

ECHTZEIT-CO-SIMULATION FÜR DIE REGELUNG EINES MOTORPRÜFSTANDS

Die Co-Simulation dynamischer Systeme macht es möglich, frühzeitig Vorhersagen und Konzeptentscheidungen über ein Produkt zu treffen. Eine logische Erweiterung des Co-Simulationsansatzes stellt die Einbindung von Echtzeitsystemen in die Systemsimulation dar. Im Rahmen des Forschungsprojekts Acorta erarbeiteten die Projektpartner Virtual Vehicle, AVL, Porsche und Universität Klagenfurt innovative Lösungsansätze für die Kopplung von Echtzeitsystemen beziehungsweise von Echtzeit- mit Nicht-Echtzeitsystemen.



AUTOREN



DR. JOSEF ZEHETNER
ist Leiter der Forschungsgruppe Co-Simulation und Software sowie Projektleiter für Acorta am Virtual Vehicle Research Center in Graz (Österreich).



DI GEORG STETTINGER
ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Control and Mechatronic Systems der Alpen-Adria-Universität Klagenfurt (Österreich).



DR. HELMUT KOKAL
ist verantwortlich für Regelung und Simulation in der Vorentwicklungsabteilung Instrumentation and Test Systems der AVL List GmbH in Graz (Österreich).



B. ENG. BART TOYE
ist Entwicklungsingenieur im Bereich Elektronik-Systementwicklung bei der Porsche Engineering Services GmbH in Stuttgart.

CO-SIMULATION UND ECHTZEIT-CO-SIMULATION

Die Komplexität in der Fahrzeugentwicklung wird von unterschiedlichen Faktoren getrieben: eine hohe Anzahl an Produktvarianten, alternative Antriebe, Fahrerassistenzsysteme, Car-to-X-Kommunikation, Gesetzgebung, Fahrzeugsicherheit usw. Der Begriff „Systemsimulation“ bezieht sich auf einen Ansatz, bei dem die Komplexität des gesamten mechatronischen Produkts „Fahrzeug“ mit seiner Umwelt virtuell in einer Entwicklungsumgebung abgebildet wird, indem eine oder mehrere Komponenten zu einem interaktiven Simulationsmodell verbunden werden, ①. Der Co-Simulationsansatz ermöglicht es, dass die beteiligten Fachabteilungen (Domänen) die für sie am besten geeigneten Simulationswerkzeuge zur Modellierung der Subsysteme einsetzen können. Er unterstützt zusätzlich die Wiederverwendbarkeit der Subsysteme. Bei der Co-Simulation sind mehrere Probleme zu lösen: Anbindung von Simulationswerkzeugen, korrekter Datenaustausch, Kopplung von Systemen mit unterschiedlichem dynamischen Verhalten sowie die Gewährleistung der Korrektheit der Simulationsergebnisse [1].

Eine naheliegende Erweiterung des (nicht-echtzeitfähigen) Co-Simulationsansatzes stellt die Einbindung von Echtzeitsystem in die Systemsimulation dar. Dabei werden eine oder mehrere Komponenten, die als echte Hardware verfügbar sind, direkt in das bestehende Systemmodell eingebunden. In diesem durchgängigen Ansatz sind die offline genutzten Simulationsmodelle mit hohem Detaillierungsgrad, Testszenerien oder Umgebungssimulationen ohne Modellkonvertierung und/oder Codegenerierung mit Prüfeinrichtungen nutzbar. Bei der Erweiterung der Co-Simulation in die Echtzeitebene sind zusätzliche Herausforderungen zu bewältigen: Die Kopplung der beteiligten Systeme muss zeitkorrekt erfolgen; Umlaufzeiten müssen so klein als möglich gehalten werden, um die Stabilität existierender Regelkreise gewährleisten zu können; verbrauchte Sensorsignale müssen berücksichtigt werden [2].

