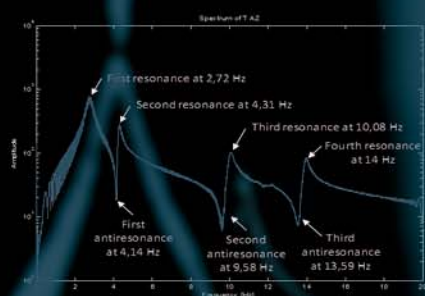
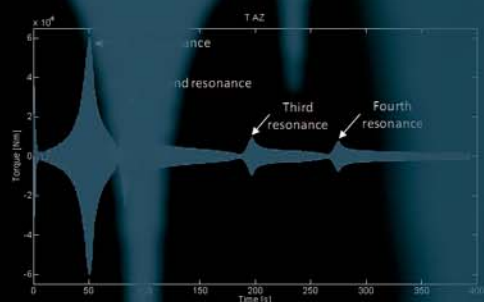
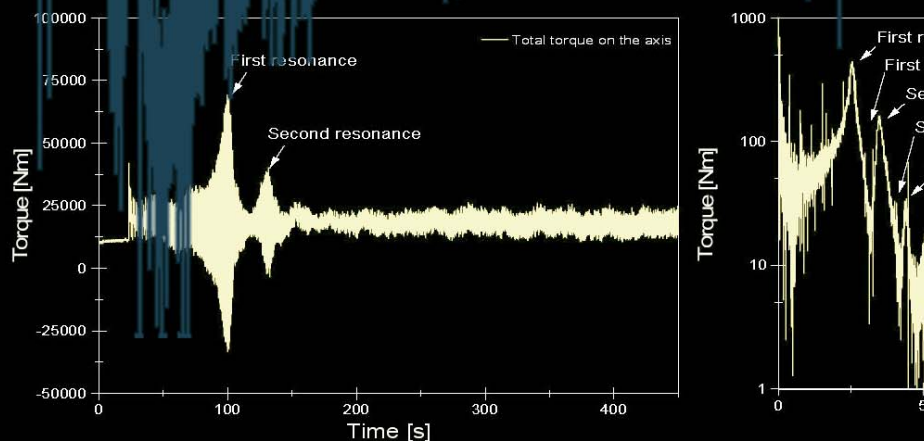


CAHIER SCIENTIFIQUE REVUE TECHNIQUE LUXEMBOURGEOISE

CAHIER SCIENTIFIQUE BIANNUEL DE LA REVUE TECHNIQUE LUXEMBOURGEOISE 2 | 2010





L'A.L.I.A.I. dans l'origine remonte à 1897, et qui regroupe plusieurs organismes apparentés, édite quatre fois par an la Revue Technique, sa publication principale, dédiée à des articles se rapportant aux sujets traités par les professionnels qu'elle regroupe.

Pour l'ALIAI la Revue Technique Luxembourgeoise et son site Internet sont des moyens de communication essentiels donnant à ses membres le contact immédiat avec l'organisation à laquelle ils sont affiliés.

Ces instruments offrent aux entreprises de présenter leur travail devant un public ciblé. La Revue Technique Luxembourgeoise possède un passé prestigieux qui lui confère une légitimité auprès des affiliés de l'ALIAI.

La Revue Technique Luxembourgeoise et le site Internet offrent aux Partenaires de la Revue Technique de l'Association des Ingénieurs, Architectes et Industriels la possibilité de

faire connaître leurs produits ou d'informer de cette manière sur la structure de leur entreprise et de toucher un public ciblé de lecteurs intéressés.

Le cahier scientifique, a pour mission de promouvoir le développement de la recherche et de la culture scientifique, en contribuant à la diffusion et à la valorisation des connaissances et des méthodes scientifiques en vue de soutenir un dialogue entre la science et la société.

Le cahier scientifique est publié 2 fois par an par la rédaction de la Revue Technique. C'est un instrument professionnel pour scientifiques, techniciens, étudiants et intéressés professionnels dans le domaine de l'ingénierie, de la technologie, de la recherche, des énergies renouvelables et de l'industrie.

Des articles sur des recherches approfondies par nos collaborateurs des instituts, des partenaires ou industriels sont publiés dans chaque exemplaire des cahiers scientifiques.

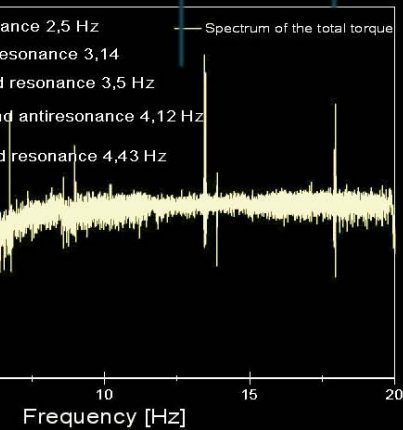
REVUE TECHNIQUE LUXEMBOURGEOISE

www.revue-technique.lu

éditée par

L'Association Luxembourgeoise des Ingénieurs, Architectes et Industriels
L- 1330 Luxembourg – 6, boulevard Grande-Duchesse Charlotte
tel 45 13 54 fax 45 09 32

Rédacteur en Chef Michel Petit
Responsable Revue Technique Sonja Reichert
tel 26 11 46 42 email revue@aliai.lu
Graphisme Bohumil Kostohryz



EDITO_

Chers lecteurs,

La Faculté des Sciences, de la Technologie et de la Communication (FSTC) de l'Université du Luxembourg s'implique particulièrement dans le développement des programmes de formations et de recherche, dans les sciences exactes, naturelles et appliquées. Héritière de l'Institut Supérieur de Technologie, ses activités dans le domaine des sciences de l'ingénierie sont évidemment très soutenues.

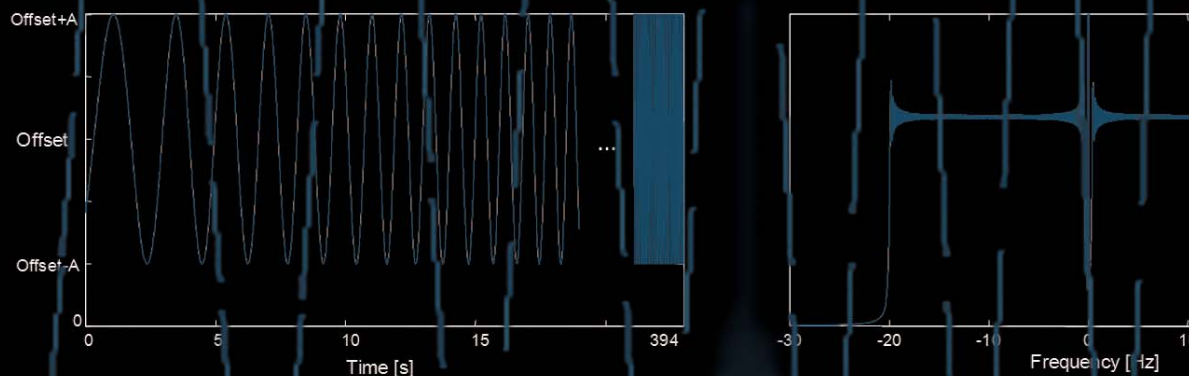
Nos professeurs, chercheurs et ingénieurs, sont actifs tant dans les domaines de la recherche fondamentale que de la recherche appliquée. De nombreux projets dans les disciplines classiques des sciences de l'ingénierie sont menés conjointement avec le monde industriel national et international, de même qu'avec des partenaires académiques de renommée.

Une vingtaine de doctorants poursuivent actuellement leurs travaux de thèse en sciences de l'ingénierie dans le cadre de ces recherches. Nous nous impliquons de façon à transposer cette culture de recherche et d'innovation dans les programmes d'enseignement que nous offrons, tant au niveau des Bachelors qu'au niveau des Masters, académiques et professionnels.

La tribune s'y prêtant à merveille, je voudrai en profiter pour remercier les nombreux membres de l'ALIAI qui nous ont toujours soutenus dans nos efforts de développement de la recherche et de l'enseignement à la Faculté. La « Revue Technique » et plus récemment les « Cahiers Scientifiques » sont devenus, pour nous également, une plateforme de communication qui complète idéalement la presse scientifique internationale.

Bonne lecture,

Prof. Paul Heuschling
*Doyen de la Faculté des Sciences,
 de la Technologie et de la Communication,
 Université du Luxembourg*



_INDEX

- 06_ FRANÇOIS HILGER, À LA MÉMOIRE D'UN GRAND HOMME DE SCIENCE LUXEMBOURGEOIS
Prof. Micheline Vandenbol
- 08_ VERBESSERUNG DES FERTIGUNGSABLAUFS VON SPEZIAL WERKZEUGEN
Prof. Dr.-Ing. Peter Plapper, G. Jacobs *Manager*, S.Plantier, Prof. Dr.-Ing. W. Lortz, Christian André
- 11_ A POWERFUL TOOL TO CONNECT YOUNG RESEARCHERS IN LUXEMBOURG
BioLux Networking Team
- 12_ XENOBIOTIKA IN LUXEMBURGER FLIESSGEWÄSSERN
KONZENTRATIONEN, HERKUNFT, WIRKUNG, MINDERUNGSMASSNAHMEN
Dr. rer nat habil Andreas Krein
- 18_ ENTWICKLUNG EINER SPEZIELLEN HÜFTINTERIMSPROTHESE
PD Dr. med. Jens Kelm, Dr.-Ing. Thomas Thielen, Prof. Dr.-Ing. Stefan Maas, Prof. Dr.-Ing. Arno Zürbes,
Ass.-Prof. Dr.-Ing. Danièle Waldmann, Prof. Dr. med. Eduard Schmitt, Dr. med. Konstantinos Anagnostakos
- 24_ MECHATRONISCHE PRODUKTENTWICKLUNG
Dr. Thomas Andreas
- 30_ DISTRIBUTED OPTIMISATION BASED AGENTS FOR THE INTEGRATION OF SMART POWER GRIDS
Dipl. phys Ralf Hoben
- 32_ TIMELINE BASED ASSET BROWSING
Jérôme Wagener
- 34_ CONTRIBUTION À LA SIMULATION DES PROCESSUS INDUSTRIELS
Ing. dipl. Henri Muller
- 38_ DISTRIBUTION OF TEMPERATURE IN STEEL AND COMPOSITE BEAMS AND JOINTS UNDER NATURAL FIRE
Dr. Ing. F. Hanus, Prof. Dr. Ing. J.-M. Franssen
- 44_ A CONTROLLED HYBRID MULTI-BODY SIMULATION MODEL OF A GALILEO GROUND ANTENNA
Laurent Breyer, Prof. Dr. Jean-Régis Hadji Minaglou, Prof. Dr. Stefan Maas, Prof. Dr. Arno Zürbes
- 48_ NEW WAYS TO GREEN PATENTS
Dipl. Ing. Sigrid Kohll, Dr. Serge Quazzotti

_comité de lecture

Ingénieur dipl. Pierre Dornseiffer
Représentant membre ALI

Ing. Dipl. Marc Feider
Administrateur et chef de service Bâtiments / Ouvrages
Schroeder & Associés

Prof. Dr. Ing. Jean-Régis Hadji-Minaglou
Université du Luxembourg, Unité de recherche: Ingénierie
Faculté des Sciences, de la Technologie et de la Communication

Informaticien dipl. Patrick Hitzelberger
Centre de Recherche Public - Gabriel Lippmann
Département ISC

Ing. Dipl. Dr. en mécanique Alain Louge
Directeur de Recherches et de Développement
Groupe Eurobéton

Prof. Dr. Ing. Michel Marso
Professeur en Technologie de Télécommunications
Université du Luxembourg, Unité de recherche: Ingénierie
Faculté des Sciences, de la Technologie et de la Communication

Dr. Paul Schosseler
Directeur
CRTE / CRP Henri Tudor



© Bohumil KOSTOHRYZ1 boshua

publiée par_



A.L.I.A.I.

Association Luxembourgeoise des Ingénieurs, Architectes et Industriels

www.aliai.lu

partenaires de la revue_



revue imprimée sur du papier_



François Hilger, qui vient de s'endormir à Namur le 14 mai 2010 à l'âge de 79 ans, est né à Strassen en 1931. Professeur honoraire de Gembloux, il était membre de l'Association Luxembourgeoise des Ingénieurs et connu au Grand-Duché en sa qualité de conférencier de l'Association Luxembourgeoise des Ingénieurs, Architectes et Industriels et sa publication dans la Revue Technique Luxembourgeoise.



A.L.I.A.I.
Association Luxembourgeoise des Ingénieurs, Architectes et Industriels

FRANÇOIS HILGER, À LA MÉMOIRE D'UN GRAND HOMME DE SCIENCE LUXEMBOURGEOIS_

Prof. Micheline Vandenbol



F. Hilger sur le campus de
l'Université du Wisconsin-
Madison (USA) - 1993

François Hilger était Professeur à la Faculté Universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux.

Il enseignait la Microbiologie et la Génétique moléculaire. C'était un enseignant enthousiaste, fort apprécié des étudiants, qui expliquait avec rigueur et simplicité ses domaines de prédilection. Il a formé toute une école de scientifiques de haut niveau dispersés aujourd'hui de par le monde.

Il adorait parler Science et en particulier des micro-organismes, ces organismes si petits qu'ils ne sont visibles qu'au microscope. Il était fasciné par leur grande diversité, certains sont néfastes d'autres peuvent être bénéfiques. Il voulait comprendre leurs mécanismes d'adaptation à leur environnement. Déjà tout petit, il était intrigué par la teneur usée et pestilentielle d'une mare située près de la ferme de ses parents à Strassen. Plus tard, il en fit des analyses microbiologiques pour identifier l'origine de cette dégradation.

Au début de sa riche carrière, il a isolé au Congo une nouvelle bactérie dans le cadre de sa thèse de doctorat. C'est

ainsi que le nom de François Hilger apparaît dans tous les livres de Microbiologie générale. Lors de l'indépendance du Congo en 1960, il revint à Gembloux avec pour unique bagage quelques tubes contenant sa précieuse bactérie du genre *Beijerinckia*. C'est sa patience et ténacité qui lui permirent de découvrir cette nouvelle bactérie très lente à croître, il a su réussir là où d'autres échouèrent.

Sa passion pour la recherche scientifique était née. Chercher encore et toujours pour comprendre tout ce qui l'entourait, en particulier le monde du vivant, tel était son idéal.

Il s'est vite rendu compte que pour aller plus loin dans sa réflexion scientifique, il devait s'ouvrir au monde extérieur et côtoyer des chercheurs généticiens. A nouveau, il fallait comprendre « l'âme » des micro-organismes en étudiant leur matériel héréditaire. Il a alors contacté 2 éminents Professeurs de Bruxelles à l'ULB (Marcelle Grenson et Jean-Marie Wiame) pour obtenir à 38 ans un nouveau diplôme de licencié en Biologie moléculaire. Ensuite, il a poursuivi son épanouissement intellectuel en travaillant quelques années

à la célèbre Université de Berkeley aux USA chez le grand généticien Robert Mortimer qui devint son mentor mais aussi plus tard un ami très cher. Quel enrichissement pour lui que de vivre « l'American Dream » au cours des années 1976-1979 sur les campus américains de la côte Ouest. Il en parlait avec enthousiasme et incitait tous ses collaborateurs ou étudiants à vivre cette extraordinaire expérience, ce que certains réalisèrent avec brio dans l'Université de Harvard.

Vint le temps pour lui de créer sa propre équipe de chercheurs dont il serait le leader, un nouveau défi. Ce qu'il entreprit avec succès en centrant ses thèmes de recherche sur la levure de boulangerie *Saccharomyces cerevisiae*. Pourquoi a-t-il été attiré par ce micro-organisme? Tout d'abord pour son importance dans la vie de tous les jours, dans la formation de la bière, pain, vin etc. Ensuite parce que cet organisme, composé d'une cellule unique a, de façon étonnante, la même architecture cellulaire qu'une cellule humaine, mais elle est beaucoup plus simple. Les connaissances qui en sont issues peuvent donc être extrapolées à des cellules plus complexes et plus difficiles à aborder expérimentalement, comme les cellules humaines ou végétales. Absolument inoffensive, elle se développe très facilement en culture et se prête à toutes les manipulations génétiques. C'est dans ce domaine que François a orienté son laboratoire dans l'étude du cycle de division donc dans l'étude de la vie d'une cellule, dans le décryptage du génome levurien et donc l'identification de tous les gènes nécessaires au fonctionnement de base d'une cellule... Tout au long de son parcours scientifique, il fut l'auteur de nombreux articles publiés dans des revues de niveau international.

Aujourd'hui, le laboratoire continue encore à étudier la levure sur les pistes que François Hilger a initiées.

Avoir collaboré avec François dans ses nombreux projets de recherche fut fort gratifiant. Au laboratoire, il était un excellent chercheur, rigoureux, passionné par ce qu'il entreprenait. Fort méticuleux, chaque expérience était analysée minutieusement. Muni d'une intelligence vive, son esprit était avant-gardiste, il avait l'intuition du chercheur, il percevait les voies de recherche à entreprendre pour le futur. Cela se manifestait par une aisance et facilité dans l'écriture

de nouveaux projets. Il savait utiliser les mots justes, quelle belle leçon encore aujourd'hui pour tous de lire les textes écrits de sa main.

Toujours prévenant, chacun avait droit à son respect et était traité avec égard et bienveillance. Il était à l'écoute de tous ses collaborateurs qui l'appelaient affectueusement « Tonton François ». Plus tard après sa retraite, il avoua qu'il appréciait être interpellé ainsi, il aimait sentir qu'il faisait encore et toujours partie de la grande famille du « labo de Microbio de Gembloux ».

Après sa retraite, il continuait à s'intéresser à la Science, il voulait connaître les nouvelles techniques et les nouvelles idées développées dans le laboratoire qu'il avait fondé. Il suivait avec discrétion l'évolution des recherches en cours.

Une autre de ses passions fut aussi l'étude des peintures, il allait d'expositions en expositions, il lisait de nombreux livres sur le sujet au point qu'il aurait pu donner des conférences sur l'histoire de l'Art. Lors de ses passages au laboratoire, il faisait un récit captivant de ses nouvelles découvertes dans le monde fascinant de l'Art.

Doté d'une curiosité toute naturelle, d'une intelligence pertinente et d'un esprit cartésien, il aurait pu aborder tout sujet qui l'attirait et l'intéressait. Ainsi, un de ses derniers souhaits aurait été d'apprendre les équations mathématiques qui décrivent l'origine de l'Univers. Tout un programme qu'il n'aura pas eu le temps d'accomplir.

La communauté scientifique a perdu un grand chercheur dans le domaine de la génétique microbienne, mais aussi un grand homme.

Professeur Micheline Vandenbol

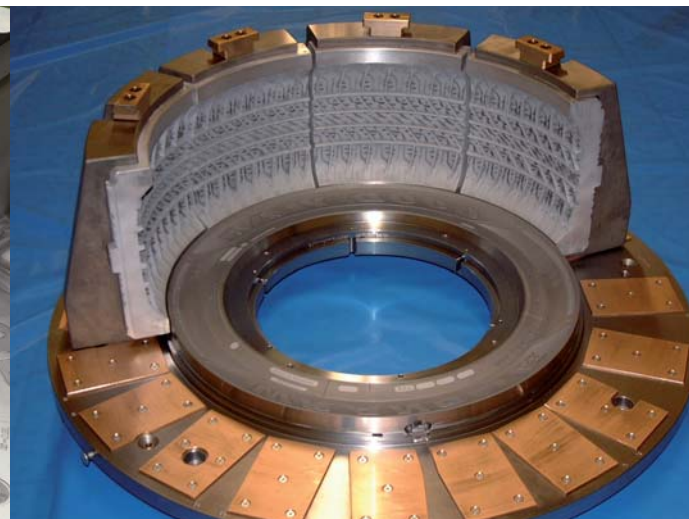
Université de Liège / Gembloux Agro-Bio Tech

Der zunehmende Druck aus Niedriglohnländern zwingt die produzierenden Unternehmen dazu, ihre Werke kontinuierlich hinsichtlich Effizienz und Flexibilität zu optimieren. In diesem Beitrag wird eine Untersuchung beschrieben, welche in Zusammenarbeit von der Goodyear Mold Plant in Luxemburg und der Universität Luxemburg, im Rahmen einer Bachelorarbeit durchgeführt wurde. Sie behandelt die Optimierung des Produktionsablaufs von Slide Blöcken und Aktivatoren.



VERBESSERUNG DES FERTIGUNGSABLAUFS VON SPEZIAL WERKZEUGEN_

Prof. Dr.-Ing. Peter Plapper, G. Jacobs *Manager*, S. Plantier, Prof. Dr.-Ing. W. Lortz, Christian André



Zur Produktion von Reifen werden Formen benötigt. Diese Reifenformen bestehen aus den Teilen die mit dem Reifenrohling in direktem Kontakt stehen und ihm sein späteres Aussehen verleihen und dem sogenannten Mechanismus zu welchem die Slide Blöcke und Aktivatoren gehören. Er sorgt dafür, dass die Form zuverlässig geöffnet und geschlossen werden kann.

Ziel der Untersuchung war die Analyse des Fertigungsablaufs dieser Teile des Werkzeugmechanismus sowie die Entwicklung von Vorschlägen für die nächste Optimierungsstufe des Produktionsablaufs im Werkzeugbau der Goodyear Mold Plant. Ein wichtiges Ziel der Untersuchung war dabei die Verkürzung der Produktionszeit der Slide Blöcke und der Aktivatoren, um die Wettbewerbsfähigkeit des Formenbaus weiter zu steigern. Diese Verkürzung kann unter anderem durch folgende Maßnahmen erreicht werden:

- _Prozessgeschwindigkeit steigern
- _Zwischenpuffer (wo sinnvoll) verringern
- _Transportwege verkürzen
- _Maximale Maschinenverfügbarkeit anstreben
- _Rüstzeiten verkürzen

In dieser Untersuchung wurden vor allem die drei ersten Punkte betrachtet. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird

in diesem Beitrag nur das Beispiel der Slide Blöcke behandelt. Die Aktivatorenfertigung wurde mit der gleichen Methode untersucht.

Zuerst wurde der Produktionsprozess der Slide Blöcke analysiert. Dieser kann ganz allgemein in 8 Schritte aufgeteilt werden: Drehen, Fräsen, Zerschneiden, Nachbearbeiten,

1. Inspektion, Oberflächenhärten,
2. Inspektion, Planschleifen.



Abb. 1_Produktionsprozess

Die meisten der Bearbeitungsoperationen erfolgen im Goodyear Werk. Ausgewählte Prozessschritte, wie zum Beispiel das Oberflächenhärten werden extern ausgeführt, wobei nicht alle Slide Block Typen diesen Schritt durchlaufen. Dadurch können der Produktionsprozess und die Reihenfolge der einzelnen Produktionsschritte von der Ab-

bildung abweichen. Für den Großteil der Slide Blöcke trifft dieser Prozessablauf jedoch zu.

Für einige der, in Abb. 1 wiedergegebenen Prozesse stehen mehrere Maschinen zur Verfügung (Abb. 2), wobei manche zur Produktion von mehreren Baugruppen der Formen benutzt werden. Hier gilt es nun eine optimale Verteilung der Teile auf den verschiedenen Maschinen zu finden. Um diese Verteilung zu erhalten, müssen den Maschinen unterschiedliche Prioritäten eingeräumt werden. Punkte auf die hier geachtet werden sollte sind:

- _Möglichst viele Teile auf der schnellsten Maschine zu bearbeiten um die Produktionszeit zu verkürzen
- _Falls möglich, Mehrstellenarbeit anvisieren
- _Maschinenzuverlässigkeit beachten, denn eine schnelle Maschine nützt nichts wenn sie nicht läuft

Abbildung 2 zeigt die Maschinenverteilung der Slide Blöcke. Aus Gründen der Vertraulichkeit kann hier nur ein abstrahiertes Bild gezeigt werden, doch die angewandte Methodik wird deutlich.

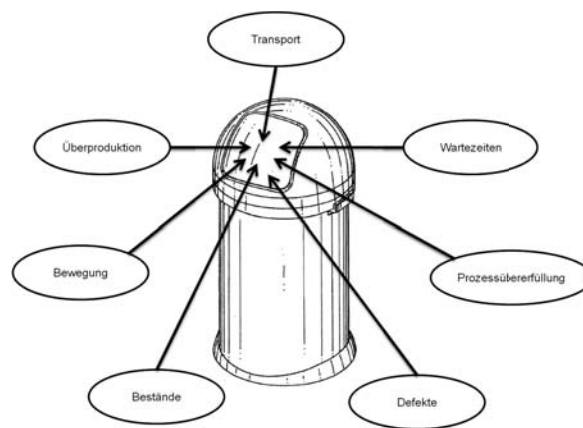


Abb. 3_Die 7 Arten der Verschwendung

Das Wertstromdesign stellt den Informations- und Materialfluss zwischen den einzelnen Fertigungsschritten anhand einer Grafik dar. Darüber hinaus sollte das Wertstromdesign

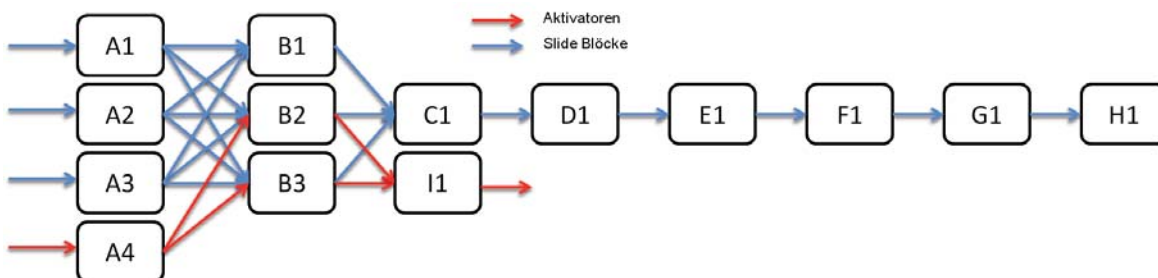


Abb. 2_Maschinenverteilung

Um eine gute Sicht der momentanen Situation zu erhalten, wurde eine Wertstromanalyse (Value Stream Mapping) durchgeführt [1]. Unter Wertstrom versteht man alle Aktivitäten (sowohl wertschöpfend als auch nicht-wertschöpfend), die notwendig sind um ein Produkt herzustellen. Ziel des Wertstromdesigns ist es, die Wertschöpfung einer Firma zu erhöhen und die in Abb. 3 wiedergegebenen sieben Arten der Verschwendung zu beseitigen.

auch die logistische Schnittstelle der Firma mit den Zulieferern und dem Kunden widerspiegeln. Der Kern von Value Stream Mapping ist das Erfassen der Verteilung der Halbzeuge auf die verschiedenen Fertigungsschritte der gesamten Prozesskette (inklusive Ein- und Ausgangspuffer). Das Vorgehen beinhaltet hauptsächlich das Zählen von Stückzahlen in den Puffern und in den jeweiligen Bearbeitungsstationen. Wertstromanalysen sind immer eine Momentaufnahme des Materialflusses, repräsentieren jedoch einen typischen Zustand in der Fabrik, so dass sie allgemein gültig sind.

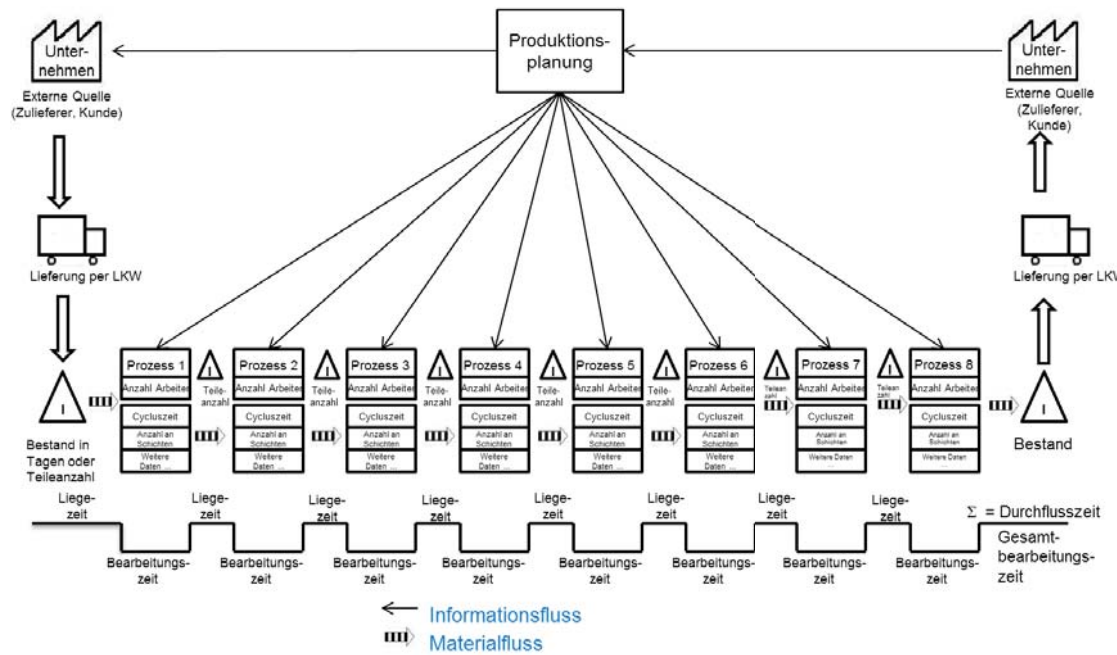


Abb. 4_ Value Stream Map

Die Wertstromanalyse muss folgende Informationen enthalten:

- _Die Anzahl der Bediener pro Bearbeitungsoperation
- _Anzahl der Schichten pro Bearbeitungsoperation
- _Den Informations- und Materialfluss zwischen den Maschinen
- _Zulieferer und Kunde
- _Verschiedene Zeiten (Laufzeit pro Stück, Liegezeit pro Stück, gesamte Produktionszeit, Durchflusszeit)
- _Das zur Verfügung stehende Material für den nächsten Arbeitsschritt (Puffer)
- _Die Maschinenverfügbarkeit (optional)

Anhand der ermittelten Daten wurde der aktuelle Wertstrom (Value Stream Map) ausgearbeitet.

In Abb. 4 werden die allgemeingültigen Aspekte der Value Stream Map dargestellt.

Die Wertstromanalyse und weitere Beobachtungen zeigten, dass bei der Nachbearbeitung der Slide Blöcke die Bearbeitungszeit und der Materialfluss verbessert werden könnten. Die Firma Goodyear plante bereits vor dieser Untersuchung die Automation eines bisher manuell ausgeführten Fertigungsschrittes. So galt es, nur noch die optimale Einbindung in den Fertigungsablauf für die neue Anlage zu finden. Basierend auf der Wertstromanalyse wurde die optimale Integration im Produktionsfluss bestimmt. Wichtig hierbei ist es möglichst geringe Distanzen zwischen den einzelnen Prozessen zu erhalten. Dies sorgt nicht nur für geringe Transportwege, sondern stellt auch eine Verbindung zwischen den einzelnen Produktionsschritten her, so dass ein Informationsaustausch stattfinden kann und alle Prozesse möglichst in ähnlichen Taktzeiten (Rhythmus) produzieren. Dadurch soll es weniger Abweichungen zwischen den einzelnen Prozessen geben und die Liegezeiten und Puffer reduziert werden.

Die Maschinenbelegung (Abb. 2) wurde mit Hilfe der Wertstromanalyse hinsichtlich einer Verkürzung der Durchflusszeit angepasst. Hierzu mussten zusätzliche Aspekte, wie zum Beispiel die Mitarbeiterauslastung und der Materialfluss anderer Teile berücksichtigt werden.

Durch die Änderung der Maschinenverteilung der Slide Blöcke, die Kombination von Maschinen und die Automa-

tion kann eine wesentliche Verkürzung von Maschinen- und Arbeitsstunden pro Jahr erzielt werden. Die Senkung der Maschinenstunden kann für eine Erhöhung der Kapazität genutzt werden. Die gesparten Arbeitsstunden können in einer signifikanten Einsparung pro Jahr ausgedrückt werden. Die günstige Platzierung der neuen Anlage führt außerdem zu einer Reduzierung der Transportwege.

