



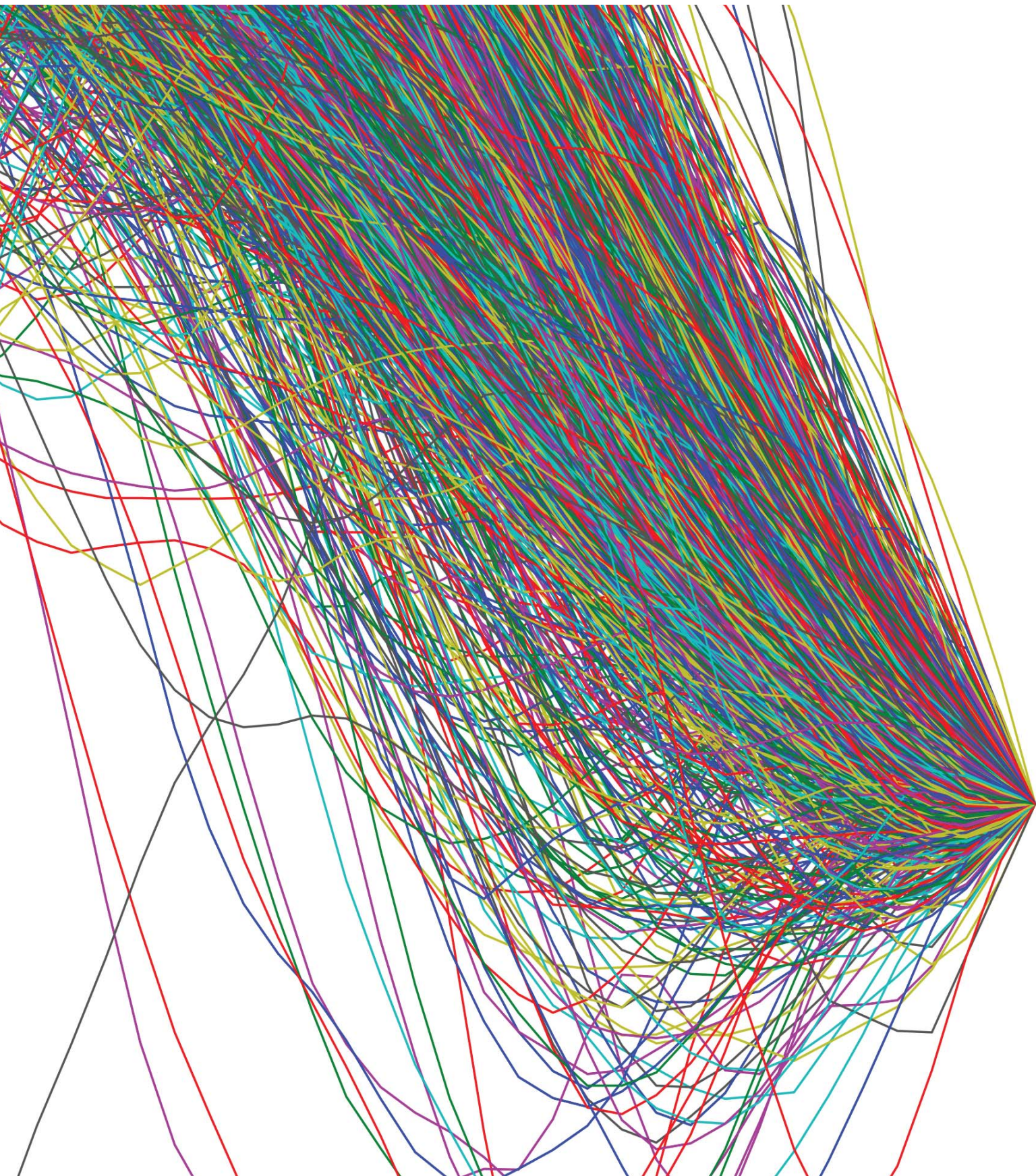
FONDATION
DE LUXEMBOURG



FONDATION
ENOVOS

sous l'égide
de la Fondation de
Luxembourg

PRIX EXCELLENCE 2012





Chères lectrices, chers lecteurs,

Les thèmes de l'énergie, de la production de l'énergie et d'un approvisionnement fiable en énergie jouent un rôle de plus en plus prépondérant dans notre société. La Fondation Enovos, créée en 2010, tient compte de cette évolution et apporte une contribution importante et active en tenant compte des aspects économiques, écologiques et sociaux. Elle reflète le leitmotiv d'Enovos d'agir de façon responsable envers les générations présentes et futures, et ceci bien au-delà de son métier de base de fournisseur d'énergie.

En tant que lecteurs avertis de ce 9^{ème} hors-série de la Revue Technique, je n'ai nullement besoin de vous expliquer le facteur déterminant de l'expertise de l'ingénieur pour la croissance de nos entreprises et industries. Or, force est de constater que de moins en moins de jeunes sont attirés par une carrière d'ingénieur certes difficile mais qui, tout en donnant beaucoup de satisfaction personnelle, est riche en possibilités et pleine de belles perspectives dans ce monde globalisé. C'est la raison pour laquelle toute initiative visant à encourager ces métiers d'ingénieur est un message important à l'adresse du public et surtout des jeunes en voie de se décider pour une profession.

Dans ma double fonction de président de la Fondation Enovos et de l'ALIAI, j'ai donc été plus que content de contribuer à la naissance du «Prix d'excellence» de la Fondation Enovos. Cette initiative, qui a pour but de valoriser les études et carrières professionnelles de l'ingénieur, s'inscrit dans la lignée de l'engagement de la Fondation Enovos en faveur du progrès des sciences et des nouvelles technologies permettant d'améliorer la qualité de vie de manière durable. Ensemble avec ses partenaires l'ALI (Association Luxembourgeoise des Ingénieurs a.s.b.l.) et l'ANEIL (Association Nationale des Etudiants Ingénieurs Luxembourgeois a.s.b.l.), la Fondation Enovos récompense ainsi chaque année les meilleurs travaux de Master de jeunes ingénieurs avec un prix doté de 2.500 € par lauréat. Cette année, la cérémonie de remise des prix a lieu le 14 novembre au cours de la Foire de l'Etudiant, placée sous le signe des métiers de «l'architecture, ingénierie, construction». Lors de la première édition du «Prix d'excellence» en 2012, six jeunes ingénieurs se sont vus récompensés pour l'excellence et la thématique innovante de leur travail de fin d'études.

Dans cette édition spéciale qui leur est entièrement dédiée, vous pourrez juger par vous-même de l'excellence et de l'intérêt de ces travaux. Bonne lecture à tous!

Marc Solvi
Président de la Fondation Enovos



PRÉFACE_

La première édition du «Prix d'excellence» émis par la fondation Enovos, sous l'égide de la Fondation de Luxembourg et en collaboration avec l'Association Luxembourgeoise des Ingénieurs (ALI) ainsi que l'Association Nationale des Etudiants Ingénieurs Luxembourgeois (ANEIL) fut un grand succès.

Une des raisons principales de ce prix est de mettre à nouveau en évidence le «métier d'ingénieur» au début du 21ème siècle.

En tant qu'ancienne importante nation industrielle, le Luxembourg a aujourd'hui besoin de promouvoir la formation de l'ingénieur. En effet, la désindustrialisation de ces dernières décennies a rendu l'ingénieur moins visible dans notre société.

De nos jours, on constate que cette désindustrialisation a rendu le marché du travail de notre pays plus vulnérable. L'industrie, créatrice de nombreux et de divers genres d'emplois a besoin d'ingénieurs pour encadrer et assurer la production ainsi que la gestion de l'entreprise.

Les jeunes faisant le choix de leurs études futures connaissent peu les possibilités que le métier de l'ingénieur offre et ne prennent souvent pas en compte cette formation. Le «Prix d'excellence», qui a pour but de valoriser les études et carrières professionnelles de l'ingénieur,

donne la possibilité de présenter les aspects très variés de la formation et des tâches dans le monde du travail de l'ingénieur.

Les travaux de fin d'études présentés lors de cette session représentent et visualisent une partie de la panoplie des domaines d'activités de l'ingénieur. La diversité est très grande. Ceci va de la simulation entièrement réalisée sur ordinateur jusqu'au candidat dont une partie du travail de fin d'études se passe dans la nature et qui est exposé aux intempéries, de l'ingénieur classique comme l'ingénieur en mécanique ou en génie civil jusqu'au travail qui est associé à la médecine en passant par les nouvelles technologies, la biologie et les sciences de l'environnement.

En effet cette variété des travaux présentés et leur publication dans la «Revue Technique Luxembourgeoise», revue trimestrielle de l'Association des Ingénieurs, Architectes et Industriels (ALIAI), peuvent servir à présenter le métier de l'ingénieur et sa diversité dans un nouveau cadre pour faciliter et encourager l'orientation des futures étudiants.

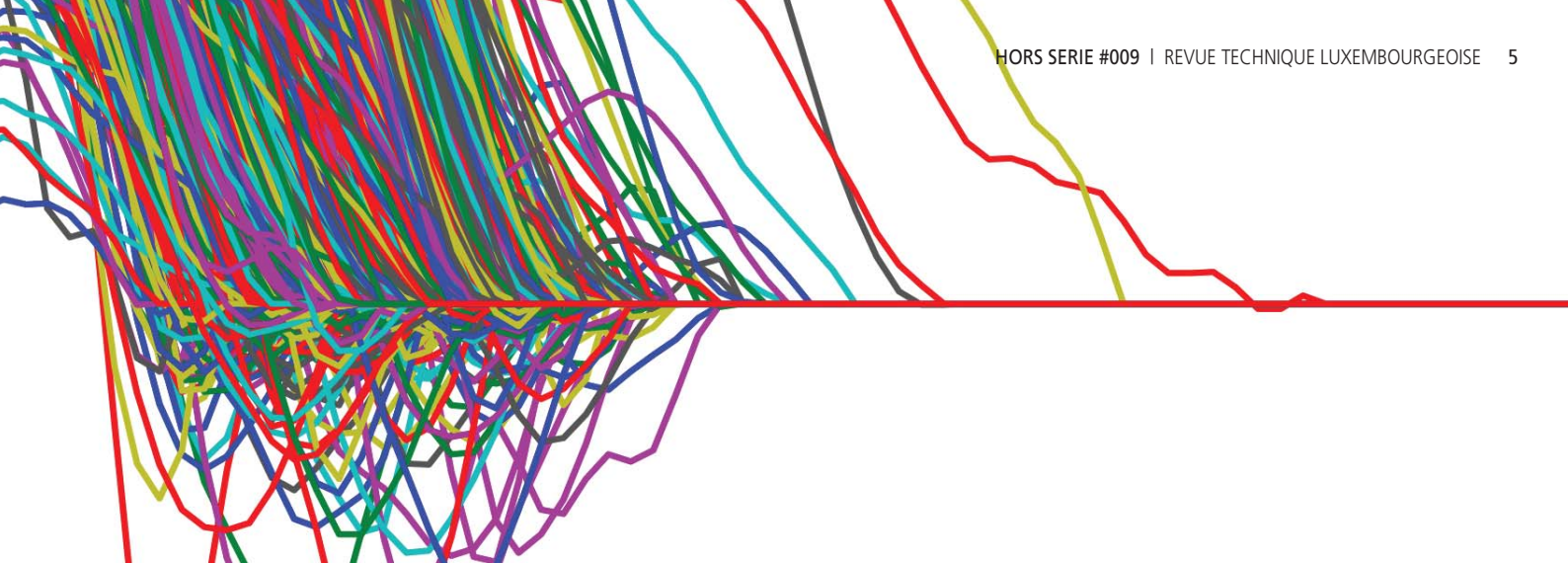
Enfin, je voudrais remercier mes collègues Mrs. Thierry Flies, Laurent Heinen, Pierre Mangers et Philippe Osch, tous membres du conseil d'administration de l'ALI pour leur engagement au sein du jury.