Grundsätzlich soll im Folgenden zwischen Echtzeit- und Nicht-Echtzeitsystemen unterschieden werden. Echtzeitsysteme (Real-time, RT) erfüllen sogenannte harte Echtzeitanforderun-



1 Interaktives Simulationsmodell zur Verbindung unterschiedlicher Komponenten und Domänen

gen (zum Beispiel garantierte Antwortzeit, deterministisches Laufzeitverhalten). Nicht-Echtzeitsysteme (Non-RT) erfüllen diese grundsätzlich nicht, können aber sehr wohl schneller als Echtzeit ablaufen (Quasi-Echtzeitsysteme). In 2 ist eine Übersicht über die möglichen Ebenen der Interaktion mit Echtzeit- und Nicht-Echtzeit-Co-Simulation dargestellt.

Im oberen Bildbereich von 2 sind offline verfügbare Simulationswerkzeuge über die Co-Simulationsplattform Icos (<http://www.v2c2.at/icos>) von Virtual Vehicle gekoppelt, wobei jedes System zumindest schneller als Echtzeit ablaufen kann (Quasi-Echtzeit). Im unteren Bildbereich von 2 sind Echtzeitsysteme beziehungsweise parallele Applikationen innerhalb eines Echtzeitsystems dargestellt. Beide Ebenen werden über spezielle Kopplungs- und Fehlerkorrekturmethode verbunden, damit das resultierende Gesamtsystem die Anforderungen der harten Echtzeit erfüllt.

Das Hauptproblem bei der Echtzeit-Co-Simulation sind die auftretenden Latenzzeiten im geschlossenen Regelkreis (Closed loop), bedingt durch endliche Kommunikations-, Berechnungs- oder Datenaufbereitungszeiten. Aus regelungstechnischer Sicht bereiten diese Totzeiten erhebliche Probleme bei der Regelung und Steuerung der Teilsysteme, was zu Oszillationen und vor allem zu einer verfälschten Abbildung des realen Gesamtsystems führt.

ACORTA-ANSATZ

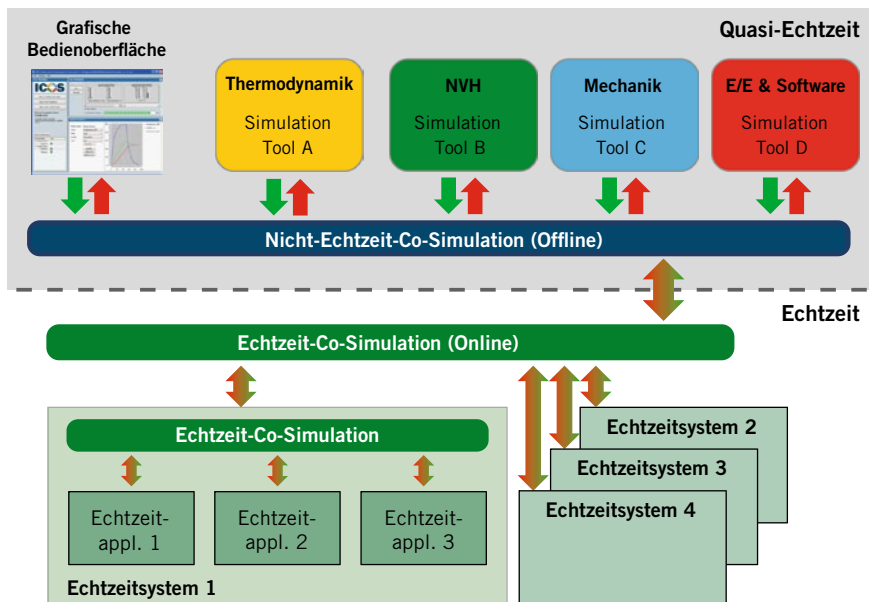
Die eingangs beschriebene direkte Kopplung von Co-Simulationsmodellen und Echtzeitsystemen im Entwicklungsprozess ist derzeit nicht möglich. Daher soll das Forschungsprojekt „Advanced Co-Simulation Methods for Real-Time Applications“ (Acorta, <http://www.acorta.info>) am Virtual Vehicle Research Center, gemeinsam mit den Industriepartnern AVL List GmbH und Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG und dem wissenschaftlichen Partner Alpen-Adria-Universität Klagen-

furt, diese Lücke schließen. Kern des Projekts ist die Entwicklung eines neuartigen Kopplungsalgorithmus, um alle notwendigen Anforderungen einer Echtzeit-Co-Simulation zu erfüllen. Die entwickelte Methodik wird in Form von Anwendungsszenarien bei den Industriepartnern überprüft.