Beim Herstellungsprozess der Slide Blöcke konnten Vorschläge für eine Verkürzung der Durchflusszeit von maximal 50% erarbeitet werden. Zudem könnten ausgewählte Zwischenlager reduziert werden, was einer Kapitaleinsparung entspricht. Bei den Aktivatoren hatte die Firma Goodyear den Materialfluss schon so weit optimiert, dass das Einsparpotential weitaus geringer war als bei den Slide Blöcken. Zur vollständigen Umsetzung sind weitere unternehmenspolitische Aspekte zu berücksichtigen, so dass in der Praxis nicht alle Vorschläge umsetzbar sein werden.

Zusammenfassung

Insgesamt erwies sich VSM als leistungsfähige und gleichzeitig einfach zu handhabende Methode zur Analyse des Fertigungsablaufs, die in diesem Projekt der Firma Goodyear und der Universität Luxemburg auf die Produktion von Spezialwerkzeugen angewendet wurde. Als Resultat wurden Maßnahmen zur Optimierung des Ablaufs des Formenbaus erarbeitet. Diese Methode auf den kritischen Pfad appliziert, ergäbe eine Verringerung der Anfertigungszeit (Lead Time Reduction) und steigert somit die Wettbewerbsfähigkeit und die Liefertreue des Formenbaus der Firma Goodyear. Sie wird also auch weiterhin auf Weltklasse Niveau produzieren können.

Prof. Dr.-Ing. Peter Plapper *Professor an der Fakultät FSTC der Universität zu Luxembourg*

G. Jacobs *Manager Production and Maintenance-Mold Plant Goodyear Luxembourg*

S.Plantier *CIS-Mold Plant Goodyear Luxembourg*

Prof. Dr.-Ing. W. Lortz

Christian André

Literatur

[1] Learning to See, Mike Rother and John Shook, Lean Enterprise Institute, Inc 2000

After only ten months from its creation the "BioLux Network" has steadily gained a place within the landscape of life science organizations throughout Luxembourg.



THE BIOLUX NETWORK WITHIN LISA A.S.B.L. A POWERFUL TOOL TO CONNECT YOUNG RESEARCHERS IN LUXEMBOURG_

The BioLux Networking Team

The "BioLux Network" currently counts more than 65 participants and is supported by the Fonds National de la Recherche (FNR). Members of the Network are hosted throughout all research institutions in the field of life sciences, including PhD students and Postdocs from the different public research centres (CRP) in Luxembourg: CRP-Santé, CRP-Henri Tudor and CRP-Gabriel Lippmann as well as members from the University of Luxembourg. Participants highly profit from a diversity of activities to facilitate the scientific exchange through enhanced communication between and within institutions fostered by the Network.

To further increase the chances to achieve its purpose the "BioLux Network" has joined efforts with the Luxembourg Bioinformatics Network (Lucilinx) to create the Luxembourg Life Science Association (LISA) a.s.b.l. Aligned with the core mission statements of the "BioLux Network", "LISA" aims, within the domain of life sciences, to

- 1_facilitate exchange and meetings between researchers
- 2_establish national and international collaborations
- 3_integrate technological innovation
- 4_organize events, conferences, symposia and workshops
- 5) develop and promote life sciences within Luxembourg's institutions

"LISA" has been created as an association that covers both Networks as thematic groups. Each Network is self-organized and retain a large degree of independence while obtaining the benefits from the legal and management framework supported by the association status. Most important, "LISA" is entitled as a non-profit legal entity to submit projects, request grants and obtain resources from members, partners and mentors. This allows the "BioLux Network" to further develop their own mission goals.

During the last months exciting activities have been organized by the "BioLux Network". Among others, the Networkers had the great opportunity to meet Prof. Dr. R. Balling from the University of Luxembourg, Dr. J.C Schmit from the CRP-Santé, Dr. L. Hoffmann from the CRP-Gabriel Lippmann, Dr. G. Colling from the Museum of Natural History

in Luxembourg, and Prof. Dr. R. Wennig from the National Health Laboratory. All meetings organized by the "BioLux Network" offered unique chances to actively discuss and profit from the outstanding knowledge and experience from invited guest speakers within different life science research domains in Luxembourg. Further meetings are planned to be held every month during 2011, as well as the first Luxembourgish Life Science PhD symposium organized in collaboration with the University of Luxembourg.

"The BioLux Network" is open to everyone interested in the field of life sciences, especially young researchers in Luxembourg and welcomes new members to join the "LISA" a.s.b.l.

biolux.networking@gmail.com

Die weit verbreitete Verwendung anthropogener Stoffe, wie Pharmaka, Industrieprodukte, Kosmetika, synthetische Farbstoffe, Konservierungsmittel, chlorierte Lösungsmittel oder Pestizide führt zu einer steigenden Belastung der Fließgewässer, Seen und des Grundwassers. Diese vom Menschen in die Umwelt eingetragenen Substanzen und ihre Abbauprodukte werden als Xenobiotika bezeichnet, also Stoffe, die dem natürlichen biologischen Kreislauf fremd sind. Xenos und Bios stammen aus dem griechischen und bedeuten "fremd", bzw. "Leben". Die Verbindungen sind teilweise biologisch schwer abbaubar und haben unter Umständen toxische Wirkungen. Manche Substanzen reichern sich in Organismen an. Durch verbesserte chemische Analyseverfahren lassen sich weltweit die Xenobiotika im Spurenbereich von den Kläranlagen über das Fluss- und Grundwasser bis hin in das Trinkwasser verfolgen. Selbst in entfernten Regionen wie der Arktis lassen sich beispielsweise Polychlorierte Kohlenwasserstoffe in der Umwelt nachweisen.

KONZENTRATIONEN, HERKUNFT, WIRKUNG, MINDERUNGSMASSNAHMEN

XENOBOTIKA IN LUXEMBURGER FLIESSGEWÄSSERN_

Dr. rer nat habil Andreas Krein

Problemstellung

Ziel dieser Untersuchung ist es, in einer Fallstudie die realen Konzentrationen ausgewählter Pharmaka in zwei lokalen Gewässern zu bestimmen und die Herkunft sowie potentielle Wirkung auf Organismen in luxemburgischen Fließgewässern zu beleuchten. Im Sinne eines vorsorgenden Gewässerschutzes und Verbraucherschutzes sind Anstrengungen aller Beteiligten zum nachhaltigen Schutz der Wasserressourcen essentiell, daher werden weiterhin mögliche Minderungsmaßnahmen bezüglich des Eintrags von Xenobiotika aufgezeigt.

Material und Methoden

Zur Untersuchung kommen antibiotisch wirksame Arzneistoffe aus den Gruppen der Sulfonamide und Tetracykline. Diese Antibiotika werden bei der Behandlung von Menschen aber auch in der Tiermedizin häufig verwendet. Weiterhin haben wir Ibuprofen und Diclofenac untersucht, welche in Antirheumatika zur Behandlung von Schmerzen, Entzündungen und Fieber bzw. in Analgetika bei Rheuma, Prellungen und Arthrose eingesetzt werden. Aus der Gruppe der Hormone wurden die wichtigsten natürlichen Hormone Estradiol und Estron und das synthetische Ethinylestradiol analysiert, welches in der Antibabypille als Wirkstoff enthalten ist. Das weiterhin analysierte Carbamazepin zählt chemisch zur Klasse der Dibenzazepine und wird vorwiegend gegen Epilepsien oder Krampferkrankungen eingesetzt. Alle diese Stoffe sind löslich, im Wasserkreislauf stabil und können auch in luxemburgischen Gewässern sehr gut nachgewiesen werden. Im Projekt wurden Wasserproben im Einlauf und Auslauf mehrerer Kläranlagen, in Regenüberlaufbecken des Kanalsystems sowie in mehreren Oberflächengewässern entnommen. Die Substanzen wurden in den Laboratorien des Centre de Recherche Public - Gabriel Lippmann nach Festphasenanreicherung durch Hochleistungsflüssigkeits-Chromatographie mit Tandem-Massenspektrometrie gemessen. Ihr Nachweis ist im unteren Nanogramm pro Liter Bereich möglich. Nähere Informationen zu den Probenahmen, Extraktionswegen sowie den Analyseverfahren finden sich bei Pailler et al. (2009a).

Xenobiotika Konzentrationen in Gewässern – Beispiel Mess und Pétrusse

Zur Untersuchung kommen zwei Fließgewässer im Süden Luxemburgs, die durch unterschiedliche Landnutzungsformen geprägt sind (Abbildung 1). Das bis zum Pegel in der Gemeinde Pontpierre 35,6 km² große Einzugsgebiet der Mess entwässert in die Alzette. Den größten Flächenanteil von 80 % stellen landwirtschaftlich genutzte Gebiete dar, wobei das Verhältnis zwischen Ackerland und Grünland ca. 1:3 beträgt. Der Anteil der Forst- und Siedlungsflächen liegt jeweils bei etwa 10 %. Ein wichtiger lokaler Eintragsweg für Xenobiotika ist die Kläranlage Reckingen. Auch die bis zum Pegel in der Stadt Luxemburg 43,7 km² große Pétrusse entwässert in die Alzette. Insgesamt sind 21% der Fläche der Pétrusse versiegelt. Ihr östlicher Teil des Einzugsgebietes liegt in der Stadt Luxemburg und nimmt hier Wasser der dortigen Trennkanalisationen auf. Die beiden kleinen Kläranlagen von Roedgen und Schleiwenhaff liefern mit ihrem gereinigten Abwasser permanent Xenobiotika in den Vorfluter. Auch in den Zuflüssen der Trennkanalisation lässt sich bei Trockenwetter ein konstanter Zustrom ungeklärten Abwassers beobachten, der vermutlich auf Fehlanlüsse zurückzuführen ist.

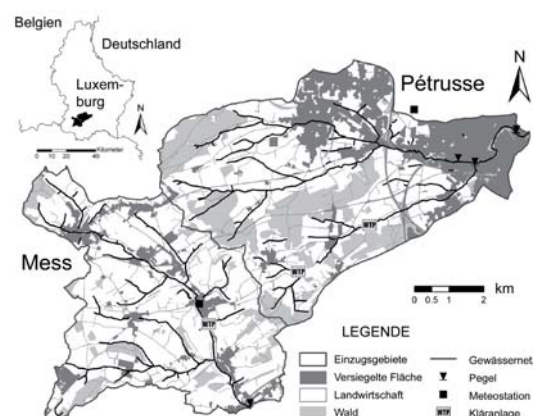


Abbildung 1_Landnutzungscharakteristika sowie Standorte von Kläranlagen, Pegeln und meteorologische Messstationen in den Einzugsgebieten der Mess und der Pétrusse

Das Klima der Region ist bei einer mittleren Jahresdurchschnittstemperatur von 8,5°C und einer mittleren Jahresniederschlagssumme von 841 mm (Zeitraum 1961-1990) ozeanisch geprägt (Pfister et al. 2006). Die Messstellen beider Gewässer liegen etwas flussaufwärts der Mündung, so dass die Pegel nicht durch rückstauendes Wasser im Mündungsbereich beeinflusst sind. Die Pegel sind mit Drucksonden zur Bestimmung des Abflusses sowie mit Messgeräten (WTW 197i) zur kontinuierlichen Wassertemperatur- und Leitfähigkeitsmessung ausgestattet. Der Niederschlag sowie weitere meteorologische Parameter werden an den Stationen Reckange und Merl von der 'Administration des Services Techniques de l'Agriculture' erhoben (Abbildung 1). Wasserproben wurden mit automatischen Probennehmern (ISCO) sowie per Hand während Hochwasser und Niedrigwasser an den Pegelstationen und an den Kläranlagen entnommen.

Der Basisabfluss der Mess liegt während der Sommermonate meist unter $0,03 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, und die Hochwasserwellen passieren den Pegel in Pontpierre innerhalb von 6-12 Stunden. In der Region treten die sommerlichen Niederschläge meist als Konvektionsregen von kurzer Dauer mit höheren Intensitäten auf. Ein solches Niederschlagsereignis erzeugt in der Mess charakteristischerweise eine mehrgipfelige Hochwasserwelle. Abbildung 2 zeigt beispielhaft die Welle vom 25. August 2009, ausgelöst durch ein Niederschlagsereignis von 6,5 mm bei einer maximalen Intensität von $6,2 \text{ mm h}^{-1}$. Diese Welle hat eine Dauer von etwa 7 Stunden. Auf eine kleine Vorwelle, die durch Abspülungen von versiegelten Flächen und aus dem Kanalsystem der Gemeinde Pontpierre aus der Umgebung des Pegels resultiert, folgt die eigentliche Welle. Diese Hauptwelle besteht überwiegend aus oberflächlich ablaufendem Regenwasser sowie ins Gewässer ablaufendem Bodenwasser aus dem Einzugsgebiet. Ungefähr 5 % des gesamten Niederschlags kommt in diesem Ereignis zum Abfluss. Die parallel fallenden Leitfähigkeitswerte identifizieren diesen Peak als mehrheitlich abfließendes Regenwasser, das mit dem verdünnten Abwasser aus der Kläranlage zum Abfluss kommt.

Das Schmerzmittel Ibuprofen markiert mit einem ausgeprägten Konzentrationsanstieg über 200 ng l^{-1} den Ein-

fluss der Sturmentlastung der Kläranlage Reckingen. Trotz der starken Verdünnung mit Regenwasser in der Hauptwelle sind die Konzentrationen noch relativ hoch. Insgesamt werden in dieser Welle 486 mg des Wirkstoffs Ibuprofen transportiert. Das entspricht ungefähr dem Wirkstoffgehalt einer Tablette Ibuprofen 400. Ein Abbauprodukt des Diclofenac – das 4'-hydroxy-diclofenac – zeigt ebenfalls einen leichten Konzentrationsanstieg. In der kleinen Vorwelle werden ebenfalls höhere Xenobiotika Konzentrationen gemessen. Hier wird ungereinigtes Abwasser in das Gerinne gespült. Der Wirkstoff Sulfamethoxazol aus Antibiotikapräparaten schwankt nur unbedeutend in seinen Konzentrationen. Wir bestimmen höhere Antibiotikakonzentrationen nur dann in der Mess oder in der Pétrusse, wenn verstärkt Krankheiten mit bakteriellem Hintergrund in Luxemburg auftreten. Die Ergebnisse aus weiteren Hochwasserwellen können Pailler et al. (2009b) entnommen werden.

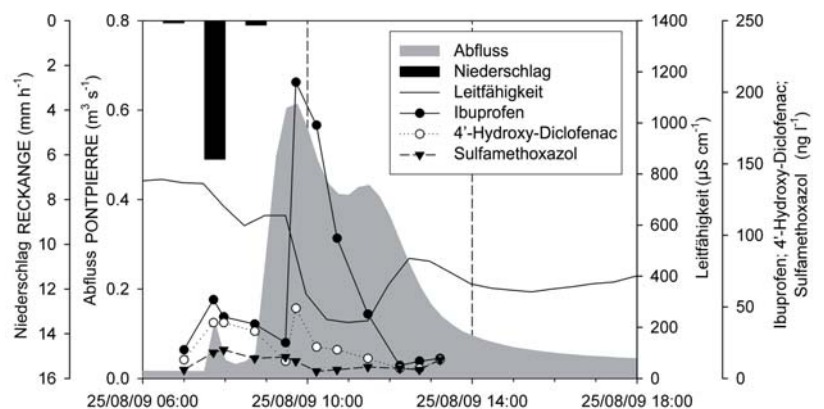


Abbildung 2_Konzentrationsverlauf ausgewählter gelöster Pharmakareststoffe während einer Hochwasserwelle in der Mess im Sommer 2009

Die Abflusss dynamiken aus den beiden Einzugsgebieten der Mess und der Pétrusse unterscheiden sich stark. Im landwirtschaftlichen Gebiet der Mess sind die durch Regenereignisse ausgelösten Abflussspitzen wesentlich kleiner, da die unversiegelten Böden das Wasser aufnehmen und verzögert wieder abgeben. Im Gegensatz dazu fließt das

Substanz	Mess					Pétrusse				
	Anzahl der Proben (n)	n (>LOQ)	Maximaler Wert (ng l ⁻¹)	Mittelwert (n>LOQ) (ng l ⁻¹)	SD (n>LOQ) (ng l ⁻¹)	Anzahl der Proben (n)	n (>LOQ)	Maximaler Wert (ng l ⁻¹)	Mittelwert (n>LOQ) (ng l ⁻¹)	SD (n>LOQ) (ng l ⁻¹)
Sulfonamide										
Sulfathiazol	75	7	5	2	1	62	32	35	9	7
Sulfamethazin	75	25	19	8	4	62	28	221	59	61
Sulfadimethoxin	75	0	0	-	-	62	5	8	4	3
Sulfamethoxazol	75	45	118	24	31	62	52	286	29	55
Sulfamethazin-N4-acetyl	33	0	0	-	-	62	0	0	-	-
Tetracykline										
Tetracyklin	75	40	17	4	3	62	41	341	49	84
Oxytetracyklin	75	22	9	4	2	62	9	24	10	9
Chlortetracyklin	75	6	25	11	10	62	1	21	21	-
Schmerzmittel										
Ibuprofen	87	87	2383	89	259	62	57	680	97	155
Diclofenac	75	51	45	7	9	62	34	241	30	55
4'-hydroxy-diclofenac	33	31	49	21	14	62	25	159	30	39
Hormone										
Estron	99	58	89	8	13	62	12	13	6	3
β-estradiol	99	13	6	3	2	62	0	0	-	-
17-α-ethinylestradiol	99	0	0	-	-	62	0	0	-	-

Tabelle 1_Konzentrationen ausgewählter Pharmazeutikawirkstoffe und ihrer Abbauprodukte während Hochwasserwellen in der Mess und in der Pétrusse, 2009-2010

Wasser in der stärker siedlungsbeeinflussten Pétrusse von den versiegelten Flächen (Straßen, Plätze, Dächer, Trennkanalesation) ohne Verzögerung ab. Insgesamt wird in beiden Gebieten ein Teil des abfließenden Regenwassers per Trennkanalesation sofort in die Gewässer geleitet. In den restlichen Gebieten gelangt das Regenwasser in die Mischkanalesation und von dort über Regenüberlaufbecken in die Kläranlagen. Regnet es jedoch sehr stark, läuft überschüssiges Wasser aus den Regenüberlaufbecken direkt in die Vorfluter (sogenannte Sturmentlastung).

In den Vorflutern wurden sowohl während Hochwasser (Tabelle 1) als auch während Niedrigwasser (Tabelle 2) mittlere Konzentrationen von bis zu einigen 100 ng l⁻¹ gemessen, die auf den Einfluss geklärter aber auch ungeklärter Abwässer zurückgeführt werden können. Allgemein liegen die Konzentrationen in beiden Gewässern in den Größenordnungen von gereinigtem Abwasser. Die Konzentrationen ausgewählter Pharmazeutika und ihrer Abbauprodukte sind während Hochwasserwellen in der Pétrusse höher (Tabelle 2). Wir registrieren vergleichsweise hohe Konzentrationen der wichtigsten Antibiotika, und auch die Mittelwerte der Schmerzmittel sind höher als in der Mess.

Herkunft von Wirkstoffen aus Medikamenten in Luxemburger Fließgewässern

Das vorangegangene Kapitel hat gezeigt, dass in Gemeinden mit Abwasser-Mischsystem häusliches und gewerbliches Abwasser mit Regenwasser zusammengeführt und im Falle einer Kanalüberlastung oder eines Regenrückhaltebeckenüberlaufs in die Gewässer geleitet wird. Diese aus den Siedlungsgebieten oder aus den Sturmentlastungen der Kläranlagen stammenden Abflüsse führen häufig zu einer stofflichen sowie auch hydraulischen Belastung kleiner Fließgewässer. Die Folge sind nicht nur die aufgezeigten kurzfristigen Spitzenbelastungen verschiedener Schadstoffe, sondern auch damit verbundene langfristige Veränderungen im Gewässer, beispielsweise die Zunahme physiologisch unempfindlicher Arten. Wegen der zu erwarteten Klimaänderung mit einer Häufung sommerlicher Starkregen und einer allgemeinen Zunahme der Winterniederschläge (Palmer & Räisänen 2002, Schönwiese et al.

2004) ist in Zukunft eine Häufung derartige Entlastungsergebnisse wahrscheinlich, was mit einem verstärkten Eintrag von Xenobiotika in unsere Umwelt einhergehen würde.

Abbildung 3 gibt einen schematischen Überblick bezüglich der möglichen Eintragswege der Medikamentenreste in die Umwelt. Unterschieden wird zwischen Arzneimitteln und Wirkstoffen, bzw. Metaboliten. Arzneimittel werden in Krankenhäusern und in Apotheken an die Patienten ausgegeben. Gelangen diese dann über Ausscheidungen oder unsachgemäße Entsorgungen in die Kanalisation dann wird von Wirkstoffen und deren Abbauprodukten gesprochen. Die Konzentrationen ausgewählter Wirkstoffe und ihrer Abbauprodukte während Niedrigwasserbedingungen in der Mess und in der Pétrusse haben gezeigt, dass ein Großteil der Medikamentenreste in unseren Fließgewässern aus dem gereinigten Abwasser der Kläranlagen stammt. Weiterhin wird verdünntes Abwasser nach Regenereignissen über die Sturmentlastungen der Kläranlagen sowie über Fehlschlüsse der Trennkanalesation in die Oberflächengewässer eingetragen.

Ein wichtiger Aspekt ist der Austausch zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser, bei welchem gelöste Xenobiotika in den Untergrund und damit ins Grundwasser eingetragen werden können. Für die Mess wurde dieser Prozess von

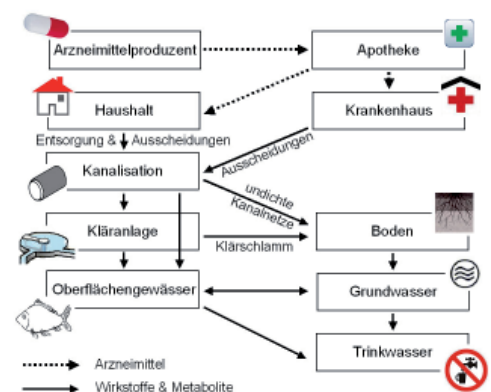


Abbildung 3_Schematische Übersicht zum Eintrag von Arzneimittelwirkstoffen in die Umwelt

Substanz	Mess					Pétrusse				
	Anzahl der Proben (n) (-)	n (>LOQ) (-)	Maximaler Wert (ng l ⁻¹)	Mittelwert (n>LOQ) (ng l ⁻¹)	Standarda. (n>LOQ) (ng l ⁻¹)	Anzahl der Proben (n) (-)	n (>LOQ) (-)	Maximaler Wert (ng l ⁻¹)	Mittelwert (n>LOQ) (ng l ⁻¹)	Standarda. (n>LOQ) (ng l ⁻¹)
Sulfonamide										
Sulfathiazol	27	2	4	3	2	26	5	79	16	19
Sulfamethazin	27	7	19	11	7	26	10	221	116	74
Sulfadimethoxin	27	9	2	1	0	26	5	44	10	19
Sulfamethoxazol	27	24	103	25	29	26	22	242	35	63
Sulfamethazin-N4-acetyl	23	0	0	-	-	26	0	0	-	-
Tetrazykline										
Tetrazyklin	27	23	48	9	11	26	19	267	17	61
Oxytetrazyklin	27	13	14	3	3	26	5	436	89	194
Chlortetrazyklin	27	10	58	15	19	26	7	298	49	110
Antiepileptikum										
Carbamazepin	4	4	89	55	25	4	4	45	31	14
Carbamazepin-10,11-epoxid	4	4	7	5	3	4	4	2	1	1
Schmerzmittel										
Ibuprofen	27	25	205	69	57	26	25	756	120	175
Diclofenac	27	23	347	75	111	26	26	200	29	40
4'-hydroxy-diclofenac	23	21	107	35	35	26	23	160	19	32
Hormone										
Estron	27	18	26	6	6	26	15	9	4	3
β-estradiol	27	3	3	2	1	26	2	6	5	2
17-α-ethinyloestradiol	27	3	14	9	5	26	1	5	5	-

Tabelle 2_Konzentrationen ausgewählter Pharmazeutikawirkstoffe und ihrer Abbauprodukte während Niedrigwasser in der Mess und in der Pétrusse, 2009-2010

Banzhaff et al. (2010) untersucht. Er kommt allerdings zu dem Ergebnis, dass dieser Eintrag in die wasserstauenden Mergel eher gering ist. Ein Eintrag von Oberflächenwasser ist in Gebieten des sehr gut wasserwegsamem Luxemburger Sandsteins aber nicht auszuschließen. Da aus dessen Aquifer ein bedeutender Anteil des Trinkwassers bezogen wird besteht auch hier eine besondere Gefährdung und weitere Forschungsarbeit sowie Untersuchungen sind erforderlich. Es ist sehr wahrscheinlich, dass ein geringer Anteil an Wirkstoffen als Versickerung über undichte öffentliche Kanalnetze oder defekte private Hausanschlüsse in den oberflächennahen Untergrund gelangt.

Unsere Kläranlagen sind überwiegend nicht darauf ausgelegt, Wirkstoffe aus Medikamenten vollständig zu eliminieren, sondern darauf, den Eintrag von Feststoffen, organischer Fracht und von Nährstoffen zu reduzieren. In wie weit unsere Kläranlagen die genannten Stoffe eliminieren ist nur unzureichend bekannt. Ein Teil dieser Mikroverunreinigungen wird entfernt, sei es durch Anlagerung an den Belebtschlamm oder durch biologischen Abbau bzw. durch Umwandlung. Im Zeitraum von 2008 bis 2009 wurde in mehreren Messkampagnen an 13 Terminen in den beiden größten Kläranlagen des Landes - Beggen und Schiffingen - der Wirkstoffabbau zwischen Schmutzwassereinlauf und gereinigtem Abwasser untersucht. Diclofenac wird hier zu 46 %, Sulfamethoxazol zu 57 %, Estradiol zu 64 %, Tetrazyklin zu 71 % und Ibuprofen zu 94 % abgebaut. Ein Teil der Wirkstoffe kommt demnach dennoch in die Vorfluter, über die komplexen Abbauprodukte ist wenig bekannt. Die Restverschmutzung mit Wirkstoffen aus Arzneimitteln oder Hormonen kann aber immer noch ökologische Probleme in den Gewässern verursachen (Kapitel 5).

Tabelle 3 zeigt die Konzentrationen ausgewählter Wirkstoffe und Metabolite im Auslauf von drei unterschiedlichen Kläranlagen. Dabei weist die moderne Kläranlage Schiffingen 90.000 Einwohnergleichwerte auf, die Kläranlage in Reckingen liegt bei 3.500 Einwohnergleichwerten und die Kläranlage Roedgen bei weit unter 2000.

Hohe Verbrauchsmengen bieten Hinweise auf das mögliche Vorkommen einzelner Wirkstoffe in Kläranlagenaus-

läufen und damit auch in den korrespondierenden Oberflächengewässern. Entsprechend finden wir besonders häufig schmerzlindernde und entzündungshemmende Stoffe wie Diclofenac und Ibuprofen, Antibiotika wie Sulfamethoxazol oder beispielsweise Antiepilektika wie Carbamazepin. Bei den Hormonen spielt das natürlich vorkommende Estron die wichtigste Rolle der drei untersuchten Verbindungen.

Die drei Komponenten Sulfamethazin-N4-acetyl, Carbamazepin-10,11-epoxid und 4'-hydroxy-diclofenac sind Beispiele von analysierten Abbauprodukten der unterschiedlichen Wirkstoffe. Die entsprechenden Konzentrationen zeigen, dass die ursprünglichen Stoffe auch mit ihren Abbauprodukten in teilweise höheren Konzentrationen vorhanden sind. Manche dieser Metabolite sind – genauso wie Abbauprodukte anderer Stoffklassen – ebenfalls in der Lage, eine negative Wirkung auf Organismen auszuüben.

Estrogenaktivität ausgewählter Proben aus Kläranlagen und Gewässern

Wie gefährlich sind derartige Konzentrationen aber nun für den einzelnen Organismus? Ob die aufgezählten Stoffe eine Bedrohung für unsere Umwelt darstellen oder sogar schädlich für den menschlichen Organismus sind, ist noch unzureichend erforscht. Hierzu werden sogenannte Toxizitätsbestimmungen durchgeführt. Hierunter versteht man die Feststellung der Schädlichkeit eines Stoffes.

Zur Überprüfung der östrogenen Wirksamkeit einer Substanz oder einer Probe wurden zahlreiche biologische in vivo und in vitro Methoden entwickelt. Bei den in vivo Methoden im lebenden Organismus werden alle Faktoren, die östrogene Wirkungen der Substanzen beeinflussen können, berücksichtigt. Diese Tests sind teuer und zeitaufwendig und geben die Summe der Wirkungen auf den Organismus wieder. In vitro Methoden hingegen sind schneller, günstiger und mit geringerem Aufwand durchzuführen. In diesem Kontext haben wir mit Hilfe eines sogenannten Hefetests die Estrogenaktivität unserer Proben bewertet. Dazu wird ein Testsystem verwendet, welches den menschlichen Estrogenrezeptor und ein sogenanntes Reportergen enthält, die in Hefezellen eingebaut wurden. Sind in ausgewählten

Substanz	Auslauf Kläranlage Reckingen		Auslauf Kläranlage Roedgen		Auslauf Kläranlage Schiffingen	
	Mittelwert (ng l ⁻¹)	Standardabweichung (ng l ⁻¹)	Mittelwert (ng l ⁻¹)	Standardabweichung (ng l ⁻¹)	Mittelwert (ng l ⁻¹)	Standardabweichung (ng l ⁻¹)
Sulfonamide (n=13)						
Sulfathiazol	0	1	69	240	2	4
Sulfamethazin	3	7	9	40	7	17
Sulfadimethoxin	1	1	15	66	1	2
Sulfamethoxazol	156	202	271	508	208	152
Sulfamethazin-N4-acetyl	0	1	12	55	0	0
Tetrazykline (n=13)						
Tetrazyklin	35	29	179	372	22	19
Oxytetrazyklin	11	26	18	65	3	7
Chlortetrazyklin	7	21	27	79	9	23
Antiepileptikum (n=3)						
Carbamazepin	167	71	5	1	693	253
Carbamazepin-10,11-epoxid	16	8	0	0	60	15
Schmerzmittel (n=13)						
Ibuprofen	656	803	1943	1787	318	428
Diclofenac	382	431	560	631	501	578
4'-hydroxy-diclofenac	208	139	223	253	346	347
Hormone (n=13)						
Estrone	45	164	30	36	2	3
β-Estradiol	13	51	0	0	3	8
17-α-Ethinylestradiol	4	13	0	0	1	3

Tabelle 3_Konzentrationen ausgewählter gelöster Wirkstoffe und Metabolite im gereinigten Abwasser der Kläranlagen von Reckingen, Roedgen und Schiffingen

Proben Hormone vorhanden, dann binden sich diese an den dafür sensiblen Rezeptor, aktivieren das Reportergen und können durch eine biochemische Farbreaktion nachgewiesen werden. Die Stärke der Farbreaktion ist ein Mass der Estrogenaktivität der Wasserproben. Ein Wert von 1 ng l⁻¹ Estradioläquivalenten (siehe rote Linie in Abbildung 4) wird zur Zeit als effektbasierter und biotestbasierter Grenzwerte für östrogene Wirkung diskutiert.

Die mit dem Hefetest gemessene Estrogenaktivität erreicht in den Fließgewässern Größenordnungen, bei der chronische Effekte auf die Reproduktion beispielsweise natürlicher Fischpopulationen zu erwarten sind (Routledge et al. 1998). In den Fließgewässern weisen vor allem die Proben im Frühjahr 2010 höhere Estrogenaktivitäten auf. Insgesamt liegen die meisten Proben bezüglich der Estrogenequivalenten über einem Wert von 1 ng l⁻¹. Wir können also mit hoher Wahrscheinlichkeit sagen, dass wir mit den eingetragenen Xenobiotika Abstoffen unsere Fließgewässerorganismen negativ beeinflussen. Vor diesem Hintergrund ist es ratsam, über mögliche Minderungsstrategien nachzudenken.

