

A. Scherp, M. Schlattmann, W. Heuten, R. Kuczewski

Virtuelle Labore für das E-Learning in naturwissenschaftlichen Studienfächern am Beispiel der Gentechnik

MOTIVATION

Klassische rechnergestützte Lehr- und Lernsysteme ermöglichen im Wesentlichen das Erlernen von Faktenwissen. Dieses lässt sich jedoch nur schwer in praktisches Handeln umsetzen. Gerade aber Handlungswissen wird in naturwissenschaftlichen Studienfächern benötigt. Mit den im Oldenburger Informatikinstitut OFFIS von der Arbeitsgruppe *Virtuelle Labore* [1] entwickelten virtuellen Laboren können Handlungsabläufe in einer hochgradig interaktiven und photorealistischen virtuellen Laborumgebung trainiert werden. Studierende können sich mit Hilfe von virtuellen Laboren besser und gezielter auf reale Laborpraktika vorbereiten. So können teure und oft auch frustrierende Fehlschläge in der Praxis vermieden werden. Dies wird am Beispiel der Gentechnik mit Hilfe des *Virtuellen Praktikums der Gentechnik (ViPGen)* gezeigt.

WAS IST EIN VIRTUELLES LABOR?

Der Begriff des virtuellen Labors wird nicht einheitlich verwendet: So werden unter virtuellen Laboren z. B. reale Hochschullabore mit entsprechenden Laborgeräten, Behältern und Substanzen verstanden, die von Telenutzern mit Hilfe von Kameras beobachtet und mit Robotern ferngesteuert werden können. Auch werden oft textuelle WWW-Seiten mit integrierten Animationen, *Java-Applets* oder *Shockwave-Filmen*, die zur Simulation von Geräten oder Prozessen dienen, bereits als virtuelle Labore bezeichnet.

In diesem Artikel wird dagegen unter einem virtuellen Labor die simulations-basierte, multimediale Nachbildung eines realen Labors in einen Computer in Form eines multimedialen Lehr- und Lernsystems verstanden. Das virtuelle Labor präsentiert sich dem Lernenden als hoch interaktive VR-Umgebung (*Virtuelle Realität*), ist dabei aber dennoch auf einem handelsüblichen Computer ablauffähig. Ein solches virtuelles Labor dient insbesondere zum Erlernen der Arbeitsschritte und Techniken naturwissenschaftlicher Versuche. Typische Einsatzbereiche sind die naturwissenschaftlichen Fachgebiete Biologie, Physik und Chemie [2]. Mit *GenLab*¹ wurde bereits ein Prototyp eines virtuellen Gentechnik-Labors realisiert. Dieser Prototyp wird derzeit im Projekt *ViPGen*² weiterentwickelt und zur Marktreife gebracht. Ergänzt wird das virtuelle Labor um weitere, an der Universität Tübingen entwickelten klassischen Lernmodule für die Molekularbiologie und Genetik (Multimedia in Molekularbiologie und Genetik, kurz: MMMG).

¹ Das Projekt *GenLab* wurde von 1998 bis 2000 im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme *Weiterentwicklung des wissenschaftlichen und technischen Buches zur multimedialen Wissensrepräsentation* unter dem Förderkennzeichen 08C5834 gefördert.

² Das Projekt *ViPGen* wird von 2001 bis 2003 im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme *Neue Medien in der Hochschullehre* unter dem Förderkennzeichen 08NM115A gefördert.

DAS VIRTUELLE LABOR *ViPGen*

Am konkreten Beispiel des virtuellen Gentechnik-Labors *ViPGen* wird nun gezeigt, wie mit Hilfe von virtuellen Laboren gelernt, d. h. Handlungswissen einstudiert und Hintergrundinformation erworben werden kann. *ViPGen* besteht strukturell aus zwei inhaltlich stark miteinander verbundenen Teilen [3]:

- 1.) Der hoch interaktive **virtuelle Laborraum** ermöglicht exploratives Lernen und dient zum Erwerb von Handlungswissen. Durch die realitätsnahe Darstellung können die erlernten Handlungsabläufe später leicht auf die Realität übertragen werden (*Lerntransfer*).
- 2.) Der **virtuelle Seminarraum** dagegen dient dem Erwerb des notwendigen Hintergrundwissens zu den Versuchen und ist im Sinne eines klassischen Lehr- und Lernsystems realisiert.

