

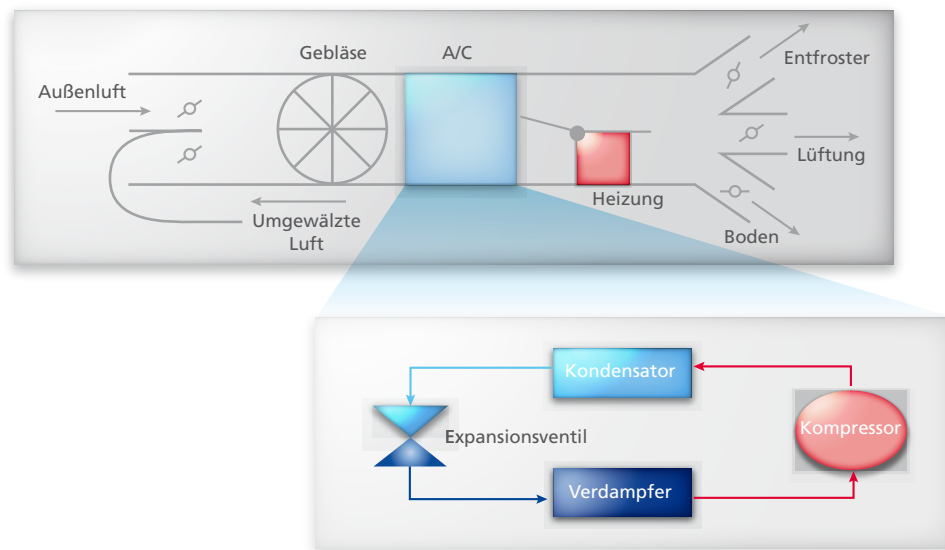


Geregeltes Klima

Volvo Technology entwickelt Software für Klimaregelungen mit TargetLink



Volvo Technology, Zentrum für Innovation, Forschung und Entwicklung der Volvo-Gruppe, hat ihr Climate Control Module (CCM) in den letzten Jahren kontinuierlich verbessert und erweitert. Das Software-Modul wird von zahlreichen Personen- und Nutzfahrzeugherstellern weltweit eingesetzt. Volvo Technology verwendet TargetLink durchgängig von der Reglerentwicklung über die automatische Seriencode-Generierung bis zum Feintuning.



Vereinfachte Ansicht der Klimaeinheit HVAC (Heat, Ventilation and Air Condition).

Besseres Klima mit CCM

Bei der Entwicklung von Klimaregelungen besteht die Hauptaufgabe von Volvo Technology in der Bereitstellung von Software, die die Anforderungen an modernen Klimakomfort erfüllt und Entfroster-, Geruchs- und Geräuschregelung sowie Energieeffizienz adressiert. Aktuelle Entwicklungen behandeln die erhöhte Effizienz der Steuergeräte-Applikation für neue Fahrzeuge sowie die Implementierung neuer Funktionen und Anforderungen. Die Entwicklungszyklen sind stark testorientiert, und für Tests und Feintuning ist der Einsatz von Prototypen und Vorserienfahrzeugen üblich. Im gesamten Entwicklungsprozess, angefangen vom Reglerentwurf über die automatische Seriencode-Generierung bis zum Feintuning und den Test, spielt der dSPACE-Seriencode-Generator TargetLink bei Volvo Technology eine bedeutende Rolle.

Was macht eine gute Klimaregelung aus?

Eine gute Klimaregelung erlaubt dem Fahrer die Auswahl seiner bevorzugten Einstellungen, um genau den von ihm erwarteten Komfort zu erreichen: die Temperatur im Fahrgastraum bleibt im vordefinierten Bereich, es zieht nicht, das Gebläse ist leise, es wird auch bei fehlender Sonneneinstrahlung nicht kalt, die Windschutz-

scheibe beschlägt nicht usw. Um all das zu erreichen, muss eine Klimaregelung mehrere Aufgaben erfüllen:

■ Temperaturregelung

Sie regelt die Heizung und Kühlung sowie das Gebläse und die Luftverteilung, um die gewünschte Temperatur schnell zu erreichen und diese stabil zu halten. Die Temperaturregelung kompensiert auch Störeinflüsse wie hohe/niedrige Umgebungstemperatur, starke Sonneneinstrahlung und Fahrgeschwindigkeit.