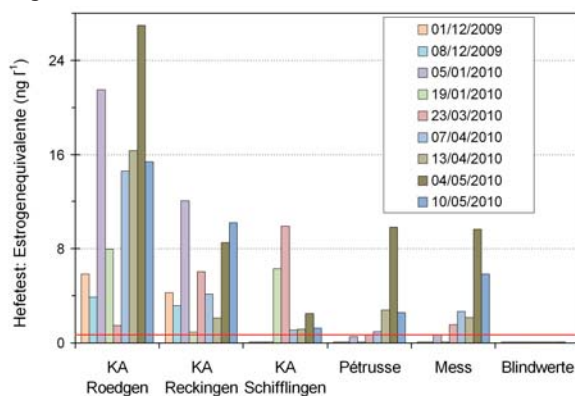


Abbildung 4_Estrogenaktivitäten ausgewählter Wasserproben von Kläranlagenausläufen und Oberflächengewässern bei Niedrigwasser (2009-2010)

Minimierungsmaßnahmen für den Eintrag von Arzneimitteln in die Umwelt

Was können wir aber tun, um den Eintrag von Arzneimitteln in den Wasserkreislauf zu minimieren? Prob-

lemösungen sind bezüglich dieser Stoffgruppe in drei vorrangigen Handlungsfeldern möglich, bei der Entwicklung von Arzneimitteln, im Umgang mit Arzneimitteln und beim Emissionsmanagement in der Siedlungswasserwirtschaft.

Bisher spielt eine schnelle Abbaubarkeit der Wirkstoffe in der Umwelt bei der Arzneimittelentwicklung eine nur untergeordnete Rolle. Es gilt daher, die Erforschung und Entwicklung von Arzneimittelwirkstoffen zu forcieren, die natürlich in erster Linie auf Wirksamkeiten beim Menschen oder bei Tieren aber auch gleichzeitig auf die Abbaubarkeit in der Umwelt optimiert sind. Die Aufnahme der Trinkwasserrelevanz als wesentliches Zulassungskriterium wäre ein Beispiel in dieser Richtung. Wesentliche Eckpfeiler einer nachhaltigen Minimierungsstrategie stellen in diesem Kontext Maßnahmen im Vorfeld oder direkt an den Eintragsquellen dar, wie beispielsweise der Ersatz umweltgefährdender und trinkwasserrelevanter Stoffe. Weiterhin könnte es Anwendungsbeschränkungen für umwelt- und trinkwasserrelevante Stoffe geben, wenn kurz- bzw. mittelfristig kein Ersatz für diese Stoffe vorhanden ist. Wichtig erscheint die Sensibilisierung von Herstellern, Vertreibern und Konsumenten bezüglich der allgemeinen Thematik Xenobiotika in der Umwelt (DWA 2008).

Gleichzeitig gilt es, über eine Änderung der gegenwärtigen Verschreibungspraktiken, sowie der Gebrauchsmuster und Entsorgungsmuster in Richtung einer höheren Umweltfreundlichkeit nachzudenken. Hier ist wichtig, eine Senkung des Arzneimittelverbrauchs anzustreben und die Vermeidung von Abfällen zu verstärken, welche möglicherweise unsachgemäß über häusliche Abwässer entsorgt werden. Umweltverträgliche Entsorgungswege sollten aufgestellt werden, beispielsweise durch eine Wiederverwertung oder durch die Rücknahme unverbrauchter Produkte. Eine Idee wäre beispielsweise die kostenlose Rücknahme von Medikamentenresten durch die Apotheken und eine Verwertung dieser Reststoffe durch Betreiber eines neuen Rücknahmesystems, so dass die Apotheken nicht für die Entsorgungskosten aufkommen müssen (DWA 2008).

Im Bereich Abwasserbehandlung lassen sich zahlreiche Maßnahmen zur Minimierung der Einträge formulieren.

Empfohlen wird die Aufrüstung der Kläranlagen zur Elimination von Spurenstoffen an solchen Orten, wo der Abwasseranteil im Gewässer hoch ist und wo erhöhte Qualitätsanforderungen an den Vorfluter bestehen. Dies kann in Zonen der Trinkwassergewinnung der Fall sein, oder dort, wo sensible Fischhabitate existieren. Für eine weitere Abwasserbehandlung in den Kläranlagen kommen Membranbioreaktoren, Adsorptionsverfahren mit Pulveraktivkohle oder beispielsweise die Ozonierung und Photooxidation des Abwassers in Frage. Allerdings ist keines der teilweise auch kostspieligen Verfahren allein in der Lage, das Spektrum von Arzneimittelwirkstoffen vollständig aus dem kommunalen Abwasser zu entfernen. Gleichzeitig sollte in diesen Regionen auch an eine Reduzierung der Mischwasserentlastungen durch konsequente Trennung von Schmutz- und unbelastetem Regenwasser gedacht werden. In speziellen Fällen kann eine zusätzliche Behandlung von hochbelasteten Teilströmen zweckmäßig sein. Hier ist eine separate Behandlung der Abwässer, wie die Urinseparation in Krankenhäusern und Arztpraxen zur Entfernung von Arzneistoffen anzustreben. Durch diese Trennung von Abwasserteilströmen am Entstehungsort kann das kommunale Abwasser entlastet werden. Bei Krankenhausabwässern mit Problemstoffen sollten eine separate Erfassung und Behandlung vor einer Kanaleinleitung erfolgen.

Durch die Versickerung von Abwasser aus Leitungsundichtigkeiten ist für das Grundwasser ein mögliches Schadenspotential gegeben. Aus verschiedenen Untersuchungen aus Europa ist bekannt, dass zwischen 30 % und 50 % der privaten Abwasserleitungen Schäden aufweisen. Auch die öffentlichen Kanalnetze weisen Leckagen auf. Daher ist der Aspekt der Sanierung undichter Hausanschlüsse und Abwasserkanäle ebenfalls zu beachten.

Die Auswahl der aufgezeigten Minimierungsmaßnahmen kann dazu beitragen, dass die Konzentrationen ausgewählter Xenobiotika im Wasserkreislauf zurückgehen und sich damit die negativen menschlichen Einflüsse auf die Umwelt und speziell auf die Wasserorganismen verringern.

Danksagung

Die in diesem Beitrag vorgestellten Ergebnisse wurden im Rahmen eines vom Fonds National de la Recherche du Luxembourg finanzierten Projektes erhoben. Wir bedanken uns für die Finanzierung dieses Forschungsvorhabens mit dem Titel „Monitoring, assessing and modelling concentrations and fluxes of xenobiotics in Luxembourgish water courses (CORE C08/SR/04)“. Gleichzeitig bedanken wir uns bei den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der unterschiedlichen Abwassersyndikate für die freundliche Unterstützung unserer Forschungsaktivitäten.

Dr. rer. nat. habil. Andreas Krein

Literatur

- Banzhaf, S.; Krein, A. & Scheytt, T. (2010): Using different approaches to investigate exchange processes in the hyporheic zone of a low permeable riverbank. - *Hydrogeology Journal*. Zum Druck akzeptiert.
- DWA (2008): Themenband Anthropogene Spurenstoffe im Wasserkreislauf - Arzneistoffe, 85 Seiten.
- Pailler, J.-Y.; Krein, A.; Pfister, L.; Hoffmann, L. & Guignard, C. (2009a): Solid phase extraction coupled to liquid chromatography-tandem mass spectrometry analysis of sulfonamides, tetracyclines, analgesics and hormones in surface water and wastewater in Luxembourg. - *Science of the Total Environment* 407, S. 4736 – 4743.
- Pailler, J.; Guignard, C.; Meyer, B.; Iffly, J.-F.; Pfister, L.; Hoffmann, L. & Krein, A. (2009b): Behaviour and fluxes of dissolved antibiotics, analgesics and hormones during flood events in a small heterogeneous catchment in the Grand-Duchy of Luxembourg. - *Water, Air and Soil Pollution* 203, 1-4, S. 79 - 98.
- Palmer, T.N. & Räisänen, J. (2002): Quantifying the risk of extreme seasonal precipitation events in a changing climate. - *Nature* 415, S. 512-514.
- Pfister, L.; Hoffmann, L.; Iffly, J.F.; Matgen, P.; Moquet, A.; Tailliez, C.; Vansuypeene, E.; Schoder, R.; Buchel, D.; Lepesant, P.; Wiltgen, C.; Ernst, P.; Kipgen, R.; Ripp, C. & Schleich, G. (2006): Atlas hydro-climatologique du Grand-Duché de Luxembourg 2005, 464 Seiten.
- Routledge, E.J.; Sheahan, D.; Desbrow, C.; Sumpter, J. P. & Waldock, M. (1998): Identification of estrogenic chemicals in STP effluent. 2. In vivo responses in trout and roach. - *Environmental Science & Technology* 32, S. 1559-1565.
- Schönwiese, C.-D.; Grieser, J. & Trömel, S. (2004): Secular change of extreme monthly precipitation in Europe. - *Theoretical and Applied Climatology* 75, S. 245-250.

Immer mehr älteren Menschen hilft eine Hüftgelenkprothese, bis ins hohe Alter beweglich zu bleiben. Der Eingriff ist eine Routine-Operation. Zu den schwerwiegendsten Komplikationen dieser Operation zählt die bakterielle Infektion, bei der sich das Gewebe, um das künstliche Hüftgelenk ausgehend von einer bakteriell besiedelten Prothese, entzündet und zeitweise eine Platzhalterprothese eingesetzt werden muss, die als „Interimsprothese“ bzw. „Spacer“ bezeichnet wird. In einer Forschungs Kooperation zwischen der Universität des Saarlandes und der Universität Luxemburg wurde nun gemeinsam eine Interimsprothese entwickelt, die an der Universitätsklinik Homburg/Saar schon im klinischen Bereich erfolgreich eingesetzt wurde und den betroffenen Patienten eine deutlich höhere Lebensqualität ermöglicht.



ENTWICKLUNG EINER SPEZIELLEN HÜFTINTERIMSPROTHESE

PD Dr. med. Jens Kelm, Dr.-Ing. Thomas Thielen, Prof. Dr.-Ing. Stefan Maas, Prof. Dr.-Ing. Arno Zürbes, Ass.-Prof. Dr.-Ing. Danièle Waldmann, Prof. Dr. med. Eduard Schmitt, Dr. med. Konstantinos Anagnostakos

Kurzfassung

In Deutschland benötigen pro Jahr circa 2000 Menschen mit künstlichem Hüftgelenk eine Interimsprothese aus Knochenzement. Sie stellt einen Platzhalter dar, der in das Infektgebiet Antibiotika abgibt, bis zur Infektsanierung im Körper verbleibt und eine normale Prothese wieder eingesetzt werden kann. Leider brechen diese Ersatzprothesen nicht selten, und eine erneute Operation ist erforderlich. Die brüchigen Interimsprothesen konnten durch dieses Projekt mit einem Titanstab verstärkt werden, ohne dabei den Knochen in Mitleidenschaft zu ziehen.

Der Oberarzt PD Jens Kelm aus Homburg übernahm die medizinische Leitung, wobei die Kooperation auf Anregung von Prof. Romain Seil vom „Centre Hospitalier du Luxembourg“ zwischen den beiden Universitäten zustande kam. An der Universität von Luxemburg standen Herrn Dr.-Ing. Thomas Thielen neben seinem Doktorvater Prof. Stefan Maas auch die Professoren Arno Zürbes und Danièle Waldmann von der Ingenieur-Forschungsgruppe zur Seite.

Wie erste Computer-Simulationen der Ingenieure in Luxemburg bestätigten, wird ein künstliches Hüftgelenk bei Alltagsbewegungen wie dem Treppensteigen bis zum Vierfachen des Körpergewichts und in sechs Monaten mit rund einer halben Million Schritte belastet. In den Laboren der Ingenieurgruppe wurde eine entsprechend titanverstärkte Platzhalterprothese hergestellt, die mit Hilfe eines eigens entwickelten Computermodells, dann an künstlichen und schließlich an menschlichen Knochen auf Stabilität und Dauerbelastung getestet wurde. Gleichzeitig erfolgten in Homburg die medizinischen Tests bzgl. der Antibiotikaabgabe und der Humanverträglichkeit.

Nach intensiven wissenschaftlichen Versuchsreihen konnte den ersten Patienten an der Uniklinik Homburg/Saar die Weiterentwicklung mit Erfolg implantiert werden. Die Gelenkinfekte wurden erfolgreich saniert, ohne dass Interimsprothesenbrüche auftraten. Alle Patienten waren während der gesamten Behandlungszeit mobiler und hatten somit mehr Lebensqualität. Mittlerweile haben 15 Patienten die Interimsprothese „Saar-Lux“ erhalten. Es ist nun geplant, die weiter entwickelte Platzhalterprothese möglichst breit

gefächert einzusetzen, dazu wurde Kontakt zu einschlägigen Firmen aufgenommen.

Ende 2009 hat sich Herr Dr.-med. Jens Kelm mit dem medizinischen Teil dieses Forschungsprojektes zum Privatdozenten für Orthopädie an der Medizinischen Fakultät der Universität des Saarlandes habilitiert. Herr Dipl.-Ing. Thomas Thielen aus Trier hat ebenfalls 2009 seine Doktorarbeit an der Universität Luxemburg über den ingenieurwissenschaftlichen Teil dieses Projektes abgeschlossen.

Einleitung

Bedingt durch demographische Faktoren erfahren die Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet der Materialentwicklung für biologische Applikationen, insbesondere auf dem Gebiet der Endoprothetik, in den letzten Jahren ständiges Wachstum. Allein in Deutschland wurden im Jahr 2008 ca. 170.000 Hüftendoprothesen implantiert. Die Hüftprotheseninfektion stellt dabei eine der schwerwiegendsten Komplikationen dar. Das Risiko einer Infektion nach Prothesenimplantation liegt bei 1%. Es existieren unterschiedliche Behandlungsansätze, die vom Prothesenerhalt bis zum mehrzeitigen Endoprothesenwechsel reichen. Die häufigste und mit über 90% erfolgreichste Form der Infektbehandlung besteht jedoch im zweizeitigen Prothesenwechsel. Hierbei wird in einem ersten Eingriff die Prothese entfernt und nach lokaler Antibiotikabehandlung in einer zweiten, späteren Operation die Reimplantation einer neuen Prothese durchgeführt. Die Problematik des zweizeitigen Wechsels besteht in der Interimsphase, also der Phase der Infektsanierung zwischen den beiden Operationen, die im Mittel ca. 90 Tage beträgt.

Das in der Vergangenheit übliche Verfahren zur Infektsanierung durch Anlage eines Resektionszustandes (Girdlestone-Hüfte), d.h. die ersatzlose Entfernung der Hüftprothese für die Zeit der Interimsphase, sollte heute nur noch Einzelfällen vorbehalten sein. Wegen des fehlenden Gelenkes entstehen neben dem funktionellen Defizit während der Interimsphase auch erhebliche operationstechnische Schwierigkeiten bei der späteren Reimplantation der Hüftprothese aufgrund von Vernarbungen und Weichteilverkürzungen.

Für das Intervall der Interimsphase empfiehlt sich die Implantation eines artikulierenden Platzhalters aus Kno-

chenzement (PMMA) mit Antibiotikazusatz als Interimsprothese, eines sog. Spacers. Hierbei kommen sowohl handgeformte als auch kommerziell vorgefertigte Spacer zum Einsatz. Die Mehrzahl der Spacer funktioniert im Sinne einer klassischen Halbprothese mit einer Zement-Knochen-Artikulation. Nur wenige Spacer ermöglichen eine Funktion vergleichbar einer Hüftgelenktotalendoprothese und weisen eine Metallkopf-Polyethyleninlay-Artikulation ohne Antibiotikaummantelung auf. Neben dem Nachteil von nicht antibiotika-abgebenden Fremdkörperoberflächen im Infektgebiet besteht zudem das Problem ihrer mangelnden allgemeinen Zulassung und Verfügbarkeit, verbunden mit einem hohen Kostenaufwand im Zeitalter knapper Ressourcen des Gesundheitssystems. Abhängig von der Konstruktion ist hinsichtlich der Verankerung der Interimsprothesen im Femur eine proximale punktförmige Zementierung oder die „press-fit“ Verankerung üblich, um eine einfache und schnelle Explantation der Spacer zu erzielen. Dennoch scheint das Problem der Fixierung mit optionaler operationstechnisch einfacher Entfernung nicht gelöst, was eine Erklärung für die Vielzahl mechanischer Komplikationen ist.

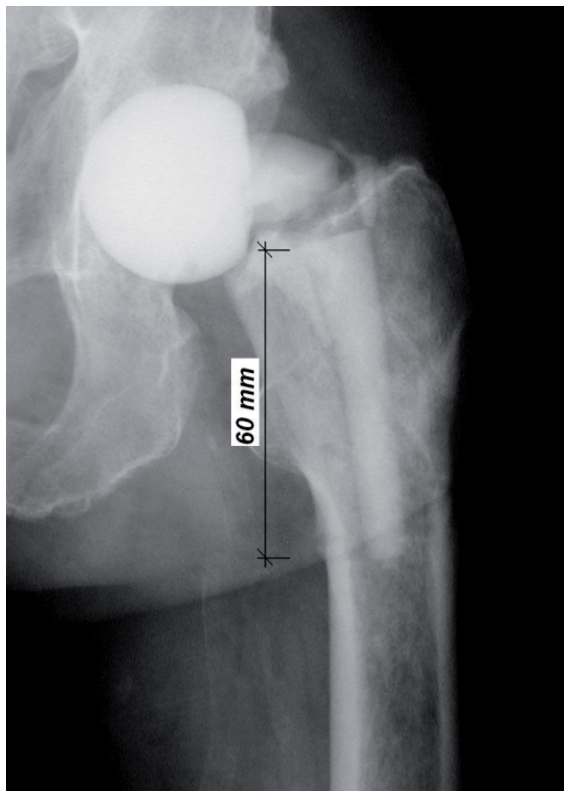


Abb.1_ Gussform zur Herstellung des Rohlings aus Knochenzement - Beimischung eines spezifischen Antibiotikums abgestimmt auf den Infekt wird möglich (links) und Röntgenbild einer gebrochenen unverstärkten Platzhalterprothese (rechts).

Material

Zur Fertigung der Spacer wird überwiegend Palacos® verwendet, dem, entsprechend der Resistenzlage der Bakterien, unterschiedliche Antibiotika in unterschiedlicher Quantität zugemischt werden. In der klinischen Anwendung häufig, ist die Kombination eines schon im Knochenzement befindlichen Aminoglycosides mit einem zugemischten Glycopeptid, wobei das optimale Mischungsverhältnis der Antibiotika bezüglich mikrobiologischer Potenz und mechanischer Beeinflussung des Zementes bis dato nicht befriedigend geklärt ist. Die Mehrzahl der verschiedenen in der Literatur



aufgeführten Spacerarten sind mit einer in den Zement eingelassenen metallischen Verstärkung gefertigt, um die mechanische Belastbarkeit der Konstrukte zu verbessern, ohne dass den Patienten eine Vollbelastung zugestanden wird. Eine Vielzahl verschiedener Verstärkungen sind beschrieben, wobei ausgehend vom einfachen Kirschnerdraht, über Osteosynthesenplatten bis zu eingelassenen Prothesenstielen viele Variationsmöglichkeiten existieren und als Endoskelett bezeichnet werden, wobei der biomechanische Nachweis der Belastbarkeit dieser Konstrukte bis dato nur sporadisch geführt wurde.

Vor dem Hintergrund einer mangelnden Verfügbarkeit standardisierter Spacermodelle und des wissenschaftlichen Forschungsdefizites wurde an der Klinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie des Universitätsklinikums des Saarlandes (Homburg/Saar) ein eigenes Spacersystem entwickelt. Bei der Planung orientierte man sich an einem Xenophor Prothesenstiel der Firma Osteo (Schweiz), wobei zur universellen Einsatzfähigkeit, bezüglich der Abmaße, die kleinste Stielgröße gewählt wurde. Die Kopfgröße des Spacers ergab sich aus der Exploration der in der Klinik für die Primärendoprothetik am häufigsten gewählten Schraubpfannengröße. Mit Hilfe einer zweiteiligen Gussform sind die Spacer intraoperativ herstellbar, die Implantation des Konstruktes erlaubt neben der physiologischen Teilfunktion des Gelenkes auch eine optionale, keimadaptierte Antibiotikazumischung.

Nach Kelm [2008] ist jedoch selbst bei Teilbelastung der Spacerbruch die häufigste und schwerwiegendste Spacerassoziierte Komplikation. Die Patienten werden daher angewiesen, die betroffene Hüfte möglichst wenig bis gar nicht zu belasten. In der Literatur werden Spacerbrüche unter Teilbelastung mit einer Häufigkeit von bis zu 25% angegeben, wobei der Anteil von Brüchen handgeformter Spacer deutlich höher liegt und die Bedeutung einer standardisierten Herstellung mittels Formgebungssystem hervorhebt.

Erste Prothesentestung

Ziel dieses Forschungsprojektes war es daher, die mechanische Belastbarkeit des an der Klinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie des Universitätsklinikums des Saarlandes (Homburg/Saar) verwendeten Spacers zu ermitteln und unter Berücksichtigung möglicher physiologischer Belastungen hinsichtlich seiner Belastbarkeit zu optimieren. Die Belastung muss dabei sowohl vom Spacer, als auch vom Femur selbst, unbeschadet aufgenommen werden können.

Untersuchungen zu den mechanischen Eigenschaften des verwendeten Knochenzementes (Palacos®) zeigten ein sprödes, viskoelastisches Materialverhalten, wobei die mechanischen Festigkeiten stark mit der Porosität des Zementes und damit mit den Anrührbedingungen und der Zugabemenge von Antibiotika korrelierten.

Die mechanische Testung der Spacer erfolgte – zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse – in Anlehnung an die Norm zur Dauerbelastung von Hüftendoprothesen (ISO 7206). Da diese Norm den Dauerschwingversuch an herkömmlichen Hüftendoprothesen beschreibt, erfolgte eine für diese Spacer geeignete Modifikation. Die tatsächlich aufgetretene Bruchebene beim Patienten wurde statistisch ermittelt und verschiedene Spacer wurden zur Testung im Labor bis zur Höhe dieser Bruchebene in Polyurethan eingespannt. Die maximale, quasi-statische Belastung dieser Spacer lag bei einer Hüftkraft zwischen 650 bis 1000 N (65-100 kg). Bei einer Simulation mehrerer Belastungszyklen (entsprechend der Schritte beim Gangzyklus Gehen etc.) reduzierte sich die Belastungsgrenze weiter.

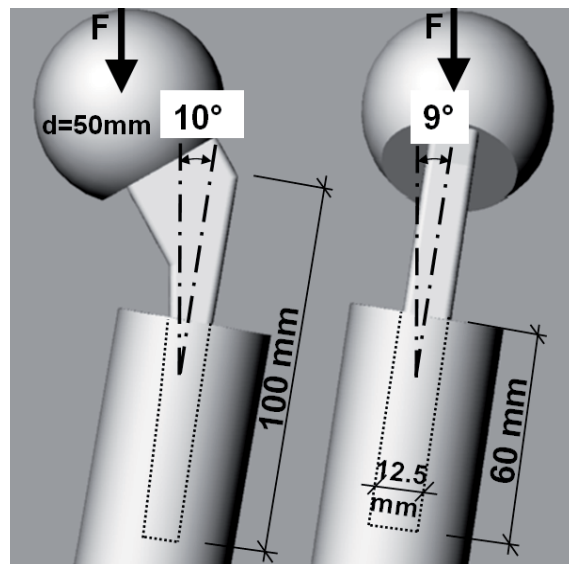


Abb.2_ Testwinkel des Rohlings nach ISO 7206 und Einbauanordnung in einer Prüfmast

Berechnung der Kontakt- und Muskelkräfte

Um nun die vorhandene Belastbarkeit der Spacer mit den tatsächlich auftretenden Kräften an der Hüfte des Patienten vergleichen zu können, wurde ein sog. muskuloskelettales Modell am Computer erstellt, mit dem tatsächlich auftretende Hüftkräfte für verschiedene Alltagsaktivitäten (z.B. Gehen, Treppensteigen etc.) simuliert und unter dem Einfluss der Muskelkräfte ermittelt werden können. Die auf den Hüft- bzw. Spacerkopf einwirkende Kraft wurde dabei abhängig von der simulierten Aktivität mit dem ca. 3- bis 4-fachen Körpergewicht bestimmt. Unter Berücksichtigung eines 80 kg schweren Patienten würde demnach eine Hüftkraft von 2400 bis 3200 N (240 bis 320 kg) erreicht.

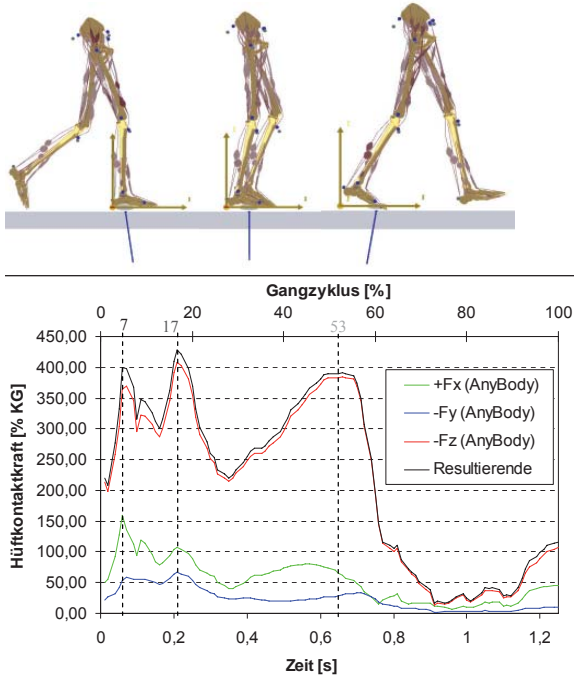


Abb.3 Computermodell (Mehrkörpersystem-Modell) zur Ermittlung der auftretenden Knochen- und Muskelkräfte bei den verschiedenen Phasen des Gehens; Angaben in % vom Körpergewicht („KG“)

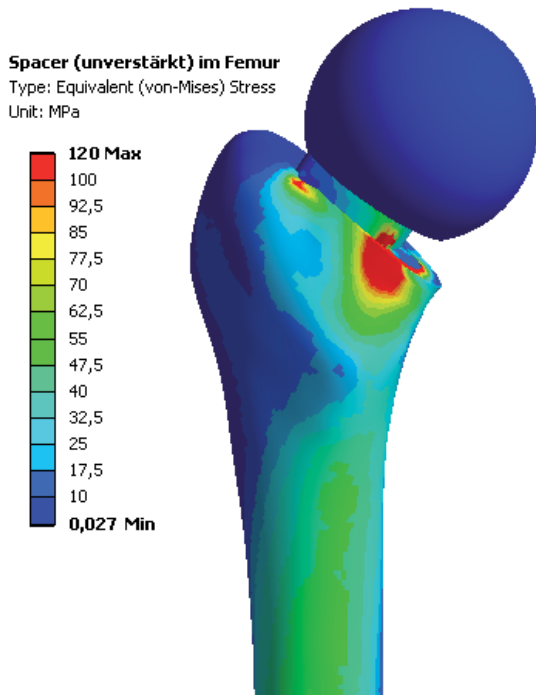


Abb.4: Übertragung der berechneten Kontakt- und Muskelkräfte in ein zweites Computermodell (Finite Elemente Modell) zur anschließenden Spannungsermittlung/Festigkeitsermittlung im Spacer und im Knochen.

Rechnerische Prothesenauslegung

Um eine mögliche Vollbelastung der Spacer dennoch realisieren zu können, wurde ein gewichttragender Kern (Endoskelett) aus Titan entwickelt. Titan besitzt neben einer guten Biokompatibilität auch eine hohe Festigkeit bei geringem Gewicht. Durch integrierte Abstandshalter lässt sich das Endoskelett leicht während der Operation in die Gussform einbringen und erreicht somit eine einheitliche PMMA-Ummantelung.

Da die Eradikation des Infektes maßgeblich durch die Art und Dauer der lokalen Antibiotikafreisetzung beeinflusst wird, wurde gleichzeitig die Antibiotikafreisetzungskinetik dieser Spacer an der Uniklinik Homburg untersucht. Hierbei zeigte sich, dass bei ausreichender PMMA-Ummantelung (2-3 mm) die Infektsanierung auch bei einem mit Endoskelett verstärkten Spacer nicht nachteilig beeinträchtigt ist.

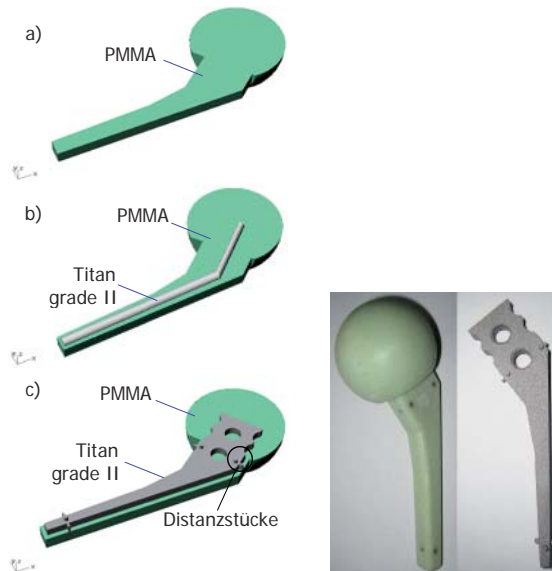


Abb.5: Prinzip der Spacerverstärkung: Entwicklungsschritte (links); a) Spacer unverstärkt, b) Spacer mit Titanstab verstärkt, c) Spacer mit Titanendoskelett und Fotografie des Endproduktes (rechts)

Realitätsnahe Prothesentestung

Bevor nun aber dieser Spacer tatsächlich zum klinischen Einsatz kommen sollte, wurden weitere Testreihen im Labor durchgeführt. Hierbei ging es vorrangig um die Interaktion des verstärkten Spacer mit dem Oberschenkelknochen (Femur). Zunächst an künstlichen Oberschenkelknochen („Sawbone“) mit Eigenschaftswerten ähnlich dem menschlichen Knochen und später dann auch an humanen Knochen wurden Versuche am oberen (proximalen) Femurende mit typischen Defektklassifikationen durchgeführt. Auf Grundlage dieser Versuche wurde schließlich ein weiteres, ingenieurmäßiges Berechnungsmodell am Computer erstellt (FE-Modell), um die Versagensformen auch rechnerisch darstellen zu können. Da eine Standardisierung dieses Problems nicht alle auftretenden Fälle berücksichtigen kann und Laborversuche immer einen sehr hohen Aufwand darstellen, konnte somit durch weitere Variationsrechnungen verschiedene Parameterveränderungen relativ leicht berücksichtigt werden. Labor- und Berechnungsergebnisse zeigten schließlich, dass weder einmalig auftretende Belastungsspitzen (Stolpern) noch wiederkehrende zyklische Belastungen (Gehen, Treppen auf- bzw. absteigen etc.) eines normalgewichtigen Patienten (≤ 100 kg) mit typischen durch den Prothesenausbau aufgetretenen Femurdefekten zu Femurfrakturen durch einen implantierten, verstärkten Spacer führen sollten.

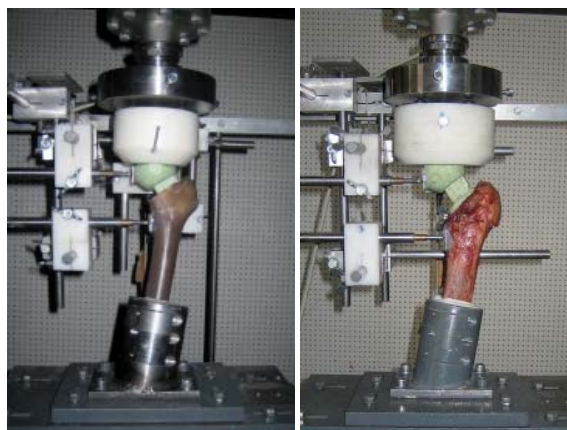


Abb.6_Versuchstestung mit Kunstknochen (links) und Menschenknochen (rechts)

Verbesserungen beim Protheseneinbau

Darüber hinaus wurde zur leichteren Implantation eine spezielle Latextrennschicht entwickelt, die einen guten Formschluss im Knochen erlaubt und gleichzeitig eine leichte Explantation am Ende der Behandlung ermöglicht, ohne weiteren Verlust an Knochenmaterial in Kauf nehmen zu müssen.

Abb.7 Die Latextrennschicht allein und mit Spacer. Fertiggestellter Spacer vor dem Einbau nach Entfernen der Latextrennschicht.