KOPPLUNGSMETHODIK

Moderne Co-Simulationsplattformen, wie Icos von Virtual Vehicle, verwenden signalbasierte Kopplungsalgorithmen, um einen korrekten Datenaustausch zwischen den involvierten Teilmodellen zu gewährleisten [1]. Dabei werden Koppellemente, welche typischerweise auf polynomialen Extrapolationsverfahren niedriger Ordnung mit zusätzlichen Verfahren zur Fehlerkorrektur, wie etwa NEPCE [3], basieren, an den kritischen Stellen der Systemsimulation eingefügt, um eine korrekte Co-Simulation zu ermöglichen.

Durch das Einfügen des Koppellements in den Hin- und Rückweg des geschlossenen Regelkreises kommt es zu einem Aufbrechen dieser Schleife. Aus der verbesserten Extrapolation und einer Fehlerkompensation in den Signalpfaden folgt eine Reduktion der Latenzzeiten und somit eine verbesserte Dynamik des Closed-loop-Systems. Dies soll beispielhaft anhand der Regelung eines Motorprüfstands dargestellt werden.



2 Interaktionsebenen zwischen Echtzeit- und Nicht-Echtzeitkomponenten

ANWENDUNGSSZENARIO BEI PORSCHE

Zur Steigerung der Modellgüte für die virtuelle Applikation von Motorsteuergeräten an einem Verbrennungsmotor-Hardware-in-the-Loop (HiL)-Prüfstand, bietet sich eine Anbindung von verfügbaren Offline-Simulationswerkzeugen an. Da eine direkte Einbettung verfügbarer Offline-Simulationswerkzeuge in eine Echtzeitplattform oft nicht möglich ist, führt eine echtzeitorientierte Co-Simulation mittels dezentraler Anbindung dieser Werkzeuge zur einzigen Lösung.

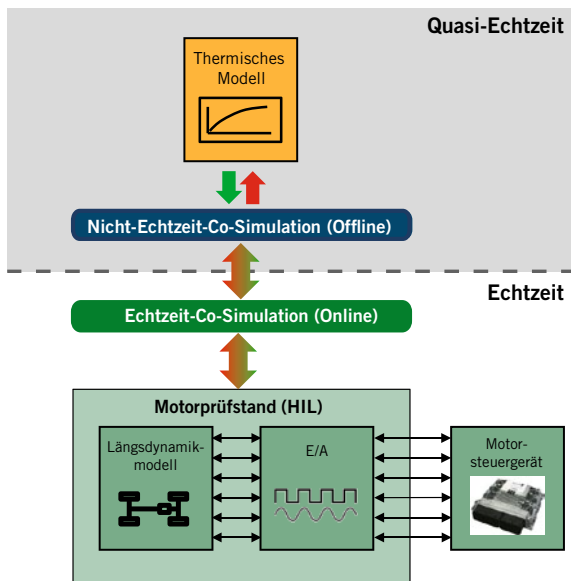
③ stellt ein Anwendungsszenario dar, indem ein thermisches Modell mittels Co-Simulationswerkzeug an einem realen Motorsteuergerät angebunden wird. Somit kann beispielsweise die Applikation einer Motortemperaturregelung am realen Motorsteuergerät zum Teil an einem HiL-Prüfstand durchgeführt werden [4, 5].

ANWENDUNGSSZENARIO BEI AVL

In einem anderen Prüfstands-Anwendungsszenario bei AVL werden Echtzeitapplikationen am Echtzeitsystem Arte.Lab gekoppelt beziehungsweise Arte.Lab an andere Echtzeitsysteme beziehungsweise an die Offline-Co-Simulation angebunden, wie in ④ dargestellt.

REGELUNG AM MOTORPRÜFSTAND

Hier soll die entwickelte Methodik anhand der Regelung der Abtriebsmaschine eines Motorprüfstands dargestellt werden. ⑤ zeigt den Aufbau des Prüfstands. Die Dynodrehzahl des Motorprüfstands wird mit einem Echtzeitsystem einer Soll Drehzahl nachgeführt. Die Regelung der Abtriebsmaschine [6] und das Koppellement werden auf dem Echtzeitsystem Arte.Lab mit dem unterlagerten Echtzeitbetriebssystem Intime ausgeführt. Die



③ Struktur und Anwendungsszenario des Verbrennungsmotor-HiL-Prüfstands bei Porsche

Das Rad haben andere erfunden...



wir erfinden innovative Prüftechnik von morgen...