■ Entfrosterregelung

Sie soll die Windschutzscheibe frei von Eis und Kondenswasser halten. Die Regelung verwendet hauptsächlich das Gebläse, den Entfroster, die Kühl-/Heizfunktion mit Air Conditioner (A/C) und die Heizung.

■ Luftgüteregelung

Die Regelung, bekannt als AQS (Air Quality System), verhindert das Eindringen schlechter Gerüche in den Innenraum über außenliegende Luftklappen.

■ Klima im Parkzustand

Personen- und Nutzfahrzeuge haben auch Funktionen zur Regelung des Innenraumklimas im Parkzustand. In Lkws, wo der Fahrer oftmals in seiner Kabine übernachtet, ist dies besonders

wichtig und stellt hohe Anforderungen an Temperaturkomfort und Geräuschpegel.

Typische Hardware für Klimaregelung

Damit eine Klimaregelung so funktioniert, wie sie soll, sind zahlreiche Hardware-Komponenten notwendig. Eine davon ist die Klimaeinheit, also die Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik HVAC (Heat, Ventilation and Air Condition). Die von ihr ermöglichte Umwälzung wird hauptsächlich zur Verbesserung der Kühlleistung bei hohen Außentemperaturen eingesetzt, indem die bereits gekühlte und getrocknete Luft wiederverwendet wird. Auch verhindert die Umwälzung das Eindringen von Geruchs- und Schmutzpartikeln in den Innenraum. Der Teil der HVAC, der die Luft kühlt, ist der Air Conditioner (A/C) und besteht aus Kompressor, Kondensator, Expansionsventil und Verdampfer. Auch sind zahlreiche Sensoren für die Klimaregelung von Bedeutung. Einige davon wie der Temperatursensor für den Fahrgastraum und der Verdampfer sind typisch für eine elektronische Klimaregelung ECC (Electronic Climate Controller). Andere Sensoren wie der für die Fahrgeschwindigkeit und die Umgebungstemperatur

existieren hauptsächlich für andere Fahrzeugsysteme, spielen aber auch für die ECC eine Rolle.

Im Innern des CCM

Das CCM ist Teil der Fahrzeugelektronik und mit den anderen Teilsystemen über CAN- und LIN-Netzwerke verbunden. Manche Sensoren und Aktoren sind zudem fest mit dem CCM verdrahtet. Die Klimaregelung selbst bietet alle der oben beschriebenen Funktionen wie Temperatur-, Entfroster- und Luftgüteregelung sowie die Klimaregelung im Parkzustand. Das CCM ist in mehrere



ausgedrückt besteht der Prozess im Wesentlichen aus vier unterschiedlichen Phasen:

- Spezifikation der Software-Anforderungen
- Reglerentwurf und Implementierung
- Feintuning des Reglers
- Test und Validierung

um das Verhalten zu kompensieren, das zu Beginn der Software-Spezifikationen und des Reglerentwurfs noch nicht berücksichtigt wurde.

Spezifikation der Software-Anforderungen

Anforderungen werden vom Kunden auf Systemebene gestellt. Dabei handelt es sich oft um Endkundenwünsche wie „Temperatur auf Kopfhöhe muss zwischen x und y °C liegen.“ Zu Beginn der Spezifikationsphase werden die Systemanforderungen in aussagekräftige Software-Anforderungen überführt. Einige Software-Anforderungen werden auch aus vorherigen Projekten übernommen. In nachfolgenden Iterationen müssen Anforderungen teilweise als Ergebnis von Fahrzeug-Tests und -Feintuning angepasst werden.

