

# DiNaMiC

Distributed Model Predictive Control for Modular Cooling Units

<b>Programm / Ausschreibung</b>	Bridge, Brückenschlagprogramm, 28. Ausschreibung Bridge 1	<b>Status</b>	abgeschlossen
<b>Projektstart</b>	01.02.2019	<b>Projektende</b>	31.01.2022
<b>Zeitraum</b>	2019 - 2022	<b>Projektlaufzeit</b>	36 Monate
<b>Keywords</b>	Regelung von Kühlsystemen, verteilte modellprädiktive Regelung, modulare Kühlung		

## Projektbeschreibung

Aufgrund steigender Anforderungen bei der Energieeffizienz und ebenso verschärften Qualitätsanforderungen bei der Temperaturführung kommt der optimalen Auslegung und Regelung von Kühlaggregaten immer mehr Bedeutung zu. Im vorliegenden Projekt soll die theoretische Grundlage für die Regelung einheitlicher Kühlmodule geschaffen werden, welche in der Folge als beliebig kombinierbarer Verbund eine der Anwendung angepasste Kälteleistung erbringen können. Dieser Verbund kann nur dann optimale Performance bei minimalem Verbrauch liefern, wenn die einzelnen Modulregler gemeinsam ein globales Ziel verfolgen.

Das vorliegende Projekt befasst sich deshalb mit zukünftigen verteilten Regelungsverfahren für modulare Kältemodule und deren ganzheitliche Optimierung. Dabei sollen idente Reglerstrukturen in den einzelnen Modulen durch geeignete Kommunikation wie ein virtueller globaler Optimalregler agieren. Dabei soll in den Einzelmodulen eine verteilte modellprädiktive Regelung implementiert werden, welche sowohl Lastprädiktionen als auch zeitvariante Beschränkungen berücksichtigen kann.

Wesentliche Vorteile dieses Konzepts sind: 1) Skalierbarkeit: Die notwendige Kälteleistung für eine bestimmte Anwendung kann durch einfache Gruppierung mehrerer Module erreicht werden. Eine Neuauslegung von Kühlkreislauf oder Regler ist nicht notwendig. 2) Verfügbarkeit: Bei Ausfall eines Moduls liefern automatisch die verbleibenden Module die notwendige Kälteleistung. Es bedarf keines zusätzlichen Eingriffs bei der Regelung. 3) Anwendungsbreite: Das vorliegende Konzept lässt sich direkt auf eine Vielzahl von Kühlanwendungen (Elektromobilität, Kühlräume, etc.) anwenden. 4) Smart Integration: Das Konzept ermöglicht eine definierte Schnittstelle zu vorhandenen Energiemanagementsystemen. Bei Elektromobilität ist z.B. die Kommunikation mit dem Batteriemanagementsystem von hoher Bedeutung.

Die folgenden Herausforderungen machen das Projekt wissenschaftlich anspruchsvoll und führen weit über den bisher bekannten Stand der Technik und Forschung hinaus:

- 1) Aufgrund der gemischt-ganzzahligen Optimierung ist bereits die Regelung eines Einzelmoduls methodisch anspruchsvoll.
- 2) Globale Optimalität und Stabilität des Gesamtsystems muss durch die verteilten Einzelregler garantiert werden.
- 3) Das Gesamtsystem muss diskrete Einzelereignisse (Be- und Entladung, Enteisung, etc.) ebenfalls bestmöglich bewältigen.

Durch eine Kooperation der Technischen Universität Wien, Institut für Mechanik und Mechatronik sowie der Firma PRODUKTBLOCKS GmbH sollen die oben genannten Probleme gelöst werden. Dazu soll eine Modellbildung der Kühlmodule

(sowohl analytisch als auch datenbasiert) erfolgen, aufgrund derer geeignete verteilte modellprädiktive Regelkonzepte entwickelt werden sollen. Wichtig für eine spätere praktische Anwendbarkeit ist eine Sensibilitäts- und Robustheitsanalyse, welche eine bestmögliche Performance des Systems bei veränderlichen Parametern (Umwelteinflüsse, Störungen, Verschleiß) ermöglicht. Messdaten aus spezifisch gestalteten Versuchen sollen zur Validierung der Modelle und Reglerperformance herangezogen werden.

## **Abstract**

Due to increasing requirements in energy efficiency and also in performance of temperature control the optimal design and control of cooling units is of high importance. In the current project the theoretical foundations for distributed control of uniform cooling modules will be established. As a consequence an arbitrary compound of multiple cooling modules can deliver the necessary cooling capacity for a given application. This compound can only deliver optimal performance at minimal consumption if the individual controllers pursue a common global goal.

The current project therefore deals with future distributed control methods for modular cooling units and the holistic optimization of such systems. This should be achieved by using identical control structures in the individual modules, which act like a virtual global controller utilizing a suitable communication protocol. Such a distributed model predictive control is able to utilize load predictions as well as time-varying constraints.

Fundamental advantages of this concept are: 1) Scalability: The necessary cooling capacity for a specific application can be secured by a simple compound of multiple modules. A re-design of the cooling circuit or the control is not necessary. 2) Availability: If one module fails the remaining modules will automatically deliver the required cooling capacity. No external adaptation of the control is necessary. 3) Application range: The proposed concept can be directly applied to a number of cooling applications (electric mobility, cooling chamber, etc.). 4) Smart Integration: The concept enables the use of a well-defined interface to existing energy management systems. For electric mobility e.g. the communication with the battery management system is of paramount importance.

The following topics pose scientific challenges for the project and exceed the current state of art by far:

- 1) Due to mixed-integer optimization the control of a single module is already challenging.
- 2) Global optimality and stability of the compound system must be guaranteed by the functionality of the distributed controllers of the individual modules.
- 3) The compound system must be able to cope with discrete events (loading and unloading, de-icing, etc.).

A cooperation between the project partners Vienna University of Technology, Institute of Mechanics and Mechatronics as well as PRODUKTBLOCKS GmbH aims at resolving the above defined challenges. To this end modelling of the cooling modules shall be performed (both analytically and data-based). These models form the basis for a distributed model predictive control concept for the cooling modules. For a subsequent practical application a sensitivity and robustness analysis is of great importance. This enables superior performance of the overall system in the presents of time-varying parameters (environmental influences, disturbances, wear). Measured data from specifically designed experiments will be utilized for validating the models and the closed loop performance.

## **Projektkoordinator**

- Technische Universität Wien

## Projektpartner

- PBX GmbH