MAHA-AIP Premium Fahrzeug-Prüfsysteme von Weltruf aus Haldenwang

MAHA-AIP plant und fertigt individuelle Fahrzeugprüfstände für die Entwicklungs- und Fertigungszentren nahezu aller namhaften Fahrzeughersteller, deren Zulieferindustrie sowie Prüfinstitutionen – weltweit.

- Rollenprüfstände
- Innovative Abgasmesstechnik
- Prüfstandautomatisierung
- Intelligente Fahrroboter
- Flachbahnprüfstände
- Shaker
- Windkanalwaagen



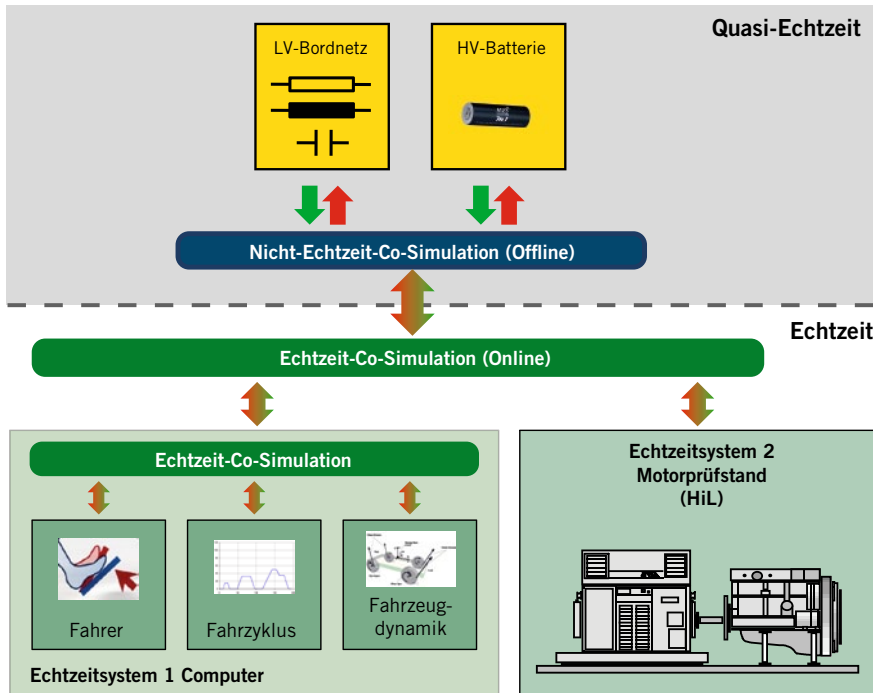
MAHA-AIP
Umwelt-
Management



MAHA-AIP GmbH & Co. KG
Automotive Industry Products
Hoyen 30
D-87490 Haldenwang



Tel.: +49 (0)8374-585-0
Fax: +49 (0)8374-585-551
E-Mail: aip@maha.de
www.maha-aip.com



4 Struktur und Anwendungsszenario des Prüfstands bei AVL

DANKE

Die Autoren danken dem Comet-K2-Forschungsförderungs-Programm des Österreichischen Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT), des Österreichischen Bundesministeriums für Wirtschaft, Familie und Jugend (BMWFJ), der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG), dem Land Steiermark sowie der Steirischen Wirtschaftsförderung (SFG) für die finanzielle Unterstützung. Ebenfalls danken sie Dr. Monika Wierse, DI Clenn Giebenhain und DI Stefan Singer (Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG), Dr. Michael Paulweber (AVL List GmbH), Prof. Dr. Martin Horn (Alpen-Adria-Universität Klagenfurt) und Dr. Martin Benedikt und DI Norbert Thek (Virtual Vehicle Research Center).

Latenzzeit im System führt zu einer verstärkten Schwingungsneigung des Regelkreises beziehungsweise beschränkt die im System verfügbare Dynamik.