Abb.8 Abfolge der Implantation: 1., 2. Trennschicht in Femur einbringen und mit antibiotika-abgebendem Knochenzement verfüllen. 3. Einstecken des Rohlings in den verfüllten Femur-Hohlraum 4. Aushärtung abwarten (einige Minuten) 5., 6. Trennschicht entfernen und fertige Prothese einsetzen; Vorteil: einfache Entnahme/ Ausbau der Platzhalterprothese nach ein paar Wochen

Demnach stand einer klinischen Anwendung des an der Uniklinik Homburg entwickelten und von der Universität Luxemburg verstärkten Spacer nach vorhergehender, intensiver in-vitro Erprobung nichts mehr im Wege. Die Uniklinik Homburg hat bisher bei 15 Patienten einen Spacer mit Titanendoskelett implantieren können. Bei keinem der 15 Patienten war in der Phase der Infektsanierung weder der Spacer selbst noch der periprotetische Knochen gebrochen. Die Patienten waren jedoch in der Lage, die Aktivität

ten des täglichen Lebens (Aufstehen, Gehen, Treppensteigen etc.) entsprechend ihres Gesundheitszustandes mit den entsprechenden Hilfsmitteln durchzuführen. In allen Fällen war die Infektsanierung erfolgreich und der Wiedereinbau einer originären Hüftendoprothese möglich. Es wurde kein Wiederauftreten eines Infektes (Infektrezidiv) beobachtet.

Zusammenfassung

Die Behandlung der infizierten Hüftendoprothese mit diesem Spacer hat, neben der Heilung des Infektes, Schmerzfreiheit und Funktionserhalt der betroffenen Extremität und damit auch die Erhaltung der sozialen Unabhängigkeit zum Ziel. Auf Grundlage der Bedürfnisse der Bevölkerung der Großregion entstand in einer beispielhaften Zusammenarbeit der Ingenieurgruppe der Fakultät für Naturwissenschaften, Technologie und Kommunikation (FSTC) der Universität Luxemburg mit der Klinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie des Universitätsklinikums des Saarlandes (Homburg/Saar), vermittelt durch das Centre Hospitalier de Luxembourg (CHL, Clinique D'Eich, Luxemburg) dieses länder- und fachübergreifende Forschungsprojekt, dass zur vollständigen Bearbeitung sowohl Fachkenntnisse des Ingenieurwesens als auch der Medizin benötigte.

Grenzüberschreitende und gesellschaftliche Dimension

Dieses Forschungsprojekt hat den «2ème Prix d'un montant de 10 000€ interrégional de la recherche 2010, soutenu par la Région Lorraine, la Délégation à la Recherche et à la Technologie de Lorraine, le Ministère de l'Economie et des Sciences du Land de Sarre, le Ministère de la Culture, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche du Grand-Duché de Luxembourg, la Communauté française de Belgique et le Ministère de la Formation, des Sciences, de la Jeunesse et de la Culture du Land de Rhénanie-Palatinat » am 24. August 2010 erhalten. Daher soll hier auch die auf die Dimension in der Groß-Region hingewiesen werden.

Auf Grundlage der Bedürfnisse der Bevölkerung der Großregion entstand in einer beispielhaften Zusammenarbeit der Ingenieurgruppe der Fakultät für Naturwissenschaften, Technologie und Kommunikation (FSTC) der Universität Luxemburg mit der Klinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie des Universitätsklinikums des Saarlandes (Homburg/Saar), vermittelt durch das Centre Hospitalier de Luxembourg (CHL, Clinique D'Eich, Luxemburg) dieses länderübergreifende und fachübergreifende Forschungsprojekt, dass zur vollständigen Bearbeitung sowohl Fachkenntnisse der Medizin als auch des Ingenieurwesens benötigte.

Die Clinique d'Eich des Centre Hospitalier de Luxembourg (CHL) arbeitet seit Jahren in diesem Spezialgebiet eng mit der Klinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie des Universitätsklinikums des Saarlandes (Homburg/Saar) zusammen und hat deshalb auch dieses Kooperationsprojekt initiiert. Medizinischer Fortschritt und Zusammenarbeit sollten nicht mehr an den Landesgrenzen der Großregion halt machen, denn nur dann lässt sich eine optimale Versorgung der Patienten mit minimalen Kosten realisieren. Die Kliniken der Region müssen sich spezialisieren, den medizinischen Fortschritt nutzen um dem Kostendruck standhalten zu können. Dabei ist die regionale Versorgungssicherheit und die Komplementarität der Kliniken unter Ausnutzung universitärer Synergien ebenfalls eine wichtige Randbedingung, die in diesem Kooperationsbeispiel über die Landesgrenzen ausgedehnt wurde.

Die Beschaffungskosten für zwei Portionen Palacos-Knochenzement liegen bei ca. 320 Euro, die Beschaffung/Fertigung des Titan-Endoskeletts sollte 200 Euro nicht überschreiten. Ein kommerzieller Hüftplatzhalter kostet ca. 800 Euro. Selbst mit Titankern überschreitet ein selbstgegosse-

ner Spacer die 800 Euro-Marke nicht. Durch die individuelle Beimengung der Antibiotika nach mikrobiologischem Befund (auch biantibiotische Spacer sind möglich) sind intraoperativ gegossene Spacer den kommerziell vorgefertigten Spacer in der Antibiotikaauswahl überlegen. Durch die Verstärkung wird der schwerwiegenden und schmerzhaften Komplikation des Spacerbruchs vorgebeugt. Mit durchschnittlichen Behandlungskosten einer infizierten Hüftgelenksporthese von ca. 50.000 Euro bringt dieser Spacer also auch ein erhebliches Einsparpotential für das Gesundheitssystem mit sich.

Durch die bereits erfolgreiche Anwendung des Spacers an der Uniklinik Homburg profitiert die Bevölkerung der Großregion bereits heute von dieser Innovation.

Der in diesem Forschungsprojekt entwickelte Spacer verbessert neben der lokalen Infektbehandlung auch die Mobilität des Patienten während der Behandlungsdauer (im Mittel ca. 90 Tage, maximal 6 Monate). Neben einer ausreichenden Beweglichkeit des Hüftgelenks zwischen den beiden operativen Eingriffen ist die eigenständige Mobilität für den Patienten von großer Bedeutung, sowohl aus psychischer Sicht als auch unter den physiologischen Aspekten. Ein mobiler Patient leidet weniger häufig an typischen Komplikationen wie Thrombosen, Lungenembolien und Pneumonien, die Dauer der stationären Behandlung ist kürzer und die Bewertung des Operationserfolges besser. Zusätzlich wird von Seiten der Operateure der Einsatz eines Hüftplatzhalters als Erleichterung beim zweiten Eingriff bewertet. Aufgrund der im Gegensatz zum Resektionszustand verbesserten Weichteilsituation ist die Reimplantation einer Hüft-TEP operationstechnisch einfacher.

Der hier verwendete Knochenzement Palacos® findet eine breite Anwendung in der Orthopädie und Unfallchirurgie. Somit ist eine kostengünstige Beschaffung des Materials sichergestellt. Das Anmischen ist dem Personal eines jeden Operationssaales mit orthopädisch-unfallchirurgischen Eingriffen wohl vertraut, eine Eingewöhnungsphase entfällt. Das Ausgießen der Gussform ist technisch einfach und für jeden, der im Umgang mit Palacos-Knochenzement geübt ist, in wenigen Minuten erlernbar. Die Verstärkung erfolgt durch das entwickelte und getestete Titan-Endoskelett, die Zentrierung desselben in der Gussform durch integrierte Abstandshalter.

Die Biomechanik ist eine interdisziplinäre Wissenschaft. Das Anwendungsbeispiel zeigt eindrucksvoll die Erfolgsmöglichkeiten enger Zusammenarbeit zwischen Medizin und Ingenieurwissenschaften zur Lösung real existierender orthopädisch-unfallchirurgischer Problemstellungen. Momentan bemüht sich die Forschergruppe den entwickelten Spacer über die einschlägigen Firmen zu vermarkten, um seinen Einsatz flächendeckend zu ermöglichen.

Die Forschergruppe

PD Dr. med. Jens Kelm, Diplom-Sportlehrer, Medizinische Projektleitung an der Orthopädischen Universitätsklinik in Homburg/Saar als Oberarzt für die Funktionen Septische Orthopädische Chirurgie und Physikalische Therapie

Dr.-Ing. Thomas Thielen, Projektsachbearbeiter an der Université du Luxembourg als Doktorand, Faculté des Sciences, de la Technologie et de Communication, Unité "Ingénierie"

Prof. Dr.-Ing. Stefan Maas, Technische Projektleitung an der Université du Luxembourg, Directeur de thèse, Faculté des Sciences, de la Technologie et de Communication, Unité "Ingénierie"

Prof. Dr.-Ing. Arno Zürbes, Projektbeteiligter, membre du comité d'encadrement de thèse, Faculté des Sciences, de la Technologie et de Communication, Unité "Ingénierie"

Ass.-Prof. Dr.-Ing. Danièle Waldmann, Projektbeteiligte, membre du comité d'encadrement de thèse, Faculté des Sciences, de la Technologie et de Communication, Unité "Ingénierie"

Prof. Dr. med. Eduard Schmitt, Leitender Oberarzt und stellvertretender Direktor der Orthopädischen Universitätsklinik in Homburg/Saar

Dr. med. Konstantinos Anagnostakos, Assistenzarzt an der Orthopädischen Universitätsklinik in Homburg/Saar

Liste der Veröffentlichungen im Rahmen der Spacerentwicklung

- _Siebel, Regitz, Kelm. Two-Stage Exchange of Infected Total Knee Arthroplasty using an Interim
- Prosthesis Book of Abstracts 8. Kongress der European Society of Sports Traumatology Knee Surgery and Arthroscopy: 367, 1998
- _Kelm, Regitz, Siebel, Schmitt. Infektsanierung durch resistenzgerechte Zweikomponenten – Hüftinterimsprothese und Antibiotikakette, Z Orthop S1 138: 132, 2000
- _Kelm, Siebel, Porsch, Schmitt, Regitz. Der Einsatz artikulierender Zement-spacer beim zweizeitigen Wechsel von Hüftendoprothesen. In: Perka, Zippel (Hrsg.): Revisionsendoprothetik des Hüftgelenkes. Einhorn-Press-Verlag, Reinbek, 2001
- _Siebel, Kelm, Schmitt, Regitz, Neumann. Klinische Erfahrungen mit einer speziellen Interimsprothese bei infizierten künstlichen Knie- und Hüftgelenken, Z Orthop S1 139: S26, 2001
- _Kelm, Regitz, Ahlhelm, Schmitt. A new temporary Spacer in Revision Hip Arthroplasty, Abstract Book SICOT/SIROT Annual International Conference P.88, 29.08 – 01.09.2001 in Paris/Frankreich
- _Kelm, Regitz, Schmitt. Infektsanierung durch resistenzgerechte Hüftinterimsprothese und Antibiotikakette, Journal der DGPW 13: 61-61, 2001
- _Kelm, Anagnostakos, Schmitt, Regitz. Antibiotikaabgabe und Bakterienwachstum bei PMMA-Hüftinterimsprothesen Z Orthop S 1 140: S126, 2002
- _Siebel, Kelm, Porsch, Neumann, Regitz. Two-Stage Exchange of Infected Knee Arthroplasty with an Prosthesis-Like Interim Cement Spacer, Acta Orthopaedica Belgica 68: 150-155, 2002
- _Schmitt, Kelm. Antibiotikahaltige Interimsprothesen zur Infektsanierung bei infizierten Hüftprothesen, Orthopädische Praxis 39: 446-450, 2003
- _Kelm, Anagnostakos, Regitz, Schmitt, Schneider, Ahlhelm. Zur Behandlung von MRSA-Infektionen mittels intraoperativ herstellbaren Gentamicin-Vancomycin-PMMA-Ketten, Chirurg 75: 988-995, 2004
- _Anagnostakos, Kelm, Regitz, Schmitt, Jung. In vitro evaluation of antibiotic release from and bacterial growth inhibition by antibiotic loaded acrylic bone cement spacers, Journal of Biomedical Materials and Research 75 B: 373-378, 2005
- _Kelm, Regitz, Schmitt, Jung, Anagnostakos. In Vivo- and in Vitro-studies of antibiotic release from and bacteria growth inhibition by antibiotic impregnated PMMA hip spacers, Antimicrob Agents Chemother 50: 332-335, 2006
- _Anagnostakos, Wilmes, Schmitt, Kelm. Antibiotic elution from antibiotic-impregnated PMMA beads and hip spacers in vivo – apropos 28 cases – Langenbeck's Archives of Surgery 2007
- _Anagnostakos, Kelm, Grün, Schmitt, Jung, Swoboda. Linezolid-loaded acrylic bone cement – a new therapeutic option? - Langenbeck's Archives of Surgery 2007
- _Anagnostakos, Kelm. Antibiotic-impregnated polymethylmethacrylate (PMMA) spacers in hip surgery, In Deb (Ed.): Orthopedic bone cements. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2008
- _Anagnostakos, Kelm, Grün, Schmitt, Jung, Swoboda. Antimicrobial properties and elution kinetics of linezolid-loaded hip, spacers in vitro J Biomed Mater Res B Appl Biomater 87: 173-178, 2008
- _Anagnostakos, Hitzler, Pape, Kohn, Kelm. Persistence of bacterial growth on antibiotic-loaded beads: Is it actually a problem? Acta Orthopaedica 79: 302-307, 2008
- _Anagnostakos, Kelm. Enhancement of antibiotic elution of acrylic bone cement, J Biomed Mater Res Appl Biomater Jan 14: 2009
- _Anagnostakos, Wilmes, Schmitt, Kelm. Elution of Gentamicin and Vancomycin from polymethylacrylate beads and hip spacers, Acta Orthop 80: 193-197, 2009
- _Anagnostakos, Kohler, Schmitt, Kelm. The "glove" technique: a modified method for femoral fixation of antibiotic-loaded hip spacers. Acta Orthop 80: 1-3, 2009
- _Anagnostakos, Jung, Schmid, Schmitt, Kelm. Mechanical complications and reconstruction strategies at the site of hip spacer implantation, Int J Med Sci 6: 274-279, 2009
- _Kelm, Bohrer, Schmitt, Anagnostakos. Treatment of proximal femur infections with antibiotic-loaded cement spacers, Int J Med Sci 6: 258-264, 2009
- _Thielen, Maas, Zürbes, Waldmann, Kelm. Optimization of loads carrying capacity of antibiotic loaded hip interims-prosthesis. Second Saar-Lor-Lux Colloquium in Mechanics, Nancy (INPL), März 2007
- _Thielen, Maas, Zürbes, Waldmann, Kelm. Mechanical Material Properties of Polymethylmethacrylate (PMMA) for Medical Applications. MP Materials Testing 51(4): 203-209, 2009
- _Thielen, Maas, Zürbes, Waldmann, Anagnostakos, Kelm. Development of a reinforced PMMA-based hip spacer adapted to patients' needs. Medical Engineering and Physics 31(8): 930-936, 2009
- _Thielen, Maas, Zürbes, Waldmann, Anagnostakos, Kelm. The mechanical behaviour of a new designed hip spacer. World Congress 2009 in Medical Physics and Biomedical Engineering, Munich, 2009
- _Thielen, Maas, Zürbes, Waldmann, Anagnostakos, Kelm. Mechanical behaviour of standardized, endoskeleton-including hip spacers implanted into composite femurs. International Journal of Medical Sciences 6(5): 280-286, 2009
- _Thielen, Maas, Zürbes, Waldmann, Kelm. Entwicklung einer Hüftinterimsprothese (Spacer) mittels FE-Analyse unter Berücksichtigung der Muskel- und Gelenkkkräfte aus AnyBody. ANSYS Conference and & 27. CADFEM User's Meeting, Leipzig, 2009
- _Thielen. Optimierung der Tragfähigkeit von antibiotikabeladenen PMMA-Hüftinterimsprothesen. Thèse, Shaker-Verlag Aachen 2010, ISBN 978-3-8322-8978-2

Mechatronische Produktentwicklung bei der Rotarex Group am Beispiel der Konzipierung & Entwicklung einer Druckregleinheit zum effizienten Einsatz gasförmiger Energieträger in Kraftfahrzeugen.



MECHATRONISCHE PRODUKTENTWICKLUNG _

Dr. Thomas Andreas

Die stetig zunehmenden Anforderungen an Industrieprodukte in Bezug auf ihre Leistungsfähigkeit, Funktionalität und Kompaktheit führen zukünftig verstärkt zu mechatronischen Lösungsansätzen in der Produktentwicklung. Die Rotarex Group entwickelte und fertigte seit Jahrzehnten fast ausschließlich rein mechanische Komponenten und Subsysteme. In Zukunft wird ein Schwerpunkt der F&E-Aktivitäten der Rotarex Group aber verstärkt in der Entwicklung und Fertigung mechatronischer Systeme liegen.

Mechatronische Systeme können durch die folgenden Kernaussagen charakterisiert werden:

_Mechatronische Produkte beinhalten mechanische, elektronische und informationstechnische Systembestandteile

_Mechatronische Produkte und Systeme werden interdisziplinär entwickelt und sind domänen- sowie skalenübergreifend

_Mechatronische Systeme und Produkte zeichnen sich durch verhältnismäßig hohe Komplexität aus

_Mechatronik ist eine weg- und zukunftsweisende Querschnittstechnologie

Bild 1 zeigt die multiplen Anforderungen einer komplexen mechatronischen Produktentwicklung im Spannungsfeld von Gesellschaft, Marktteilnehmern, Kunden und Unternehmen. Die Weichen für den Erfolg eines mechatronischen Produktes werden mit der Ausarbeitung eines detaillierten Lasten- und Pflichtenheftes sowie der systematischen Planung des Produktentwicklungsprozesses gestellt. Die zentrale Entwicklungsabteilung repräsentiert den Systemintegrator und hat die Aufgabe Mechanik-, Elektronik- und Softwareentwicklung zu vernetzen und zu koordinieren. Teilsysteme können von Partnern und Zulieferanten entwickelt werden. Ein ständiger Austausch mit Marktteilnehmern und Kunden ist wichtig, damit das Produkt nicht am Markt vorbei entwickelt wird. Auf einen durchgängigen Produktlebenszyklus und geschlossenen Stoffkreislauf mit anschließendem vollständigem Produktrecycling ist zukünftig verstärkt zu achten.

In diesem Beitrag wird anhand der Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme exemplarisch die Konzeption

sowie die simulationstechnische und experimentelle Untersuchung einer mechatronischen Druckregleinheit mit elektromagnetischer Aktorik beschrieben. Anwendungsgebiet ist zum Beispiel die hochgenaue Dosierung gasförmiger Medien, speziell für den stark wachsenden Bereich der alternativen gasförmigen Kraftstoffe (Erdgas und Wasserstoff) zum Einsatz in Kraftfahrzeugen (Bild 2).



Bild 1_Komplexe und multiple Anforderungen bei der Entwicklung mechatronischer Produkte

PKW mit Wasserstoffmotor



Wasserstoffbehältermodul



PKW mit Brennstoffzelle



Wasserstoffmotor



Brennstoffzellenmodul

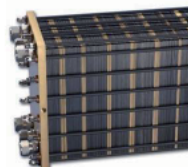


Bild 2_Mögliche Einsatzzwecke für die mechatronische Druckregleinheit – Kraftfahrzeuge, die mit alternativen, gasförmigen Energieträgern betrieben werden

Entwicklung und Aufbau der mechatronischen Druckregelereinrichtung

An die Dosierung gasförmiger Medien werden zukünftig deutlich höhere Anforderungen gestellt, denen bisher verwendete rein mechanische Systeme nicht mehr gerecht werden können. Hierbei bieten mechatronische Lösungsansätze bezüglich Leistungsfähigkeit, Funktionalität und Kompaktheit, aber auch aufgrund ihrer Flexibilität und Adaptivität auf veränderliche Prozessparameter, wesentlich bessere Potenziale. Die funktionelle Struktur der untersuchten mechatronischen Druckregelereinheit ist in Bild 3 dargestellt. Diese besteht aus den Komponenten ECU (Electronic Control Unit), elektromagnetischer Aktorik, Sensoren (für Druck, Temperatur, Massenstrom, Lage, Strom, Feuchte und Gaszusammensetzung) und einer optionalen mechanischen Vordruckreduzierung. Alle Systemkomponenten werden in einem kompakten Gehäuse vereint.

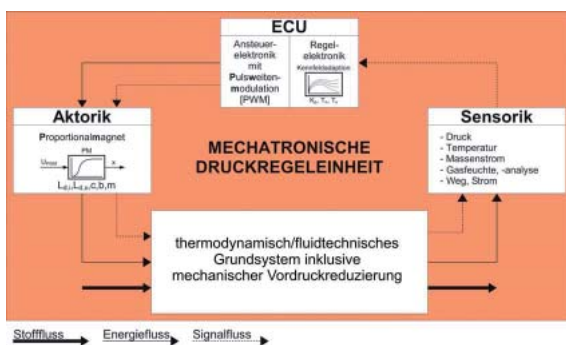
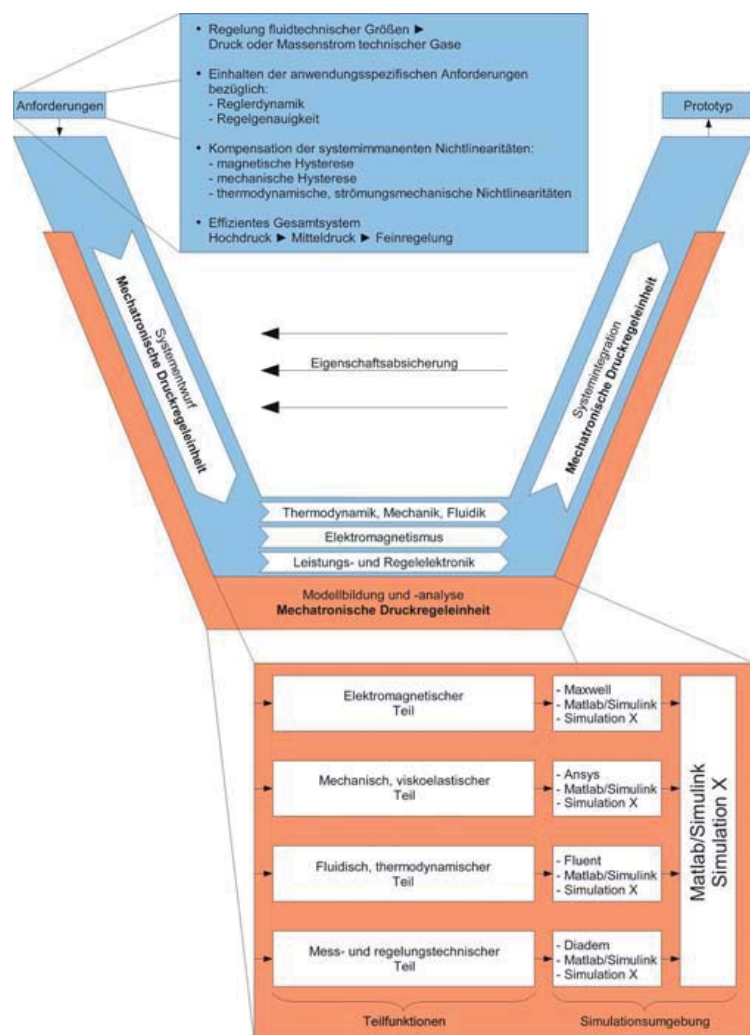


Bild 3_Funktionelle Struktur – mechatronische Druckregelereinheit

Die konzeptionelle Gestaltung und Entwicklung dieses mechatronischen Systems führt zunächst über das aus der VDI-Richtlinie 2206 bekannte V-Modell für das generische Vorgehen beim Entwurf mechatronischer Systeme, das jedoch auf den vorliegenden Anwendungsfall adaptiert wurde (Bild 4). Ausgehend von konstruktiven Methoden, die zu einem ersten Entwurf der Druckregelereinheit führen, wird das Gesamtsystem zunächst in Teilfunktionen untergliedert, der sich eine domänenspezifische physikalische Modellbildung dieser Teilfunktionen anschließt.



Aus Bild 4 geht hervor, dass zur theoretischen Modellbildung unterschiedliche Simulationsumgebungen benötigt werden. Die Ergebnisse der Modellbildung/Simulation dieser Teilfunktionen können anschließend in dem Simulationstool Matlab/Simulink zusammenfassend abgebildet und simuliert werden. Experimentelle Untersuchungen an

Bild 4_V-Modell für das generische Vorgehen beim Entwurf mechatronischer Systeme

gefertigten Prototypen führen zur Verifikation/Validierung des Simulationsmodells, mit dem Ziel durch Variation von Parametern eine simulationsgestützte Optimierung durchzuführen. Mit dieser Vorgehensweise lässt sich eine Reduktion von Entwicklungszeit und -kosten realisieren. Die oben beschriebene Herangehensweise wird nachfolgend anhand der für die mechatronische Druckregleinheit essentiellen elektromagnetischen Aktorik, die Bestandteil des Proportionalmagnetventils ist, detailliert erläutert.

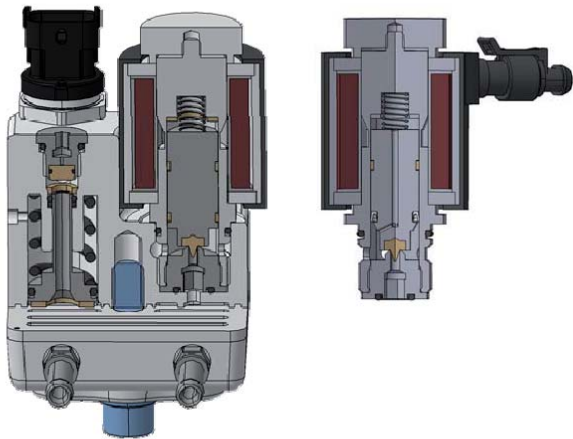


Bild 5_Schnittdarstellung der gesamten mechatronischen Druckregleinheit mit elektromagnetischer Aktorik (rechts im Bild)

In Bild 5 ist die Endversion der mechatronischen Druckregleinheit dargestellt, die nach einigen Iterationsschritten erzielt wurde. Diese besteht aus den Kernkomponenten: mechanische Vordruckreduzierung, Wärmetauscher, Sensoren und Proportionalmagnetventil. Alle Systemkomponenten sind in einem kompakten Aluminiumgehäuse vereint.

Das Proportionalmagnetventil setzt sich aus der bereits erwähnten elektromagnetischen Aktorik zur Erzeugung der Stellgröße und einem Ventilkörper zur Wandlung der Stellgröße in eine die Regelgröße beeinflussende Größe zusammen (Bild 5, rechte Teilkomponente). Die proportional wirkende elektromagnetische Aktorik wurde nach den Richtlinien in /2/ konstruiert. Die Magnetkraft-Luftspalt-Kennlinien wurden durch konische Formgebung des Ankergegenkerns konstruktiv beeinflusst (siehe Bild 5, rechtes Teilbild).

Modellierung des Gesamtsystems

Ein dynamisches Modell der elektromagnetischen Aktorik kann nur mit Kenntnis der physikalischen Vorgänge, die bei Aktion und Interaktion der Teilsysteme eine Rolle spielen, gebildet werden. Die physikalischen Abhängigkeiten lassen sich in einem Wirkungsplan darstellen. Ein detaillierter Wirkungsplan des Proportionalmagnetventils ist in Bild 6 dargestellt.

Die durch die systemimmanenten Energiespeicher eintretenden Verzögerungen zwischen Eingangs- und Ausgangsgrößen der Teilsysteme können durch Differentialgleichungen mathematisch beschrieben werden. Alternativ zu den in der einschlägigen Literatur gängigen Simulationsmodellen für Proportionalmagnete wurde anstatt des $i(\Psi, x)$ -Kennfeldes ein Ansatz über die magnetische Feldenergie $E_m(i, x)$ erarbeitet.

Eingangsgröße für das mechanische Teilsystem ist die vom elektromagnetischen Teilsystem erzeugte Magnetkraft. Mit dieser kann durch Anwendung der Newtonschen Bewegungsgleichung die Stellbewegung des Magnetankers in der ersten systembeschreibenden Differentialgleichung (1) mathematisch formuliert werden.

(1)

$$m \cdot \ddot{x} + b \cdot \dot{x} + \mu \cdot \operatorname{sgn}(\dot{x}) + c \cdot x = \frac{\partial}{\partial x} \int_0^i \Psi(i, x) \cdot di - c \cdot x_0 - m \cdot g$$

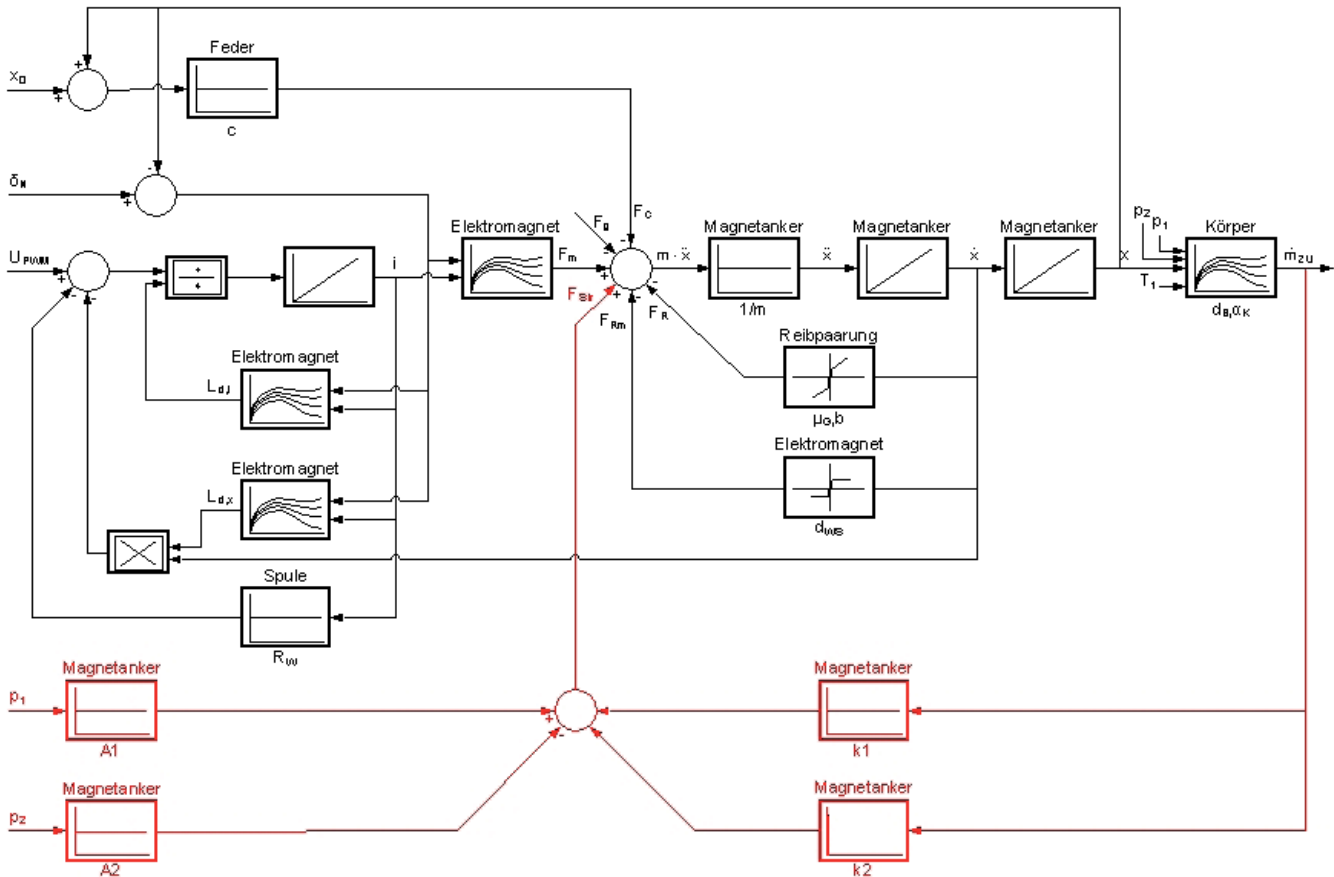


Bild 6_Wirkungsplan des Proportionalmagnetventils

Da die Magnetkraft eine Funktion des Erregerstromes ist, muss eine zweite Differentialgleichung (2) für den Aufbau des Erregerstromes hergeleitet werden. Ausgangspunkt zur Herleitung ist der Maschensatz für das elektromagnetische Teilsystem, wobei sich die zeitliche Änderung des verketteten magnetischen Flusses und damit die induzierte Spannung aus den Anteilen der zeitlichen Stromänderung und der Bewegung des Magnetankers zusammensetzt (3).