Nach dem Start von *ViPGen* betritt der Lernende zunächst den virtuellen Seminarraum. Hier befindet sich u. a. ein Computerarbeitsplatz, eine Leinwand und eine Bibliothek. Mit dem virtuellen Computer lassen sich z. B. Versuchsergebnisse auswerten. Auf der Leinwand können Animationen zur Veranschaulichung der gentechnologischen Grundlagen präsentiert werden. In der Bibliothek befinden sich vier virtuelle Aktenordner. Diese enthalten textuelle und graphische Informationen zu chemischen Substanzen, Zubehör, Laborgeräten und den Grundlagen der Gentechnologie (siehe Abb. 1).

Kernstück von *ViPGen* ist jedoch der virtuelle Laborraum. Dieser wird durch Auswahl des gewünschten Versuchs über den Seminarraum betreten. Der Lernende kann sich im virtuellen Labor mit Hilfe von Maus und Tastatur bewegen und Experimente nach dem Prinzip *Versuch & Irrtum* durchführen. Besonderes Kennzeichen ist die hohe Interaktivität der Benutzungsoberfläche. Die Laborgeräte, Behälter und Substanzen können in nahezu beliebiger Reihenfolge bedient und verwendet werden (*Explorationen Konzept*). Dabei können virtuelle Behälter und Substanzen mit Hilfe der *Transportleiste* zwischen den verschiedenen Arbeitsflächen transportiert werden. Des Weiteren werden im *Anleitungsfenster* die einzelnen Arbeitsschritte des Versuchsablaufs angezeigt. Ein Beispiel einer solchen Arbeitsfläche ist in Abb. 2 dargestellt.



Abb. 1: Elektronischer Aktenordner mit Informationen zu Arbeitsgeräten im Labor

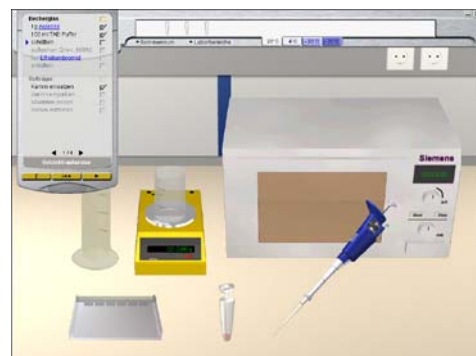


Abb. 2: Eine Arbeitsfläche im virtuellen Gentechnik-Labor

Bei der Durchführung virtueller Versuche kann zwischen drei verschiedenen Arten der Hilfestellung unterschieden werden: Bei der animierten Versuchsvorführung (*Demo-Modus*) wird dem Lernenden die richtige Durchführung eines Versuches vom System demonstriert. Bei der geführten Versuchsdurchführung sind die Interaktionsmöglichkeiten auf die Handlungen beschränkt, die zu einem korrekten Versuchsergebnis führen. Beim freien Experimentieren haben die Lernenden im Rahmen der Modellierungsgenauigkeit der Domäne alle Freiheiten in der Versuchsdurchführung. Weiterhin können einzelne Teile eines Versuchs abgekürzt werden. Wird ein Fehler gemacht, so kann dieser rückgängig gemacht (*Undo*) und die entsprechenden Arbeitsschritte wiederholt werden. Bei Bedarf können auch weitere Informationen zu den Arbeitsschritten über die Aktenordner des Seminarraums eingeholt werden. Um dem Bedürfnis der

Studierenden nach ausgeprägter Lernflexibilität gerecht zu werden, ist ein Wechsel zwischen den Arten der Hilfestellung jederzeit möglich. Im Prüfungsmodus hingegen können bestimmte Arbeitsschritte nicht mehr abgekürzt oder vorgeführt werden. Die Prüfungsversion eines Versuches stellt sicher, dass der Lernende die virtuelle Versuchsdurchführung auch tatsächlich beherrscht. Erst nach erfolgreicher Durchführung eines Versuchs im Prüfungsmodus sind von den Studierenden die Universität sowie Matrikelnummer einzugeben. Diese Daten werden dann an einen zentralen Server geschickt und dort automatisch an den Lehrenden der jeweiligen Hochschule übermittelt. Auf diese Weise kann das virtuelle Labor als Zugangsvoraussetzung für das reale Laborpraktikum verwendet werden.