ERGEBNISSE

Für die weiteren Untersuchungen wird der Regelkreis mit einer rechteckförmigen Führungsgröße angesteuert (Solldreh-

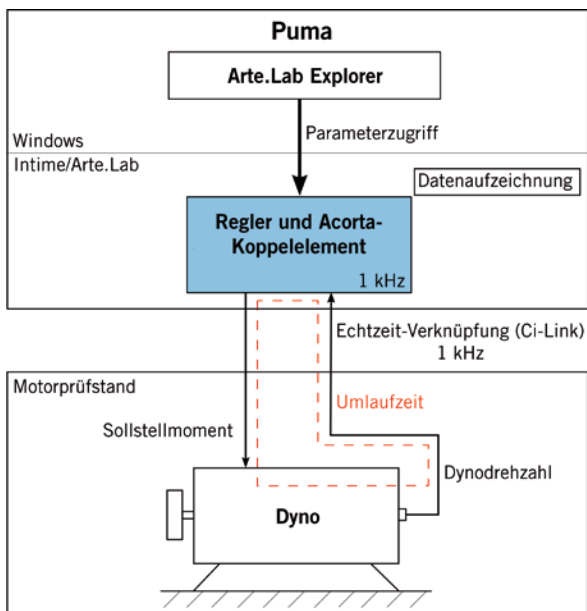
zahlssprünge). In 5 sind zwei verschiedene Phasen des Prüflaufs dargestellt:
 : Keine Acorta-Kopplung: Das Referenzsignal zeigt ein deutliches Überschwingen in der Dynodrehzahl.
 : Signalbasierte Acorta-Kopplung: Die signalbasierte Kopplung führt zu einer Reduktion des Überschwingens in der Dynodrehzahl, weil die Umlaufzeiten kompensiert werden.

Der Acorta-Ansatz ermöglicht erstmals eine approximative Kompensation der im System vorhandenen Latenzzeiten in Echtzeit. Durch Anwendung der beschriebenen Methodik wird die effektive Bandbreite des Regelkreises deutlich erhöht (Faktor 2 für diesen Aufbau). Daraus resultiert ein Regelkreis mit höherer Dynamik, welcher ohne die Kompensationsmaßnahmen nicht erreichbar wäre.

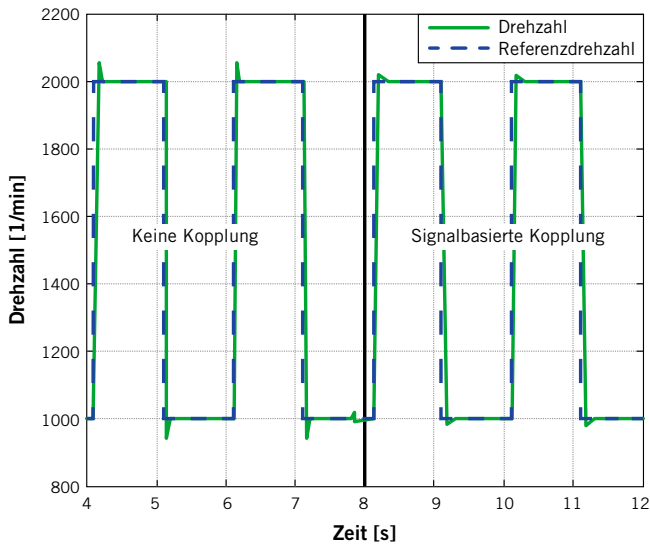
ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die im Forschungsprojekt Acorta entwickelten Kopplungsmethoden unterstützen beim Aufbau zukünftiger moderner Prüfsysteme. Aber auch verteilte Regelungssysteme, wie sie etwa im realen Fahrzeug durch den Einsatz von Steuergeräte-Netzwerken oder von Mehrkernprozessoren entstehen, können mit der Echtzeit-Co-Simulation verbessert werden. Fehler können verhindert oder kompensiert werden. Wie am Beispiel der Regelung der Abtriebsmaschine eines Motorprüfstands dargestellt, werden durch das vorgestellte Koppellement die auftretenden Latenzzeiten annähernd kompensiert und somit der verfügbare Dynamikbereich deutlich erhöht.

Derzeit wird im Projekt an der Integration von modellbasierten Kopplungsmethoden in den Acorta-Ansatz gearbeitet.



