synthesis of aldehyde fragment **III**.

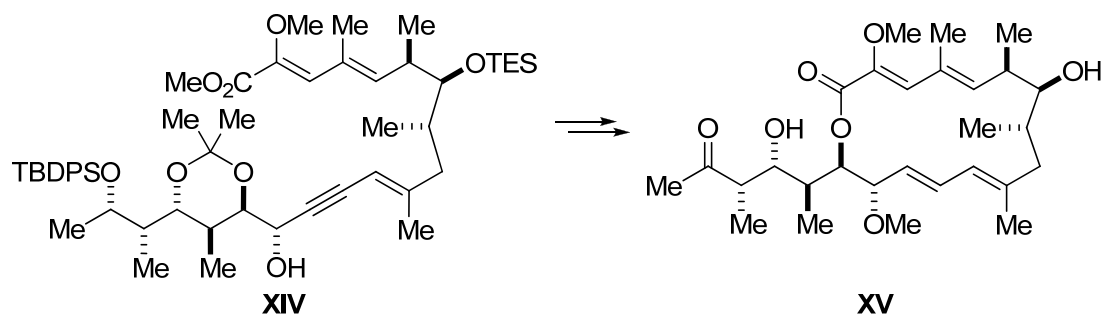
The coupling of enyne **II** and aldehyde **III** using the zinc triflate mediated addition of terminal alkynes to aldehydes developed in our laboratories constituted the key step of the synthesis. The transformation efficiency provided propargylic enyne **XIV** in high yield as a single diastereoisomer (Scheme IV).



**Scheme IV.** Fragment coupling via zinc alkynylide addition of enyne **II** to aldehyde **III**.

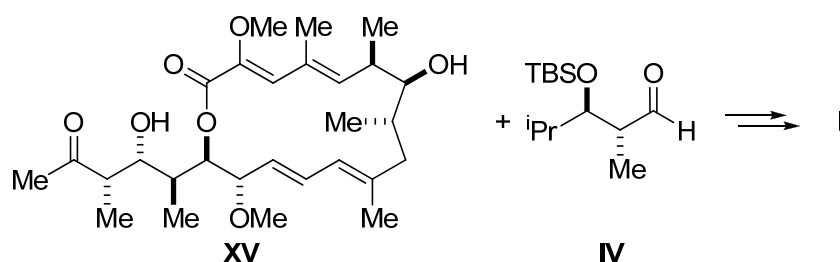
The enyne moiety in **XIV** was reduced to the *trans,trans*-diene in a hydrosilylation – protodesilylation sequence. Removal of the protecting groups was followed by

macrolactonization under Yamaguchi conditions to give exclusively the 16-membered macrolactone. Subsequent deprotection and selective oxidation of the least hindered hydroxy group in the intermediate triol provided methyl ketone **XV** (Scheme V).



**Scheme V.** Elaboration of propargylic alcohol **XIV** into methyl ketone **XV**.

A Mukaiyama aldol reaction with known aldehyde **IV** finally afforded the natural product **I** after deprotection. The synthesis of bafilomycin A<sub>1</sub> proceeded in 29 linear synthetic steps and 2.2% overall yield (Scheme VI).