ViPGen unterstützt sowohl das Grund- als auch das Hauptstudium der Gentechnik. Wichtiger Bestandteil des Grundstudiums ist das reale Laborpraktikum, das in *GenLab* virtuell umgesetzt wurde und die grundlegenden Arbeitstechniken wie z. B. das Zerschneiden (Restriktion) und Zusammenfügen (Ligation) von DNA sowie deren Anwendung in komplexen Versuchen vermittelt. Themen des Hauptstudiums sind dagegen experimentelle Strategien, die beschreiben welche Methoden und Techniken sich für welche Probleme in der Gentechnik-Forschung eignen. Diese experimentellen Strategien lassen sich jedoch nicht mehr in einem virtuellen Laborraum erlernen und werden daher mit Hilfe der klassischen Lernmodule MMMG der Universität Tübingen vermittelt (s. o.). Die Lernmodule sind im virtuellen Computer und auf der Leinwand des Seminarraums verankert. Insgesamt wird den Studierenden im Sinne des erwachsenengerechten, eigenverantwortlichen Lernens ein wahlfreier Zugriff auf sämtliche Aktenordner, Lernmodule und Versuche von *ViPGen* gewährt.

METHODEN UND WERKZEUGE FÜR VIRTUELLE LABORE

Die Entwicklung eines virtuellen Labors wie *ViPGen* ist ausgesprochen aufwendig und teuer. Besondere Schwierigkeit stellt dabei die Entwicklung der hochgradig interaktiven VR-Umgebung dar. Diese beinhaltet neben der visuellen Darstellung des virtuellen Labors auch eine detailgenaue Simulation der zu Grunde liegenden gentechnischen Prozesse. Diese müssen im virtuellen Labor implementiert und von den Gentechnikern auf fachliche Korrektheit geprüft werden. Des Weiteren sind virtuelle Abbilder sämtlicher Laborgeräte, Behälter und Substanzen zu erstellen, sowie der Aufbau und Ablauf der einzelnen Versuche im virtuellen Labor zu verankern. Um diesen komplizierten Entwicklungsprozess handhabbar zu machen, werden im Projekt *VirtLab*³ seit Ende 2000 allgemeine software-technische Methoden und Werkzeuge zur effizienten und damit kostengünstigeren Entwicklung virtueller Labore erforscht.

Als Grundlage für die Entwicklung eines virtuellen Labors wird zunächst eine geeignete **Multimedia-Entwicklungsumgebung** benötigt. Bei der Entwicklung von *ViPGen* kommt das Autorensystem *Macromedia Director* zum Einsatz. Dieses wird von den Medienspezialisten und Informatikern verwendet. Da *Director* für die Entwicklung von beliebigen Multimedia-Systemen geeignet und somit zu allgemein ist, wurde zunächst in einem ersten Schritt mit Hilfe der Programmiersprache *Lingo* ein Framework für virtuelle Labore entwickelt.

Dieses **Framework** (siehe Abb. 3) stellt eine abstrakte Sicht auf die technische Realisierung des Systems dar und bietet dem Informatiker spezielle Funktionen zur Programmierung des virtuellen Labors. Dabei ist das Framework nicht auf eine Domäne beschränkt, sondern für alle Arten von naturwissenschaftlichen Laboren anwendbar. Aus diesem allgemeinen Framework können nun beliebige virtuelle Labore erstellt werden, wie z. B. neben der Biologie auch für die Physik und Chemie. Um sich von der konkreten Implementierung des Frameworks zu lösen, wurde eine auf der

³ Das Projekt *VirtLab* wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG, siehe <http://www.dfg.de/>) im Schwerpunktprogramm V3D2 (*Verteilte Verarbeitung und Vermittlung digitaler Dokumente*, siehe <http://www.cg.cs.tu-bs.de/v3d2/>) gefördert.

*Extensible Markup Language*⁴ (XML) basierende **Spezifikationsprache** für virtuelle Labore entwickelt, die sogenannte *Experiment Specification Language* (ESL). Mit der ESL ist es möglich, den Aufbau als auch den Ablauf virtueller Versuche formal festzulegen, ohne die technischen Details des darunter liegenden Frameworks zu kennen.