Michel Pundel
Président du jury



_INDEX

- 2_ PRÉFACES
Marc Solvi Président de la Fondation Enovos
Michel Pundel Président du jury
- 6_ MERKMALSEXTRAKTION MITTELS FORMSENSITIVER EKG-SIGNALAUSWERTUNG_
Marc Weydert
- 12_ NAVIGATION UND STANDORTBEZOGENE DIENSTE MIT ANDROID-SMARTPHONES_
Alexander Hoffmann
- 16_ VERWENDUNG EINES GBSAR-SENSORS AM HORNBERGL BEI REUTTE/TIROL - INSTALLATION UND MESSUNGEN_
Jean-Marc Schares
- 20_ ENERGETISCHE & ÖKOLOGISCHE BEWERTUNG VON VERFAHREN ZUR ELIMINATION ORGANISCHER SPURENSTOFFE_
Dipl.-Ing. Danièle Mousel
- 23_ KONZEPTENTWURF UND BERECHNUNG EINER GENERATORBAUGRUPPE AUS ALUMINIUM_
Patrick Lamberty
- 24_ HYDROLOGISCHE MODELLIERUNG KLEINER EINZUGSGEBIETE IM MITTELGEBIRGE_
Maud Lorang
- 28_ ON THE INFLUENCE OF HEAT LOSS ON THE PERFORMANCE OF MULTI-ANTENNA COMMUNICATION SYSTEMS_
Lionel Arend
- 30_ RING-OPENING POLYMERIZATION OF L, L-LACTIDE: MODELING STUDY OF TRANSESTERIFICATION REACTIONS_
Eric Fischer
- 32_ AUSLEGUNG DER HALTEKLAPPEN AN EINEM UNIVERSALWALZGERÜST_
Pol Philippe
- 34_ ANWENDUNG ANORGANISCH-ORGANISCHER HETEROSTRUKTUREN IN DER PHOTOVOLTAIK_
Félix Urbain
- 37_ AGENCY PROBLEMS IN THE ALLOCATION PROCESS OF THE EU ETS_
Yannick Oswald
- 38_ A REDUCED-UNIT-CELL BASED FINITE ELEMENT FOR MODELLING THE MECHANICAL RESPONSE OF GRAPHENE_
André A.R. Wilmes
- 42_ SIMULATION DER DGNB NEUBAU-ZERTIFIZIERUNG AM BEISPIEL DES EIB-GEBÄUDES HINSICHTLICH EINES BREEAM/
DGNB-VERGLEICHS UND EINER FRÜHZEITIGEN ERKENNUNG VON OPTIMIERUNGSPOTENZIALEN_
Nathalie Muller
- 44_ DIE ERSTEN REFORMVORSCHLÄGE FÜR DIE EUROPÄISCHE KOHÄSIONSPOLITIK IN DER PERIODE 2014-2020_
Chantal Hermes
- 46_ ANWENDUNG VON LEAN-PRINZIPIEN AUF BAU-PROJEKTMANAGEMENT_
Dipl. -Ing Paul Nathan



_une initiative de



FONDATION
ENOVOS

sous l'égide
de la Fondation de
Luxembourg



FONDATION
DE LUXEMBOURG



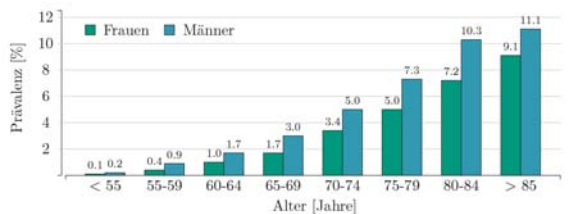
Vorhofflimmern ist eine Herzrhythmusstörung, die zu schwerwiegenden Folgeerkrankungen führen kann. Anfallartiges Vorhofflimmern verläuft meistens asymptomatisch und bleibt somit bis zum Auftreten erster Komplikationen unbehandelt. Ein neuartiges Verfahren zur Identifikation von Vorhofflimmerpatienten durch Analyse eines flimmerfreien Elektrokardiogramms kann im Rahmen eines Screening-Verfahrens eingesetzt werden, um eine frühzeitige Erkennung und Behandlung von Vorhofflimmern zu gewährleisten.

MERKMALSEXTRAKTION MITTELS FORMSENSITIVER EKG-SIGNALAUSWERTUNG_

Marc Weydert

I. Einführung

Vorhofflimmern (englisch: atrial fibrillation (AF)) ist eine anfallartige oder anhaltende Herzrhythmusstörung, bei der es in den Herzvorhöfen nicht mehr zu einer geordneten Pumpfunktion, sondern zu einer hochfrequenten Anregung durch arrhythmisch-kreisende Erregungswellen kommt. Die Krankheit gilt als die häufigste Herzrhythmusstörung in der klinischen Praxis, von der in Deutschland etwa 800.000 Menschen, also rund 1 Prozent der Bevölkerung betroffen sind.



© A. S. Go, Division of Research, Kaiser Permanente of Northern California

_1 Prävalenz von Vorhofflimmern je nach Altersgruppe

Eine medizinische Studie aus den USA zeigt, dass das Risiko an Vorhofflimmern zu erkranken stark altersabhängig ist. Während Menschen unter 50 Jahren nahezu kaum betroffen sind, verdoppelt sich später das Erkrankungsrisiko nahezu mit jeder Altersdekade, so dass bei den über 85-Jährigen im Schnitt jeder Zehnte betroffen ist (siehe Abbildung 1). Weitere Studien belegen zudem, dass jeder Vierte im Alter über 40 Jahren im weiteren Verlauf seines Lebens an Vorhofflimmern erkranken wird. Durch die sich ändernde Altersstruktur unserer Gesellschaft sowie die fortschreitende Prävalenz von Risikofaktoren wie Bluthochdruck oder Diabetes wird die Anzahl Betroffener in Zukunft stetig steigen. Experten rechnen mit einer Verdopplung der Patientenzahl in den nächsten 50 Jahren. Somit stellt Vorhofflimmern unsere Gesellschaft vor eine medizinische und nicht zuletzt ökonomische Aufgabe.

Im Gegensatz zum Kammerflimmern ist Vorhofflimmern nicht unmittelbar lebensbedrohlich. Bleibt die Rhythmusstörung jedoch unentdeckt und somit unbehandelt, so kann dies zu schwerwiegenden Folgeschäden führen, insbesondere zum Schlaganfall. Untersuchungen haben

gezeigt, dass 15 Prozent aller Schlaganfälle auf Vorhofflimmern zurückzuführen sind, dies entspricht nahezu 40.000 Schlaganfällen pro Jahr in Deutschland. Zudem erhöht Vorhofflimmern das Risiko einen Schlaganfall zu erleiden um das 2 bis 7-Fache. Kommt es zu einer frühzeitigen Diagnose von Vorhofflimmern, so kann das Schlaganfallrisiko durch Behandlung mit blutverdünnenden Medikamenten deutlich reduziert werden.

Typische Symptome von Vorhofflimmerpatienten sind ein erhöhter und unregelmäßiger Puls beziehungsweise Herzrasen oder Herzstolpern. Zudem kann es zu einer mehr oder weniger stark ausgeprägten Einschränkung der körperlichen Belastbarkeit kommen oder der Patient empfindet ein Gefühl der inneren Unruhe. Tritt Vorhofflimmern in Kombination mit zusätzlichen Herzerkrankungen in Erscheinung, so treten in der Regel stärkere Symptome auf. Äußern sich diese Symptome jedoch nur schwach oder gar überhaupt nicht, so kommt es oft erst nach den ersten Komplikationen zur Diagnose. Insbesondere anfallartiges Vorhofflimmern verläuft in bis zu 70 Prozent asymptomatisch ohne nennenswerte Beschwerden. Experten gehen daher davon aus, dass eine hohe Anzahl Betroffener mit der Krankheit lebt, ohne davon zu wissen.

Die Diagnose von Vorhofflimmern erfolgt mittels eines Elektrokardiogramms (EKG). Sucht ein Patient mit vorhofflimmer-assoziierten Symptomen eine ärztliche Praxis auf, so wird zunächst ein kurzes Ruhe-EKG von wenigen Sekunden erstellt. Tritt die Herzrhythmusstörung während der Analysedauer nicht akut in Erscheinung, so wird zur Diagnosesicherung ein Langzeit-EKG einer Dauer von mindestens 24 Stunden angeordnet. Fällt auch hier die Diagnose negativ aus, so wird der Patient in manchen Fällen mit einem Event-Recorder ausgestattet, der Flimmerepisoden automatisch erkennt und aufzeichnet. Die Wahrscheinlichkeit einer korrekten Diagnose von symptomatischem Vorhofflimmern hängt somit von der jeweiligen Diagnosestrategie des Arztes als auch von der Auftretensfrequenz der Flimmerepisoden ab. Treten beim Patienten hingegen keine vorhofflimmer-assoziierten Symptome auf, so geht die Wahrscheinlichkeit einer frühzeitigen Diagnose von Vorhofflimmern gegen Null.

Die Therapie von Vorhofflimmerpatienten erfolgt entweder medikamentös oder durch Kardioversion. Entscheidend für den Erfolg der Behandlung ist dabei das Stadium der Krankheit. Die hohe Beanspruchung der flimmernden Vorhöfe führt langfristig zu Veränderungen des Gewebes, welche das Auftreten und Fortwähren des Vorhofflimmerns begünstigen. Somit sinken die Chancen das Vorhofflimmern dauerhaft zu beenden mit Fortschreiten der Krankheit.

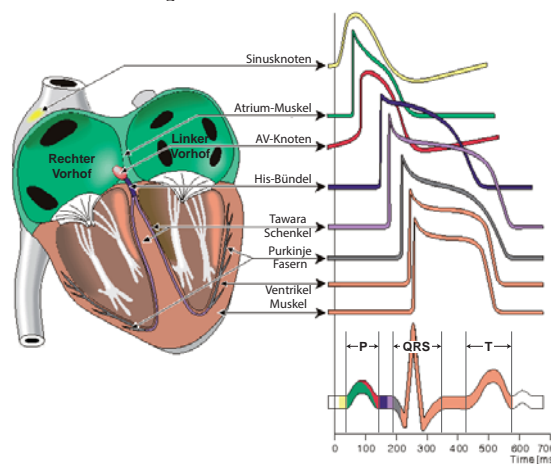
Regelmäßige Untersuchungen von Risikopatienten in einem Screening-Verfahren, welches auch bei asymptomatischem und/oder anfallartigem Vorhofflimmern eine korrekte und zuverlässige Diagnose stellen kann, würden die Chancen einer Frühdiagnose erhöhen. Damit würde sich für den Patienten einerseits eine gesteigerte Heilungsperspektive bieten, andererseits würde das Risiko von schwerwiegenden Komplikationen bei entsprechender Behandlung deutlich reduziert werden.

Am Institut für biomedizinische Technik des Karlsruher Instituts für Technologie wurde in den vergangenen Jahren im Rahmen des evidensa-Projekts ein Algorithmus zu Detektion von Vorhofflimmerpatienten entwickelt. Durch Analyse der Herzfrequenzvariabilität anhand eines 1-Kanal EKGs ist dieser in der Lage auch dann eine korrekte Diagnose zu stellen, wenn im Analysezeitraum das Vorhofflimmern nicht akut vorlag. Die Morphologie des EKGs wird dabei bisher außer Acht gelassen. Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es aus einem 1-Kanal EKG Merkmale zu extrahieren, welche sich auf die Morphologie des EKGs stützen und anhand dieser Merkmale eine möglichst zuverlässige Diagnose von anfallartigem Vorhofflimmern zu stellen.

II. Medizinische Grundlagen

Während der Kontraktion einer Herzmuskelzelle kommt es zu transmembranen Ladungsänderungen, die sich zu einem veränderlichen elektrischen Feld im menschlichen Körper aufsummieren. Die Veränderungen des elektrischen Feldes äußern sich an der Körperoberfläche als Potentialveränderungen. Das Elektrokardiogramm (EKG) stellt diese Potentialveränderungen dar, indem entsprechend empirisch festgelegten Ableitungen die Potentialdifferenzen zwischen unterschiedlichen Punkten der Körperoberfläche gebildet

werden. Somit ermöglicht es das EKG, Aufschluss über die Summe aller elektrischen Aktivitäten sämtlicher Herzmuskelzellen zu erlangen.