Reglerimplementierung

Die CCM-Kernfunktionalität liegt als TargetLink-Modell vor. Der entsprechende Code wurde bereits für ver-

„Wir haben nahezu 100% der Applikationsschicht unseres Climate Control Modules mit TargetLink autocodiert.“

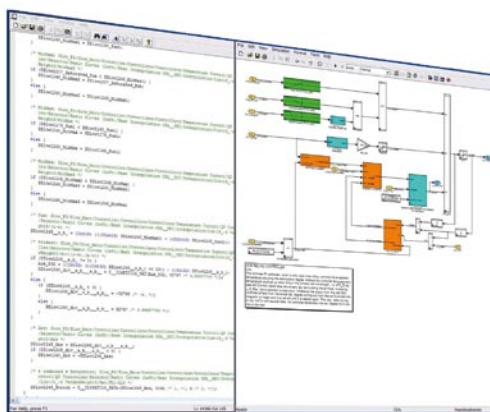
Dr. Mats Andersson, Volvo Technology

Teilfunktionen gegliedert. Zunächst werden die Eingangssignale für den Regler verarbeitet. Dazu gehören Basisfilter und Fehlerbehebung sowie Sensorverbindung und Modellierung der regelungsrelevanten Daten. Die Reglerstruktur orientiert sich eher an den Funktionen als an den Aktoren. Die Module für Temperatur-, Entfroster- und Luftgüteregelung erfordern Aktoraktionen. Nachdem die Regleraktionen priorisiert sind, werden manuelle Überschreibungen des Fahrers berücksichtigt und schließlich werden die Aktoraktionen gesendet.

Der Entwicklungsprozess ist stark test- und experimentorientiert und iterativ. Das liegt daran, dass zahlreiche Tests und Feineinstellungen für das CCM nur im Fahrzeug durchgeführt werden können, da das subjektive Komfortempfinden von Fahrgästen schwierig zu modellieren ist. Änderungen am Reglerentwurf müssen also iterativ durchgeführt werden,

Überblick über den Entwicklungsprozess

Das Produkt CCM und sein Entwicklungsprozess mit TargetLink sind ausgereift und erprobt. Üblicherweise erfordern Neuentwicklungen Feintuning oder Erweiterung bereits vorhandener CCM-Funktionen, so dass bestehende Ressourcen wie Software-Spezifikationen, TargetLink-Modelle und Testfälle aus Vorgängerprojekten wiederverwendet und angepasst werden können. Vereinfacht



Reglermodell und Code: Fast die komplette Applikationsschicht des CCM wurde mit TargetLink autocodiert.



Dr. Mats Andersson (links)

Leiter der Regel- und Simulationsgruppe bei Volvo Technology, Schweden

Björn Fridholm, M.Sc. (Mitte)

Funktionsentwickler bei Volvo Technology, Schweden

Henrik Weiefors, M.Sc. (rechts)

Funktionsentwickler bei Volvo Technology, Schweden

schiedene Serienprojekte eingesetzt. Der Reglerentwurf wird komplett von Volvo Technology mit Hilfe des TargetLink Stand-Alone Blocksets durchgeführt. Der größte Teil dieser Arbeit findet in der ersten Iteration des Entwicklungsprozesses statt, wo das bestehende TargetLink-Modell auf neue Software-Anforderungen hin angepasst wird. In nachfolgenden Iterationen wird der Reglerentwurf editiert, um Änderungen der Software-Anforderungen während des Projektverlaufs wiederzugeben. Reglerentwurf und Implementierung mit TargetLink gehen dabei quasi Hand in Hand. Nahezu 100% der Applikationsschicht des CCM werden von TargetLink in Form von effizientem Festkomma-Code automatisch generiert. Zudem ermöglicht es die Flexibilität von TargetLink, C-Code-Schnitt-

stellen so zu generieren, dass sie für eine spätere Integration in die Software-Architektur des CCM optimal geeignet sind. Simulationen mit offenem und geschlossenem Regelkreis dienen dazu, das Basisverhalten von Regler und generiertem Code zu untersuchen. Im Fahrzeug aufgezeichnete Stimuli und einige vereinfachte Streckenmodelle kommen für diese Simulationen zum Einsatz. Das Gesamtsystemverhalten des Reglers wird in Fließkomma-Arithmetik mit Model-in-the-Loop (MIL)-Simulationen untersucht. Das Verhalten des generierten Codes für den Regler wird dann mit Hilfe von Software-in-the-Loop (SIL)-Simulationen verifiziert. Das integrierte Simulationskonzept von TargetLink dient dabei zum Vergleichen von MIL- und SIL-Simulationen, um insbesondere unpassende