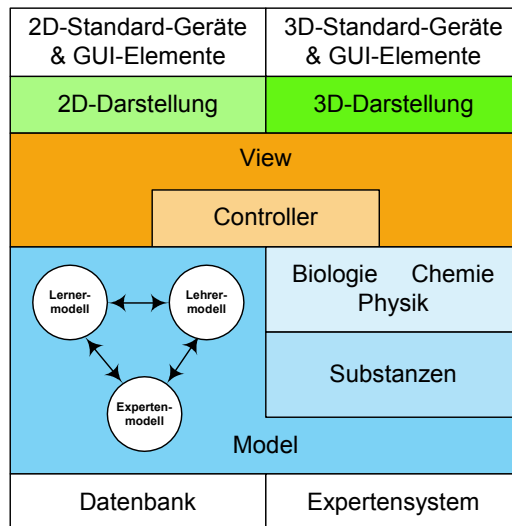


Abb. 3: Das Framework für virtuelle Labore

Ein Hauptproblem bei der Entwicklung virtueller Labore ist die Heterogenität des Entwicklerteams. Dieses besteht typischerweise aus Fachexperten der zu modellierenden Domäne, Fachdidaktikern, Medienspezialisten und Informatikern.⁵ Im Rahmen des *GenLab*-Projektes wurde die Erfahrung gemacht, dass Monate vergehen, ehe dieses interdisziplinäre Entwicklerteam eine gemeinsame Vorstellung vom Entwicklungsprozess und dem geplanten Produkt hat [6]. Daher wurde in *VirtLab* ein **Vorgehensmodell** erstellt, welches das Zusammenspiel der einzelnen Entwickler sowie der zu erledigenden Aktivitäten beschreibt. Des Weiteren wurde analysiert, an welchen Stellen sich Entwicklungswerkzeuge zur Unterstützung der Aktivitäten einsetzen lassen. Außerdem wurden spezielle einheitliche Notationen entwickelt, mit denen sich die Ergebnisse der Aktivitäten in einer für alle Beteiligten verständlichen Form festhalten lassen [2]. Eine schematische Übersicht des Vorgehensmodells zeigt die Abb. 4. Das Vorgehensmodell basiert auf dem *Rational Unified Process* [7] und erlaubt die Entwicklung von virtuellen Laboren mit Hilfe der *Unified Modeling Language*⁶ (UML). Während das Vorgehensmodell beschreibt, wann bei der Entwicklung virtueller Labore welche Entwickler welche Aktivitäten durchzuführen haben, legt die zugehörige Entwicklungsmethodik fest, wie diese Aktivitäten durchzuführen sind.

Für die Multimedia-Entwicklung kommen zum einen Standardwerkzeuge wie z. B. *Macromedia Dreamweaver* zum Einsatz. Des Weiteren wurden spezielle graphisch-interaktive **Entwicklungswerkzeuge** für virtuelle Labore geschaffen, mit dem Ziel die bereits existierenden Entwicklungshilfen des Frameworks und der Spezifikationsprache auch für Nicht-Programmierer verfügbar zu machen. Diese werden typischerweise von den Lehrenden selbst eingesetzt. Beispiel eines solchen graphisch-interaktiven Entwicklungswerkzeuges für den virtuellen Laborraum ist das in Abb. 5 dargestellte Werkzeug zur Definition von Aufbau und Ablauf virtueller Versuche unter Einsatz der ESL (s. o.). Dieses Werkzeug ermöglicht es den Lehrenden (d. h. Lehrer in der Rolle des Fachexperten bzw. Fachdidaktikers), selbst neue virtuelle Versuche zu erstellen oder bestehende anzupassen. Dazu werden die verschiedenen Arbeitsflächen des virtuellen Labors mit beliebigen

⁴ Siehe <http://www.w3.org/XML/>

⁵ Vergleiche auch die Aufteilung des Entwicklerteams in [4, 5].