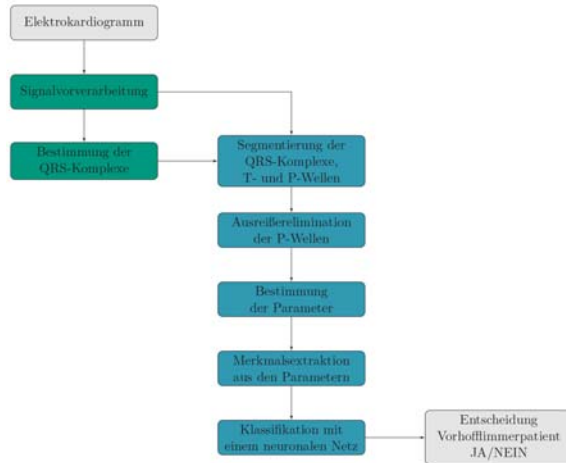
© J. Malmivuo & R. Plonsey, Bioelectromagnetism - Principles and Applications of Bioelectric and Biomagnetic Fields, Oxford University Press

_2 Einfluss der Aktionspotentiale der einzelnen Herzbereiche auf das EKG

Das typische oder normale Elektrokardiogramm eines gesunden Patienten zeigt mehrere Zacken beziehungsweise Wellen auf (siehe Abbildung 2 unten). Ausgehend von der isoelektrischen Grundlinie beginnt der Herzzyklus im EKG mit einer P-Welle. Wie aus Abbildung 2 hervorgeht, ist diese von den Aktionspotentialen am Sinusknoten, in der Vorhofarbeitsmuskulatur und am AV-Knoten abhängig und gibt somit Aufschluss über die Kontraktion der Herzmuskelzellen im linken und rechten Vorhof. Anschließend wird die Erregungsfront an das Erregungsleitungssystem und an die Arbeitsmuskulatur der Ventrikel weitergeleitet. Die Kontraktion der massereichen Ventrikel wird in drei aufeinanderfolgenden Zacken abgebildet, dem sogenannten QRS-Komplex. Aus Abbildung 2 wird deutlich, dass die Dekontraktion der Vorhöfe und die Kontraktion der Ventrikel zeitgleich ablaufen, wobei die Vorhofdekontraktion im EKG maskiert wird. Somit gibt das EKG keinen Aufschluss über die Dekontraktion der Vorhöfe. Die abschließende Dekontraktion der Ventrikelmuskulatur äußert sich im EKG in Form der T-Welle.

III. Algorithmus

Wie in Abschnitt II erläutert wurde, bildet die P-Welle die Kontraktion der Vorhöfe ab, so dass a-priori diese Welle im Gegensatz zum QRS-Komplex oder der T-Welle das größere Potenzial zur korrekten Identifikation von Vorhofflimmerpatienten bietet. Da Vorhofflimmern an sich sowie die Zusammenhänge zwischen dem Auftreten von Vorhofflimmern und dessen Abbildung im EKG noch weitestgehend Gegenstand der medizinischen beziehungsweise medizintechnischen Forschung sind, wurde im Rahmen dieser Arbeit ein stark empirisch geprägter Ansatz zur Merkmalsextraktion verfolgt.



3 Übersicht über den Ablauf des Algorithmus zur Identifikation von Vorhofflimmerpatienten mittels formsensitiver EKG-Signalauswertung

Abbildung 3 zeigt den Aufbau des Algorithmus. Im Folgenden wird näher auf die einzelnen Schritte des Algorithmus eingegangen.

A. Signalvorverarbeitung

Ausgangspunkt des Algorithmus ist das abgetastete und quantisierte EKG-Signal, welches eine zeitlich stark schwankende Nulllinie aufweist. Dieser Drift des EKG-Signals um die Nulllinie wird als baseline-wandering bezeichnet und entsteht durch Bewegungen des Patienten während der EKG-Aufzeichnung. Zur Entfernung des baseline-wandering kommt ein zweistufiges Median-Filter zum Einsatz. Das erste Filter entfernt vor allem die QRS-Komplexe, das zweite Filter die T- und P-Welle aus dem Signal. Durch Subtraktion des resultierenden Signals vom EKG-Signal erhält man das vom baseline-wandering befreite EKG-Signal, das wie jedes Signal Messrauschen aufweist. Das EKG ist zudem mit einem 50 Hz-Netzbrummen überlagert, welches mit Hilfe eines Notch-Filters (FIR) entfernt wird. Dabei entfernt das FIR-Filter auch das hochfrequente Messrauschen, so dass auf zusätzliche Tiefpassfilter verzichtet wird.

B. Detektion der QRS-Komplexe

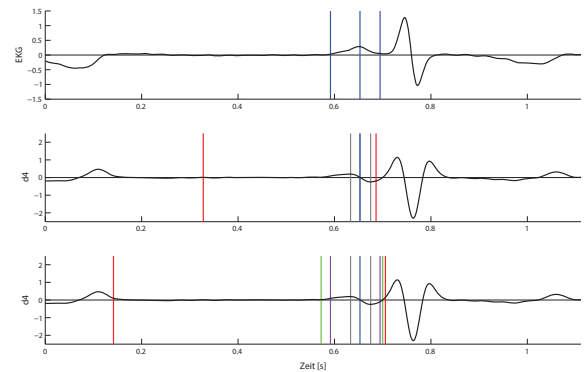
Der QRS-Detektor entspricht einer Weiterentwicklung des Detektors, der im evidensa-Projekt verwendet wurde. Ausgehend vom Notch-Filter Ausgang werden die T-Wellen im EKG-Signal unterdrückt und dieses anschließend differenziert sowie mit einem Tiefpass gefiltert. Im differenzierten Signal treten die QRS-Komplexe besonders gut in Erscheinung, da sie im Vergleich zu den Wellen die steileren Anstiege verzeichnen. Im Ersten von zwei Detektionsschritten werden lokale Maxima im differenzierten EKG-Signal gesucht. Dazu wird jeweils das Maximum innerhalb eines gleitenden Zeitfensters bestimmt. Im zweiten Detektionsschritt wird die Position jedes QRS-Komplex durch Einbeziehen des gefilterten EKG-Signals und Maximierung eines Korrelationskoeffizienten präziser bestimmt.

C. Segmentierung der P-Welle

Martinez et al. führen die Segmentierung bei 1-Kanal EKGs mit Hilfe der stationären Wavelet-Transformation mit 5 Skalenebenen sowie eines Mother-Wavelets, welches Ableitungseigenschaften aufweist, durch. Das Verfahren wurde unter anderem an der PhysioNet QT-Datenbank validiert, welche manuell durch Kardiologen annotiert wurde. Das Verfahren erzielt eine sehr hohe Sensitivität sowie eine hohe positive Prädiktivität, und die Abweichungen sind mit denen zwischen Annotationen verschiedener Kardiologen vergleichbar. Das im Rahmen dieser Arbeit verwendete Verfahren ist daher sehr stark an den Algorithmus von Martinez et al. angelehnt und unterscheidet sich lediglich in Details von diesem.

Entsprechend Martinez et al. wurde ein kubisches Spline als Glättungsfunktion gewählt, so dass die Wavelet-Transformation der Skala direkt proportional zu der Ableitung des mit der Glättungsfunktion gefilterten und mit a skalierten Signals ist. Daher entsprechen Nulldurchgänge der WT den lokalen Maxima oder Minima des auf unterschiedlichen Skalen geglätteten Signals, wogegen die Maxima der Absolutwerte der WT den maximalen Steigungen/Abfällen im gefilterten Signal entsprechen. Die Detektion der Wellen und QRS-Komplexe im EKG-Signal erfolgt entsprechend ihrer Morphologie durch Detektion der unterschiedlichen Spannungssteigungen, -minima sowie -maxima auf unterschiedlichen Skalen und zu unterschiedlichen Zeitpunkten.

Die stationäre Wavelet-Transformation wird bei der EKG-Segmentierung bis zur 5. Skala auf das EKG angewandt und liefert somit die Detailkoeffizienten d_1 bis d_5 sowie die Approximationskoeffizienten c_5 , wobei die P-Welle bei den Koeffizienten d_4 sowie d_5 sehr stark in Erscheinung tritt.



4 Detektion (Mitte) und Segmentierung (unten) der P-Welle im EKG (oben) mit Hilfe der Detailkoeffizienten d_4

Bei der Detektion der P-Welle wird der Suchbereich, in dem in den Detailkoeffizienten d_4 nach lokalen Extrema gesucht wird, ausgehend vom detektierten QRS-Komplex zu den vorherliegenden Werten hin definiert (in Abb. 4 (Mitte) rot eingetragen). Bei der Entscheidung, ob es sich bei den Extrema um signifikante Anstiege handelt, werden 3 unterschiedliche Schwellwertvergleiche durchgeführt. Anschließend werden aus den Extrema die signifikanten Anstiege durch einen Vergleich mit dem maximalen Peak ermittelt. Liegen derartige signifikante Extrema vor (in Abb. 4 (Mitte) grau eingetragen), so wird zwischen diesen nach Nulldurchgängen gesucht. Dieser Detektionszeitpunkt ist in Abbildung 4 (Mitte) blau eingezeichnet.

Der Suchbereich (in Abb. 4 (unten) rot eingetragen) für den Anfang und das Ende der P-Welle erstreckt sich nahezu vom Ende der vorherigen T-Welle bis zum Anfang des nachfolgenden QRS-Komplex. Es wird nun nach möglichst ausgeprägten Peaks unterschiedlichen Vorzeichens links und rechts vom Detektionszeitpunkt gesucht (in Abb. 4

(unten) grau eingetragen). Anschließend werden zwei unterschiedliche Kriterien angewandt um Kandidaten für den Segmentierungszeitpunkt angewandt. Aus diesen wird derjenige als Segmentierungszeitpunkt zurückbehalten, welcher möglichst nah am Detektionszeitpunkt liegt. In Abbildung 4 (unten) sind die Kandidaten des ersten Kriteriums lila und die des zweiten Kriteriums grün eingetragen. Die abschließend zurückbehaltenen Zeitpunkte für die Detektion und Segmentierung sind in Abbildung 4 (oben) blau im EKG eingetragen.

Durch Anwendung vergleichbarer Suchkriterien lassen sich aus den Detailkoeffizienten ebenfalls die Detektions- und Segmentierungszeitpunkte des QRS-Komplexes sowie der T-Welle bestimmen.

D. Ausreißerelimination

Auf Grund von Bewegungsartefakten im EKG kann sich die Morphologie der P-Welle stark von dem typischen Wellenverlauf unterscheiden. Zudem kann es bei der Detektion oder Segmentierung auch ohne Artefakte zu Fehlern kommen. Eine robuste Wellensegmentierung umfasst somit auch einen Ansatz, diese Fehldetektionen zu erkennen und zu beseitigen. Die Ausreißerelimination erfolgt an Hand von 2 vergleichsweise primitiven Kriterien, welche nacheinander auf die P-Wellen angewandt werden.

Das erste Kriterium filtert Ausreißer ausschließlich bezüglich der Abweichung der Wellenlänge. Sämtliche Wellen, deren zeitliche Dauer größer als ein Schwellwert ist, werden verworfen. Das Kriterium wurde relativ schwach gestaltet, so dass nur Wellen mit einer starken Längenabweichung verworfen werden.

Das zweite, mächtigere Kriterium betrifft ausschließlich die Morphologie der Welle. Diese werden bei einer zunächst durch Interpolation auf 64 Abtastwerte normiert. Zusätzlich werden alle Wellen auf die jeweils nachfolgende R-Zacke normiert. Weiterhin werden die normierten Segmente in Sätze gleichen Umfangs unterteilt und die Morphologie der Wellen wird innerhalb dieser Sätze untereinander verglichen. Dazu wird ein Toleranzband definiert, innerhalb dessen die Welle liegen muss. Wird das Toleranzband für mehr als 6 Abtastwerte verletzt, so wird die Welle als Ausreißer markiert und fließt nicht in die weiteren Analysen ein.

E. Extraktion der Parameter aus den P-Wellen

Aus den als ausreißerfrei angenommenen P-Wellen wird im Folgenden eine Vielzahl an Parametern extrahiert. Da bei der Merkmalsuche ein stark empirisch geprägtes Vorgehen verfolgt wird, ergibt sich eine relativ hohe Anzahl Parameter, welche mit hoher Wahrscheinlichkeit Redundanzen aufweisen. Diese Redundanzen werden, nach der sich anschließenden Merkmalsbestimmung, durch eine im Rahmen der Validierung durchgeführten Merkmalsauswahl wieder bestmöglich beseitigt.

Wird bei der Parameterbestimmung je ein Wert pro Welle beziehungsweise Herzschlag extrahiert, so werden diese Parameter als Parameter-Zeitreihe über den Wellenindex i interpretiert, da jeder Wellenindex als ein Abtastpunkt betrachtet werden kann. Neben diesen Parameter-Zeitreihen werden jedoch auch Parameter ermittelt, welche sich nicht unmittelbar einem Zeitwert zuordnen lassen.