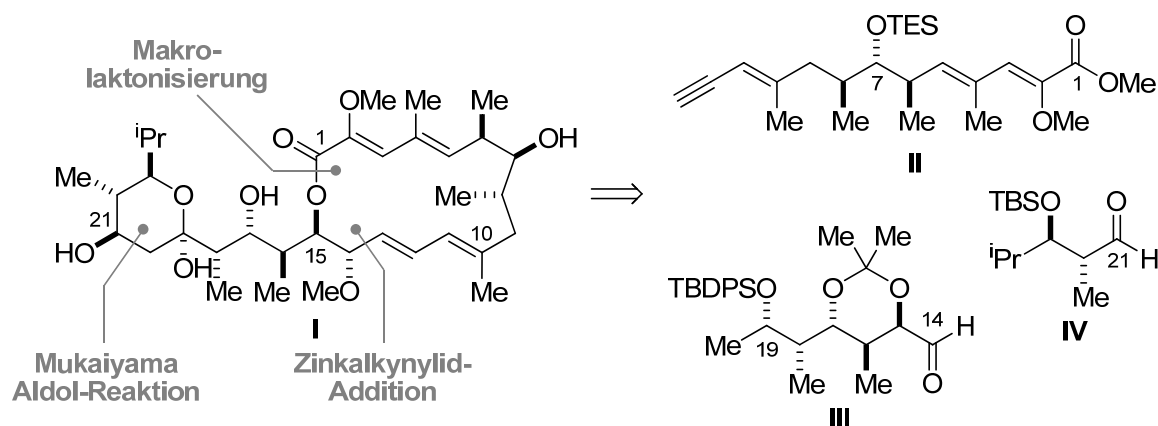


**Scheme VI.** Completion of the synthesis of bafilomycin A<sub>1</sub> (**I**).

## Zusammenfassung

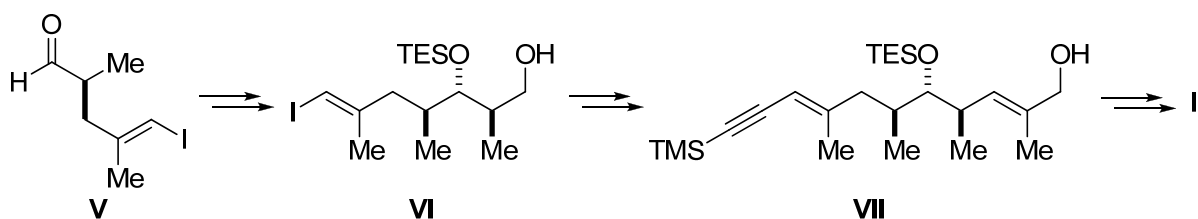
Bafilomycin A<sub>1</sub> (**I**), ein Vertreter der Familie der Plecomacrolide, wurde zum ersten Mal 1983 durch Werner und Hagenmaier aus dem Actinobakterium *Streptomyces griseus* sp. *sulphurus* isoliert. Die Eigenschaft seines breiten biologischen Wirkspektrums, die am meisten Aufmerksamkeit erregt hat, ist die selektive Inhibierung von vakuolaren ATPasen.

Die vorliegende Doktorarbeit beschreibt die Totalsynthese von Bafilomycin A<sub>1</sub>, wie sie in Schema I dargestellt ist. Die Retrosynthese beruht zu einem grossen Teil auf asymmetrischen Synthesemethoden, die in unseren Laboratorien entwickelt worden sind, um wichtige Umsetzungen durchzuführen. Dies erlaubt einen konvergenten und direkten Zugang zur Zielstruktur. Das Enin **II** und die Aldehyde **III** und **IV** wurden dabei als Hauptintermediate ermittelt.



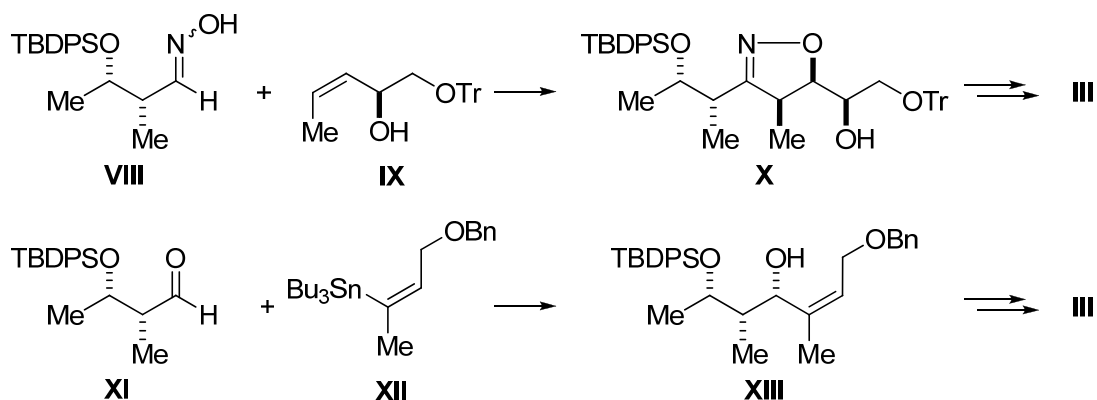
Schema I. Retrosynthese-Strategie.

Das Enin **II** wurde in 14 linearen Schritten synthetisiert. Eine Masamune-*anti*-Aldolreaktion mit Aldehyd **V**, der wiederum über eine Myers-Alkylierung hergestellt worden war, setzte dabei die drei *anti,anti*-konfigurierten stereogenen Zentren des Fragments. Die weitere Umsetzung von Intermediat **VI** zum Allylalkohol **VII** wurde durch eine Sonogashira-Kopplung und eine Wittigreaktion erreicht. Eine abschliessende Horner-Wadsworth-Emmons-Reaktion ergab Enin **II** (Schema II).



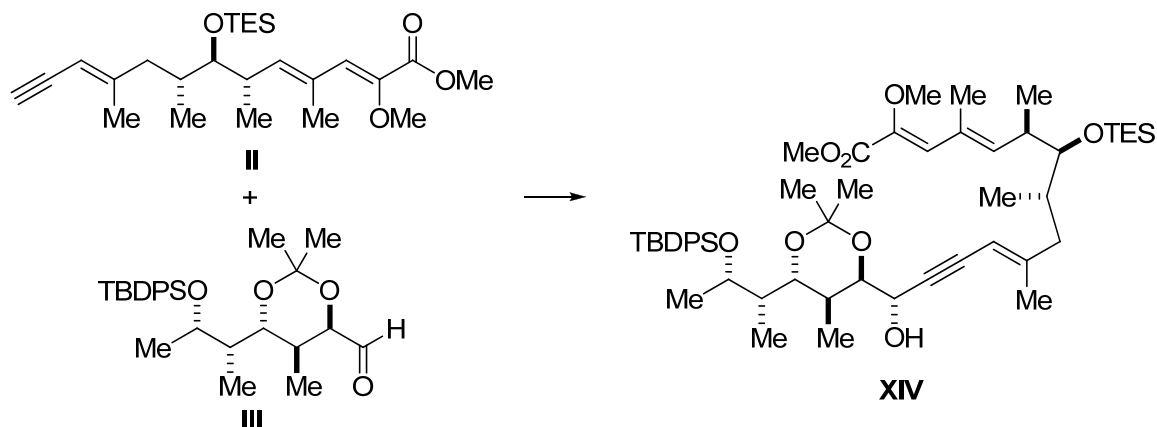
Schema II. Synthese des Enin-Fragments **II**.