(2)

$$\frac{di}{dt} = \frac{1}{L_{d,i}} \cdot \left(U_s - i \cdot (R_i + R_w) - L_{d,x} \cdot \frac{dx}{dt} \right)$$

(3)

$$\frac{d\Psi(i, x)}{dt} = \underbrace{\frac{\partial \Psi(i, x)}{\partial i}}_{L_{d,i}} \cdot \frac{di}{dt} + \underbrace{\frac{\partial \Psi(i, x)}{\partial x}}_{L_{d,x}} \cdot \frac{dx}{dt}$$

Mit (4) und anschließendem Koeffizientenvergleich zwischen (5) und (3) kann gefolgert werden, dass sich die differentiellen Induktivitäten in Richtung des Stromes und des Weges als Proportionalitätsfaktoren zwischen zeitlicher Stromänderung bzw. Magnetankerbewegung und induzierter Spannung aus den partiellen Differentialen (6) + (7) der magnetischen Feldenergie bestimmen lassen.

(4)

$$\frac{d\Psi(i, x)}{dt} = \frac{1}{i} \cdot \frac{dE_m(i, x)}{dt}$$

(5)

$$\frac{d\Psi(i, x)}{dt} = \frac{1}{i} \cdot \underbrace{\frac{\partial E_m(i, x)}{\partial i}}_{L_{d,i}} \cdot \frac{di}{dt} + \frac{1}{i} \cdot \underbrace{\frac{\partial E_m(i, x)}{\partial x}}_{L_{d,x}} \cdot \frac{dx}{dt}$$

(6)

$$L_{d,i} = \frac{1}{i} \cdot \frac{\partial E_m(i, x)}{\partial i}$$

(7)

$$L_{d,x} = \frac{1}{i} \cdot \frac{\partial E_m(i, x)}{\partial x}$$

Mit Hilfe einer magnetostatischen Simulation des Proportionalmagneten in dem Programmsystem Maxwell kann sowohl die magnetische Feldenergie als auch die Magnetkraft in Abhängigkeit des Erregerstromes und des Luftspaltes quantitativ bestimmt werden. Damit sind alle für die Stellbewegung des Proportionalmagneten relevanten physikalischen Größen bekannt. Mit der gewählten Schrittweite der Parameter Strom und Luftspalt konnte die Rechenzeit zur Ermittlung der E_m - und F_m -Kennfelder auf ein akzeptables Maß reduziert werden. Die Darstellung des ermittelten F_m -Kennfeldes zeigt Bild 7.

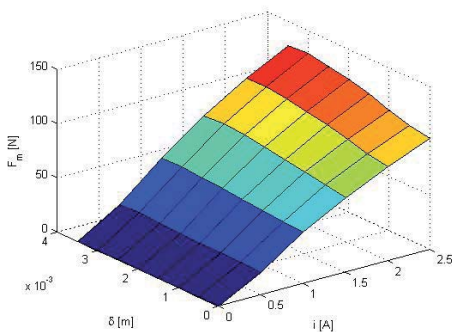


Bild 7_Ermitteltes F_m -Kennfeld des Proportionalmagneten

Voraussetzung für die Ermittlung der partiellen Differentiale nach (6) und (7) ist ein stetiger Verlauf des E_m -Kennfeldes. Dazu wurde das simulierte E_m -Kennfeld in einem ersten Schritt approximiert, um mit diesem in einem zweiten Schritt weitere Stützstellen generieren zu können. Die E_m -Kennfelder und die ermittelten Kennfelder der differentiellen Induktivitäten sind in Bild 8 dargestellt.

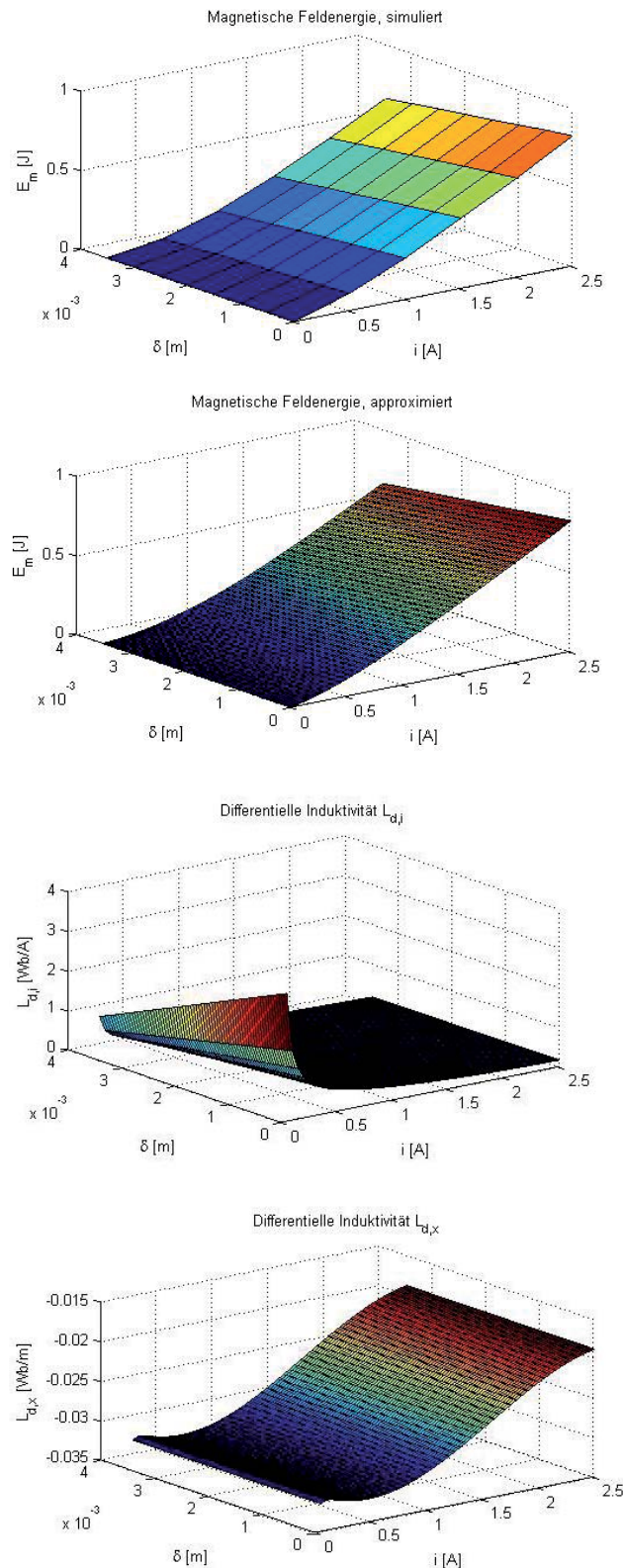


Bild 8_ E_m -Kennfelder und Kennfelder der differentiellen Induktivitäten

Die gute Übereinstimmung zwischen simulierter und gemessener Weg-Strom- und Weg-Zeit-Funktion verifiziert das gebildete Modell für das statische und dynamische Verhalten des Proportionalmagneten (Bild 9).

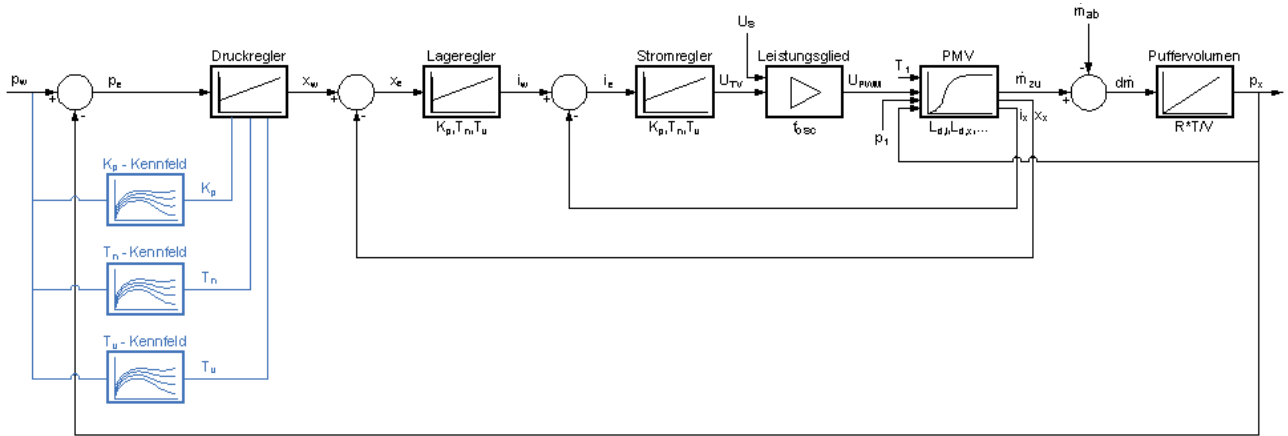


Bild 11_ Regelkreisstruktur mit Kaskadierung zur Verbesserung der Regeldynamik und der Systemstabilität

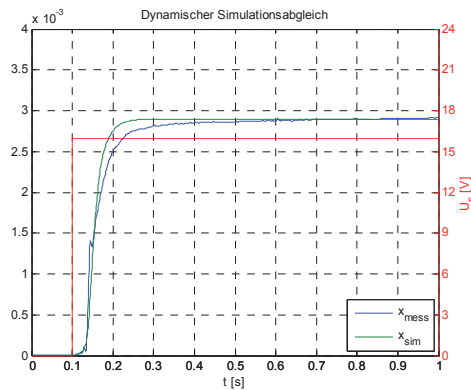
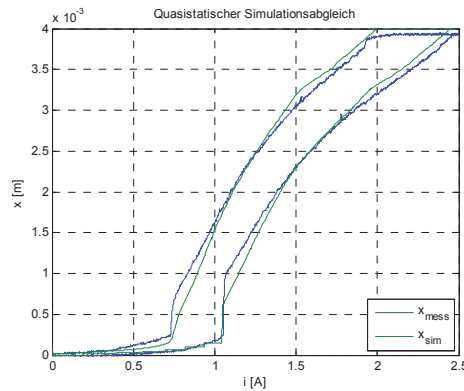


Bild 9_Abgleich – simulierte und gemessene Weg-Strom- und Weg-Zeit-Funktion

Die Stellbewegung des Magnetankers bildet die Eingangsgröße für das fluidische Teilsystem der „Mechatronischen Druckregelung“. Die Übertragungsfunktion in einen proportionierten Massenstrom kann mit Hilfe eines reduzierten Massenstromkennfeldes nach Gleichung (8) beschrieben werden.

$$(8) \quad \dot{m}_{red} = \dot{m}_{th} \cdot \frac{\sqrt{T_1}}{p_1} = \frac{2 \cdot \frac{\kappa}{\kappa-1} \cdot \left(1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}\right)}{R_i \cdot \left(A_2^{-2} \cdot \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{-\frac{2}{\kappa}} - A_1^{-2}\right)}$$

Das Kennfeld basiert auf Messergebnissen für die strömungstechnisch relevante Geometrie des Proportionalmagnetventils. Die Darstellung als reduzierter Massenstrom ermöglicht den Einfluss verschiedener Dichten des Mediums am Eingang des Proportionalmagnetventils simulations-technisch zu berücksichtigen. Das ermittelte Kennfeld ist in Bild 10 dargestellt.

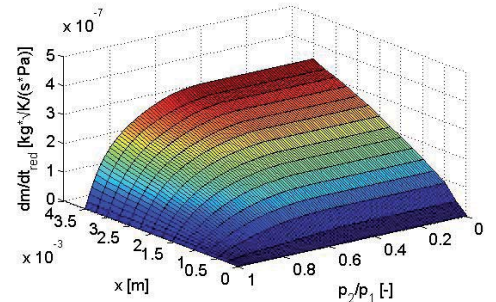


Bild 10_Massenstromkennfeld des proportionalen Regelventils

Die im System vorhandenen Volumina werden mit Hilfe der Differentialgleichungen (9) und (10) für die Massen- und Energieerhaltung modelliert.

(9)

$$\dot{m}_{sys} = \sum_{i=1}^n \dot{m}_i$$

(10)

$$\frac{dU}{dt} = \frac{dQ}{dt} + \frac{dW}{dt} + \frac{dm_e}{dt} \cdot h_e + \frac{dm_a}{dt} \cdot h_a$$

Regelungstechnische Untersuchungen

Bild 11 zeigt eine mögliche Regelkreisstruktur. Ausgangsgröße des Systems ist der im Niederdruckvolumen herrschende Druck, der im hier gezeigten Anwendungsfall die Regelgröße repräsentiert. Dieser Druck wird mittels geeigneter Sensorik erfasst und dem Regelprozess als Istwert p_x zugeführt.

Im Falle einer Regeldifferenz $p_e = p_w - p_x$ wird nach betriebspunktabhängigen Regelalgorithmen mit kennfeldadaptierten Reglerbeiwerten die Ausgangsgröße der übergeordneten Hauptregelung für die Aktorik gebildet. Im einfachsten Fall stellt das Ausgangssignal direkt die Eingangsgröße für die Leistungselektronik dar.

Zur Verbesserung der Regeldynamik und der Systemstabilität können auch eine Magnetankerpositions- und eine Erregerstromregelung unterlagert werden (Kaskadierung – Bild 11). Der Temperatureinfluss der Erregerspule auf die Regelkreisverstärkung lässt sich ebenfalls durch eine unterlagerte Stromregelung kompensieren.

Die Leistungselektronik reagiert auf die Eingangsgröße mit einer Änderung der effektiven Spulenspannung, so dass der Erregerstrom und damit auch die Magnetkraft beeinflusst werden. Dies führt zu einer Stellbewegung des Magnetankers und folglich zu einer Veränderung der freien Strömungsquerschnittsfläche am Ventil.

Da der in das Niederdruckvolumen eintretende Massenstrom in einem funktionalen Zusammenhang zur freien

Strömungsquerschnittsfläche steht, werden die zeitliche Massen- und Energiestrombilanzen für das Niederdruckvolumen beeinflusst. Der zeitliche Druckverlauf im Niederdruckvolumen wird durch ein- und austretende Massenströme, Austausch von Energie über die Systemgrenzen und über die Verknüpfung der physikalischen Größen Masse, Temperatur, Druck und Volumen bestimmt.

Durch die systemimmanenten Nichtlinearitäten stellt die Regelkreisverstärkung eine Funktion des Arbeitspunktes dar. Somit können im Betrieb des Regelkreises mit konstanten Reglerparametern betriebspunktabhängige Instabilitäten auftreten. Im Hinblick auf eine optimale Regeldynamik sollte der Proportionalbeiwert des Reglers jedoch nicht beliebig weit gesenkt werden. Ein Lösungsansatz zur Erzielung optimaler Regeleigenschaften bietet die Adaption der Regelparame-ter an den jeweiligen Arbeitspunkt. Für die mechatronische Druckregleinheit werden die Reglerparameter in Abhängigkeit des Drucksollwertes adaptiert.

Bild 12 zeigt einen Vergleich des Führungsverhaltens des Regelkreises für konstante und kennfeldadaptierte Parameter des PID-Reglers. Im Betrieb mit konstanten Reglerparametern ist eine betriebspunktabhängige Systeminstabilität zu erkennen, wogegen der kennfeldadaptierte Regler in allen Betriebspunkten optimale Regeldynamik und Stabilität bietet (vgl. Bild 12 und Bild 13).

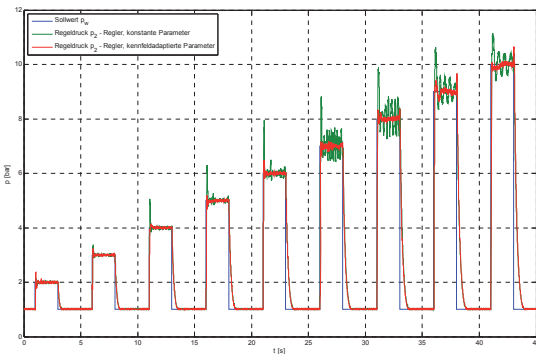


Bild 12_Vergleich des Führungsverhaltens des Regelkreises für konstante und kennfeldadaptierte Parameter des PID-Reglers

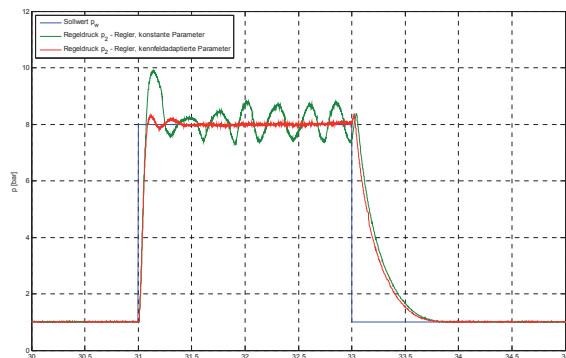


Bild 13_Vergrößerter Ausschnitt aus Bild 12 für einen Drucksollwert von 8 bar

Die im Rahmen dieses Projektes notwendigen experimentellen Untersuchungen wurden mit einem speziellen Hardware-in-the-Loop-Prüfstand (sog. HIL-Prüfstand) durchgeführt. In Bild 14 ist ein derartiger Prüfstand abgebildet. HIL-Prüfstände lassen die Einbindung von seriennahen Komponenten bzw. Serienkomponenten in die experimentellen Untersuchungen zu. Somit können neu entwickelte Subsysteme, wie zum Beispiel die mechatronische Druckregleinheit, einerseits unter realitätsnahen Einsatzbedingungen und andererseits unter optimalen sowie reproduzierbaren Laborbedingungen getestet werden. Im hier vorliegenden Fall wurde beispielsweise eine originale Erdgas-Common-Rail mit Einblasventilen eines Serien-Kraftfahrzeugs in die Prüfstandsuntersuchungen mit eingebunden.

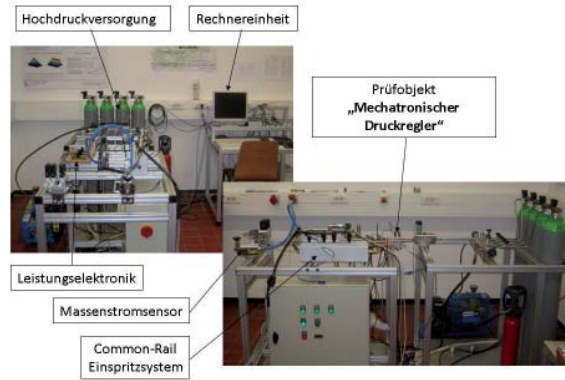


Bild 14_Hardware-in-the-Loop-Prüfstand mit Erdgas-Common-Rail und Einblasventilen

Fazit

Präzise und variable Regeleinheiten für gasförmige Medien, die für verschiedenste Anwendungen Druck regeln und/oder Massenstrom dosieren, müssen zukünftig mechatronisch ausgeführt werden. Die Entwicklung derartiger mechatronischer Systeme, in denen elektrisch/elektronische, mechanisch/viskoelastische sowie fluidisch/thermodynamische Teilsysteme aufeinander einwirken und interagieren, erzeugen hohe Anforderungen an die Systementwicklung.

Dabei ist es unerlässlich bei der simulationsgestützten Gestaltung und Optimierung unterschiedliche Simulationsumgebungen zu nutzen, mit denen sich die interdisziplinären physikalischen Wechselwirkungen des Gesamtsystems realitätsnah modellieren lassen.

Um die Simulation des Gesamtsystems zu ermöglichen, müssen die Ergebnisse der Teilsimulationen in einer Simulationsumgebung vereint werden. Ziel ist es mit Hilfe simulationsgestützter Parametervariationen Entwicklungskosten und -zeiten einzusparen und das Leistungsvermögen des Endproduktes zu steigern.

Dr. Thomas Andreas, Leiter F&E, Rotarex Group

Literatur

1. Ein Beitrag zur Gestaltung von Gasmanagementsystemen mit mechatronischen Systemkomponenten zum effizienten Einsatz alternativer Energieträger in Kraftfahrzeugen, Dissertation Th. Andreas, Fachgebiet Mechatronik, Technische Universität Ilmenau, 2008
2. E. Kallenbach u.a.: Elektromagnete – Grundlagen, Berechnung, Entwurf und Anwendung, Teubner Verlag, 3. Auflage, 2003
3. VDI- Richtlinie 2206: Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme
4. R. Isermann: Mechatronische Systeme, Springer Verlag, 1. Auflage, 1999

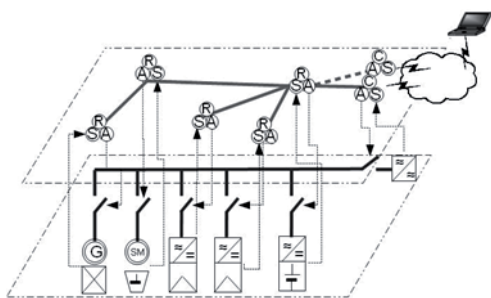
Formelzeichen/physikalische Einheiten

m	Masse [kg]
b	Proportionalbeiwert NEWTONsche Reibung [Ns/m]
μ	Proportionalbeiwert COULOMBSche Reibung [N]
c	Federsteifigkeit [N/m]
x	Ankerweg [m]
i	Strom [A]
Ψ	verketteter magnetischer Fluss [Wb]
x_0	Vorspannweg [m]
g	Erdbeschleunigung [m/s ²]
U _S	Erregerspannung [V]
R _i	Innenwiderstand der Spannungsquelle [Ω]
R _w	Wicklungswiderstand [Ω]
L _{d,i}	Induktivität in Richtung des Stromes [Wb/A]
L _{d,x}	Induktivität in Richtung des Weges [Wb/m]
E _m	magnetische Feldenergie [J]
\dot{m}_{red}	reduzierter Massenstrom $\left[\frac{kg}{s} \cdot \sqrt{\frac{K}{Pa}} \right]$
\dot{m}_{th}	theoretischer Massenstrom [kg/s]
T ₁	Primärtemperatur [K]
p ₁	Primärdruck [Pa]
κ	Isentropenexponent [-]
R ₁	spezifische Gaskonstante $\left[\frac{J}{kg \cdot K} \right]$
A ₁	Strömungsquerschnittsfläche Ventileintritt [m ²]
A ₂	Drosselquerschnittsfläche [m ²]
U	Innere Energie [J]
Q	Wärmestrom [J]
W	Arbeit [J]
h	spezifische Enthalpie [J/kg]

In an attempt to integrate distributed, renewable energy sources and consumers into a Smart Energy Grid it is of fundamental interest to combine local state information with higher level intelligence, as business rules controlling the power flow in the system and forecasts concerning supply and consumption. Given the necessity to install renewable energy resources in locations without standard communication network infrastructure to be used, decentralised reporting and decision making agents connected to a classical control network through any network link are an important building block for large scale grids, controlled by traditional SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) systems.

DISTRIBUTED OPTIMISATION BASED AGENTS FOR THE INTEGRATION OF SMART POWER GRIDS_

Dipl. phys Ralf Hoben



_Division of the power grid into an electrical and a control plane. The agents in the control plane organise into a tree structure to enable the execution of distributed optimisation

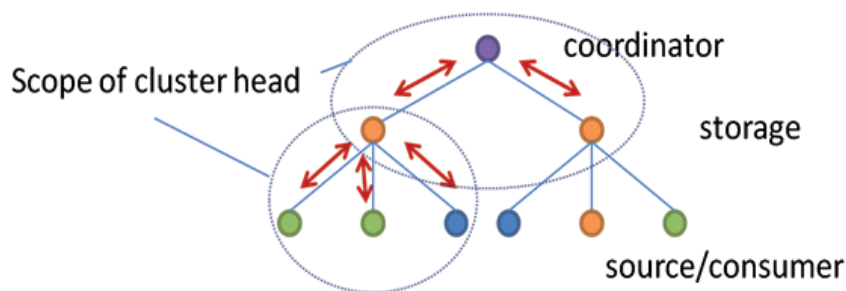
In order to integrate small power sources, storages and consumers which are distributed over small scale distances, forming a so-called micro-grid, it is necessary to use all available communication means to monitor and control the synchronization of the units with the aim of optimizing the utility of their output.

This means that e.g. a local battery agent, i.e. a smart battery unit controlled by a software agent, can be plugged into a network of PV units feeding into a power grid on a best effort basis and improve their supply reliability by buffering peak performances and feeding them back into the power grid at a later time. The idea of a removable battery is of increasing importance with the development of electro-mobility, where car battery capacity will be available for a combined supply and demand side management network for a limited time.

Given the temporary nature of these networks, distributed optimisation algorithms are proposed, thus avoiding single points of failure and increasing the reliability of the supply network.

It is necessary to observe, that today's power grids are largely operated in a pre-calculated, time-table like fashion with safety margins incorporated ("spinning reserve") and its system state is presented in real-time to an operator to decide on the utilisation of additional plants in exceptional situations.

i.e. its aggregate state has to be reported to a monitoring instance in the SCADA system, in order to fulfil the requirements for linking the resulting clusters to a public power grid. A commercial, independent system operator (ISO), offering services as power generation, provision of standby



energy, contribution to power stability or data acquisition is not generally interested in complete transparency of its operations, thus it will keep a subset of the operational parameters confidential and will only present some parameters as reserve capacity to the public, usually defined by a bilateral contract and necessary for the overall stability of the grid.

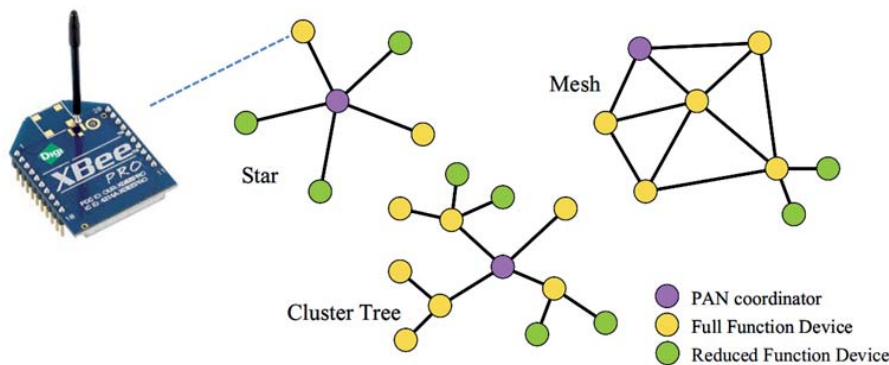
A robust, i.e. resistant against local non-availabilities, and scalable algorithm is needed in this scenario, synchronizing the power units to optimise their contribution, and integrating them into the existing architecture to aggregate the operational data necessary to characterise the system state to an operator, enabling appropriate actions to avert incidents.

The prototypical implementation uses wireless communication technology (i.e. Zigbee) as an approach to circumvent restrictions resulting from the layered nature of power supply grids with transformers attenuating signal propagation through powerline communications, i.e. superimposing the control signals over the current.

The methodology is simulation based, i.e. the development of the optimisation algorithms is done in a closely observable environment, before being transferred into the distributed scenario.

This is necessary as distributed applications are known to be difficult to debug, and though agents are implemented with a state model as simple as possible, issues arise from concurrencies.

The algorithms are implemented as asynchronous, message-passing programs, in order to increase robustness and testability of the agents.



With Java chosen as the programming language, no further adjustment of the byte code is necessary after the deployment onto the target system.

Network forming and security issues as authenticity and integrity of messages are taken care of by the Zigbee stack on the communication modems, which are attached to the embedded controller through a standard serial interface (see figure below) and are thus easily exchangeable by other, potentially longer range protocols, e.g. WiMax (IEEE 802.16), extending the segment size from typically 100m to several kilometres.

A useful feature of the underlying IEEE 802.15.4 protocol, is its ability to establish hierarchical (i.e. tree-like) or mesh (i.e. peer to peer) networks.

While the former are a necessary prerequisite for the correct functioning of the optimisation algorithms, the latter increase the robustness of the communication, as dead links can be circumvented.

In this case the tree-structure must be implemented on top of the mesh, i.e. by the application.

Until today two different algorithms have been tested in the environment described:

_A Distributed Constraint Optimisation Protocol (DCOP)
_And a Distributed Lagrangian Optimisation Protocol (DLOP)

The difference between the two is largely given by the message exchange on the logical tree, as visualized by the arrows in the figure above.

In the DCOP scenario a parent node broadcasts so-called VALUE messages to its children towards the leafs of the

tree, specifying requirements and the child nodes report their utility and cost back to the parent with UTIL messages.

In DLOP the relationship between two nodes is described by the exchange of a price parameter for a certain utility, which is derived from a local optimisation procedure, e.g. Quadratic Programming, aiming at a bilateral equilibrium.

The cluster head then selects its preferred power flow on cost criteria, where the cost function is assembled by contributions from the difference of supply and demand matching and battery use.

This means that a cost arises from over- or undersupply, as well as from charging or discharging a battery pack, as this leads to power loss (effectivity is typically around 70%) and the number of charge cycles of a battery is limited.

While the price negotiation approach in DLOP can be proved to converge against a fixed value, the number of messages needed to achieve this leads to a higher risk of collisions and consequently lower number of nodes in a communication cell as in the DCOP scenario.

Both algorithms support the asynchronous nature of the network, i.e. the loss of a node for communication or power availability reasons does not block the grid as a whole.

At present the focus of the development lies on the integration of a cluster into mainstream protocols as IP to enable the link of power grids and SCADA systems through the internet.

A PhD project at the University of Luxembourg supported by the Fonds National de la Recherche.

Dipl. phys Ralf Hoben

_The network structures foreseen within Zigbee, where each node is a stamp-sized wireless communication modem, and on the left a Zigbee modem attached to an embedded battery controller

Since the first personal computers were introduced, the number of digital assets (documents, photos, e-mails ...) we have to deal with on a daily basis has significantly increased. However the tools and programs for managing them have mostly remained the same. In the context of exploring new ways to interact with digital assets, three bachelor theses were written at the University of Luxembourg. Namely: "Metadata Enhanced Asset Management", "Multitouch Based Asset Browsing" and "Timeline Based Asset Browsing". This article describes the latter one which deals with the aggregation of digital assets into a timeline representation based on semantic relations established through user defined tags.

LAUREAT DU PRIX DE LA REVUE TECHNIQUE LUXEMBOURGEOISE 2010

TIMELINE BASED ASSET BROWSING_

Jérôme Wagener



Timeline based asset browsing (TBAB) describes the approach of browsing digital assets using a timeline rather than relying on a hierarchical view. The key ideas employed within this project concerned the aggregation of assets, their relations, and the usage of timelines for obtaining an effective visual representation.

To get an idea about the context, it is helpful to have a look at the semantic desktop. This collection of ideas and concepts deals with the interpretation of information and the process of establishing meaningful relations between those. Although still in development the semantic desktop promises to drastically improve the usability of computers regarding digital assets.

One of the main ideas behind both digital asset browsing and the semantic desktop is that of discovering hidden information within assets. Today this means that we have to extract information, often from proprietary applications and ambiguous file formats.

Using this technique, third party applications are able to create new types of user interfaces by intermixing different data and information, and to provide new types of views of a user's assets.

Timeline Based Asset Browsing

Having so-called "assets" respectively "digital assets" was an essential notion within this project. A digital asset basically represents any existing form of valid digital information, meaning that a simple text-document, an e-mail and even a blog-post on the internet are digital assets.

As a requirement for this project, it was necessary to establish relations between different types of digital assets. Although some of today's operating systems are capable of doing this based on keywords, the use is quite limited. Problems occur as soon as we try to establish relations between assets with easily extractable keywords (text-files, e-mails, source-code ...) and assets not having such information (pictures, audio-files, binaries ...). As a consequence timeline based asset browsing enforces all digital assets to be appropriately tagged in order to establish relations. A tag hereby simply represents textual information attached to a file such that assets having a tag in common automatically have a relation to each other.

Based on the assumption that digital assets sharing a relation will most likely reside within the same temporal context, timeline representations were chosen as visual interfaces. This interface was meant to provide access to different types of information including pictures, videos, text-files, e-mails, calendar-events, blog-posts and others.