Es werden zwei unterschiedlich normierte Wellensätze verwendet. Einerseits werden die lediglich auf die nachfolgende R-Zacke spannungsnormierten Wellen P_i analysiert, welche keine Zeitnormierung aufweisen. Zusätzlich wird der Großteil der Parameter aus den zeit- und spannungsnormierten Wellen $P_{N,i}$ bestimmt. Diese Wellen wurden auf $N = 64$ Abtastwerte interpoliert und nach Normierung

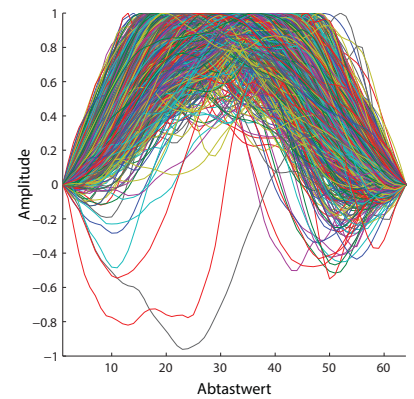
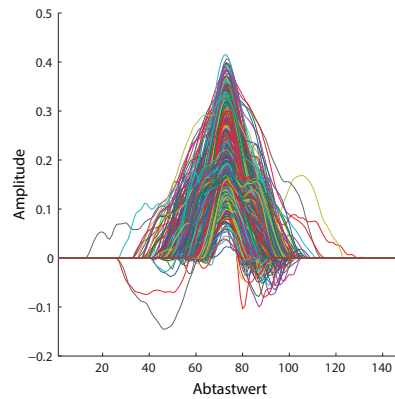


Abbildung 5 Die auf die Amplitude der R-Zacken normierten Wellen (links) sowie die zeit- und spannungsnormierten Wellen (rechts)

auf die nachfolgende R-Zacke zusätzlich auf das jeweilige Wellenmaximum normiert, so dass die Amplitude jeder Welle 1 beträgt. Somit unterscheiden sich die Wellen ausschließlich durch ihre Wellenform voneinander, sind also im Gegensatz zu den Wellen P_i unabhängig von Zeit- oder Amplitudenschwankungen. Abbildung 4 (links) zeigt exemplarisch die am Wellenmaximum ausgerichteten Wellen P_i und Abbildung 5 (rechts) die zeit- und spannungsnormierten Wellen $P_{N,i}$.

Insgesamt werden 49 einzelne Parameter aus einem Wellensatz bestimmt, die jedoch teilweise sehr eng miteinander verwandt sind. Diese Parameter beschreiben zunächst die Positionierung der P-Welle im EKG, und somit auch die Morphologie eines Teilbereichs des RR-Intervalls. Zudem werden morphologische Parameter extrahiert, die nur die Gestalt der P-Welle betreffen und diese im Zeit- oder Frequenzbereich beschreiben.

Nachfolgend sind sämtliche Parameter aufgelistet:

- _Positionierung
 - _Wellenlänge
 - _Intervall Wellenanfang bis –maximum
 - _Intervall Wellenmaximum bis –ende
 - _Intervall Wellenmaximum bis Q-Zacke
 - _Intervall Wellenmaximum bis R-Zacke
 - _Differenzen der obigen Parameter für aufeinanderfolgende Herzschläge
- _Morphologie im Zeitbereich
 - _Wellenamplitude
 - _RMS-Werte für das 1., 2. und 3. Drittel des Wellenverlaufs
 - _Signalenergie der P-Welle
 - _Schiefe und Wölbung der Welle
 - _RMS-Wert der Wellen-Fluktuation gegenüber der Median-Welle
 - _Differenzen der obigen Parameter für aufeinanderfolgende Herzschläge
 - _Verhältnis der doppelgipfligen Wellen zur Gesamtzahl der Wellen im EKG
 - _8 Koeffizienten eines AR-Modells der Median-Welle
 - _Median der 8 Koeffizienten der AR-Modelle aller P-Wellen
 - _Korrelationskoeffizient zwischen der Median-Welle und den Einzelwellen
 - _Korrelationskoeffizient zwischen aufeinanderfolgenden Wellen
- _Morphologie im Frequenzbereich
 - _Spektrum der Median-Welle
 - _Spektrum des synthetischen Signals der aneinandergereihten Wellen

F. Extraktion der Merkmale aus den Parametern

Die Verfahren zur Extraktion der Merkmale, an Hand derer die anschließende Klassifikation erfolgt, lassen sich in

4 Kategorien unterteilen. Dabei wird je nach Art der extrahierten Parameter eines dieser Verfahren zur Bestimmung der Merkmale verwendet. Da der Großteil der Parameter als Parameter-Zeitreihe aufgefasst werden kann, deckt das entsprechende Verfahren zur Merkmalsextraktion den größten Teil der Parameter ab. Zusätzlich werden im Folgenden spezifische Verfahren zur Merkmalsextraktion aus den RMS-Wellen-Deviations, den AR-Koeffizienten sowie den Spektren eingeführt. Einzig das Verhältnis der doppelgipfligen Wellen zur Gesamtzahl der Wellen kann unmittelbar als Merkmal verwendet werden.

Nachfolgend sind sämtliche Merkmale aufgelistet:

_Merkmale der Parameter-Zeitreihen

- _einfache statistische Größen (Mittelwert, Varianz, Median, Median der absoluten Abweichungen, Schiefe und Wölbung der Verteilungsfunktion, Modus, sekundärer Modus, Verhältnis der beiden Modi, 4 Quantile, Interquartilabstand, 4 relative Klassenhäufigkeiten)
- _Trendbereinigende Fluktuationsanalyse
- _Einseitige Anpassung einer Exponentialfunktion
- _Merkmalsextraktion im Frequenzbereich (Frequenzspektrenschwerpunkt, Summen über 4 Spektralbereiche, 3 dazugehörige Summenquotienten)

_Merkmale der RMS Wellen-Deviation

- _globales Maximum und Position des ersten sowie letzten Maximums
- _lokales Minimum und Position des lokalen Minimums
- _Intervall zwischen den Maxima
- _Differenz der Maxima
- _mittlerer Hub zwischen den Maxima und dem Minimum

_Merkmale der AR-Koeffizienten

- _Koeffizienten
- _Norm aller Koeffizienten
- _Differenzen der Koeffizienten
- _Quotienten der Koeffizienten

_Merkmale der Spektren

- _Frequenzspektrenschwerpunkt
- _Summe über 6 feste Spektralbereiche
- _Quotienten der Summen über die festen Spektralbereiche
- _Summe über 6 an den Frequenzspektrenschwerpunkt angepassten Spektralbereichen
- _Quotienten der Summen über die angepassten Spektralbereiche

G. Klassifikation

Die Aufgabe des Klassifikators besteht darin, an Hand der aus der EKG-Aufnahme extrahierten Merkmale zu entscheiden, ob der Patient an Vorhofflimmern leidet oder ob es sich um einen gesunden Probanden handelt. Es wird somit eine binäre Klassifikation durchgeführt, für welche die künstlichen neuronalen Netze ein leistungsfähiges Verfahren darstellen.

Beim hier verwendeten neuronalen Netz handelt es sich um ein feedforward-Netz. Die Eingabeschicht enthält dabei je ein Neuron pro Merkmal und die Ausgabeschicht besteht entsprechend der binären Klassifikationsaufgabe aus einem einzigen Ausgabeneuron. Da nichtlineare Hyperflächen zur Trennung der Objekte erwünscht sind, enthält das neuronale Netz eine Zwischenschicht mit 10 Neuronen. Als Aktivierungsfunktion wurde die hyperbolische Sigmoidfunktion sowohl für die Neuronen der Zwischenschicht als auch die der Ausgabeschicht gewählt.

Als Lernverfahren wird Resilient Backpropagation eingesetzt, wobei der mittlere absolute Fehler als zu minimierende Kostenfunktion gewählt wurde. Der Lerndatensatz wird in einen Trainingsatz und einen Validierungsatz aufgeteilt, wobei 75 Prozent der Daten zum Training des Netzes genutzt werden. Der Validierungsatz dient dazu, eine Überanpassung an die Trainingsdaten zu verhindern.

IV. Ergebnisse

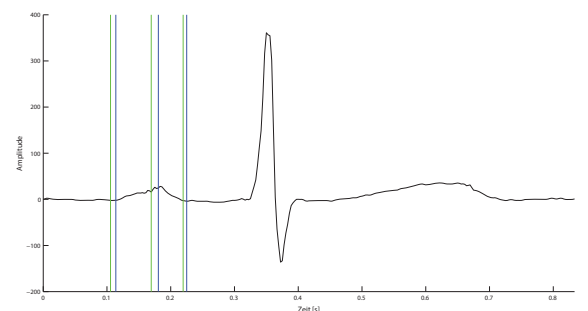
A. Segmentierung der P-Welle

Der Wavelet-basierte Algorithmus zur Detektion und Segmentierung der P-Wellen wurde an Hand der manuell annotierten PhysioNet QT-Datenbank validiert. Für jeden der 105 Patienten wurde jeweils für Anfang, Peak und Ende der P-Wellen die Abweichung bezüglich der Annotation eines Kardiologen gebildet. Die Referenzwerte wurden aus den Annotationsdifferenzen bezüglich eines zweiten Kardiologen gebildet, sofern für das jeweilige Objekt zweite Annotationen vorlagen. Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse für Detektion und Segmentierung der P-Wellen.

Parameter	P _{an}	P _{Peak}	P _{Aus}
# Annotationen	3194	3194	3194
m ± s [ms]	23.68 ± 33.55	16.90 ± 18.39	30.62 ± 21.66
Se [%]	N/A	82.45	N/A

_Tab.1 Abweichung der Zeitpunkte für Anfang, Peak und Ende der P-Wellen gegenüber Kardiologenannotationen

Um die Fehldetektion von Wellen und somit negative Auswirkungen auf die Wellenanalyse zu vermeiden, wurden bei der P-Wellen Detektion vergleichsweise strikte Kriterien festgelegt, woraus sich eine relativ schwache Detektionssensitivität ergibt. Der Wert liegt dennoch in einem annehmbaren Bereich, insbesondere für EKG Ableitungen mit ausgeprägten Wellen. Zur Bewertung der Abweichungen der P-Wellen Detektionszeitpunkte liegen auf Grund fehlender Annotationen eines zweiten Kardiologen keine Referenzwerte vor. Zur Abschätzung der Genauigkeit können jedoch die Referenzwerte der T-Welle (15.80 ± 16.01 ms) herangezogen werden. Die Detektion der P-Welle erfolgt dann mit einer vergleichbar guten Genauigkeit. Die Segmentierungsgenauigkeit ist gegenüber dem Referenzwert der T-Welle (15.81 ± 22.33 ms) schlechter und für den Anfangszeitpunkt zudem instabiler. Die Abweichungen des Anfangs- und Endzeitpunktes liegen gegenüber dem Referenzwert (15.81 ms) im Mittel 2.8 beziehungsweise 5.3 Abtastwerte höher. Auf Grund der gegenüber der T-Welle weniger starken Ausprägung der P-Welle muss jedoch von leicht erhöhten Abweichungen der Expertenannotationen ausgegangen werden. Somit liegen die Abweichungen der P-Wellen Segmentierung mit hoher Wahrscheinlichkeit in einem vergleichbar guten Bereich.



_6 Vergleich der Detektions- und Segmentierungszeitpunkte des Kardiologen (grün) sowie des Segmentierungsalgorithmus (blau)

Abbildung 6 zeigt exemplarisch einen Herzschlagzyklus entsprechenden Detektionszeitpunkten für Anfang, Peak und Ende der P-Welle. Die Annotationszeitpunkte des Kardiologen sind grün eingezeichnet, diejenigen des Segmentierungsalgorithmus blau. Die Segmentierung der P-Welle zeigt hier ein augenscheinlich gutes Ergebnis auf.

B. Auswahl der Merkmale

Die Bewertung der 1313 Merkmale an Hand des Zweistichproben-Kolmogorov-Smirnov-Tests sowie eines Naive-Bayes Klassifikators führt zu einer Bewertungstabelle, welche entsprechend des Rangs eines jeden Merkmals dessen potenzielle Relevanz zur Klassifikation der Patienten darstellt.

Auf Grund des Bewertungsschemas befinden sich unter den bestklassierten Merkmalen potenziell redundante Merkmale. Zur Beseitigung der Redundanzen sowie zur Erkennung von gegenseitigen Abhängigkeiten der Merkmale wurde an Hand der festgelegten Reihenfolge ein Wrapper-Ansatz zur Bestimmung des besten Merkmal-Subsets angewandt. Ausgehend vom bestklassierten Merkmal wurde jedes versuchsweise zum Subset hinzugefügte Merkmal zurückbehalten, falls es zu einer Verbesserung des Produktes aus Sensitivität und Spezifität des Klassifikationsergebnisses auf Basis des neuen Subsets unter Verwendung der 10-fachen Kreuzvalidierung kam. Der Wrapper-Ansatz liefert ein Merkmal-Subset mit insgesamt 25 Elementen.

Auf Grund stochastischer Effekte beim Training des neuronalen Netzes handelt es sich bei den Anstiegen des Auswahlkriteriums beim Wrapper-Ansatz nicht immer um signifikante Verbesserungen des Klassifikators, so dass das ausgewählte Merkmal nicht zwangsläufig zum optimalen Merkmal-Subset gehört. Aus diesem Grund wurden zur Beurteilung der 25 ausgewählten Merkmale die dazugehörigen normierten Histogramme manuell betrachtet und die Verteilung der Merkmale aus der Studiengruppe (AF, rot) sowie der Kontrollgruppe (NAF, blau) analysiert. Abbildung 7 zeigt die Histogramme der vier bestklassierten Merkmale.