Zwei unabhängige Routen wurden entwickelt, um Zugang zum Aldehydfragment **III** zu erhalten. In der ersten Route ergab eine Nitriloxicycloaddition zwischen dem Allylalkohol **IX** und dem Oxim **VIII** das Isoxazolin **X**, welches durch reduktive Öffnung und anschliessende *anti*-Reduktion des intermediären  $\beta$ -Hydroxyketons zum Aldehyd **III** umgesetzt werden konnte (Schema III). In der zweiten Route lieferte die diastereoselektive Addition einer von Stannan **XII** abgeleiteten Lithiumalkenylspezies an Aldehyd **XI** und anschliessende Hydroborierung des gebildeten Alkenintermediats **XIII** denselben Aldehyd **III** (Schema III).



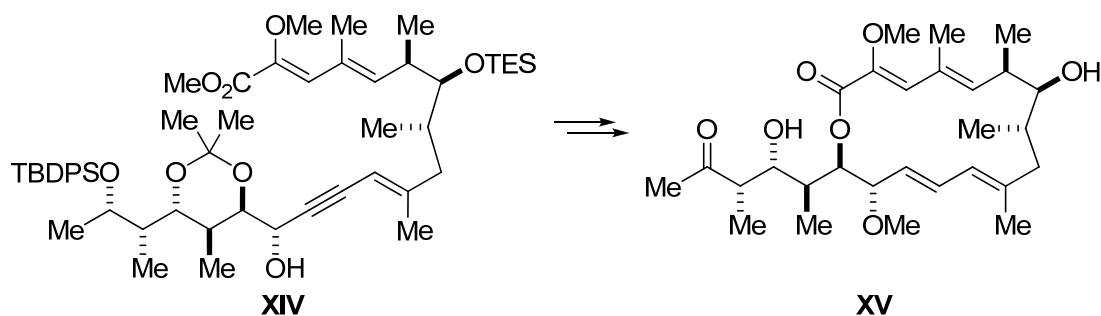
Schema III. Synthese des Aldehydfragments **III**.

Die Kopplung von Enin **II** mit Aldehyd **III** unter Verwendung der in unseren Laboratorien entwickelten Zinktriflat-vermittelten Addition von Alkinen an Aldehyde stellte den Schlüsselschritt der Synthese dar. Die Umsetzung erfolgte mit grosser Effizienz und ergab das propargylische Enin **XIV** in hoher Ausbeute als einziges Diastereomer (Schema IV).



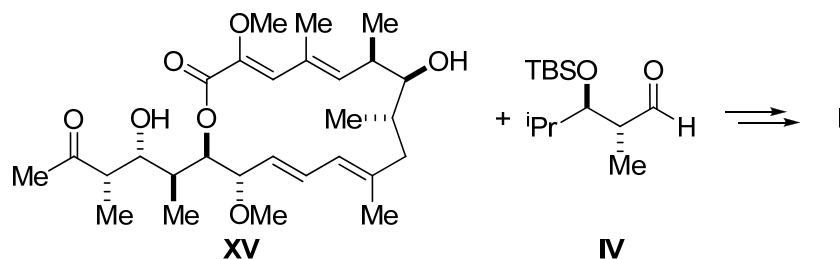
Schema IV. Fragmentkopplung unter Verwendung der Zinkalkynylid-Addition von Enin **II** an Aldehyd **III**.

Die Enineinheit in **XIV** wurde mittels einer Sequenz bestehend aus Hydrosilylierung und Protodesilylierung zum *trans,trans*-Dien reduziert. Nach Entfernung der Schutzgruppen erfolgte die Makrolaktonisierung unter den von Yamaguchi beschriebenen Bedingungen. Sie ergab ausschliesslich das 16-gliedrige Makrolakton. Die sich an die Entschützung anschliessende selektive Oxidation der am wenigsten gehinderten Hydroxygruppe lieferte daraufhin das Methylketon **XV** (Schema V).



**Schema V.** Umsetzung von Propargylalkohol **XIV** zum Methylketon **XV**.

Eine Mukaiyama-Aldolreaktion mit dem bekannten Aldehyd **IV** ergab abschliessend den Naturstoff **I** nach Entfernung der Schutzgruppen. Die Synthese von Bafilomycin A<sub>1</sub> verlief in 29 linearen Syntheseschritten und mit 2.2% Gesamtausbeute (Schema VI).



**Schema VI.** Beendigung der Synthese von Bafilomycin A<sub>1</sub> (**I**).