⁶ Siehe <http://www.omg.org/uml/>

Laborgeräten, Behältern und Substanzen bestückt und die einzelnen Arbeitsschritte des Versuchsablaufs angelegt. Anschließend kann der Versuch in Form eines XML-Dokuments abgespeichert werden. Beispiel eines Werkzeuges zur Erstellung von Inhalten des Seminarraums ist die in Abb. 6 dargestellte *HTML-Toolbox*. Mit diesem Werkzeug können Texte im HTML-Format, die von den Lehrenden mit Hilfe von Standardeditoren wie z. B. *Dreamweaver* erstellt wurden, automatisiert in die Aktenordner der Bibliothek des virtuellen Labors integriert werden. Neben einer Version der HTML-Texte für die Aktenordner lässt sich mit der *HTML-Toolbox* außerdem noch eine Version für den Ausdruck auf Papier erstellen. Werden von den Lehrenden Änderungen an den eigentlichen HTML-Texten vorgenommen, so muss für eine Aktualisierung der Aktenordner und Druckblätter lediglich die automatisierte Textintegration mittels der *HTML-Toolbox* erneut durchgeführt werden.

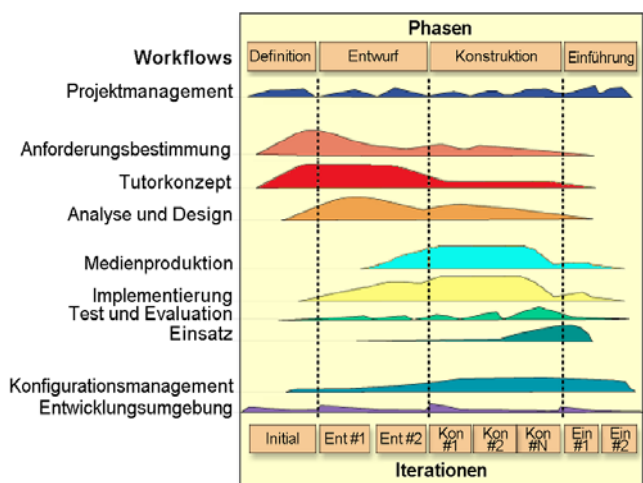


Abb. 4: Vorgehensmodell für virtuelle Labore



Abb. 5: Werkzeug zum Festlegen des Aufbaus und Ablaufs virtueller Versuche

Die in *VirtLab* erarbeiteten Hilfsmittel, Methoden und Werkzeuge zur Entwicklung virtueller Labore stellen in ihrer Gesamtheit einen ganzheitlichen Lösungsansatz dar. Dieser Lösungsansatz ist als Schichtenmodell in Abb. 7 dargestellt und verdeutlicht die Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Ebenen bei der Entwicklung virtueller Labore. So basiert das Framework für virtuelle Labore auf die Multimedia-Entwicklungsumgebung, während die Spezifikationsprache wiederum auf dem Framework aufbaut. Die graphisch-interaktiven Werkzeuge nutzen die Spezifikationsprache zur Verarbeitung von Versuchsaufbau und -ablauf und greifen dabei auf die Funktionalitäten des Frameworks zu. Das Vorgehensmodell hält diese vier Schichten letztendlich zusammen und sorgt für eine ordnungsgemäße Durchführung der Aktivitäten bei der Entwicklung des virtuellen Labors.