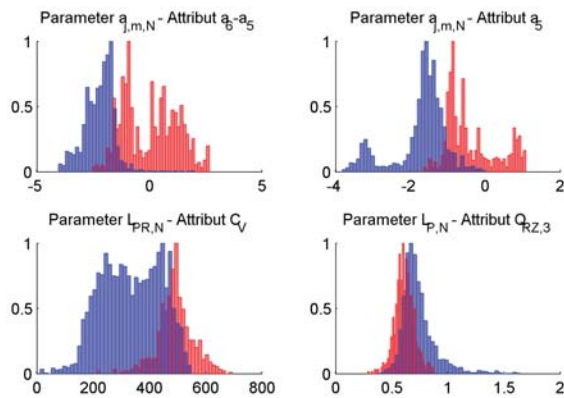


Abbildung 7 Normierte Histogramme der Merkmale 1-4 (AF: rot, NAF: blau)

Nach dieser manuellen Auswahl verbleiben insgesamt 20 Merkmale im optimalen Merkmal-Subset. Als bestes Merkmal (Parameter $a_{j,m,N}$ – Attribut $a_6 - a_5$) wurde die Differenz der 6. und 5. medianen AR-Modellkoeffizienten, welche als Median der jeweiligen Koeffizienten der normierten P-Wellen gebildet wurden, identifiziert. Insgesamt beschreiben 13 Merkmale die Positionierung der P-Welle innerhalb eines Herzschlagzyklus und 6 Merkmale beziehungsweise 1 Merkmal beschreiben die Morphologie im Zeit- beziehungsweise im Frequenzbereich.

C. Klassifikation

Zur Validierung des Klassifikationsergebnisses wurde die PhysioNet AFDB- und NSRDB-Datenbank verwendet. Ein Wellensatz umfasst 5000 Wellen, so dass die erforderliche Aufzeichnungsdauer zwischen 47 und 83 Minuten schwankt. Aus den beiden Datenbanken wurden anschließend 10 möglichst identisch verteilte Testsätze T1 bis T10 erzeugt. Bei Anwendung der 10-fachen Kreuzvalidierung zeigt Tabelle 2 für jeden der 10 Testsätze die erzielte Sensitivität S_e , Spezifität S_p , positive Prädiktivität P_p und die Korrektklassifikationsrate K_k . Für insgesamt 4 Sätze beträgt die K_k 100 Prozent, so dass alle EKG Blöcke den entsprechenden Gruppen AF und NAF zugeordnet werden konnten. Vergleichsweise schlechte Ergebnisse wurden hingegen auf den Teilmengen T3 (geringe P_p) und T8 (geringe S_e und P_p) erzielt. Über die 10 Teilmengen gemittelt beträgt die S_e , S_p , P_p und K_k je 97.70, 98.70, 95.04 sowie 98.49 Prozent, so dass für alle 4 Maßzahlen sehr hohe Werte erzielt werden konnten.

	S_e [%]	S_p [%]	P_p [%]	K_k [%]
T_1	100.00	100.00	100.00	100.00
T_2	93.75	100.00	100.00	98.47
T_3	100.00	93.57	77.27	94.72
T_4	100.00	100.00	100.00	100.00
T_5	100.00	99.68	98.57	99.74
T_6	100.00	100.00	100.00	100.00
T_7	94.03	99.67	98.44	98.66
T_8	89.23	95.29	80.56	94.20
T_9	100.00	100.00	100.00	100.00
T_{10}	100.00	98.83	95.59	99.07
Mittelwert	97.70	98.70	95.04	98.49
Standardabweichung	3.91	2.32	8.65	2.20

Tab.2 Sensitivität, Spezifität, positive Prädiktivität und Korrektklassifikationsrate für jede der Teilmengen der 10-fachen Kreuzvalidierung sowie die Mittelwerte und Standardabweichungen über die 10 Teilmengen

V. Zusammenfassung und Ausblick

Das Ziel dieser Arbeit war die Entwicklung eines möglichst zuverlässigen Verfahrens zur Identifikation von Vorhofflimmerpatienten in der flimmerfreien Phase durch Analyse von formsensitiven EKG Merkmalen. In Ergänzung zum bestehenden evidensa-Algorithmus, welcher eine rein rhythmologische Analyse durchführt, sollte der Ansatz zu einem leistungsfähigen Verfahren zur Diagnose von paroxysmalem Vorhofflimmern sowie zu einem zuverlässigen Screening Verfahren zur regelmäßigen Überwachung von Risikopatienten führen. Durch eine frühzeitige Diagnose und eine entsprechende Behandlung können somit lebensbedrohliche Folgeerkrankungen vermieden werden.

Verfahren	S_e	S_p	P_p	K_k
vorgestellter Algorithmus	97.70	98.70	95.04	98.49
evidensa-Projekt	97.06	96.34	98.56	n/a
Clavier <i>et al.</i>	69	63	n/a	n/a
Ros <i>et al.</i>	96	88	n/a	92
Pourbabaee und Lucas	93-94	n/a	n/a	90-91
Klein	62.5	78.3	n/a	n/a

Tab.3 Vergleich der Klassifikationsergebnisse unterschiedlicher Identifikationsverfahren

Der formsensitive Ansatz, der in dieser Arbeit verfolgt wurde, konzentriert sich auf eine Untersuchung der Morphologie der P-Welle sowie deren zeitliche Lokalisation im EKG. Im Vergleich zu den bisherigen Methoden der formsensitiven EKG-Analyse zur Diagnose von paroxysmalem Vorhofflimmern sind diese Ergebnisse sehr gut (siehe Tabelle 3) und erlauben es somit Vorhofflimmerpatienten gegenüber herzgesunden Menschen zuverlässig zu identifizieren.

Zur weiteren Entwicklung und Optimierung des Verfahrens sowie zur Abschätzung der klinischen Einsetzbarkeit können folgende Schritte unternommen werden:

- Weiterentwicklung des Segmentierungsverfahrens zur Steigerung der Präzision und Robustheit
- Reduktion der erforderlichen Aufzeichnungsdauer zur Steigerung der Patientenakzeptanz
- Validierung des Verfahrens auf mehreren Datenbanken zur verbesserten Validierung der Ergebnisse
- Untersuchung des Einflusses anderer Herzerkrankungen auf die Detektion von Vorhofflimmern
- Untersuchung der physiologischen Bedeutung der extrahierten Merkmale
- Unabhängig von den obigen Maßnahmen wurde mit dieser Arbeit ein sehr leistungsfähiges Verfahren zur Identifikation von Vorhofflimmerpatienten gegenüber einer herzgesunden Kontrollgruppe entwickelt, so dass es sich als Screening Verfahren zur Überwachung von Risikopatienten eignet.

Marc Weydert

Forscher arbeiten bereits seit über vierzig Jahren im Bereich der Augmented Reality, doch erst die Verwendung auf dem Smartphone machte diese Technologie auch der breiten Bevölkerung zugänglich. Diese Technologie bietet in Verbindung mit Smartphones viele neue Möglichkeiten. Folgender Artikel beschreibt die Verwendung von Augmented Reality im Zusammenhang mit Indoor- und Outdoor-Navigation sowie dynamischer Interaktion mit umliegenden Points of Interest (POI).



AUGMENTED REALITY:

NAVIGATION UND STANDORTBEZOGENE DIENSTE MIT ANDROID-SMARTPHONES_

Alexander Hoffmann

Einleitung

Dieser Artikel befasst sich mit dem Einsatz von Augmented Reality (AR) auf Smartphones. Auf bestehendes Wissen aufbauend wird eine Lösung vorgestellt, die unter Verwendung von Android-Smartphones, eine AR-Anwendung mit Navigation und standortbezogenen Diensten ermöglicht. Insbesondere wurde die Verwendung von Augmented Reality im Indoor-Bereich umgesetzt, welche zum Beispiel Anwendung in großen Bürogebäuden finden kann.

Das entwickelte AR-System muss demzufolge für den Indoor-Bereich ausgelegt sein und zusätzlich zu den Interaktionen mit Räumen und Personen eine Navigationsfunktion bereitstellen.

Eine solche AR-Lösung erlaubt es dem Benutzer sich beispielsweise in Bürogebäuden über umliegende Räume zu erkundigen und mit diesen zu interagieren. Verschiedene Dienste (Location Based Services – LBS) können dem Benutzer über ein solches System zur Verfügung gestellt werden. Ein Beispiel hierfür wäre die Reservierung eines bestimmten Raumes. Mit Hilfe der AR-Navigation kann sich der Benutzer anhand der auf seinem Smartphone-Bildschirm angezeigten Informationen orientieren und sich zum Beispiel bis zu einem gewünschten Raum leiten lassen.

Die zurzeit existierenden AR-Systeme für Android-Smartphones (AR-Browser) wurden bezüglich des gewünschten Einsatzszenarios und Funktionsumfangs analysiert, was zur Schlussfolgerung hatte, dass die bestehenden Systeme nicht dafür ausgelegt sind. _1 _2 Die vorhandenen Anwendungen können weder im Indoor-Bereich genutzt werden noch bieten sie eine Möglichkeit zur Navigation. Zudem ist die Interaktion mit den POI allgemein nur auf einige vordefinierte Funktionen beschränkt und nicht dynamisch anpassbar.

AR-System

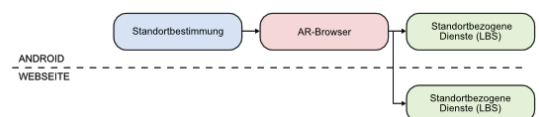
Das umgesetzte AR-System stellt sowohl Navigationsfunktionen als auch Interaktionen mit POI bereit. Um den Funktionsumfang der POI-Interaktion flexibel zu gestalten, wurde das System an anpassbare standortbezogene Dienste angebunden. Das AR-System kann sowohl im Indoor- als auch im Outdoor-Bereich eingesetzt werden, wobei ein fließender

Übergang zwischen beiden besteht. Die Indoor-Tauglichkeit wurde anhand einer neu entwickelten Android-Anwendung erreicht, welche die Einbindung neuer Lokalisierungssysteme in das Android-Betriebssystem ermöglicht. Zudem wurde ein AR-Browser entwickelt, welcher alle genannten Funktionen wie die Navigation oder die Interaktion mit POI anbietet. Der AR-Browser ermöglicht außerdem die Anbindung an die standortbezogenen Dienste, welche die Interaktion mit Räumen und Personen bereitstellen.

Die Architektur des Systems gliedert sich in folgende drei Komponenten:

- _Standortbestimmung
- _Augmented-Reality-Browser
- _Standortbezogene Dienste

Die Standortbestimmung und der Augmented-Reality-Browser sind als native Android-Anwendungen implementiert, da sie Zugriff auf Systemkomponenten, wie Beschleunigungssensoren, GPS und Kamera, benötigen. Die standortbezogenen Dienste hingegen können sowohl als native Anwendung als auch als Webseite implementiert werden.

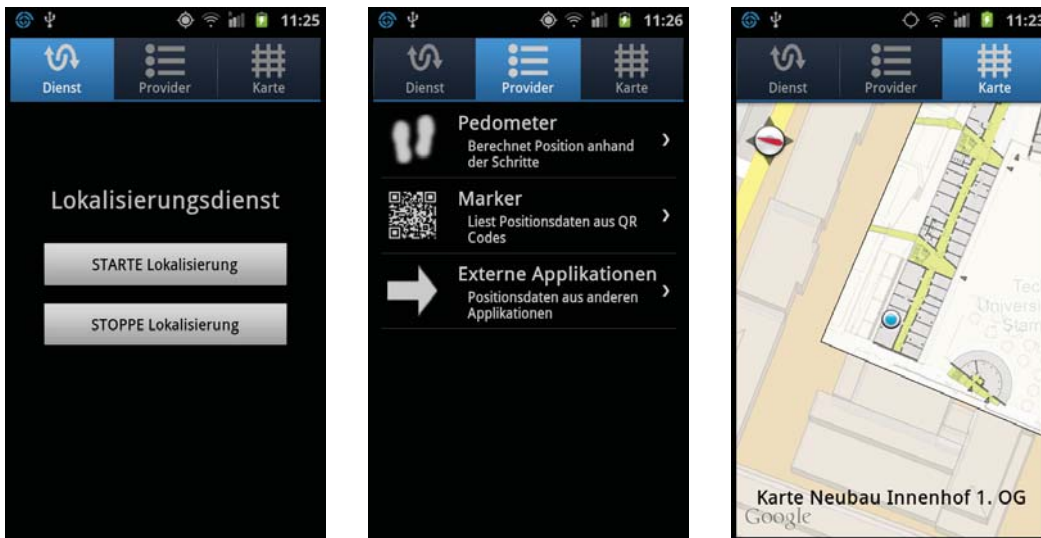


_1 Architektur des AR-Systems

Die Verbindungen der verschiedenen Komponenten werden in Abbildung 1 verdeutlicht. Der Augmented-Reality-Browser nutzt die Daten der Standortbestimmung, um die positionsabhängigen Objekte sowohl im Indoor- als auch im Outdoor-Bereich möglichst genau darstellen zu können. Zudem stellt der AR-Browser, durch die Benutzerinteraktion mit den POI, die Verbindung zu den standortbezogenen Diensten (LBS) her.