5 Aufbau des Motorprüfstands mit Acorta-Koppelement



⑥ Vergleich der Messergebnisse mit und ohne Acorta-Kopplung vom Motorprüfstand – deutliches Überschwingen der Dynodrehzahl, wenn keine Kopplung vorliegt (grüne Spitzen)

Dabei wird zusätzliche Information aus lokal gültigen Teilmodellen verwendet, um eine genauere Extrapolation zu ermöglichen und mit verrauschten Sensorsignalen umgehen zu können. Erste Erprobungen zeigen bereits vielversprechende Ergebnisse, die in naher Zukunft veröffentlicht werden sollen. Auch die

Einbindung einer Nicht-Echtzeit-Co-Simulation konnte an einem ersten Prototyp bereits erfolgreich getestet werden.

LITERATURHINWEISE

[1] Benedikt, M.; Zehetner, J.; Watzenig, D.; Bernasch, J.: Moderne Kopplungsmethoden – Ist Co-Simulation beherrschbar? Nafems-Magazin 2/2012, Ausgabe 22, S. 63-74

- [2] Stettinger, G.; Benedikt, M.; Thek, N.; Zehetner, J.: Extending Co-Simulation to the Real-Time domain. SAE International, 2013, 1-8
- [3] Benedikt, M.; Watzenig, D.; Zehetner, J.; Hofer, A.: NEPC – A Nearly Energy Preserving Coupling Element for Weak-coupled Problems and Co-simulation. IV International Conference on Computational Methods for Coupled Problems in Science and Engineering, Coupled Problems 2013, Ibiza, Spain
- [4] Wilde, M.: Inbetriebnahme, Parametrierung, Erweiterung und Validierung eines echtzeitfähigen Basis-Dieselmotormodells für eine neue V6-TDI-Motorengeneration an einem Hardware-in-the-Loop-Prüfstand. Bachelor Thesis, Dr. Ing. h. c. F. Porsche AG, Weissach, Deutschland, 2013
- [5] Toye, B.; Junker, H.; Sayer, F.: Kopplung Motor-HiL an einem Getriebe-HiL Prüfstand. Interner Projektbericht, Porsche Engineering Services GmbH, Weissach, Deutschland, 2012, S. 39-47
- [6] Kokal, H.; Gruenbacher, E.; del Re, L.; Schmidt, M.; Paulweber, M.: Bandwidth Extension of Dynamical Test Benches by Modified Mechanical Design Under Adaptive Feed Forward Disturbance Rejection. IEEE American Control Conference (ACC), Baltimore, Maryland, USA, 2010



DOWNLOAD DES BEITRAGS

www.springerprofessional.de/ATZ



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE

order your test issue now:

springervieweg-service@springer.com

springer-vieweg.de

Die ganze Welt des Verbrennungsmotors – jetzt neu mit Motorapplikation und CO₂



Basshuysen, Richard | Schäfer, Fred

Handbuch Verbrennungsmotor

Grundlagen, Komponenten, Systeme, Perspektiven

6. Aufl. 2012. XLV, 1181 S. mit 1793 Abb. (ATZ/MTZ-Fachbuch) Geb.

ISBN 978-3-8348-1549-1

► € (D) 119,95

Das Handbuch Verbrennungsmotor enthält auf über 1000 Seiten umfassende Informationen über Otto- und Dieselmotoren. In wissenschaftlich anschaulicher und gleichzeitig praxisrelevanter Form sind die Grundlagen, Komponenten, Systeme und Perspektiven dargestellt. Über 120 Autoren aus Theorie und Praxis haben dieses Wissen erarbeitet. Damit haben sowohl Theoretiker als auch Praktiker die Möglichkeit, sich in kompakter Form ausführlich über den neuesten Stand der Motortechnik zu informieren. Entwicklungen zur Hybridtechnik wurden aktualisiert und der Beitrag zum Kraftstoffverbrauch vollständig überarbeitet. Das Literaturverzeichnis wurde auf über 1300 Stellen erweitert.

Springer Vieweg

Einfach bestellen: SpringerDE-service@springer.com
Telefon +49 (0)6221 / 3 45 – 4301

Änderungen vorbehalten. Ertüchtlich im Buchhandel oder beim Verlag.
Inmehrauf Deutschlands liefern wir versandkostenfrei.