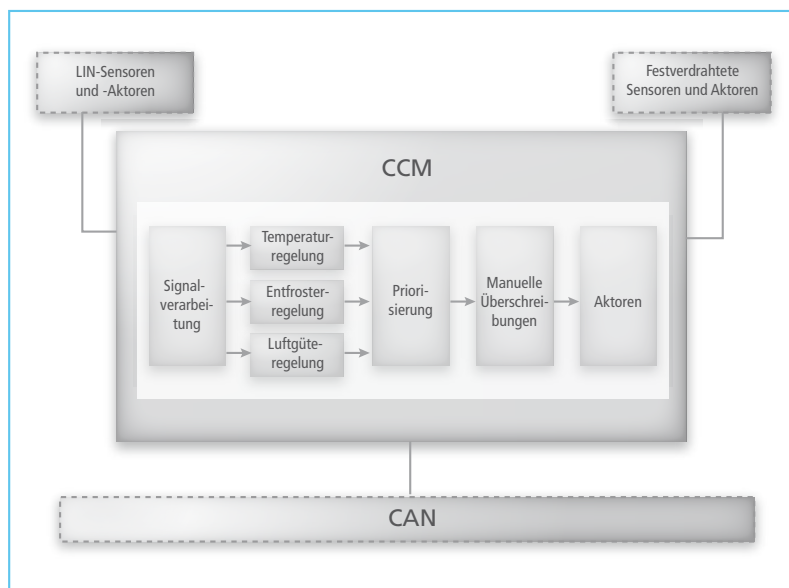
Skalierungen im Implementierungsmodell aufzudecken. Das Ergebnis der Reglerentwurfs- und Implementierungsphase ist ein vollständig skaliertes TargetLink-Modell und daraus generierter Code.

Feintuning des Reglers

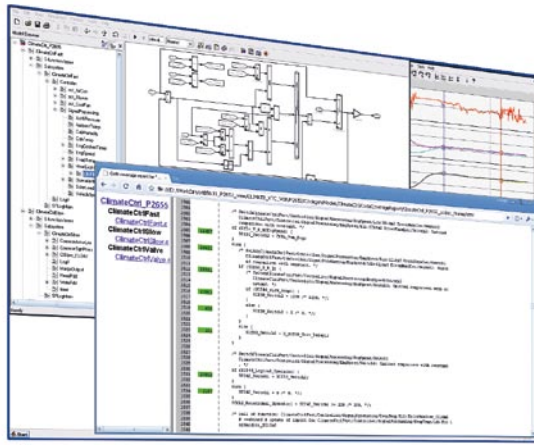
Klimaregelung heißt im Wesentlichen die Luft in der Fahrgastzelle zu kontrollieren. Die bei Reglerentwurf und Implementierung verwendeten Streckenmodelle können nicht alle subjektiven Komfort- und Geräuschempfindungen abbilden. Daher findet die finale Feintuning des Reglers im Fahrzeug statt. Oft beginnt dies in einem Fahrzeugprototyp, wo sich die Hardware manchmal noch von der in tatsächlichen Fahrzeugen unterscheidet. Für die Feineinstellung wird der für das Implementierungsmodell generierte TargetLink-Code in den Echtzeit-Frame der Anwendung integriert, kompiliert und auf das Klima-Steuergerät des Fahrzeugs aufgespielt. Zudem wird eine von TargetLink generierte ASAP2-Datei verwendet, um die Applikationsparameter zu adaptieren, so dass das CCM effizient eingestellt und seine Funktionalität verifiziert werden kann. Erstes Feintuning und erste Tests werden in einer kontrollierten Umgebung durchgeführt, zum Beispiel in einem Windtunnel. Im weiteren Projektverlauf sind Straßentests üblich. Diese Reglerfeineinstellung wird während des Gesamtprojekts kontinuierlich korrigiert.

Test und Validierung

Vor der Software-Auslieferung für die Fahrzeugproduktion finden ausführ-



Physikalische Schnittstellen zum Climate Control Module (CCM); CCM-Reglermodularisierung.



Code-Abdeckungsanalyse mit TargetLink.