Standortbestimmung

Die AR-Anwendung fordert nicht nur für die Navigation eine genaue Standortbestimmung, sondern auch die virtuellen Elemente (POI) werden anhand der ermittelten Standortdaten richtig auf dem Bildschirm positioniert.



_2 Übersicht der Lokalisierungsanwendung

Da moderne Smartphones die nötigen Voraussetzungen für eine Standortbestimmung besitzen, bieten diese sich für die AR-Anwendung an. In modernen Smartphones sind zusätzlich noch weitere Hardware-Module verbaut, die zur Lokalisierung verwendet werden können. Zum Beispiel können neben GPS auch die Funkkomponenten der Wireless-Lan oder Mobilfunk-Schnittstelle genutzt werden. Außerdem kann auch die Sensorik wie zum Beispiel der Beschleunigungssensor oder Gyroskop für die Standortermittlung anhand des Smartphones genutzt werden. Zurzeit werden jedoch nur GPS sowie Lokalisierung anhand des Mobilfunksignals und Wireless-Lan standardmäßig eingesetzt. Diese reichen im Allgemeinen jedoch nicht für eine präzise Indoor-Lokalisierung aus. Android-Smartphones zum Beispiel verfügen über Mobilfunkortung mittels Cell-Id, WiFi-Ortung mittels Fingerprinting und GPS-Ortung. Die vorhandene Hardware kann jedoch durch Erweiterung der bestehenden Lokalisierungssysteme und Implementierung neuer Systeme eine präzise Indoor-Lokalisierung ermöglichen. Wie beispielsweise von Martin et al. _4 gezeigt wird, kann anhand einer Kombination aus WiFi, Mobilfunk, und Bewegungserkennung im Indoor-Bereich eine Genauigkeit von 1,5 Metern erreicht werden.

Die Realisierung des AR-Systems erfordert also, dass die bereits vorhandenen Lokalisierungssysteme erweitert werden, um so die Standortbestimmung auch im Indoor-Bereich zu ermöglichen. Aus diesem Grund wurde bei dem entwickelten System eine Lokalisierungsanwendung für das Android-Smartphone entworfen, die es ermöglicht die bestehende Standortbestimmung um weitere Verfahren zu ergänzen. Um die bestehenden Komponenten des Android-Betriebssystems gut einzubinden und die vorhandenen Strukturen weiterhin nutzen zu können, wurde die Anwendung so entwickelt, dass neue Lokalisierungssysteme die gleiche Struktur wie die bereits vorhandenen aufweisen.

In dem Prototyp wurde ein hybrides Lokalisierungssystem aus Markererkennung und Pedometer entwickelt. Die Marker-Lokalisierung versorgt die Anwendung mit präzisen Standortangaben, indem QR-Codes mit Positionsangaben mit Hilfe der Smartphone-Kamera gescannt werden. Der Pedometer hingegen dient der Standortbestimmung zwischen den Markern, indem er anhand der Anzahl der

gelaufenen Schritte und der durch den Kompass ermittelten Richtung, eine neue Position errechnet. Durch die Kombination der beiden Systeme wird eine kontinuierliche Standortbestimmung ermöglicht. Je genauer der Pedometer arbeitet, desto weniger Marker werden für eine präzise Indoor-Lokalisierung benötigt.

Eine Übersicht der Anwendung ist in Abbildung 2 zu sehen. Sie teilt sich in drei Bildschirme, wobei der erste dazu dient die Lokalisierungsanwendung, also die zusätzlichen Lokalisierungsdienste, zu starten und zu stoppen. Der zweite Bildschirm enthält eine Übersicht sowie zusätzliche Informationen über die implementierten Lokalisierungsdienste. Auf dem dritten Bildschirm kann der Benutzer seine aktuelle Position auf der Karte verfolgen. Die Kartenansicht basiert auf Google-Maps und einer Erweiterung, die es ermöglicht Karten für den Indoor-Bereich zu beziehen. Diese Indoor-Karten werden automatisch anhand der Position bei einem Server angefragt und als Layer über die Google-Maps-Karten gelegt. So kann auch innerhalb von Gebäuden die Position präzise angezeigt werden.

Augmented Reality

Augmented Reality erweitert die Realität um virtuelle Objekte und bietet somit eine intuitive Benutzerschnittstelle für Interaktionen mit der Umgebung. So können dem Benutzer beispielsweise standortbezogene Informationen durch Einblendung von Computer-Grafiken zur Verfügung gestellt werden. Abbildung 3 zeigt wie eine solche AR-Ansicht auf dem Smartphone aussehen kann indem das Kamerabild durch zusätzliche Informationen ergänzt wird.



_3 POI-Modus des Augmented-Reality-Browsers



4: AR-Ansicht des Augmented-Reality-Browsers mit Bedienelementen

Moderne Smartphones erfüllen alle für ein AR-System benötigten Voraussetzungen. Sie verfügen sowohl über eine Kamera, um die Realität abzubilden als auch über die entsprechende Sensorik und Ortungstechnik, um Ausrichtung sowie Standort des Smartphones zu bestimmen. Zudem verfügen sie über ausreichend Rechenleistung, um die virtuellen Objekte darstellen zu können. Eine weit verbreitete Anwendung von AR auf Smartphones bilden sogenannte Augmented-Reality-Browser, welche auf positionabhängiger AR basieren. Bei dieser Form von AR, werden die darzustellenden Objekte anhand ihrer zugehörigen Ortungsdaten und dem aktuellen Smartphone-Standort auf dem Bildschirm positioniert. Eine alternative Variante stellt AR mittels Bilderkennung dar, welche anhand von Bildinformationen oder Markern die virtuellen Objekte auf dem Bildschirm ausrichtet. Die AR-Browser ermöglichen es verschiedenste Inhalte, wie zum Beispiel Restaurant- oder Reiseinformationen, im Umkreis des aktuellen Standorts darzustellen und dem Benutzer zugänglich zu machen. Die dargestellten Objekte, auch Points of Interest (POI) genannt, werden in der Regel von Servern bezogen und können somit dynamisch eingebunden werden.

Die Analyse der vorhandenen AR-Browser ergab jedoch, dass die derzeit vorhandenen Browser nicht die gewünschten Funktionalitäten wie Navigation und Indoor-Tauglichkeit besitzen und somit nicht für das geplante Szenario einsetzbar sind. Deshalb wurde für die Realisierung des AR-Systems ein neuer AR-Browser entwickelt, welcher die benötigten Funktionen ermöglicht.

Abbildung 4 zeigt die Benutzeroberfläche der Android-Anwendung. Diese enthält das aktuelle Kamerabild sowie diverse virtuelle Objekte. Bei den virtuellen Objekten kann es sich sowohl um POI als auch um Navigationsangaben handeln. Zusätzlich zu den POI und Navigationsangaben enthält die Oberfläche einige Bedienelemente, welche dem Benutzer den Zugriff auf die Funktionen des AR-Browsers ermöglichen. So kann er zum Beispiel den POI- und Navigationsmodus ein- und ausschalten, direkt aus der AR-Ansicht einen Marker für eine präzise Standortbestimmung scannen oder auch Bildschirmeinstellungen wie den Zoom anpassen.

Die Genauigkeit der Darstellung der virtuellen Elemente hängt von der Genauigkeit der ermittelten Position, also der Standortbestimmung, ab. Ist die ermittelte Benutzerposition ungenau, werden die virtuellen Objekte versetzt angezeigt, wodurch die Bedienbarkeit des AR-Systems verschlechtert wird. Je genauer das Lokalisierungssystem die Position ermittelt, desto präziser sind die Anzeigen im AR-Browser. Das System ist demzufolge auf eine gute Lokalisierung angewiesen.

Interaktion mit POI

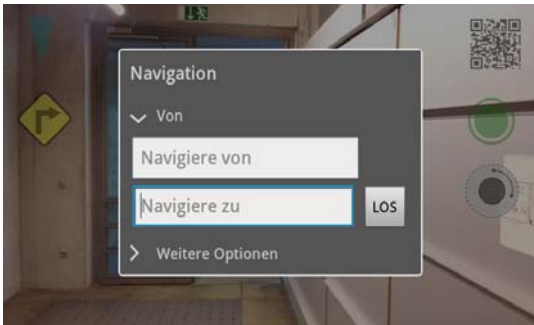
Der POI-Modus ermöglicht die Interaktion des Benutzers mit den POI. Dieser Modus muss aktiviert sein, damit die entsprechenden POI vom Server heruntergeladen und die dazugehörigen Informationen auf dem Bildschirm dargestellt werden. Für die Übertragung vom Server zum Smartphone kommt das von Wikitude entwickelte Format Augmented Reality Markup Language (ARML) _5 zum Einsatz. Der Server von dem die AR-Daten bezogen werden ist flexibel in der Anwendung einstellbar und ermöglicht somit die Anbindung verschiedener Quellen.

Abbildung 3 zeigt den realisierten POI-Modus auf dem Android-Smartphone. Der Benutzer erhält in dieser Ansicht eine Übersicht über die umliegenden Räume, woraufhin er nun einen bestimmten Raum auswählen und eine Aktion durchführen kann.

Navigation

Der Navigationsmodus ermöglicht es dem Benutzer anhand von AR-Objekten zu navigieren. Die Navigationspunkte werden wie die POI auch von einem Server bezogen, wobei hierfür das Format Keyhole Markup Language (KML) _6 verwendet wird. Da für die Outdoor-Navigation die Referenzpunkte von Google-Maps bezogen werden, wurde das KML-Format auch für die Referenzpunkte der entwickelten Indoor-Navigation verwendet.

Nach Aktivierung des Navigationsmodus erfolgt zuerst die Standorteingabe, welche in Abbildung 5 zu sehen ist. Hier kann der Benutzer seinen Zielort zum Beispiel in Form einer Straße oder eines Raumes eingeben und eine Route anfragen. Wird eine Route gefunden, kann der Benutzer die



5: Dialog-Fenster der Navigationseingaben



6: Navigation in der AR-Ansicht

Navigation starten. Daraufhin werden die Navigationspunkte in Form von Kreisen, wie in Abbildung 6 dargestellt, im Bildschirm angezeigt. Befindet sich der Benutzer näher als zwei Meter am aktuellen Navigationspunkt, gilt dieser als erreicht und verschwindet. Dieser Navigationspunkt wird dann aus der Route gelöscht und der nächste Punkt wird aktiv. So geht der Benutzer von Punkt zu Punkt bis er sein Ziel erreicht.

Standortbezogene Dienste

Für die Umsetzung des geplanten Szenarios reicht es nicht aus, dass die AR-Anwendung die POI darstellen kann, sondern es müssen auch Aktionen mit diesen möglich sein. So wurden für den AR-Browser verschiedene standortbezogene Dienste implementiert, welche typische Arbeitsschritte in Bürogebäuden erleichtern. In der Beispielimplementierung wurden diese als Webseite realisiert, doch besteht auch die Möglichkeit diese als native Android-Anwendung umzusetzen. Die Realisierung als Webseite wurde gewählt, weil die Dienste keinen Zugriff auf die Hardware des Smartphones benötigen und leichter geändert werden können.

Es wurden raumbezogene sowie personenbezogene Dienste realisiert. Die raumbezogenen Dienste ermöglichen zum Beispiel Funktionen wie das Reservieren eines Seminarraums und anhand der personenbezogenen Dienste kann beispielsweise ein Termin mit einem Angestellten angefragt werden.

Zusammenfassung

Die AR-Lösung konnte mit allen geplanten Funktionen, die für das Zielszenario erforderlich sind, erfolgreich implementiert werden. Das AR-System wurde für Android-Smartphones entwickelt und ermöglicht sowohl eine Interaktion mit POI als auch Navigation im Indoor- wie auch im Outdoor-Bereich. Der Übergang zwischen Indoor- und Outdoor-Bereich ist dabei ohne Unterbrechungen möglich. Außerdem wurden flexible standortbezogene Dienste an das AR-System angebunden um Aktionen mit den POI zu ermöglichen.