The prototype shown in figure 1 presents an implementation of the concepts mentioned above. It was developed as a proof-of-concept and provided the basic functionalities required for timeline based asset browsing. Users have the possibility to query for tags that were previously attached to digital assets in order to receive a timeline representation containing the results. The prototype interface moreover provided quick access to the assets as well as different views.

The application architecture itself was split into three major parts: The "Aggregator" required for gathering all necessary information, the "Transformer" required for establishing a timeline representation, and the "Interface" used for presenting the results. [See figure 2]. The shared framework encapsulated some of the functionalities that were required



Figure 1_Timeline Based Asset Browsing - Prototype Screenshot

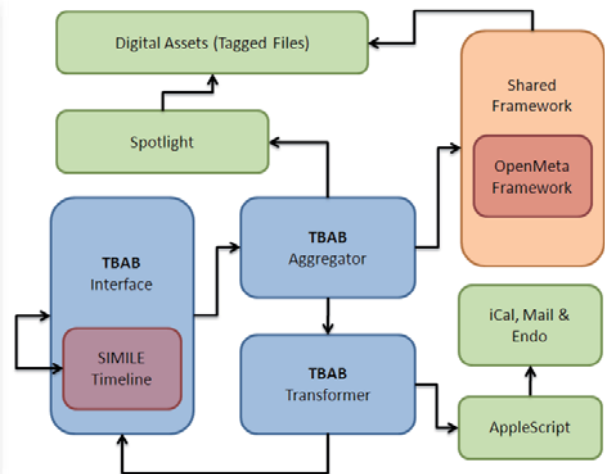


Figure 2_Prototype Architecture

by all three theses mentioned earlier and established a link to the other projects.

The following lines should briefly illustrate the application flow of the prototype. After the user enters one or more tags, the "Aggregator" uses the Spotlight search engine to find all digital assets matching the requested tags. As a second step, the result set returned by the "Aggregator" is transformed into a timeline representation using the "Transformer". The "Transformer" is moreover capable to request additional information about assets from their corresponding applications using AppleScript bridges. Finally, the results are shown using the "Interface", which enables users to quickly access those files from the obtained result set.

For this project Mac OS X Snow Leopard was the operating system of choice. Mainly due to the built in Spotlight search engine and the Mac OS X metadata store, both accessible via public APIs. Additionally, the combination of the metadata store and the OpenMeta framework made it possible to attach tags to digital assets and to search for them using the Spotlight search engine. Furthermore, the SIMILE timeline project was used as a foundation for the graphical timeline representations and integrated into the TBAB-Interface.

One of the challenges regarding the prototype was the integration and adaptation of already available but independent components into a standalone application, to obtain the asset browser described earlier. As a result the prototype was implemented using various programming languages including Ruby, MacRuby, Objective-C, AppleScript, JavaScript and markup languages such as XML, HTML and CSS. While most parts were implemented using Ruby and MacRuby, it was necessary to use Objective-C to implement some of the low-level functionalities. In contrary to most of the components the SIMILE timeline is essentially a web-widget with the original purpose of displaying various events in a timeline. Nevertheless it was embedded into the prototype's GUI.

In addition to the prototype's implementation, the enhancement and development of various browsing concepts was part of the thesis. One of the most promising enhance-

ments evaluated was related to zooming within a timeline and is called semantic zooming. Semantic zooming hereby describes a type of zoom capable not only of changing the visual representation, but more importantly the underlying set of assets.

Assume that the timeline shows different versions of construction plans used in the process of building a house. By zooming on a specific version of a plan, the browser could show photos of the building made at this stage as well as e-mails or approvals related to this specific asset. The prototype implemented a simple form of semantic zooming which was based on super and subtag relations.

Summary

Timeline based asset browsing provides many promising concepts. By integrating different types of digital assets into timeline representations, users get an intuitive and centralized interface for accessing all their relevant information.

Current methods cannot keep up to the mass and types of personal assets. This means that future operating systems will have to provide adequate means to directly process information. As these concepts get fully implemented, the idea of the semantic desktop will become the standard way of interacting with assets. TBAB showed how such concepts and ideas can lead to an improvement in asset handling and management.

Jérôme Wagener

Par leur complexité croissante, les processus industriels demandent une régulation de plus en plus poussée. L'élaboration et l'amélioration des programmes informatiques correspondants ne peuvent se faire qu'en simulant au préalable le déroulement des productions. Or, dans l'industrie, la plupart des paramètres sont entachés d'une marge d'incertitude, d'une composante aléatoire. Le concepteur du logiciel de gestion est censé connaître le type de la loi du hasard qui s'applique à telle variable industrielle (loi binomiale, distributions de Poisson, courbe de Gauss, répartition exponentielle, etc.). Encore doit-il être à même de réaliser les tirages aléatoires conformes aux lois respectives, ce qui, précisément, est l'objet du présent article.

CONTRIBUTION À LA SIMULATION DES PROCESSUS INDUSTRIELS_

Ing. dipl. Henri Muller

La fonction RND

Tout logiciel de calcul contient le générateur de hasard $x = \text{RND}$ (random), qui, à chaque application, produit un chiffre décimal situé entre 0 et 1. Par des applications répétées, on aboutit à une suite complètement désordonnée de tels chiffres, suite aussi longue qu'on le désire. La distribution des chiffres est celle de la figure 1. De 0 à 1, la densité de probabilité (y) est uniformément égale à 1; entre ces limites, chaque chiffre x a la même chance d'être généré.

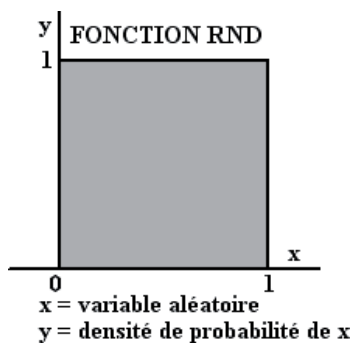


Figure 1

L'opérateur a le choix entre une infinité de séries différentes, chacune étant «ensemencée» par un nombre qui lui est propre. Les séries sont reproductibles à volonté. Hasard et reproductibilité ne sont pas antinomiques: à Monte-Carlo, la consignation des numéros qui sortent de la roulette n'enlève rien au caractère purement fortuit de leur suite, figée pour l'éternité.

Nous allons voir comment la fonction RND permet des tirages selon toute autre loi du hasard.

Événements alternatifs

Procédons à des prélèvements au hasard hors d'une urne qui contient en nombres illimités $p = 70\%$ de boules blanches et $q = 1 - p = 30\%$ de boules noires. À l'aide de la fonction RND, la simulation des tirages est immédiate: pour $\text{RND} \leq 0,7$, la boule tirée est blanche, pour $\text{RND} > 0,7$, elle est noire (ou: blanche pour $\text{RND} \geq 0,3$, noire pour $\text{RND} < 0,3$).

La distribution binomiale $P = [N! / (b! * n!)] * p^b * q^n$ donne la probabilité P de tirer hors de notre urne b boules blanches et n boules noires lors d'un prélèvement au hasard de $N = b + n$ boules. Avec $N = 30$, $p = .7$, $q = .3$, l'évolution de P pour b variant de 0 à 30 (et, partant, $n = N - b$ variant de 30 à 0) est représentée par les points rouges de la figure 2. Par ailleurs, en procédant, à partir de notre urne (où $p = .7$, $q = .3$), à 10 000 prélèvements de 30 boules – la fonction RND déterminant la couleur de chacune d'elles – nous réalisons des tirages selon la loi binomiale (v. fig. 2, points noirs). Points rouges et points noirs coïncident parfaitement.

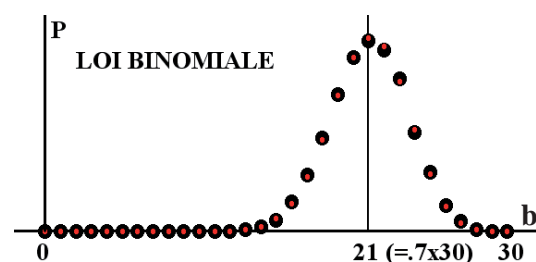


Figure 2

L'apparition de pièces défectueuses, par exemple, peut ranger dans les événements alternatifs.

Il peut y avoir des cas de choix multiples: mettons 40 % de boules blanches, 10 % de bleues, 30 % de rouges, 20 % de noires. Le résultat de chaque tirage se calcule (par exemple) par:

$0 > \text{RND} \leq 0,4$ = boule blanche,
 $0,4 > \text{RND} \leq 0,5 (= 0,4 + 0,1)$ = boule bleue,
 $0,5 > \text{RND} \leq 0,8 (= 0,4 + 0,1 + 0,3)$ = boule rouge,
 $0,8 > \text{RND} < 1 (= 0,4 + 0,1 + 0,3 + 0,2)$ = boule noire.

Distribution normale

De très nombreuses variables industrielles sont assujetties à la distribution normale ou loi de Gauss. Elles varient symétriquement autour de leurs valeurs moyennes. En fonction de l'écart x par rapport à la moyenne (l'écart standard servant d'unité de mesure), la densité de proba-

bilité, y , s'exprime par la formule $y = (e^{-X}) / (2 * \pi)^{1/2}$ avec $e = 2.718282$ (base des logarithmes népériens) et $X = -x^2 / 2$ (v. fig. 3, courbe en cloche $y(x)$ allant de $x = -5$ à $x = +5$ écarts standard). La courbe cumulative ascendante $Y(x)$, courbe intégrale de $y(x)$, va de 0 à 1 (1 étant la somme de l'ensemble des probabilités). A chacune des ordonnées Y de la courbe cumulative correspond une abscisse x bien définie, ce qui permet de procéder au tirage des écarts de la loi de Gauss par l'intermédiaire de la fonction RND, dont, précisément, les valeurs aléatoires s'échelonnent de 0 à 1 (v. flèches, fig. 3). Comme la fonction y n'est pas intégrable par des méthodes analytiques, il faut passer par sa sommation numérique pour aboutir à un vecteur informatique (« string ») $x(Y)$ représentatif de la courbe d'intégration $Y(x)$.

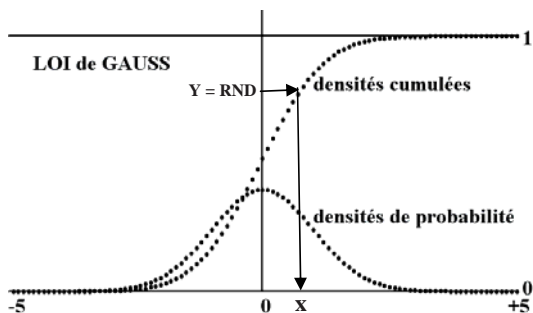


Figure 3

La figure 4 fait voir la perfection avec laquelle 1 000 000 de tirages aléatoires dans le vecteur $x(Y)$ via la fonction de hasard RND restituent la cloche de Gauss: en rouge, les points théoriques; en noir, les points de la simulation. Cet exemple, lui aussi, témoigne de la puissance remarquable des méthodes probabilistes, dans le cadre de la loi des grands nombres, bien entendu.

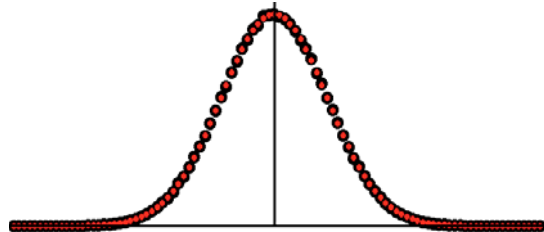


Figure 4

Distribution exponentielle

Dans ce cas, le tirage d'une des valeurs de la variable aléatoire x se fait directement par la formule $x = -x_0 * \ln(\text{RND})$ où x_0 est la valeur moyenne de la variable x , RND la fonction de hasard uniforme, \ln le symbole du logarithme naturel. Rappelons que le logarithme de toute valeur située entre 0 et 1 est négatif, d'où le signe qui précède x_0 .

Cette distribution, dite « exponentielle », est un cas limite de la loi binomiale. Comme on l'a vu, par tirage au sort de N boules, la probabilité y de prélever de l'urne b boules blanches et n boules noires s'élève à $y = [N! / (b! * n!)] * p^b * q^n$, si p et $q = 1 - p$ sont les proportions respectives des boules noires (p) et blanches (q). Selon cette expression, la probabilité d'obtenir 1 boule noire et $N - 1$ boules blanches est de $y = N * p * q^{N-1}$. La probabilité du tirage d'une configuration bien particulière, à savoir celle où la boule noire est la dernière à être prélevée, se réduit à $y = p * q^{N-1}$, ce qui, finalement, est la probabilité de 2 boules noires séparées par $N - 1$ boules blanches.

Considérons une étendue quelconque (de temps, de longueur d'une bande de papier, d'un flux, etc.) subdivisée en unités quelconques (jours, heures, minutes, secondes, m, cm, mm, etc.). Supposons que certains événements (v. fig. 5, cases noires), dont chacun occupe exactement une unité d'étendue, se produisent au hasard à des intervalles dont la moyenne est de N_0 unités. La probabilité de l'événement de se produire est ainsi de $p = 1/N_0$, la probabilité complémentaire (celle du non-événement) de $q = 1 - 1/N_0$. La fréquence (= l'occurrence moyenne de l'événement) s'exprime par $f = 1/N_0$, d'où $p = f$ et $q = 1 - f$. Par ailleurs, la variable aléatoire N , inférieure ou supérieure à N_0 , est l'intervalle (ou l'écart) x aléatoire entre deux événements.

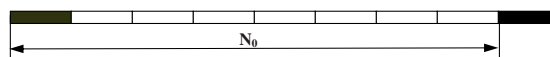


Figure 5

D'après notre formule, la probabilité de deux événements successifs distants de N unités d'étendue est égale à $y = p * q^{N-1} = f * (1 - f)^{x-1}$. Pour affiner le modèle et réduire cha-

cun des événements à un point (à son début, p. ex., tel que le point de départ d'une des petites déchirures sporadiques survenant dans une bande de papier lors de sa production), réduisons indéfiniment l'unité de mesure des étendues (en passant, p. ex., du mètre au dm, puis aux cm, mm, micromètres, etc.). Cela revient à multiplier N_0 et N par un nombre K , plus grand que tout nombre donné à l'avance. L'écart x s'en trouve multiplié, la fréquence f divisée par K ; suite à la multiplication des cas possibles, la valeur des probabilités baisse en proportion en passant de y à y' . Nous obtenons $y' = y / K = (f / K) * (1 - f / K)^{K * x - 1} \equiv (f / K) * [(1 - f / K)^K]^{x - 1/K}$. Pour K tendant vers l'infini, $(1 - f / K)^K$ et $x - 1/K$ tendent vers e^{-f} et x respectivement. Notre formule finit par s'écrire $y = f * e^{-f * x}$. L'expression de la distribution de x comporte, outre x lui-même en tant que variable aléatoire, le seul coefficient f .

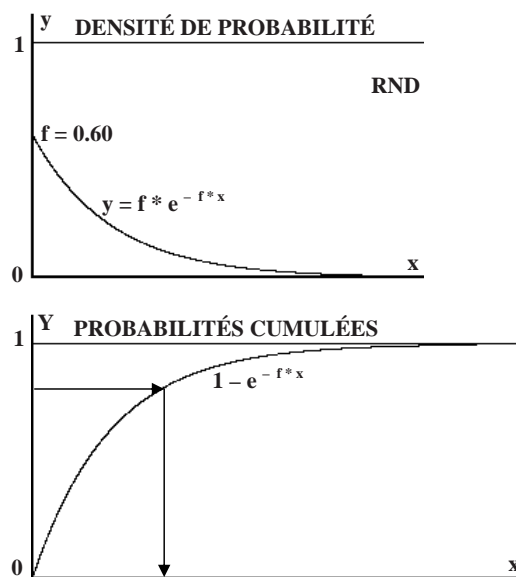


Figure 6

Le diagramme de gauche de la figure 6 est la représentation graphique de cette distribution.

À l'instar de ce qu'on a vu pour la loi normale, les probabilités cumulées (intégrale des densités de probabilité) (v. diagramme de droite, fig. 6) permettent d'associer à tout intervalle situé entre zéro et l'infini (abscisse) de façon univoque un nombre situé entre 0 et 1 (ordonnée). Inversement, en choisissant sur l'ordonnée un nombre quelconque situé entre 0 et 1 (à l'aide du générateur de hasard RND), la fonction aléatoire des intervalles entre événements successifs est ainsi créée. Dans le cas présent, $x(Y)$ admet d'être explicitée de façon analytique : $Y = \text{RND} = 1 - e^{-f * x}$, d'où $x = -(1 / f) * \ln(1 - \text{RND})$. Or, la fréquence moyenne f est l'inverse de l'intervalle moyen x_0 , d'où $x = -x_0 * \ln(1 - \text{RND})$. Nous retrouvons la formule posée au départ car, du point de vue du hasard, $1 - \text{RND}$ et RND sont équivalents.

La distribution exponentielle, peu connue dans les usines, donne l'intervalle x qui sépare deux événements aléatoires se succédant le long d'un ruban infiniment long. Par hypothèse, les événements du passé n'ont aucune influence sur ceux du futur. Un bon exemple en est la répartition des défauts sur la longueur d'un rouleau de papier ou d'acier. Si les événements sont des coupes transversales aléatoires plutôt que des défauts, le ruban, représentant, par exemple, le flux d'un produit, est ainsi tronçonné en commandes successives dont les volumes respectifs varient au hasard. Les intervalles entre pannes de production, la durée des pannes, ainsi que de très nombreux autres phénomènes aléatoires rencontrés dans l'industrie se comportent suivant

le modèle du ruban découpé au hasard, qui, dans le cas des pannes, est représentatif du temps. La variabilité de la distribution exponentielle est de loin supérieure à celle de la loi de Gauss. Les cadences de fabrication, à répartition gaussienne, varient autour de leurs moyennes dans un domaine relativement étroit. Imaginer une production horaire exceptionnelle, 10 fois, 100 fois, etc. celle de sa moyenne serait une absurdité manifeste. En revanche, les interruptions de production pour pannes, à répartition exponentielle, peuvent durer de moins d'une minute à plus d'un trimestre.

Relevés statistiques et autres de variables aléatoires

En pratique, les variables aléatoires sont loin d'obéir toutes à des lois de probabilité toutes faites, exprimées en termes mathématiques. Qu'on ait alors recours à la construction de fonctions aléatoires, qu'elles soient fractales ou autres, ou à des relevés statistiques consignants les fluctuations de paramètres réels, on aboutira toujours à des listes donnant les valeurs successives à attribuer aux variables aléatoires respectives. L'ordinateur se prête bien à la constitution et à l'utilisation de tels registres.

Lois de probabilité de la somme de variables aléatoires

Plusieurs conditions à la fois, aux probabilités respectives p_1, p_2, p_3, \dots , peuvent décider du rejet pour défectuosité d'un article manufacturé. Si, pour qu'il y ait rebut, toutes ces conditions doivent être remplies simultanément, leurs probabilités sont multiplicatives; si chacune d'elles, à elle seule, est dirimante, les probabilités s'additionnent, pourvu que les conditions s'excluent les unes les autres. Sinon, la probabilité résultante de rejet se calcule par $p = 1 - (1 - p_1) * (1 - p_2) * (1 - p_3) \dots$

Le volume de simulation se réduit si certaines variables aléatoires peuvent être remplacées par leur résultante. Ci-dessous, nous considérons la somme d'un nombre quelconque de variables.

Dans le cas de variables gaussiennes $x_1, x_2, x_3 \dots$ (aux écarts-type $s_1, s_2, s_3 \dots$), la solution est immédiate : la variance (= le carré de l'écart standard s) de leur somme $R = x_1 + x_2 + x_3 \dots$ égale la somme de leurs variances : $s^2 = s_1^2 + s_2^2 + s_3^2 \dots$

La figure 7 visualise le champ des probabilités de deux variables aléatoires x_1 et x_2 aux densités de probabilité $y_1(x_1)$ et $y_2(x_2)$. À un point (x_1, x_2) du plan de la figure 7, la densité de probabilité vaut $y = y_1 * y_2$. Toutes les sommes $x_1 + x_2$ égales à une valeur résultante R donnée s'alignent sur l'oblique $R = x_1 + x_2$. Les probabilités cumulées de 0 à R sont la somme des densités de probabilité couvrant l'aire ombrée, dont le calcul se fait par double intégration. Le raisonnement peut être généralisé pour s'appliquer à la somme d'un nombre quelconque de variables aléatoires, d'un même type de répartition ou de types différents, à des produits arithmétiques de variables plutôt qu'à leurs sommes, etc.

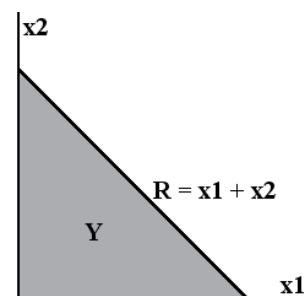


Figure 7

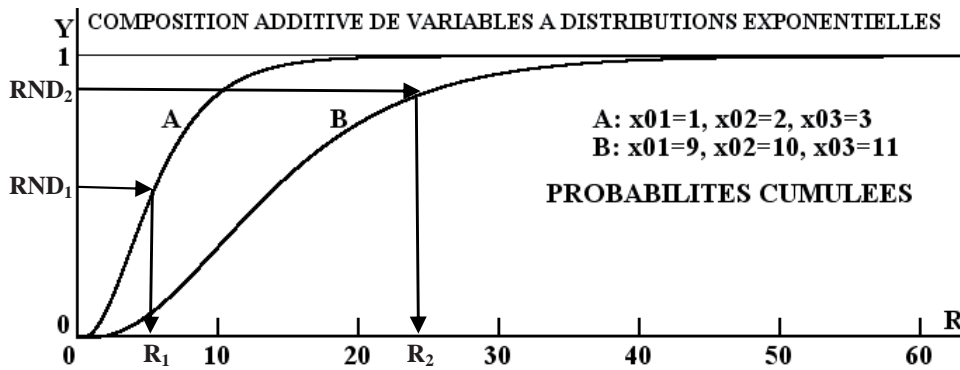


Figure 8

Dans le cas de la somme de trois variables aléatoires x_1, x_2, x_3 , chacune à distribution exponentielle aux valeurs moyennes x_{01}, x_{02}, x_{03} , la probabilité cumulée Y (allant de 0 à 1) de la valeur résultante R (allant de 0 à l'infini) est donnée par :

$$Y = 1 - \left\{ \frac{x_{01}^2}{[(x_{01} - x_{02}) * (x_{01} - x_{03})]} \right\} * e^{-R/x_{01}} - \left\{ \frac{x_{02}^2}{[(x_{02} - x_{01}) * (x_{02} - x_{03})]} \right\} * e^{-R/x_{02}} - \left\{ \frac{x_{03}^2}{[(x_{03} - x_{01}) * (x_{03} - x_{02})]} \right\} * e^{-R/x_{03}}$$

La figure 8 montre l'allure des courbes cumulées se rapportant aux cas A et B respectivement : en abscisse les valeurs R que peut atteindre la somme des variables à distributions exponentielles, en ordonnée l'évolution des probabilités cumulées Y. Comme, en l'occurrence, il n'est pas possible d'explicitier l'inverse des Y(R), les tirages $Y = \text{RND}$ à l'aide du générateur de hasard sont répercutés sur les vecteurs représentatifs des fonctions R(Y), d'où les valeurs aléatoires R correspondantes.

Considérations générales sur le hasard

Pour bien circonscrire la portée de la loi des grands nombres, considérons le jeu de hasard le plus simple, celui de pile ou face. Sur un nombre suffisamment grand de parties de dix coups chacune, tous les résultats possibles (0 fois pile + 10 fois face, 1 fois pile + 9 fois face, ... 10 fois pile + 0 fois face) finiront par se présenter. Quant aux probabilités de ces résultats, nous retrouvons la courbe en cloche de la loi binomiale ayant son centre au droit du point d'équilibre (5 fois pile + 5 fois face). La dispersion augmente avec le nombre de coups par partie, la cloche s'étalant tout en s'abaissant. Les parties de 100 coups ne se termineront que dans 60 % des cas avec un résultat situé autour de 50 / 50 (point nul) entre 46 et 54 fois pile ; pour 1000 coups par partie, les 60 % couvrent – autour de 500 / 500 – un domaine relativement plus étendu, allant de 488 à 512 fois pile. Contrairement à une opinion répandue, l'occurrence d'un résultat nul est d'autant plus exceptionnelle que le nombre de coups par partie est élevé. De façon analogue, à la roulette, plus le joueur est assidu, plus il risque d'épuiser la totalité de ses réserves financières avant que la chance ne se mette à tourner en sa faveur et lui fasse récupérer le terrain perdu. Les parties infiniment longues aboutissent tôt ou tard à des écarts infiniment grands et la ruine du joueur survient d'autant plus tôt que le jeu est moins équitable (à la roulette, le biais moyen à l'avantage du tenancier est de $1/37 = 2,7\%$ car les mises vont à la banque chaque fois que sort le zéro plutôt qu'un des autres 36 numéros figurant sur le tapis).

Au jeu de pile ou face, pour N (= nombre de coups par partie) suffisamment grand, la loi binomiale peut être assimilée à la loi de Gauss (écart-type $s = N^{1/2}$ = racine carrée de N). Plus N est grand, plus, en fin de partie, les écarts par rapport au point d'équilibre risquent d'être importants. Une toute autre question est celle de savoir quelle est la dispersion z de la moyenne des N coups : il suffit de diviser s par N, d'où $z = s / N = 1 / N^{1/2}$. Plus N est grand, plus s augmente et plus z se réduit. Ce dernier fait est le fondement de toute simulation : il permet de calculer avec la précision voulue la valeur moyenne d'une variable aléatoire et d'établir avec une certitude satisfaisante le comportement moyen d'un ensemble interactif de telles variables.

Les lois du hasard, par certains de leurs aspects, paradoxaux en apparence, peuvent donner lieu à des malentendus qui, d'une part, incitent les charlatans à mettre en vente des martingales et, d'autre part, font prendre des risques inconsidérés aux pontes se piquant de s'y connaître en hasard. Par la conception même du jeu de pile ou face, à chaque coup, les deux côtés d'une pièce de monnaie normalement constituée ont la même probabilité de sortir. Pourtant, la chance de pile d'apparaître 5 fois de suite est de $0,505 = 3,125\%$. Dès lors, pile venant de sortir 4 fois d'affilée, les chances de tirer face au coup suivant sont-elles de $100 - 3,125 = 96,875\%$ ou, conformément aux lois de la physique, de 50 % ? La probabilité d'une série ininterrompue de 200 fois pile vaut $(0,50)^{200}$, celle d'une série de 201 fois pile $(0,50)^{201}$; ainsi, au 201^e coup, la chance de sortie de pile s'élève bien à $[(0,50)^{200} - (0,50)^{201}] / (0,50)^{200} = 50\%$, égale à celle de face : $1 - 0,50 = 50\%$.

Ing. dipl. Henri Muller

The control of fire by mankind has definitely enabled it to improve its level of well-being and its conditions of life but fire has also been a source of danger for humans in numerous dramatic cases. By the consequence of evil-minded acts or off-guard moments, fire causes the death of persons and the destruction of material goods. During the second part of the 20th century, an effort was made in Europe to develop and apply more active as well as passive measures in order to limit the damages caused by fire.

DISTRIBUTION OF TEMPERATURE IN STEEL AND COMPOSITE BEAMS AND JOINTS UNDER NATURAL FIRE

Dr. Ing. F. Hanus

Prof. Dr. Ing. J.-M. Franssen

Structural Fire Engineering is one of the disciplines of Fire Safety Engineering. That latter one is a science aimed at limiting the death of people and damages in buildings subjected to fire, by application of engineering. Structural Fire Engineering is one of these disciplines and is aimed at analyzing the effects of fire on a structure and designing members under the combination of thermal and mechanical loadings applied in case of fire. A general analysis of Structural Fire Engineer consists of three basic steps: the modeling of the fire, the thermal analysis and the structural analysis.

In comparison with other types of constructions, unprotected steel structures lose rather quickly their stability when submitted to elevated temperatures: the relative thinness of individual elements causes a fast heating of structural elements and a rapid reduction of their mechanical properties. Consequently, steel structures are often thermally-protected by insulating materials or intumescent paints [1]. However, the cost of fire protection is considerable: the increase of cost may reach 30% of the bare steelwork [2]. Consequently, architects and engineers try to adapt the design of steel structures or to use composite action in order to optimize or avoid the use of fire-protecting materials [3 & 4].

Until recently [5], the analysis of the behaviour of steel and composite structures subjected to fire conditions has not been focused on joints because the less severe exposition and the presence of more material in the joint zone induce lower temperatures in that zone than in the connected members. The large amount of joints typologies, the large number of parameters influencing their behaviour and the difficulty to realize experimental tests have lead to a lack of sufficient knowledge about joints behaviour under fire conditions.

The collapse of WTC Twin Towers on the 11th of September 2001 has highlighted the possibility of connection failures and their detrimental effects on structures. Some experts have alleged that the failure of connections between truss beams and edge columns has played a significant role in the final global collapse of the two towers. Furthermore, the damaged connections (distorted bolts and holes bearing) were documented as a failure mode of the WTC5, a

45-storey building that collapsed several hours after WTC 1 and 2 under the unique effect of fire [6]. Some investigations were conducted during the last years, mainly in Europe, on the behaviour of joints under fire. Some real-scale tests performed in Cardington [7] and Vernon [8] have also shown that steel and composite connections could become a weak point under fire conditions, especially during the cooling phase.

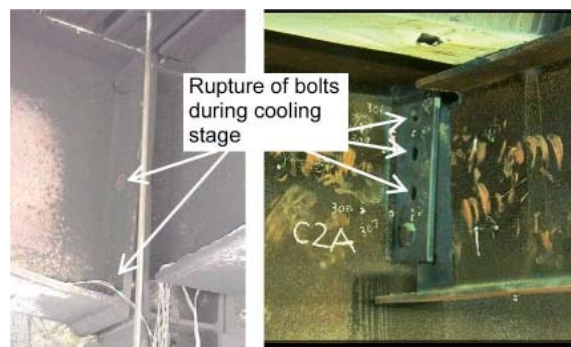


Figure 1_Failure of bolts in steel connections subjected to natural fire

The objective of this article is i) to present the existing methods for predicting distributions of temperature in steel and composite beams and joints, the field of application and the limitations of these methods; ii) to describe new developments aimed at improving these predictions and to compare the results obtained by use of these analytical methods to those given by use of FE models built in the specially-purposed software SAFIR developed at the University of Liège [9].

EXISTING METHODS FOR PREDICTION OF TEMPERATURE

In the European standards dedicated to the design of steel and composite structures under fire, the temperature in unprotected steel sections is calculated by the Lumped Capacitance Method [10]. The equilibrium is stated between the quantity of heat received by the steel cross-section $\Delta Q_{\text{exchanged}}$ and the quantity of heat consumed by this section $\Delta Q_{\text{heating}}$ in order to increase its own temperature by $\Delta \theta_{a,t}$ during an incremental interval of time Δt .

$$\Delta Q_{\text{exchanged}} = \dot{h}_{\text{net,d}} k_{\text{sh}} A_m \Delta t = c_a \rho_a V \Delta \theta_{a,t} = \Delta Q_{\text{heating}} \quad (\text{Eq. 1})$$

A_m and V are the surface area and the volume of steel per unit length of the member, c_a and ρ_a are the specific heat and the unit mass of steel and $\dot{h}_{\text{net,d}}$ is the design value of the net heat flux accounting for thermal exchanges by convection and radiation. The correction factor for shadow effect k_{sh} accounts for the reduced exposure of concave-shaped sections to heat fluxes compared to convex sections with a same section factor A_m/V .

In steel beams that support a concrete slab on the upper flange, the distribution of temperature is not uniform due to i) the difference of exposure to heat fluxes between the top and bottom flanges and ii) the existence of heat fluxes between the top flange and the concrete slab. EN 1994-1-2 [11] recommends to apply the Lumped Capacitance Method separately for the different parts of the steel section and to consider a "local" section factor of the flange or the web $A_{p,i}/V_i$ instead of the "global" section factor A_m/V , except for members with box-protection where a uniform temperature may be assumed over the height of the profile. For the top flange, the interface with the concrete slab is considered as an adiabatic frontier when at least 85% of the upper surface is in contact with the slab.