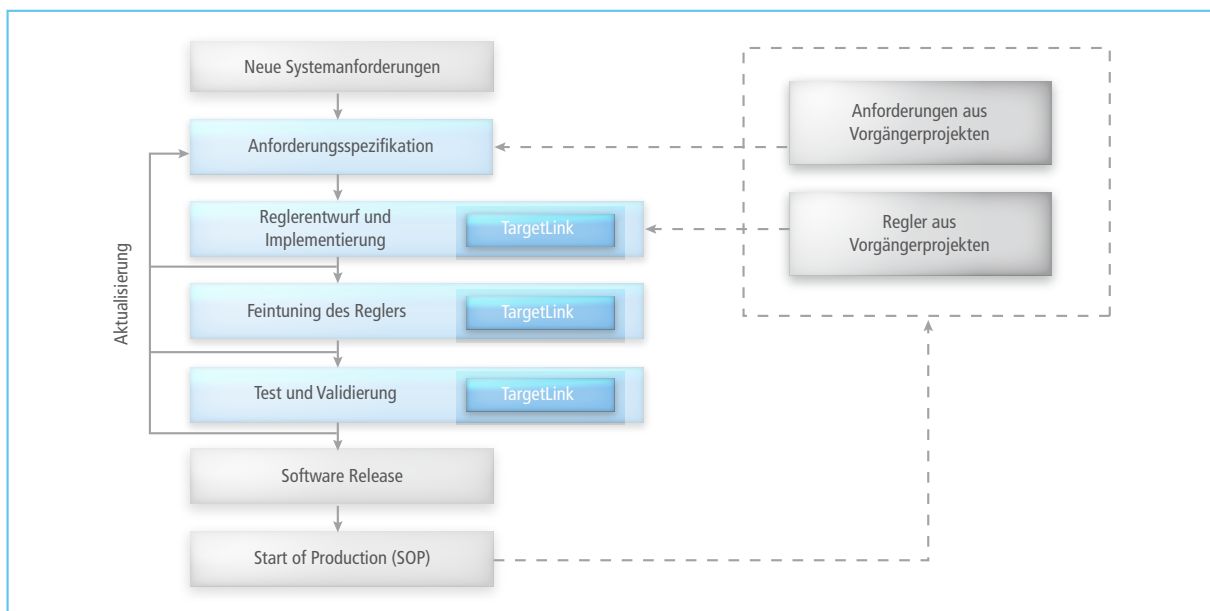
Fazit

- Das Climate Control Module (CCM) von Volvo Technology wurde und wird kontinuierlich verbessert und erweitert.
- TargetLink wird erfolgreich für Reglerentwicklung, Autocodierung, Test und Feineinstimmung eingesetzt.
- Fast die komplette Applikationsschicht des CCM wurde mit TargetLink autocodiert.
- Das CCM wird von vielen Herstellern von Personen- und Nutzfahrzeugen weltweit eingesetzt.

liche Tests statt. Üblicherweise werden in TargetLink Model-in-the-Loop- und Software-in-the-Loop-Tests zum Testen der Module ausgeführt. Dazu gehören sowohl funktionale als auch strukturelle Tests. Die Code-Abdeckungsanalyse von TargetLink wird ausgiebig genutzt, um nicht ausgeführte oder getestete Codeteile auszuschließen. Zudem gibt es allgemeine Tests, deren Ergebnisse mit vorherigen Simulationen verglichen und zusammen mit der Feineinstellung evaluiert werden. Dieses wird meist manuell durchgeführt, da die Tests allgemeiner Natur sind und von einem qualifizier-

ten Regelungsingenieur bewertet werden müssen. System- und Software-Integrationstests werden auf dem tatsächlichen Steuergerät mit Hilfe eines Hardware-in-the-Loop-Simulators von dSPACE ausgeführt. Generell werden im Sinne eines effizienten Testprozesses viele Testfälle in unterschiedlichen Entwicklungsphasen vom Model-in-the-Loop-, Software-in-the-Loop- bis zum Hardware-in-the-Loop-Modus wiederverwendet. ■

*Dr. Mats Andersson
Björn Fridholm
Henrik Weiefors
Volvo Technology, Schweden*



Iterativer Entwicklungsprozess des Climate Control Modules (CCM).