Diese AR-Lösung zeigt wie viel Potential noch in dieser Technologie steckt und präsentiert ein Beispiel für neue Anwendungsmöglichkeiten von AR auf dem Smartphone.

Alexander Hoffmann

Literaturverzeichnis

- 1_ Wikitude GmbH, "Wikitude AR-Browser." <http://www.wikitude.com>. [Letzter Zugriff: 5. Dezember 2011].
- 2_ Metaio, "Junaio AR-Browser." <http://www.junaio.com>. [Letzter Zugriff: 5. Dezember 2011].
- 3_ Canalys, "Almost 40% of smart phones shipping in EMEA have GPS integrated." <http://www.canalys.com/newsroom/almost-40-smart-phones-shipping-emeahave-gps-integrated>, August 2008. [Letzter Zugriff: 27. November 2011].
- 4_ E. Martin, O. Vinyals, G. Friedland, und R. Bajcsy, "Precise indoor localization using smartphones," in Proceedings of the international conference on Multimedia, MM '10, (New York, NY, USA), Seiten 787–790, ACM, 2010.
- 5_ Wikitude GmbH, "ARML-Standard." <http://www.openarml.org>. [Letzter Zugriff: 5. Dezember 2011].
- 6_ Open Geospatial Consortium, "KML-Standard." <http://www.opengeospatial.org/standards/kml>. [Letzter Zugriff: 14. Dezember 2011].

Die diesem Artikel zugrunde liegende Masterarbeit aus dem Studiengang Geodäsie und Geoinformation (ehemals Vermessungsingenieur) entstand im Zeitraum von September 2011 bis März 2012 aus einer Kooperation des Lehrstuhls für Geodäsie der TU München mit dem Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der TU Braunschweig.



VERWENDUNG EINES GBSAR-SENSORS AM HORNBERGL BEI REUTTE/TIROL-INSTALLATION UND MESSUNGEN

Jean-Marc Schares



Der steigende Siedlungsdruck im Alpenraum, die Verkehrserschließung sowie starke Wachstumsraten des Tourismus haben in den letzten Jahrzehnten zu einem Anstieg von potentiell gefährdeten Gebieten geführt. In den Tälern drängen sich Orte, Straßen, Eisenbahn und Flüsse auf engstem Raum zwischen hohe und steile Bergflanken. In diesen Gebieten droht bei oftmals begradigten Flussläufen Hochwasser, von den umliegenden Bergen gehen Bedrohungen wie Lawinen, Bergstürze oder Muren aus. Diese Naturereignisse häufen sich mehr und mehr und haben verstärkt Auswirkungen auf besiedelte Räume. Das resultiert aus immer extremeren Wettersituationen sowie dem Vordringen des Menschen in gefährdete Regionen. Zum Schutz von Infrastruktureinrichtungen, privatem Besitz und Menschenleben wird Monitoring daher zu einem immer wichtigeren Fachgebiet.

Ein Gebiet, in dem alpine Naturgefahren wie Steinschlag und Murgang drohen, wird seit Jahrzehnten durch den Lehrstuhl für Geodäsie der technischen Universität München geodätisch überwacht. Es handelt sich um die Bergzerreißung vom 1755 m hohen Gipfel des Hornbergl Richtung südöstlichen Fauler Schrofen im Gebiet der Gemeinde Höfen bei Reutte im Tiroler Außerfern. Ausgehend von klassischen Messverfahren wie Maßbandmessungen und tachymetrischen Beobachtungen wurden die verwendeten Monitoringtechniken ständig an aktuelle Forschungsent-

wicklungen angepasst, so dass heute am Hornbergl gleichsam ein interdisziplinäres Freiluftlaboratorium verschiedener Kooperationspartner entstanden ist. Neben der permanenten Überwachung der drohenden Gefahren, unter anderem durch zwei fest installierte GPS-Messstationen mit Photovoltaikmodul und Richtfunkverbindung ins Tal, ergibt sich am Hornbergl die Möglichkeit, neue Methoden und Techniken in einem bestehenden Messnetz zu erproben. So bietet sich für diese Masterarbeit die Gelegenheit, in Kooperation mit dem Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der TU Braunschweig (IGP) deren Ground-Based Synthetic Aperture Radar (GBSAR) Sensor am Hornbergl einzusetzen.

Massenbewegungen gehören in den Bergen zum natürlichen geologischen Prozess der Erosion und können bezüglich der Dynamik in verschiedenen Formen auftreten, welche von Kriechen und Gleiten über Fließen bis zu Stürzen reichen können. Den drohenden Gefahren lässt sich beispielsweise durch die bodenpolitische Ausweisung von Schutzzonen begegnen. Weitere Maßnahmen sind die Erstellung von Sicherungsbauten oder die Überwachung der Deformation. Diesen Messungen liegt die Annahme zu Grunde, dass sich aus der beobachtbaren Bewegung Voraussagen über das zukünftige Verhalten treffen lassen.

Am Hornbergl wurden neben der Festlegung von baulichen Sperrzonen auch von der Wildbach- und Lawinenverbau-



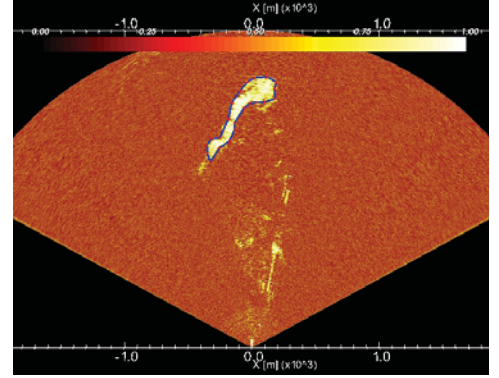
ung treppenförmige Geschiebesperren in den Wildbächen und meterhohe Auffangbecken im Tal errichtet. Größere dokumentierte Ereignisse sind ein Felssturz 1976 im Herrenbach mit einem Volumen von ca. 100.000 m³ und ein Murenereignis 1986 im Murenbach mit einer Mobilisierung von 60.000 m³. Geologisch gesehen entsteht die Bergzerreißung am Hornbergl durch die Zerlegung der harten Lechtaldeckplatte auf der weichen Allgäuschicht. Die Aktivitätszone ist dabei hauptsächlich der südlich vom Gipfel nach Osten verlaufende Kamm von welchem die obere Decke zum Herrenbach gleitet. In diese Richtung treten durch die „Hart auf Weich“ Lagerung Zugspalten auf und es können Blockbewegungen und Felsstürze unterschiedlichster Dimension durch Kippbruch oder Abgleiten an exponierten Hangbereichen vorkommen. Auf der anderen Seite zum Murenbach hin bilden sich Felswände und -türme. Es entstehen Bergzerreiungen, Felsstürze am Rand der spröden Deckplatte oder sekundäre Massenbewegungen (Muren, Schuttströme) im Lockermaterial des Sockels. Die größten stetigen Bewegungen treten in der Blockschutthalde am Fuß des Gipfels auf mit teilweise mehr als 25 cm im Jahr. Gemäß den Zeitreihen der GPS-Permanenzstationen werden die höchsten Geschwindigkeiten durch starken Regenfall sowie die Schneeschmelze im Frühjahr bedingt.

Mit dem Ground-Based SAR wird seit kurzer Zeit eine Technik aus der satellitengestützten Radarfernerkundung für Anwendungen auf der Erde nutzbar gemacht. Sie verspricht große Flächen hochgenau und ohne notwendigen Zugang zum Gelände beobachten zu können. Eine Verschiebung innerhalb der Messzellen kann mit einer Präzision unterhalb von einem Millimeter, kontinuierlich mit einer Epochenfolge von wenigen Minuten und unabhängig vom Wetter bei Regen, Nebel oder Dunkelheit erfasst werden. Ziel der Arbeit ist es den Umgang mit der noch im Forschungsstadium befindlichen Technik zu erproben und die Möglichkeiten aus Sicht der Ingenieurvermessung zu begutachten. Mit dem Hornbergl passiert dies in einem Gebiet das bereits mit unterschiedlichen Messverfahren beobachtet wird und deren Ergebnisse zur Planung und Analyse herangezogen werden können.

Das verwendete GBSAR-Instrument nennt sich IBIS-L und wird von IDS GeoRadar aus Italien entwickelt. Ursprünglich

ist es für den Einsatz in großen Minen entworfen, um die Böschungen entlang der Fahrwege zu überwachen und gefährliche Bewegungen möglichst frühzeitig zu erkennen. Es kann bis zu einer Entfernung von 4 km verwendet werden und so mehrere Quadratkilometer gleichzeitig aufnehmen. Dazu wird eine Radarstrahlung mit einer mittleren Frequenz von 17,2 GHz (Wellenlänge von 17,44 mm) ausgesandt und die Rückstrahlungsintensität gemessen. Dies passiert mit einer Auflösung von 0,75 m in Entfernungsrichtung, also alle 0,75 m ein Messwert. Der Sensorkopf ist auf einer 2 m langen Schiene montiert entlang welcher er an fixen Positionen alle 5 mm durch Ausstrahlen des Impulssignals ein Entfernungsprofil misst. Durch die Bewegung entlang der Schiene entsteht eine synthetische Apertur die einer künstlichen Vergrößerung der eigentlichen Sensorantenne entspricht und die Ableitung einer besseren Winkelauflösung ermöglicht. Die Kombination der einzelnen Entfernungsprofile ergibt für die endgültige Aufnahme eine räumliche Auflösung von 4,4 mrad in Querrichtung (4,4 m in einer Distanz von 1 km). Für die diskreten Messzellen werden Verschiebungen auf einen zehntel Millimeter aufgelöst gemessen. Eine komplette Aufnahme benötigt zwischen 5 und 10 Minuten.

Bei der GBSAR-Technik ist es wichtig zu realisieren, dass anders als bei herkömmlichen Messtechniken keine Einzelpunkte aufgenommen werden, sondern die Rückstrahlereigenschaften einer Fläche welche der Projektion des Geländes auf die Messzellen (0,75 m mal 4,4 mrad) in Richtung der Blickachse des Instruments entspricht. Aufgrund der Geometrie dieser Auflösungszellen ist es beispielsweise bei einer horizontalen Messrichtung nicht möglich die Höhenkomponente einer Bewegung zu erfassen. Außerdem lassen sich nur großflächige Verschiebungen bestimmen und keine innerhalb einer Messzelle, beziehungsweise nur mit komplizierter Interpretation und guter Kenntnis des Geländes. Nach dem Grundprinzip der Interferometrie werden Verschiebungen aus der Differenz der Phasenlage der elektromagnetischen Wellen, die vom Objekt zu unterschiedlichen Zeiten reflektiert werden, abgeleitet. Bei dieser indirekten Laufzeitmessung erlaubt erst die Verwendung der Phase die hohe Präzision von 0,1 mm. Die Phasenambigui-



tät begrenzt allerdings die maximal messbare Verschiebung zwischen zwei aufeinanderfolgenden Erfassungen auf ein Viertel der Wellenlänge (etwa 4,36 mm) aufgrund der eindeutigen Zuordnung in der Funktionskurve.

Zur Vorbereitung der Messung am Hornbergl werden mögliche Standorte erkundet und bezüglich verschiedener Kriterien miteinander verglichen. So etwa die Sicht auf das Rutschungsgebiet für die mögliche Baumverdeckung oder der Winkel zur Bewegungsrichtung eine Rolle spielen. Letztere ist aus den regelmäßigen Tachymetermessungen für einzelne Punkte bekannt. Wichtig sind außerdem die Entfernung zum Gebiet (wegen der Auflösung), die Stromversorgung, die Erreichbarkeit für Fundamentierung und Einrichtung und natürlich die Grundstücksverhältnisse. Als Standort zurückbehalten wird ein Platz an der Kabinenlagerhalle der Talstation der Hahnenkammbahn in Höfen.

Für das Instrument wird ein Fundament geplant, abgesteckt und durch die Wildbach- und Lawinenverbauung und das Baubezirksamt Reutte erstellt, unter der Finanzierung der Gruppe Bau und Technik vom Amt der Tiroler Landesregierung. Dabei wird eine spezielle Montierung mit eingeklebten Innengewinden gewählt, in welche die Gewindestangen die das Instrument halten eingeschraubt werden. Dadurch stehen, wenn das Instrument nicht installiert ist, keine Aufbauten aus dem Fundamentblock heraus.