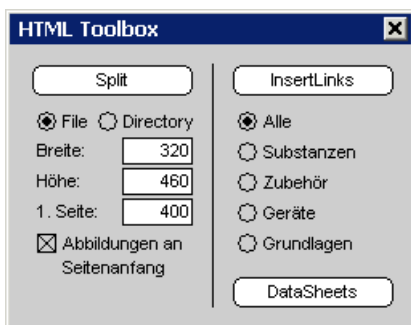


Abb. 6: Die *HTML-Toolbox* zur Erstellung der Aktenordner

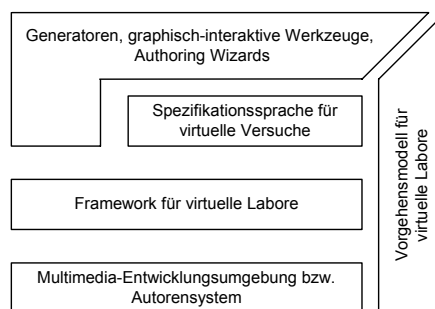


Abb. 7: Das Schichtenmodell von *VirtLab*

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Virtuelle Labore stellen eine sinnvolle Ergänzung der praktischen Ausbildung in den Naturwissenschaften dar. So können Studierende unabhängig von Zeit und Ort im virtuellen Labor erste praktische Erfahrungen sammeln. Das dazu notwendige Hintergrundwissen ist im Seminarraum ständig zugänglich. Mit Hilfe von virtuellen Laboren wird eine bessere Vorbereitung der Studierenden auf das reale Praktikum erreicht, wodurch sich der Betreuungsaufwand verringert und die Sicherheit und Effizienz der Kurse erhöht. Des Weiteren können Versuche, die aus Sicherheits-, Zeit- oder Kostengründen für ein reales Laborpraktikum ungeeignet sind, zumindest virtuell eingeübt werden. Allerdings ist die Erstellung virtueller naturwissenschaftlicher Labore ausgesprochen aufwendig und schwierig. Durch den hier vorgestellten Lösungsansatz wird der komplexe Entwicklungsprozess virtueller Labore beherrschbar. Die Grundschichten dieses Lösungsansatzes, also das Framework, das Vorgehensmodell mit entsprechender Entwicklungsmethodik, sowie die Spezifikationssprache wurden im Projekt *VirtLab* bereits realisiert. Diese Arbeiten bilden die Grundlage für die Werkzeugschicht, die beliebig ausgebaut werden kann. Bereits realisiert wurden das graphisch-interaktive Werkzeug für den Versuchsaufbau, sowie die *HTML-Toolbox*. Mittels dieser Werkzeuge werden die Lehrenden direkt in den Entwicklungsprozess virtueller Labore eingebunden, wodurch es zu einem hohen Synergieeffekt zwischen den eigentlichen Entwicklern und den Anwendern des virtuellen Labors kommt.

Unsere zukünftige Aufgabe ist es, dass virtuelle Gentechnik-Labor *ViPGen* weiterzuentwickeln und in einem Piloteinsatz zu testen. Wir überlegen außerdem, wie das hauptsächlich auf CD-ROM basierende *ViPGen*-System für das Internet tauglich gemacht werden kann und wie weitere externe Datenquellen, wie z. B. Datenbankserver für die Gentechnik im Internet, integriert werden können. Ein weiteres Ziel ist es, existierende Labore, die über das Internet mittels Kameras ferngesteuert werden (s. o.), in virtuelle Labore zu integrieren und zu nutzen. Schließlich soll der hier vorgestellte Lösungsansatz zur Entwicklung virtueller Labore auch auf andere Domänen, wie z. B. die Chemie oder Physik, angewendet und damit überprüft werden.

Literatur:

- [1] Arbeitsgruppe Virtuelle Labore, 2002. (Internetseiten) – URL: <http://www.virtuelle-labore.de/>
- [2] A. Scherp: *Vorgehensmodell und Entwicklungsmethodik für virtuelle Labore*. Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Fachbereich Informatik, Diplomarbeit, August 2001.
- [3] M. Schlattmann, A. Hasler und R. Kuczewski: *Werkzeuge und Methoden zur Entwicklung virtueller Labore*. In: Tagungsband zur GMW-Fachtagung Virtueller Campus in Hildesheim, 2001.
- [4] L. J. Issing: *Instruktionsdesign für Multimedia*. In: L. J. Issing (Hrsg.), P. Klimsa (Hrsg.): *Information und Lernen mit Multimedia*. 2., überarbeitete Auflage. Weinheim: Psychologie Verlags Union, S. 241-251, 1997.
- [5] M. Kerres: *Multimediale und telemediale Lernumgebungen: Konzeption und Entwicklung*. Wien, München : R. Oldenbourg Verlag, 1998.
- [6] M. Schlattmann und J. Meyer: *VirtLab – Methoden und Werkzeuge zur Entwicklung virtueller multimedialer naturwissenschaftlicher Labore und Praktika*. In: ZfBB-Sonderband des 91. Deutschen Bibliothekartag in Bielefeld, 2001.
- [7] P. Kruchten: *The Rational Unified Process: an introduction*. 2nd printing. Addison Wesley, 2000.

Kontaktadresse:

Marco Schlattmann
OFFIS, Escherweg 2
26121, Oldenburg
Tel.: (04 41) 97 22 - 121
Fax: (04 41) 97 22 - 102
E-mail: schlattmann@offis.de