For predicting the distribution of temperatures in joints, EN 1993-1-2 recommends the use of the local A_m/V value of the parts forming that joint or, as a simplification, by assuming a uniformly-distributed temperature calculated with the maximal value of the ratios A_m/V of the connected steel members in the vicinity of the joint. In beam-to-column and beam-to-beam steel joints with beams supporting any type of concrete floor, the distribution of temperature may be based on the temperature of the bottom flange at mid-span. The ratio between the temperature in the joint zone at a vertical abscissa h and the temperature of the bottom flange at mid-span is given in Figure 2 for beam depths lower than or equal to 400 mm (left profile) and beam depths higher than 400 mm (right profile).

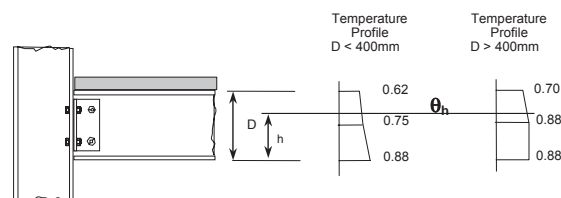


Figure 2_Temperature profile of a beam-to-column or beam-to-beam joint supporting a concrete floor as a function of the temperature of the bottom flange at mid-span

Comparisons have recently been realized between experimental measurements of temperature in steel joints obtained under natural fire conditions and temperatures obtained by three different methods [12]:

- _The temperatures calculated with the "Eurocode Percentages Method" described previously (Figure 2), initially developed for standard ISO fire curve, are much different from test results and this method seems unreliable for heating and cooling phases of real fires.
- _The Lumped Capacitance Method shows good correlation with average connection temperatures but significant discrepancies are observed in the prediction of temperature in individual connection elements. This method can thus not be used for precise analysis of the structural behavior of the joint based on the behavior of individual components.
- _Finally, the numerical simulations performed with the finite element package Abaqus [13] give a good agreement with experimental results and show that the presence of the concrete slab does not affect the temperature of the bottom flange. Numerical analyses can thus be considered as reliable, but are too sophisticated a tool to be used in practical applications.

As already mentioned in the introduction, the new methods developed for predicting temperature in steel beams and joints will be compared to results obtained by use of the finite element package SAFIR [9]. The software SAFIR is a special purpose computer program for the analysis of structures under elevated temperatures conditions. It was deve-

loped at the University of Liege and is based on the Finite Element Method. The analysis of a structure exposed to fire consists of a thermal analysis followed by a structural analysis. Thermal analyses are performed with 2-D or 3-D SOLID elements. Conductive, convective and radiative transfers are taken into consideration. The two thermal models built in SAFIR software and considered as a basis of reference for the developed analytical methods are plotted on Figure 3. On the left hand side, an IPE 300 beam covered by a concrete slab is connected to a HEA 300 column. On the right hand side, an IPE 550 beam and a HEM 300 column are connected. In these models, the contact is assumed as perfect between the steel elements and the concrete slab.

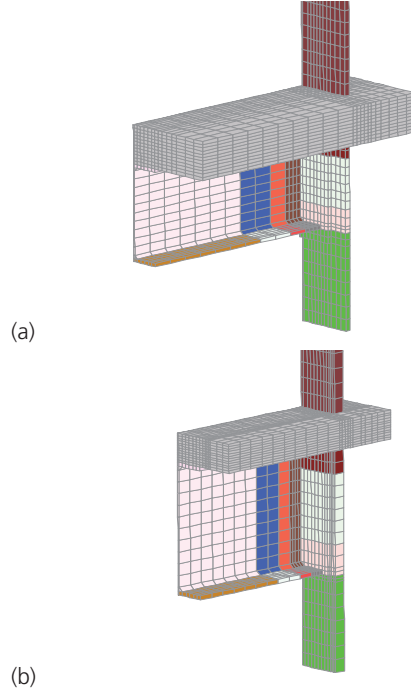


Figure 3_Numerical models for composite joints built in SAFIR software (a) IPE 300 beam (b) IPE 550 beam

COMPOSITE SECTION METHOD

In the first method proposed in this article for steel beams supporting a concrete slab, called Composite Section Method, a part of the concrete slab is integrated into the heated zone considered for predicting the temperature at the level of the top flange (Figure 4). The heated section under consideration is composed of the upper half of the steel beam and a trapezoidal part of the concrete slab. For the heated perimeter, the heat fluxes from each half of vertical side of the box surrounding the beam are taken into account. The perimeter considered is thus equal to the beam height.

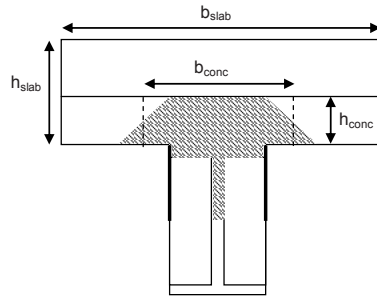


Figure 4_Heated section considered in the Composite Section Method applied to beams

The equation of the Composite Section Method representing the equilibrium between the heat received by the section during a time step Δt and the quantity of energy consumed (or produced) by this section $Q_{heating}$ to increase (or decrease) the uniform temperature of the zone is given in Eq. 2, where A_b and A_{conc} are respectively the cross-

section area of the steel profile and the concrete section area included into the heated zone (Eqs 3 & 4 and Figure 5). The height of the concrete zone h_{conc} depends on time t (in minutes), the thickness of the beam flange t_{fb} and is limited to the slab thickness h_{slab} .

$$\Delta Q_{transferred} = \dot{h}_{net,d} k_{sh} A_m \Delta t = \quad (\text{Eq. 2})$$

$$= (c_a \rho_a A_b / 2 + c_c \rho_c A_{conc}) \Delta \theta_{a,t} = \Delta Q_{heating}$$

$$h_{conc} = \min \left(20 + 110 \left(\frac{t}{60} \right) \left(\frac{t_{fb}}{10} \right); h_{slab} \right) \quad (\text{Eq. 3})$$

$$b_{conc} = b_b + h_{conc} \quad (\text{Eq. 4})$$

The temperatures obtained by the Component Section Method are compared to the results obtained with SAFIR 2D simulations on Figure 6. On the left, a diagram shows the evolution of temperature in the top flange of two sections characterized by different section factors subjected to the ISO fire curve. On the right, the evolution of temperature in the top flange of a IPE 300 steel beam covered by a concrete slab is given during the heating and cooling phases of a parametric fire curves defined in the Annex A of the EN 1993-1-2 [5]. The durations of the heating phase are 30, 60 and 90 minutes. The analytical prediction of temperature is very good during the heating phase but a delay is observed during the cooling phase.

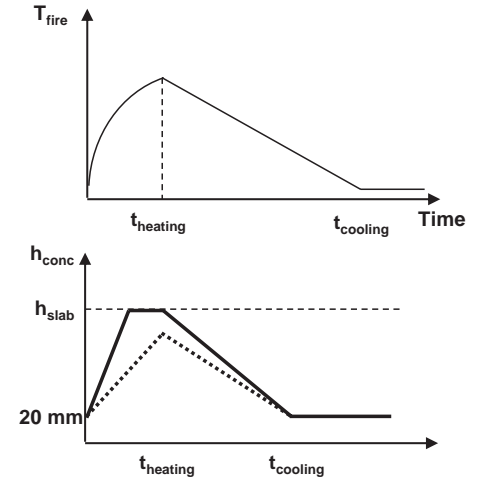


Figure 5_Height of the concrete heated section during heating and cooling phases of a fire

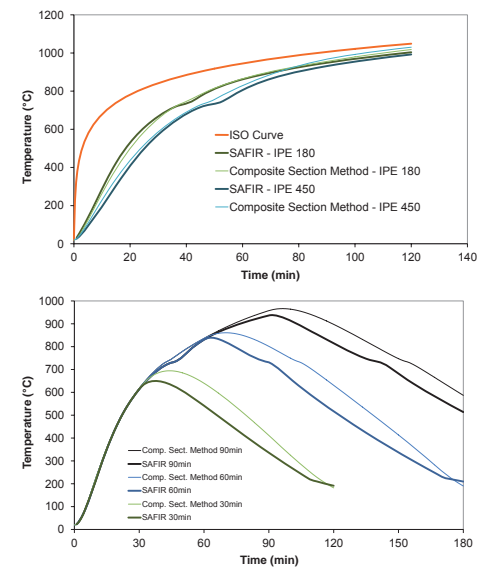


Figure 6_Comparison between temperatures predicted numerically (SAFIR) and analytically (Composite Section Method)

For joints, the heated zone is represented on Figure 7. The length of the beam included into the heated zone l_b is taken equal to half of the beam height. Under ISO fire or heating, the Composite Section Method gives very good predictions of temperature at the level of the top flange. However, the delay observed in 2-D beam sections during the cooling phase is still more significant in 3-D joint zones (Figure 8).

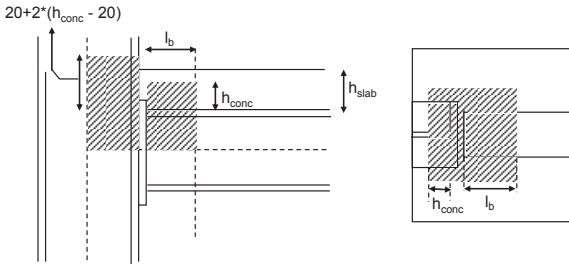


Figure 7_Heated zone considered in the Composite Section Method applied to joints

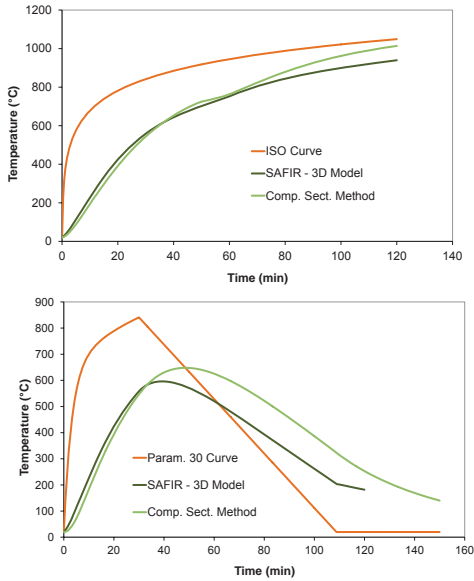


Figure 8_Comparison between temperatures predicted numerically (SAFIR) and analytically (Composite Section Method) – IPE 300 configuration

The precision of the Lumped Capacitance Method and Composite Section Method to evaluate the temperature at the level of the beam top flange (beam or joint sections) is in some cases reduced because the heat transfers between this top flange on one side and the other parts of the steel section and/or the concrete slab on the other side are not taken into account explicitly.

HEAT EXCHANGE METHOD

A new method is proposed where the heat exchanged between the top flange and the gas ΔQ_{gas} , the heat exchanged between the top flange and the concrete slab $\Delta Q_{top-bottom}$ and the quantity of heat transferred between the top flange and the rest of the steel section $\Delta Q_{concrete}$ are calculated individually (Eq. 5).

$$\begin{aligned} \Delta Q_{exchanged} &= \Delta Q_{gas} + \Delta Q_{top-bottom} + \Delta Q_{concrete} = \\ &= c_a \rho_a V \Delta \theta_{a,t} = \Delta Q_{heating} \end{aligned} \quad (\text{Eq. 5})$$

The heat exchanged by convection and radiation between the top flange and the gases of the compartment is calculated, according to the EN 1994-1-2 recommendations, by considering that the top flange is heated on 3 sides.

The results of numerical simulations show that the distribution of temperature in a composite beam is approximately uniform in the web and the bottom flange (Figure 9). A gradient of temperature is observed at the junction between the web and the top flange and heat is exchanged by conduction in that zone.

It is proposed to evaluate the heat transfer between the top flange and the rest of the steel section during a given time step Δt by use of Eq. 6. This energy can be positive (heat received by the top flange) or negative (heat lost by the top flange). In Eq. 6, λ is the thermal conductivity of steel, x is the length of heat transfer (chosen equal to the radius of the root fillet), T_1 , T_2 are the temperatures in the top and bottom flanges and t_{wb} is the thickness of the beam web. The temperature of the bottom flange T_2 is evaluated with the Lumped Capacitance Method (EN 1994-1-2).

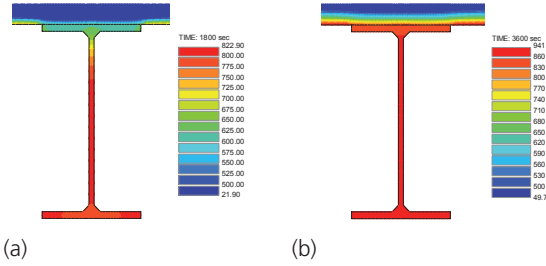


Figure 9_Thermal distribution in a composite beam under ISO fire – (a) 30 min – (b) 60 min

$$\Delta Q_{top-bottom} = \lambda \frac{(T_2 - T_1)}{x} t_w \Delta t \quad (\text{Eq. 6})$$

In beam-to-column joints, the expression of the heat flux $\Delta Q_{top-bottom}$ is an adaptation of Eq. 6 to 3-D zones (Eq. 7). Heat is transferred through the cross-section area $A_{top-bottom}$ (Eq. 8), in which t_p , b_p , t_{wb} and A_c are respectively the thickness of the end-plate, the width of the end-plate, the thickness of the beam flange and the cross-section area of the column and where the length of the beam included in the joint zone l_b is taken equal to the half of the beam height.

$$\Delta Q_{top-bottom} = \lambda \frac{(T_2 - T_1)}{x} A_{top-bottom} \Delta t \quad (\text{Eq. 7})$$

$$A_{top-bottom} = l_b t_{wb} + t_p b_p + A_c / 2 \quad (\text{Eq. 8})$$

The quantity of heat $\Delta Q_{concrete}$ transferred from the beam top flange to the concrete slab is quite difficult to estimate because the distribution of temperature in the concrete slab is not uniform. It is proposed here to calculate this quantity as a function of two parameters: the temperature of the top flange and the parameter Γ used to determine the shape of the parametrical fire curves in the Annex A of the EN 1991-1-2. Numerical simulations of an isolated steel flange covered by a slab and submitted to parametrical fires have been performed. The quantity of heat transferred from the top flange to the slab has been obtained by calculating the difference between the quantity of heat received by the flange from the gases and the quantity of heat consumed to increase its temperature. The flux is the ratio between the heat transferred and the contact surface. During the cooling phase, the distribution of temperature in the slab depends on the history of the thermal loading because the evolution of the flux is not reversible.

This procedure has been followed for heating and cooling phases of several parametric curves (Γ varying between 0.4 and 2) and simple analytical expressions have been defined in order to approach the heat fluxes obtained from the numerical simulations (Eqs 9a to 9d). The parameters $\phi_{1.50}$ and $\phi_{4.75}$ are given in Table 1. $T_{heating}$ and $\phi_{heating}$ are the temperature of the top flange and the flux at the end of the heating phase. The evolution of the heat fluxes from the flange to the slab is plotted on Figure 10. The strong

discontinuities observed around 735°C are due to the peak value of the specific heat of steel at this temperature.

$$\phi_{heating}(T) = \phi_{150} \frac{(T - 20)}{(150 - 20)} ; T \leq 150^{\circ}\text{C} \quad (\text{Eq. 9a})$$

$$\phi_{heating}(T) = \phi_{475} - (\phi_{475} - \phi_{150}) \left(\frac{475 - T}{325} \right)^2 \quad 150^{\circ}\text{C} \leq T \leq 730^{\circ}\text{C} \quad (\text{Eq. 9b})$$

$$\phi_{heating}(T) = \phi_{475} - 0.616 * (\phi_{475} - \phi_{150}) - 0.035 * (T - 730) \quad T \geq 730^{\circ}\text{C} \quad (\text{Eq. 9c})$$

$$\phi_{cooling}(T) = \phi_{heating} - (\phi_{heating} + 5) \sqrt{1 - \left(\frac{T}{T_{heating}} \right)^2} \quad 20^{\circ}\text{C} \leq T \leq T_{max,heating} \quad (\text{Eq. 9d})$$

	$\Gamma = 0.4$	$\Gamma = 0.7$	$\Gamma = 1$	$\Gamma = 1.5$	$\Gamma = 2$
	Flux (kW/m ²)	Flux (kW/m ²)	Flux (kW/m ²)	Flux (kW/m ²)	Flux (kW/m ²)
20	0	0	0	0	0
150	17	20	23	26	28
475	24	28	31	34	36

Table 1_Tabulated data of ϕ_{150} and ϕ_{475} in function of the parametrical fire curve

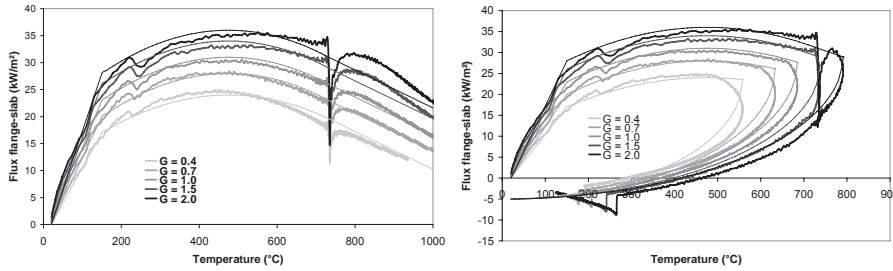


Figure 10_Heat flux from top flange to concrete slab during the heating phase (left) and the cooling phase (right : $t_{heating} = 30$ min) of parametrical fire curves

The quantity of heat ΔQ_{slab} exchanged between the top flange and the concrete slab during a time step Δt is respectively given by Eqs 10 and 11 for 2-D beam sections (in which b_b is the width of the beam flange) and for 3-D joint zones. The transfer area $A_{transfer}$ is given in Eq. 12, where t_p , b_p , b_c and h_c are the thickness of the end-plate, the width of the end-plate, the width of the column flange and the height of the column. The lengths l_b and l_c are taken as equal to the half of the beam height and the half of the column height.

$$\Delta Q_{slab} = b_b \phi \Delta t \quad (\text{Eq. 10})$$

$$\Delta Q_{slab} = \phi A_{transfer} \Delta t \quad (\text{Eq. 11})$$

$$A_{transfer} = l_b b_b + t_p b_p + (\min(h_{slab}; l_c)) * (h_c + 2b_c) \quad (\text{Eq. 12})$$

The Heat Exchange Method for the prediction of temperature at the level of the beam top flange gives a very good agreement with the temperatures obtained by use of the 2-D (Figure 11) and 3-D models (Figure 12) built in SAFIR software. The delay observed at the beginning of the cooling phase with the Composite Section Method has disappeared and the correlation with FE results remains good during the complete parametrical fire curve.

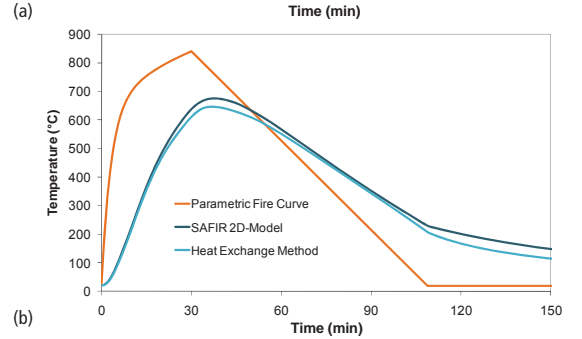
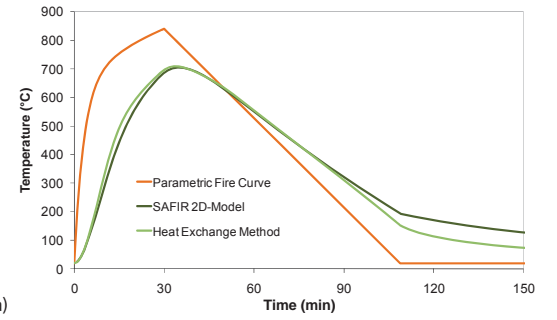


Figure 11_Temperature of the top flange obtained numerically and analytically - $t_{heating} = 30$ min (a) IPE 300 (b) IPE 550

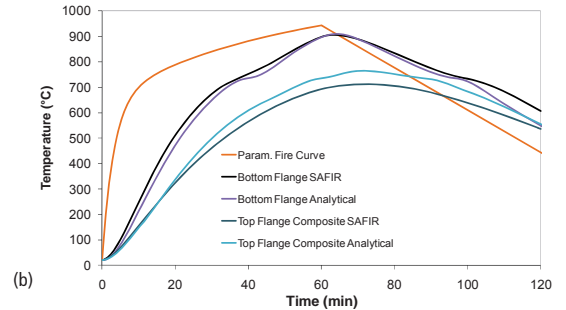
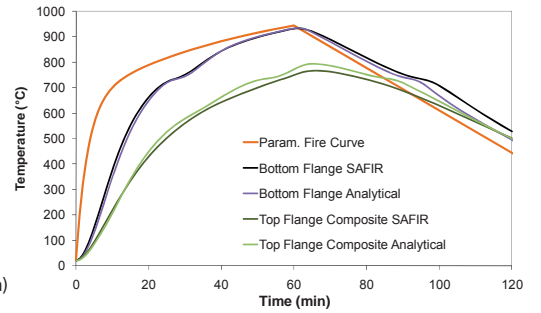


Figure 12_Comparison between temperatures of the top and bottom flanges obtained numerically and analytically - $t_{heating} = 60$ min (a) IPE 300 (b) IPE 550

INTERPOLATION PROFILES

Existing methods give a sufficient degree of precision for the prediction of temperature at the level of bottom flange in 2-D beam sections and 3-D joint zones. Two methods have been presented in order to predict the evolution of temperature in the top flange for these cases. A simple method is proposed to interpolate on the height of the steel beam and is compared to the thermal profiles obtained in simulations realized with SAFIR software. For 2-D beam sections, the reference temperatures of the finite element model are taken on the vertical axis of symmetry of the steel profile. For 3-D joints zones, the reference temperatures of the model are read on the external surface of the end-plate at a distance $b_b/4$ of the vertical plane of symmetry of the beam (Figure 13), where b_b is the width of the beam flange. In usual joints, bolts are situated close to this reference line. The present simple method consists in the assumption of a bilinear profile, as described on Figure 14. Figures 15 and 16 show comparisons between the temperatures interpolated from analytical results and numerical results.

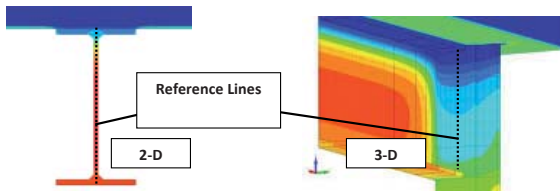


Figure 13_Reference lines for temperature interpolation between the levels of top and bottom flanges



Figure 14_Simple temperature profile between the levels of top and bottom flanges

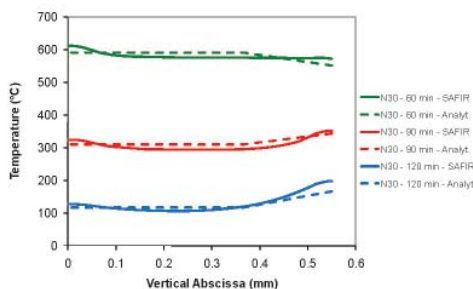
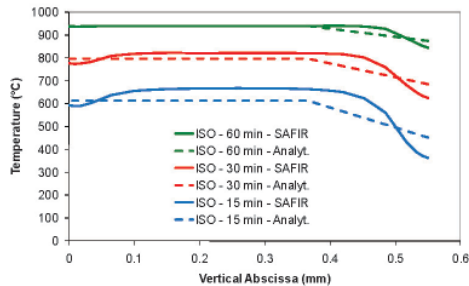


Figure 15_Temperature profiles in the IPE 300 beam under ISO and parametrical fire curves

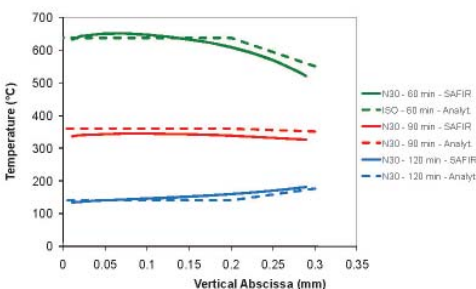
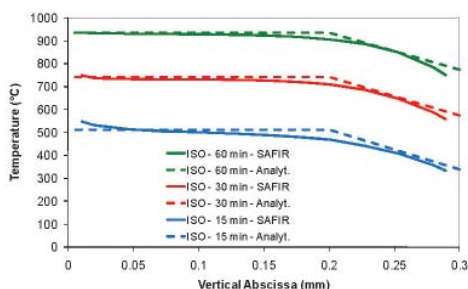


Figure 16_Temperature profiles in the IPE 300 joint under ISO and parametrical fire curves

SUMMARY AND CONCLUSIONS

The present article describes the existing methods and recommendations for the evaluation of temperature profiles in steel beams and joints covered by a concrete slab. Then, modifications and improvements to the existing methods are

proposed in order to predict more accurately temperatures at the level of the top flange of the beam by accounting for heat fluxes between the steel elements and the concrete slab. The two methods presented in this article differ by the degree of simplicity, the field of applicability and the accuracy of the predicted results. Comparisons with numerical simulations performed in the finite element program SAFIR have been described for the validation of these new methods. It is assumed in these numerical models that the contact between the steel profile and the concrete slab is perfect.

The "original" Lumped Capacity Method gives globally good predictions of temperature in steel and composite beams and joints but does not integrate heat fluxes between the steel elements and the concrete slab. This leads to an over-estimation of temperature in the steel elements during the heating phase and to an under-estimation of temperature during the cooling phase. In order to take these fluxes into consideration in the evaluation of the top flange temperature, it is suggested in the first proposed method to integrate a part of the concrete slab into the heated surface or volume considered in the Lumped Capacitance Method. The Composite Section Method correctly predicts temperature at the level of the top flange under ISO fire or during the heating phase of parametrical fire curves but a delay is observed between these analytical results and those obtained from numerical simulations performed in SAFIR software. In a second method, called Heat Exchange Method, it is proposed to calculate separately the heat fluxes between, on one side, the top flange and, on the other side, the gases of the compartment, the rest of the steel section and the concrete slab. The temperatures given by this latter method are in very good agreement with those obtained from FE models. The use of this method is really less fastidious than the use of FE models, especially for joints, but is limited to a certain type of fire curves (parametrical fire curves defined in the Annex A of the EN 1991-1-2).

Finally, a bilinear temperature profile has been proposed to interpolate the analytically-calculated temperatures at the level of the top and bottom flanges on the total height. This procedure is simple and shows a good agreement with the numerical results in 2-D beam sections and 3-D joint zones during the heating and cooling phases of parametric fire curves.

Dr. Ing. F. Hanus

BEST Ingénieurs-Conseils

Prof. Dr. Ing. J.-M. Franssen

Department of Architecture, Geology, Environment and Construction, University of Liege, Belgium

REFERENCES

- [1] "Fire resistance of steel structures, modern fire protection systems and design methods", British Steel General Steel, 1990.
- [2] "Fire engineering design of steel and composite buildings", R.M. Lawson, Journal of Constructional Steel Research, Vol. 57, pp. 1233-1247, 2001.
- [3] "Composite beams with partial fire protection", Y.C. Wang, Fire Safety Journal, Volume 30, Issue 4, pp. 315-332, June 1998.
- [4] "Design of steel framed buildings without applied fire protection", C.G. Bailey, G.M. Newman, W.I. Simms. The Steel Construction Institute P197, 1999.
- [5] ENV 1993-1-2 – Eurocode 3 "Design of steel structures" – Part 1-2: Structural fire design, European Committee for Standardization, Brussels, 1995.
- [6] "Failure Analysis of the WTC 5 Building", K.J. LaMalva, J.R. Barnett and D.O. Dusenberry, Journal of Fire Protection Engineering, Vol. 19, No 4, pp 261-274, 2009.
- [7] "Calculation of fire resistance of structures", F. Wald et al., ISBN 80-0103157-8, Czech Technical University in Prague, p 336, 2005.
- [8] "Demonstration of real fires in car parks and high buildings", Final report, European Coal and Steel Community, Contract PP 025, December 2000.
- [9] "SAFIR A Thermal/Structural Program Modelling Structures under Fire", J.-M. Franssen, Engineering Journal, A.I.S.C., Vol. 42, No. 3, pp. 143-158, 2005.
- [10] "Fundamentals of Heat and Mass Transfer", F.P. Incropera, D.P. DeWitt, T.L. Bergman, A.S. Lavine, John & Wiley Sons, Hoboken, USA, Sixth Edition, 2005.
- [11] EN 1994-1-2 – Eurocode 4 "Design of composite steel and composite structures" – Part 1-2: General rules – Structural fire design, European Committee for Standardization, Brussels, August 2005.
- [12] "Investigation into Methods for Predicting Connection Temperatures", K. Anderson, M. Gillie, Czech Technical University Publishing House, Acta Polytechnica Vol. 49 No. 1, 2009.
- [13] "Abaqus User's Manual, version 6.6", Providence, RI, USA, 2009.

In May 2007 HITEC Luxembourg and the University of Luxembourg have started a new research and development project called "Dynamic Modelling of Ground Antennas" (DMGA). The aim of the project is to improve the accuracy of the position and the motion sequence of future antenna systems as well as to shorten their development time. The GALILEO antenna has a 13 metres reflector and a total mass of 60 tonnes. It is powered by three servo motors per axes and reaches a maximum speed of 15 deg/s in azimuth and 5 deg/s in elevation direction. The maximum allowed position deviation is less than 0,09° (RMS). Even at a wind speed of 150 km/h the antenna must fulfil these specifications.



A CONTROLLED HYBRID MULTI-BODY SIMULATION MODEL OF A GALILEO GROUND ANTENNA_

Laurent Breyer, Prof. Dr. Jean-Régis Hadji Minaglou, Prof. Dr. Stefan Maas, Prof. Dr. Arno Zürbes

In the article a hybrid multi-body simulation model of a GALILEO ground antenna is presented. The model in MSC/ADAMS uses a flexible antenna structure to simulate the dynamic behaviour for large movements. The related finite element structure developed in ANSYS was validated with the experimental modal analysis. The electrical components of the drive chain of the ground antenna are modelled in SIMULINK. With the help of a co-simulation where both programs are running simultaneously and exchanging data the overall behaviour of the antenna can be studied. For the experimental tests the antenna was excited by a linear sweep signal that was sent as velocity setpoint to the drive. The resulting vibrations of the structure were measured with several accelerometers. In a final step the simulated and measured data are compared.

Design of a controlled hybrid multi-body simulation model

At the beginning of the project, finite element models for the main antenna components were designed in the software package ANSYS. With the help of the experimental modal analysis based on the data acquisition of accelerometer signals, the dynamic properties of the single antenna components were measured, compared and validated. One of the easiest ways to do that is the impact testing. For this method, hitting with a modal hammer excites the mechanical structure. During this very short sharp excitation pulse only a small amount of energy is transmitted. Thus this method does not damage or destroy the component. The resulting vibrations on the surfaces are measured by the accelerometers. The natural frequencies contained in the spectrum of the measured signal are characteristic properties of the structure. To each natural frequency can be assigned one or more mode shapes. This is a pattern of motion where all the parts of the structure move sinusoidally with the same frequency and in phase.

The finite element analysis allows calculating the natural frequencies and the mode shapes of a given structure. In order to validate the simulation model the simulated and measured natural frequencies and the mode shapes are compared to each other. If they match the model has the same dynamic properties as the structure.

The validated antenna components are divided into three groups. The elements of each group are assembled and form three new flexible structures. Since the simulation models of these structures are still too large for a transient analysis, a model reduction has been done using the Craig-Bampton method. At the beginning the static and modal degrees of freedom (DOF) have to be selected. These DOF are still included in the reduced model, while all the others are eliminated. The static DOF are selected on the nodes where forces or moments are applied or measured. For this reason, we select the nodes and their DOF that connect one structure with another one and those where the acceleration is measured during the simulation. The modal degrees of freedom characterise the dynamic properties of the structure. Hence, we selected the first 20 modes of each model. This value was sufficient to generate an accurate antenna model for the first 20 Hz in the frequency domain.

The three reduced models designed in ANSYS have been subsequently exported to MSC/ADAMS. ADAMS is a simulation software that allows the calculation of kinematic and dynamic analyses for multi-body mechanical systems. In the general case the components are modelled as rigid bodies. This means that the shapes of the components remain undeformed when a force is applied. Joints and other couplers can be added in order to connect the different components. In a kinematic analysis the motion respectively the velocity or the acceleration of a component are specified and the related forces and moments are calculated. For the dynamic analysis the forces and the moments are specified and the resulting displacements are calculated. Beside rigid bodies, also flexible bodies can be imported into ADAMS. The deformation of these structures are simulated as a linear superposition of their mode shapes.

In Figure 1 the assembled three main antenna structures are illustrated in ADAMS. The building on which the antenna is fixed is drawn in blue. The yoke shown in green is connected with one revolute joint to the building and two revolute joints to the reflector structure in red. Revolute joints are point bearings that allow free rotations of one component to another.

The model in Figure 1 represents the hybrid multi-body simulation model in MSC/ADAMS. Hybrid means in this case that the model combines the finite elements with the multi-body dynamics. In the general case the finite elements are used to calculate small antenna deformations around the state of equilibrium and the multi-body dynamics usually computes large movements of rigid bodies. In this model the advantages of both techniques are combined. Thus the computation of large movements of a flexible antenna structure is possible.

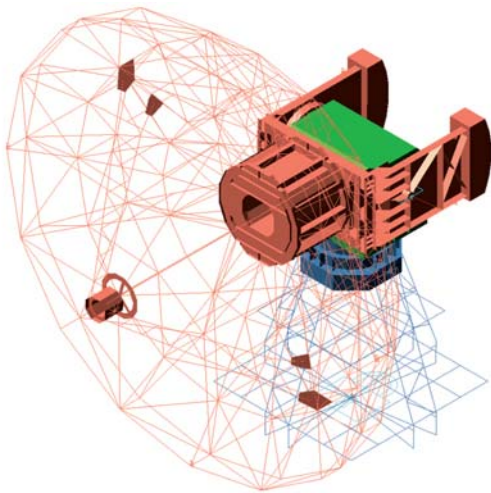


Figure 1_Assembling of the three main antenna structures in MSC/ADAMS

The hybrid model of the antenna structure is now constructed. In the next step we take a look on the electrical drive chain of the GALILEO antenna. This model was developed and designed by HITEC Luxembourg in MATLAB/SIMULINK. It includes a field oriented control of converter-fed, permanent magnet synchronous servo motors, a cycloidal speed reducer, the backlash between the pinions and the toothed wheels as well as a velocity and a position controller of the antenna.

The challenge is to combine both models to a closed loop controlled hybrid model of a GALILEO ground antenna.

There are two ways to achieve that. On the one hand, the ADAMS model can be linearized at an arbitrary antenna position and for an initial velocity. This linearization is a good approximation of the antenna dynamic behaviour for the selected state. If the antenna changes its position or velocity, this results in a deviation between the linearization and the real behaviour. The deviations are also a measure of the nonlinearity included in the model. On the other hand, it is possible to do a co-simulation where ADAMS and SIMULINK are running simultaneously and exchanging data. In this mode ADAMS calculates the antenna position, velocity and acceleration and sends this data to SIMULINK. In contrast, SIMULINK computes from this data the applied torque on both antenna axes provided by the servomotors to achieve the requested position. This new torque values are sent back to ADAMS, which calculates subsequently the next antenna position. The co-simulation has a significant expense in computational load and memory usage but provides the most accurate results. For this reason we use the results of the co-simulation for the comparison with the measurements.

Measuring the dynamic characteristics of a GALILEO ground antenna

In this section we have a look on the measuring method used to determine the dynamic characteristics of the antenna. During the preparation phase we used an ANSYS model to determine the optimal positions of the accelerometers. Thus we were able to measure all the relevant modes of the structure. The upper limit for the natural frequencies was set to 20 Hz. Above this limit the number of modes is growing rapidly since the reflector beams vibrate at this frequency. In addition, the modes included in the first 20 Hz are sufficient to validate the simulation model.

During the test a sine sweep signal is generated by the DAQ (Figure 2). This signal is sent as a velocity set point into the drive that controls the servo motors. While the motors rotate, the antenna structure is excited. The resulting accelerations on the antenna are measured by the accelerometers. Thus the natural frequencies and mode shapes of the structure as well as the torque, the current and the velocity of the motors provided by the drive were measured.

The measuring system is divided into two domains, the actuators and the measuring side. On the actuator side we find all the components necessary to drive and thus to excite the antenna. On the measuring side all the incoming signals are recorded by the data acquisition system PXI. The notebook monitors and manages the whole system. Additionally, it was used for the investigation of the measured signals.

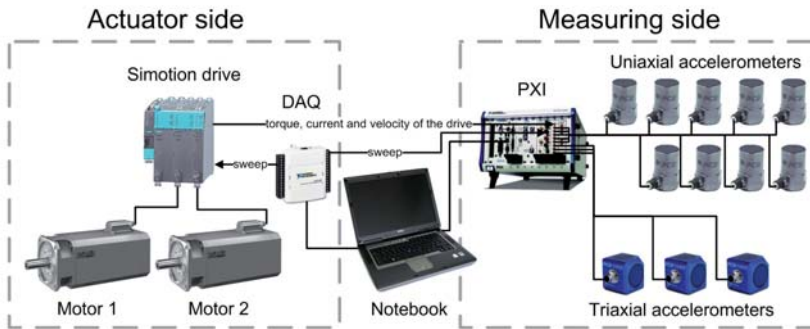


Figure 2_Measuring system used for the the GALILEO ground antenna.

All the accelerometers shown in Figure 2 are attached to the antenna structure. For the sake of completeness, we present in Figure 3 an illustration that shows the position of the accelerometers on the GALILEO antenna. However, some sensors are covered by the antenna and are not visible in the picture.

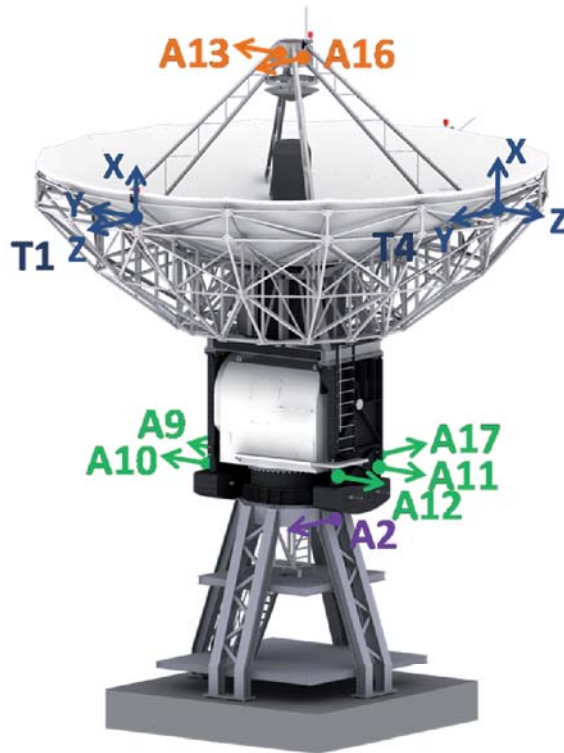


Figure 3_Position of the accelerometers mounted on the GALILEO antenna

The GALILEO ground antenna has three servo motors per axis. For the dynamic tests only two motors were active while the third stayed in stand-by and provided no force. During a test only one axis was driven while the second remained in its initial position. However, both axes were measured in various tests. Additionally, the starting position of the antenna was changed several times in order to determine their effects on the measured signals. In this article we present the results for an azimuth rotation while the reflector moved in a horizontal plane Figure 1.

The sine sweep signal shown in Figure 4 is used to excite the antenna. It starts at 0,3 Hz and rises up linearly to 20

Hz. The duration of the signal was 394 s with a sweep rate of 0,05 Hz/s. In addition, we added a constant offset to the sweep signal. As a result the motors rotated only in one direction with superimposed periodic acceleration and deceleration phases. Thus the antenna structure is continuously moving in the same direction.

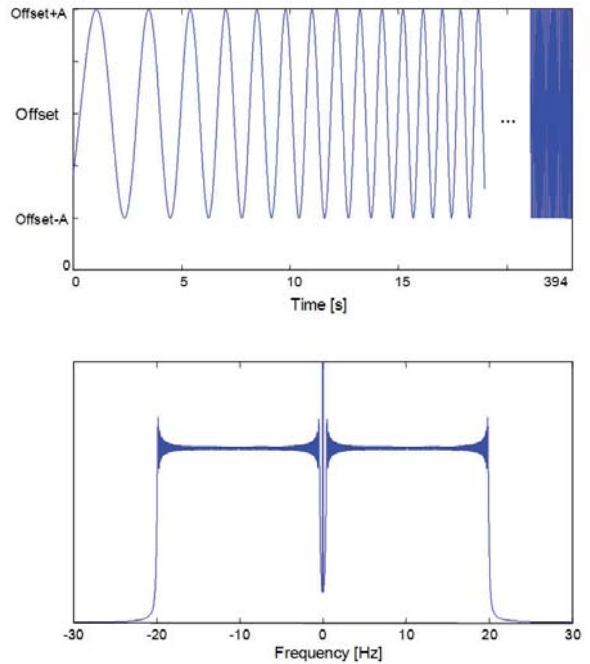


Figure 4_The sine sweep signal

In Figure 5 the measured torque on the axis for an azimuth rotation is depicted. Additionally the spectrum of the torque is presented in the second diagram. In the time signal two resonances are observed at the frequencies 2,5 Hz and 3,5 Hz. In addition, the spectrum shows a third resonance at 4,43 Hz and two additional anti-resonances at 3,14 Hz and 4,12 Hz, which could not be seen in the time domain.

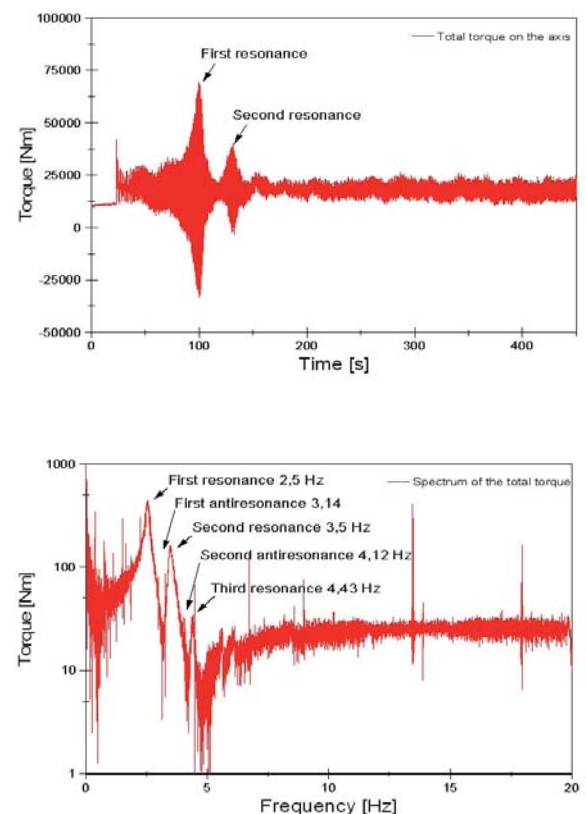


Figure 5_Measured torque and spectrum for an azimuth rotation

For the simulation results in Figure 6 we find a first resonance at 2,72 Hz while the second is at 4,31 Hz. The third and fourth resonances at 10,08 Hz and 14 Hz do not match with the measurement. At this point it is not possible to explain this discrepancy. The measured and simulated first resonance frequencies have approximately the same value. Another correlation can be found between the second simulated and the third measured resonance frequencies.

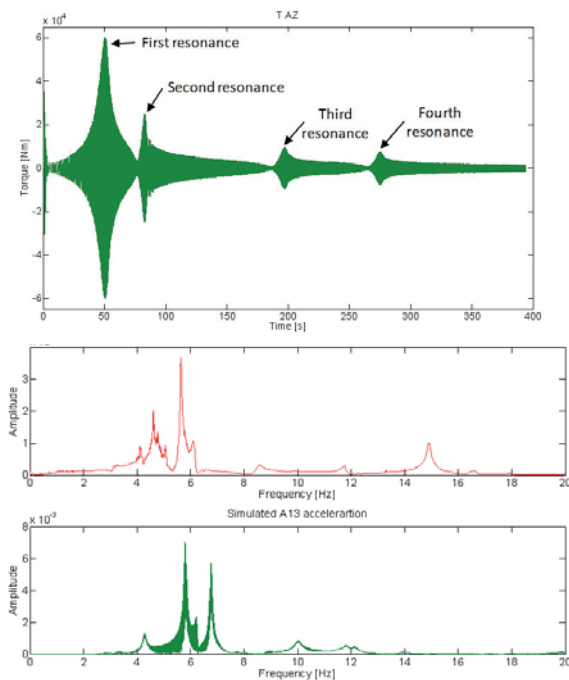
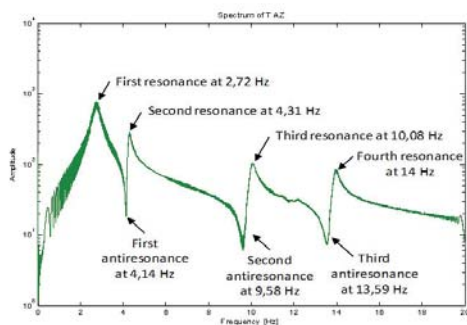


Figure 6_Simulated torque and spectrum for an azimuth rotation

In Figure 7 the measured and simulated frequency on the accelerometer A13 are compared. The two diagrams show approximately the same resonances. In detail, there are some shift between the measured and the simulated frequencies.



Figure_7 Measured and simulated acceleration for the accelerometer A13

Conclusions

The goal of the project was to design with the use of the simulation packages ANSYS, ADAMS and SIMULINK a physically correct model of an antenna, including the mechanical structure and the drive chain characteristics. This model can be used to study the antenna behaviour for different load cases. That avoids the build-up of expensive and complex prototypes.

Finally, the presented measurement and simulation results show the same size order in spite of few shifts. In order to improve the prediction accuracy of future models the differences must be investigated more in details. Anyway the current knowledge allows optimizing the design of the coming antenna systems.

Laurent Breyer, Prof. Dr. Jean-Régis Hadji Minaglou,
Prof. Dr. Stefan Maas, Prof. Dr. Arno Zürbes



uni.lu
UNIVERSITÉ DU
LUXEMBOURG

Prima Aussichten!

**Du interessierst Dich für Technik?
Du willst wissen, wie die Dinge
wirklich laufen? Dann solltest Du
Ingenieurwissenschaften studieren.**

**Ob Hochhaus oder Handy, ob Windkraft
oder Windkanal:
Hinter jeder Innovation stehen
Ingenieure - und wir bilden sie aus.**

Wir bieten:

- zwei Bachelor-Studiengänge
- anschließende Master-Studiengänge
- ein flexibles Studienprogramm
- eine internationale Ausbildung
- individuelle Betreuung
- Industriekontakte
- ein Umfeld mit exzellenten Jobaussichten

Interessiert? Mehr Infos per Mail an
ingenieur@uni.lu

Universität Luxemburg - my University!

www.uni.lu

Tel. +352 46 66 44 - 6617/6222

Kyoto, climate change, greenhouse gases (GHG), sustainability, environmental friendly, cleantech, or eco-technologies are all buzz-words which are often used in the daily press.

NEW WAYS TO GREEN PATENTS_

Dipl. Ing. Sigrid Kohll, Dr. Serge Quazzotti

EU governments fixed the EU climate and energy package, also cited as the 20-20-20 plan, with the following targets to be met by 2020:

_20% reduction in EU greenhouse gas emissions below 1990 levels

_20% increase in use of renewable energy

_20% reduction in energy consumption through improved energy efficiency

New solutions are requested to reach these targets through the development and improvement of environmental friendly technologies.

How can you get information about new emerging environmental technologies? About 80 percent of technical knowhow is published in patent applications describing the state-of-the art and providing precious information about the R&D orientations of competitors or potential partners.

Patent filing activity in this field is steadily growing. As an example, the European Patent Office (EPO) received 1259 renewable energy patent applications in 2009, a 27% increase compared to 2008. To facilitate the work of patent examiners during the patent examination process, patent classifications were introduced many years ago, with the goal to regroup patent applications according to the claimed inventions. With an increase in the number of patent applications and evolution of technologies, there is a need for reclassification of patents or even the definition of new patent classes.

Despite this work, patent applications in the emerging field of clean energy have a specific particularity: they are difficult to classify and are spread over many patent classes. Similar inventions are difficult to identify for state-of-the-art searches. This difficulty leads to the introduction of a new European patent classification code: Y02. The patent code Y02, introduced in June 2010, stands for new innovative technologies for greenhouse gases capture, storage, disposal, emission reductions.

But first, a brief overview of the European Patent Classification System (ECLA): The European Patent Classification Sys-

tem is based on the International Patent Classification System (IPC), composed of eight main sections, labeled A-H:

A = Human necessities

B = Performing operations; transport

C = Chemistry; metallurgy

D = Textiles; paper

E = Fixed constructions

F = Mechanical engineering; lighting; heating; weapons; blasting engines or pumps

G = Physics

H = Electricity

These sections are further subdivided into about 138.000 classification codes for the ECLA, compared to "only" 70.000 for the IPC. At the European Patent office, over 70 million patent files are classified according to the ECLA system.

For the moment the ECLA is the only patent classification system with a specific code for clean energy technologies:

Y02 = Technologies or applications for mitigation or adaptation against climate change

Two subsections are currently available:

Y02C = Capture, storage, sequestration or disposal of greenhouse gases [GHG]

Y02E = Reduction of greenhouse gases [GHG] emission, related to energy generation, transmission or distribution

Further sub-classes are existing as demonstrated e.g. for Y02E:

Y02E10/00 Energy generation through renewable energy sources (Geothermal, hydro, oceanic, solar PV, solar thermal, wind)

Y02E20/00 Combustion technologies with mitigation potential

Y02E30/00 Energy generation of nuclear origin (Fusion and fission)

Y02E40/00 Technologies for efficient electrical power generation, transmission or distribution

Y02E50/00 Technologies for the production of fuel of non-fossil origin (Biofuels, from waste)

Y02E60/00 Technologies with potential or indirect contribution to GHG emissions mitigation (Energy storage such as batteries, ultracapacitors, flywheels...; hydrogen technology; fuel cells; etc.)

Y02E70/00 Other energy conversion or management systems reducing GHG emissions (Synergies among renewable energies, fuel cells and energy storage)

Over 500.000 patent documents have already been reclassified into Y02-class and can be searched in the European Patent databases on esp@cenet using this classification code (see further below in this article).

As an example of the types of data that can be extracted from patent databases, the following chart shows the number of renewable energy patent applications published from 2005 to 2009 for Europe, Germany and France.

Where can I get access to patent applications or granted patents? How much does this cost?

esp@cenet

The European Patent Office maintains the esp@cenet patent information platform, which provides access to 3 different databases for free:

- 1) EP – complete collection including full text of European published applications
- 2) Worldwide – full collection of published patent applications from more than 80 countries (note: over 70 million patent documents)
- 3) WIPO – complete collection including full text of PCT published applications (note: PCT means international patent applications)

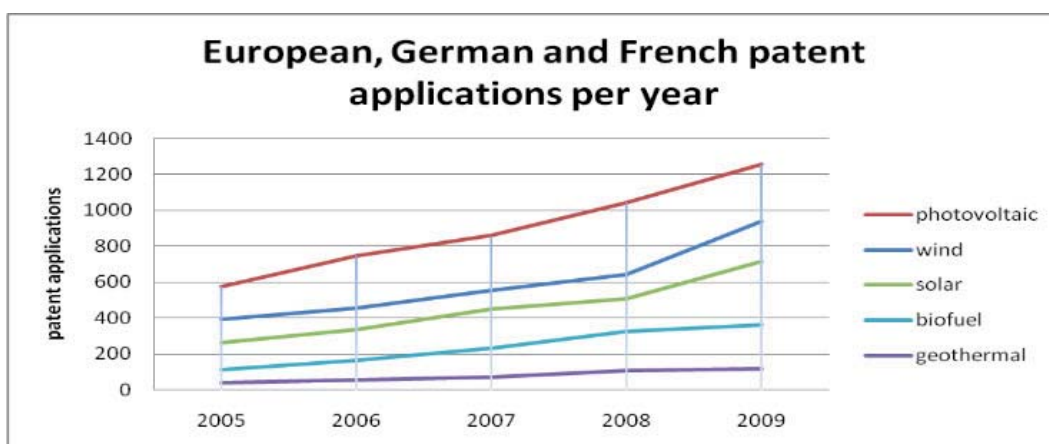


Figure 1_Evolution of patent application filing in renewable energy sectors; analysis performed by the Centre de Veille Technologique & Normative (CVT), a department of CRP Henri Tudor

Most of the patents are filed in photovoltaic technologies, followed by wind energy and solar thermal. Patent applications filed in biofuel and geothermal technologies do not show a significant increase.

Direct access to the databases as well as to online help and e-learning assistance for novice users is available on ep.espacenet.com.

Before starting to perform searches in the databases, it is advisable to familiarize with patent searching techniques, for which the following guidelines provide a very good in-

introduction into the topic, based on concrete examples and step by step explanations:

_An introduction to the database of ideas (English, French, German), www.espacenet.com/getstarted/espacenet_brochure_en.pdf

_Searching using classifications (English, French, German), www.espacenet.com/getstarted/classification_search_en.pdf

_Clean energy and patents (English language only), www.espacenet.com/getstarted/y02_classification_search_en.pdf

Skilled persons can also directly make use of the advanced search interface, see figure 2 below:

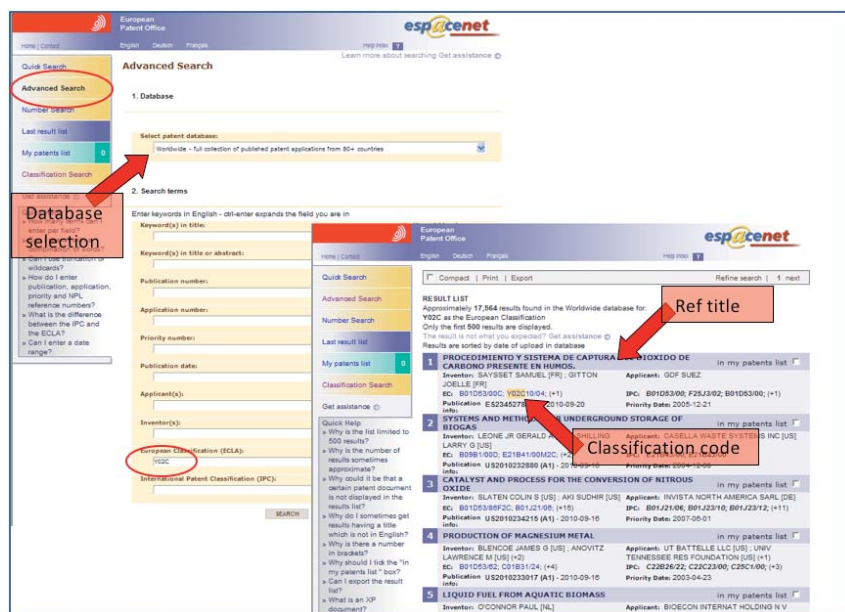


Figure 2_esp@cent advanced search interface

As an example, a search for ECLA code Y02C provided over 17.000 results (search made on September 20, 2010).

By clicking on the reference title, the bibliographic patent file reference and in many cases the full text patent document can be accessed. A hyperlink to the ECLA database provides a reference to the respective classification text.

PATENTSCOPE®

Another way to get access to patent references is made available by WIPO, the World Intellectual Property Organization.

WIPO provides free of charge access to patent databases, for example the PATENTSCOPE® database, where over 1,7 million international patent applications can be searched: www.wipo.int/pctdb/en/

Three very useful WIPO publications describe how to search and exploit patent information available at www.wipo.int/patentscope/en/publications/:

- 1) Access to the World of Technology
- 2) Finding Technology using Patents
- 3) WIPO guide to using Patent Information

It is important to note that the new ECLA code Y02 does not exist in the International Patent Classification and cannot be searched in the PATENTSCOPE® database. ECLA is the European Patent Office specific patent classification system and more detailed than the IPC.

Help is provided by WIPO with the "IPC Green Inventory" in order to facilitate searches for patent information relating to so-called Environmentally Sound Technologies: <http://www.wipo.int/classifications/ipc/en/est/index.html>

To search for clean energy patents in the PATENTSCOPE® database, either keywords or a combination of keywords and existing patent classes may be used. For alternative energy sectors several search requests are predefined. These may be of a certain complexity as exemplified in the subsequent example for 'fuel cells':

((IC/H01M-4/00 OR IC/H01M-4/86 OR IC/H01M-4/88 OR IC/H01M-4/90) AND ("fuel cell*" OR "fuel battery*" OR (fuel NEAR:1 (cell* OR batter*)))) OR (IC/H01M-8/00->H01M-8/24)

Professional patent search services

The different publicly and freely available patent information platforms are a valuable resource for engineers and scientists for including patents into their daily work.

However, for more complex tasks requesting a high level of accuracy and exhaustiveness, it is advisable to seek for professional assistance. Information specialists have many years of experience in patent searching and analysis. They usually have additional professional tools at their disposal, specially adapted to deliver competitive and technological intelligence reports of high value.

Centre de Veille Technologique & Normative (CVT), a joint initiative of Office de la Propriété Intellectuelle du Ministère de l'Economie et du Commerce extérieur et du Centre de Recherche Public Henri Tudor, www.veille.lu

Dipl. Ing. Sigrid Kohll, Dr. Serge Quazzotti

References:

- 1) Esp@cent platform, EPO - European Patent office, ep.espacenet.com
- 2) An introduction to the database of ideas, EPO publication, www.espacenet.com/getstarted/espacenet_brochure_en.pdf
- 3) Searching using classifications, EPO publication, www.espacenet.com/getstarted/classification_search_en.pdf
- 4) Clean energy and patents, EPO publication, www.espacenet.com/getstarted/y02_classification_search_en.pdf
- 5) PatentSCOPE platform, WIPO - World Intellectual Property Organization, www.wipo.int/patentscope/en/
- 6) Access to the World of Technology, WIPO publication, www.wipo.int/export/sites/www/freepublications/en/patents/434/wipo_pub_1434_01.pdf
- 7) Finding Technology using Patents, WIPO publication, www.wipo.int/export/sites/www/freepublications/en/patents/434/wipo_pub_1434_02.pdf
- 8) WIPO Guide to using Patent Information, WIPO publication, www.wipo.int/export/sites/www/freepublications/en/patents/434/wipo_pub_1434_03.pdf
- 9) WIPO - IPC Green Inventory, www.wipo.int/classifications/ipc/en/est/

CAHIER SCIENTIFIQUE REVUE TECHNIQUE LUXEMBOURGEOISE

www.revue-technique.lu

La Revue Technique Luxembourgeoise et le site Internet offrent aux Partenaires de la Revue Technique de l'Association des Ingénieurs, Architectes et Industriels la possibilité de faire connaître leurs produits ou d'informer de cette manière sur la structure de leur entreprise et de toucher un public ciblé de plus de 4000 lecteurs intéressés.

Le cahier scientifique, a pour mission de promouvoir le développement de la recherche et de la culture scientifique, en contribuant à la diffusion et à la valorisation des connaissances et des méthodes scientifiques en vue de soutenir un dialogue entre la science et la société.

Le cahier scientifique est publié 2 fois par an par la rédaction de la Revue Technique. C'est un instrument professionnel pour scientifiques, techniciens, étudiants et intéressés professionnels dans le domaine de l'ingénierie, de la technologie, de la recherche, des énergies renouvelables et de l'industrie.

Des articles sur des recherches approfondies par nos collaborateurs des instituts des partenaires ou industriels sont publiés dans chaque exemplaire des cahiers scientifiques. Les articles sont soumis à un comité d'experts dans le domaine concerné.

Nous sommes heureux d'offrir aux jeunes scientifiques une plate-forme pour présenter leurs travaux au public:

ABONNEMENT 2011

Revue Technique + Cahier Scientifique 70,00 € TTC

Revue Technique Cahier Scientifique	4 ex. par an 2 ex. par an
Coordonnées	
Nom	
Prénom	
Adresse	
Lieu	
Email	
Date Signature	

Dates de parution:

No. 1 = mars No. 2 = juin No. 3 = septembre No. 4 = décembre

Toujours à la fin du mois, délais de presse toujours la 1ère semaine du mois de la parution

Pour toutes informations; partenariats, annonces publicitaires, publications d'articles

Mme. Sonja Reichert

Responsable Revue Technique

2 rue Gibraltar

L - 1624 Luxembourg

T : 26 11 46 42, F : 26 11 46 58, E : revue@aliai.lu, www.revue-technique.lu

Research Opportunities in Luxembourg. See what's behind it.

CORE

EXCELLENCE PROGRAMME IN RESEARCH TO MEET
LUXEMBOURG'S FUTURE SOCIO-ECONOMIC CHALLENGES

Shaping Luxembourg's national research priorities is a main activity for the National Research Fund (FNR). The CORE programme is the result of a widely consultative exercise identifying Luxembourg's future socio-economic challenges. CORE's prime objective is thus to foster scientific quality of public research by funding projects in the following domains: Innovation in Services, Intelligent Materials and Surfaces, Biomedical Science, Sustainable Resource Management, Identities, Diversity and Integration or Labour Market, Educational Requirements and Social Protection.

INTER

PROMOTION OF INTERNATIONAL COOPERATION

Increasing the visibility and competitiveness of Luxembourg research in other countries is a core objective for the National Research Fund (FNR). The INTER programme aims at promoting and facilitating international scientific collaboration, creating synergies between research centres within and outside Luxembourg and achieving critical mass. In a more globalised world, INTER helps to find solutions for environmental, socio-economic and public-health issues that transcend national borders.

PEARL

LUXEMBOURG'S RESEARCH PROGRAMME FOR
INTERNATIONALLY RECOGNISED SENIOR RESEARCHERS

Heightening Luxembourg's competitiveness as a considerable research location is crucial to the National Research Fund's (FNR) funding policy. With PEARL, the FNR offers institutions a flexible and highly attractive tool to attract established and internationally acknowledged senior researchers in strategically important research domains. The recruitment of excellent PEARL grantees contributes to increasing the quality of Luxembourg's research environment through creating a kernel for building critical mass.

ATTRACT

LUXEMBOURG'S RESEARCH PROGRAMME FOR OUTSTANDING
YOUNG RESEARCHERS FROM ALL OVER THE WORLD

Attracting excellent young R&D actors to Luxembourg is a strategically important objective of the National Research Fund (FNR). The ATTRACT programme helps outstanding researchers from all over the world to set up an independent research team within a public-sector research institution in Luxembourg. Innovation, dynamism and creativity of the submitted project as well as its high scientific quality should enhance Luxembourg's position in the international world of R&D.

AFR **AIDES À LA FORMATION-RECHERCHE**

LUXEMBOURG'S GRANT SCHEME FOR PHDS AND POST DOCS

Supporting researchers in their doctoral and postdoctoral training in Luxembourg and abroad is of central interest for the National Research Fund (FNR). Through the AFR Funding Scheme (Aides à la Formation-Recherche), the FNR contributes to the improvement of the researchers' training conditions and enhances their career development. The AFR scheme promotes work contracts between AFR beneficiaries and their host institutions (public and private sector) as well as public-private partnerships. AFR contributes to the development of human resources in Luxembourg research, translated in the long term by an increased number of qualified researchers pursuing a research career beyond their period of AFR funding.

AM **ACCOMPANYING MEASURES**

SUPPORT AND PROMOTION OF RESEARCH-RELATED ACTIVITIES

Strengthening the general conditions for scientific research in Luxembourg is a major strategic objective for the National Research Fund (FNR). The Accompanying Measures (AM) support the promotion of scientific culture as well as training and mobility of researchers on an international and national level. They co-finance the organisation of scientific conferences held in Luxembourg and fund scientific publications as well as national research coordination initiatives or international collaborations. Several AM actions are designed for a larger public, aiming to consolidate the link between R&D players or institutions and Luxembourg's citizens.

More information about the funding opportunities offered by the National Research Fund Luxembourg can be found on the FNR's websites.
Go and see what's behind on www.fnr.lu and www.afr.lu

 Fonds National de la
Recherche Luxembourg

INVESTIGATING FUTURE CHALLENGES