Der Praxiseinsatz erfolgt in einer Messwoche im September 2011 in der ein kurzfristiger Wintereinbruch am 1. Tag 20 cm Schnee hervorgebracht hat. Unter diesen Bedingungen wären Radarmessungen nicht besonders sinnvoll, da nur die Schneeoberfläche gemessen werden könnte. Diese ist jedoch innerhalb der nächsten Tage abgetaut, so dass die letzten Vorbereitungen am Fundament und, für weiterführende Untersuchungen, im Messgebiet am Berg in Angriff genommen werden können. Mit dem IBIS-Instrument wird nach einigen Tests zu den Funktionen und zur Einrichtung eine kontinuierliche Messepoche von fast 2 Tagen aufgezeichnet. Diese Zeitreihe kann im späteren ausgewertet und analysiert werden. Um mögliche Abhängigkeiten der Messtechnik zu erkennen und berücksichtigen zu können wird die Meteorologie von mehreren Wetterstationen erfasst: von 2 USB-Datenloggern für Temperatur, Luftfeuchte

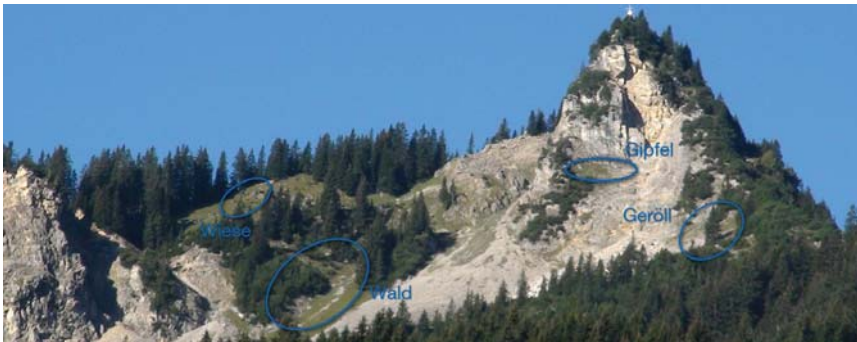
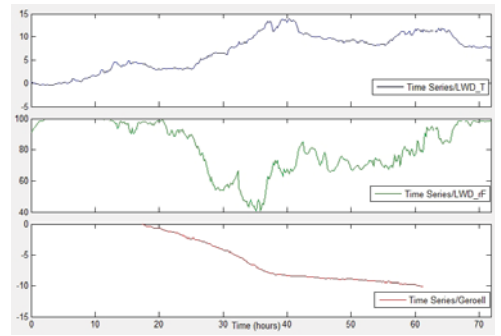
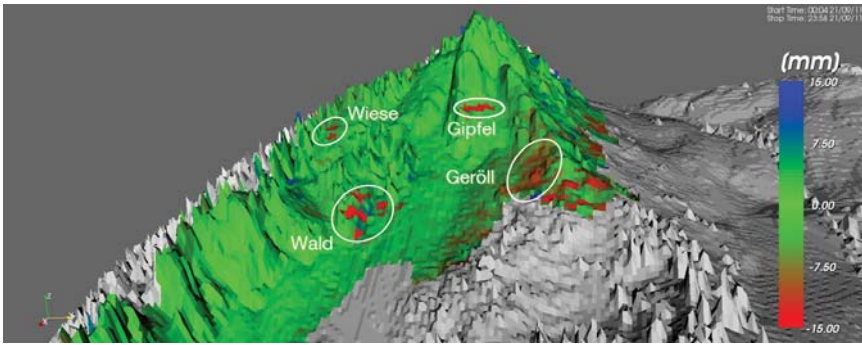
und Luftdruck die beim Instrument und am Berg platziert sind, sowie vom Lawinenwarndienst an der Bergstation der Seilbahn und vom Flugplatz im Tal.

Mit großen Bewegungen ist innerhalb des kurzen Messzeitraums eigentlich nicht zu rechnen. Diese erste Messung soll vor allem als Basis für weitere dienen und zur Analyse ob das Gelände bezüglich der Reflektivität der Oberfläche usw. in der nötigen Form messbar ist. Deformationen sollen erst durch den Vergleich mit zukünftigen Epochen oder einer längeren Messung von mehreren Wochen bestimmt werden.

Zum Zweck der Wiederholbarkeit werden während der Messwoche Sicherungsmessungen durchgeführt um Pseudobewegungen durch eine leicht veränderte Ausrichtung beim erneuten Aufstellen zu vermeiden. Die Position und Ausrichtung des Fundaments werden mit Nivellement an 3 Bolzen und GNSS-Rohdatenaufzeichnung an 2 Halterungen überwacht. Letztere fließen in eine Netzausgleichung mit weiteren Messpunkten in der Umgebung ein. Die Fixierung des Instruments auf dem Fundament wird nivelliert und die Aufbauten dokumentiert. Dazu zählen unter anderem Messingzylinder sowie konvex und konkave Unterlegscheiben um das Instrument zu zentrieren und die Aufhängung beim Verschieben des Sensors entlang der Schiene zu stabilisieren.

Die Auswertung der GBSAR-Messungen wird bei einer Reise zum IGP in Braunschweig mit verschiedenen IBIS-Programmen durchgeführt. So dient IBIS Controller hauptsächlich zur Konfiguration und Steuerung des Instruments, kann aber auch bereits erste Karten aus den Daten ableiten. Etwa die abgebildete Kohärenz, welche die zeitliche Stabilität eines Messpixels über sämtliche Aufnahmen angibt, das Signal-Rausch-Verhältnis oder die Rückstreuenergie. Mit Hilfe dieser Ansichten kann auch eine Auswahlmaske des interessierenden Gebiets für die weitere Prozessierung angelegt werden, wodurch sich eine Berechnungszeit von mehreren Stunden vermeiden lässt.

Die Bewegungsberechnung in IBIS Guardian basiert unter anderem auf dem Unwrapping der Phasenambiguitäten, einem PSI-Modus (Persistent Scatterer Interferometry) und



verschiedenen Atmosphärenmodellen zur Entfernung der Effekte auf die Radarstrahlung, etwa der Luftfeuchtigkeit. Ergebnis ist für jede Messzelle eine Zeitreihe mit der Variation der Entfernung zum Sensor. In den Diagrammen entspricht eine negative Verschiebung einer Bewegung auf IBIS zu.

Wenn ein digitales Oberflächenmodell (DOM) für das Gebiet zur Verfügung steht und das Instrument georeferenziert ist, lassen sich die Daten auch in 3D visualisieren. Bei der Lokalisierung von Verschiebungszonen und der Zuordnung zum entsprechenden realen Gebiet ist dies enorm hilfreich. Da im DOM die Oberfläche der Bäume dargestellt wird ist es ebenfalls eine Unterstützung bei der Suche nach interessanten Gebieten zur tieferen Analyse. Radarmessungen liefern in einem solchen Messgebiet eigentlich nur für Felsuntergrund vergleichbare Ergebnisse. In Waldgebieten sollten Bewegungen, wie das Wiegen der Bäume im Wind, im Prinzip durch die Modelle herausgerechnet werden oder als Rauschen untergehen. IBIS ist hauptsächlich für den Einsatz in Minen optimiert und stößt in manchen Umgebungen noch auf Probleme, wie bei der Vegetation die zudem durch variierenden Feuchtigkeitsgehalt die Reflexionseigenschaften verändern kann.

Für eine der markierten Zonen und den Daten von einer möglichen Parametrierung der Auswerteprozessierung wird hier ein Vergleich mit dem Wetter gezeigt. Die Frage bei der Untersuchung einer möglichen Relation zwischen einer gemessenen Verschiebung und der Meteorologie ist immer ob diese einen Einfluss auf die Messung oder das Gelände hat. Beispielsweise könnte eine Veränderung von Feuchtigkeit oder Temperatur Auswirkungen auf das Radarsignal selbst haben oder bewirken dass es an feuchten Materialien anders reflektiert wird und somit Pseudobewegungen gemessen werden. Weiterhin könnten Nässe oder Frost auch echte Bewegungen, wie lokale Rutschungen, Setzungen oder Abbröcklung im Messgebiet auslösen. Abgebildet sind Temperatur [°C] und relative Feuchte [%] der oberen Wetterstation sowie die gemittelte Verschiebung der Geröll-Zone [mm]. Der visuelle Eindruck des inversen Zusammenhangs zwischen Verschiebung und Temperatur bestätigt sich in einem stark negativen Wert aus einer

Kreuzkorrelation der beiden Zeitreihen. In dieser Zone die sich aus feinkörnigem Gestein zusammensetzt wäre eine solche Bewegung aufgrund des auftauenden abtrocknenden Untergrunds durchaus denkbar.

Mit dieser Masterarbeit wurde gezeigt, dass das Hornberg mit GBSAR messbar ist und eine Basis für zukünftige Messungen geschaffen. Die Nächste sollte eine Beobachtungsdauer von mehreren Wochen haben um einen eindeutigeren Vergleich mit den Wetterbedingungen oder etwa den GPS-Permanentstationen erstellen zu können. Für die 4 untersuchten Zonen sollten dabei auch klarere Resultate entstehen und vielleicht hilft GBSAR dabei neue Rutschungsgebiete zu entdecken die mit den bisherigen Techniken noch nicht beobachtet wurden.

Jean-Marc Schares

Zur Elimination organischer Spurenstoffe aus Abwasser kommen vermehrt Verfahren der weitergehenden Abwasserreinigung zum Einsatz, die mit einem zusätzlichen, oft nicht unerheblichen, Energieverbrauch einhergehen.



ENERGETISCHE & ÖKOLOGISCHE BEWERTUNG VON VERFAHREN ZUR ELIMINATION ORGANISCHER SPURENSTOFFE

Dipl.-Ing. Danièle Mousel



Zu den Sekundärmaßnahmen zählen unterschiedliche oxidative, adsorptive und membranbasierte Verfahren die auf kommunalen Kläranlagen zur gezielten Spurenstoffelimination eingesetzt werden. Eine sogenannte vierte Reinigungsstufe ist mit zusätzlichem Aufwand verbunden, so dass neben der Bewertung der Spurenstoffelimination auch ökonomische und ökologische Aspekte von Bedeutung sind. Einen wichtigen Punkt stellt hierbei der Energieverbrauch dar; zur ganzheitlichen Darstellung dessen muss neben dem Stromverbrauch vor Ort auch die Bereitstellungenergie der Hauptverfahrenskomponenten berücksichtigt werden. Vor diesem Hintergrund wurden in der Diplomarbeit zunächst unterschiedliche Verfahren zur Spurenstoffelimination vorgestellt und ihre Leistungsfähigkeit aufgrund von Literaturdaten bewertet. Angaben zum Energieverbrauch aus der Literatur wurden zusammengetragen bevor für ausgewählte Verfahren Berechnungen zum ganzheitlichen Energieverbrauch vorgenommen wurden. Zusätzlich wurde, sofern möglich, eine CO₂-Bilanz für die ausgewählten Verfahren aufgestellt, um eine ganzheitliche Bewertung zu ermöglichen.

Verfahren zur Elimination von Leitsubstanzen

Für 13 repräsentative, ausgewählte Leitsubstanzen aus den Kategorien Pharmaka, synthetische Moschusverbindungen und Industriechemikalien wurden, sofern vorhanden, Eliminationsraten aus der Literatur für folgende Verfahren zusammengetragen:

- _Nachgeschaltete Ozonung (O3)
- _Advanced Oxidation Processes (AOP):
 - _Zugabe von Wasserstoffperoxid (H₂O₂) und UV-Bestrahlung
 - _Ozonung und Zugabe von H₂O₂
 - _Ozonung und UV-Bestrahlung
- _Filtration mit granulierter Aktivkohle (GAK)
- _Zugabe von Pulveraktivkohle (PAK) in die Belebung
- _Nachgeschaltete Zugabe von PAK in einem Kontaktbecken
- _Nachgeschaltete Zugabe von PAK im Flockungsraum eines Filters
- _Membranbelebungsverfahren (MBR)
- _Nanofiltration/Umkkehrosiose (NF/RO)

Aufgrund verbesserter Analytikmethoden werden organische Spurenstoffe wie z.B. Medikamentenrückstände vermehrt im Abwasser nachgewiesen.
© ISA 2011

Organische Spurenstoffe sind Substanzen, die im aquatischen System (Abwasser, Trinkwasser und Gewässer) in Konzentrationen kleiner 1 mg/l (ng/L-µg/L) vorkommen. Ihr Ursprung liegt in denen vom Menschen in erheblichen Mengen benutzten synthetischen organischen Verbindungen (z.B. Medikamente, Pflegeprodukte oder Haushaltschemikalien). Der wachsende Wohlstand und der demographische Wandel deuten auf einen weiteren Anstieg der Nutzung solcher Produkte hin, die vor, während und/oder nach ihrer Nutzphase in das kommunale Abwasser, d.h. zur Kläranlage, gelangen können. Aufgrund ihrer spezifischen Eigenschaften werden diese Mikroverunreinigungen in der Kläranlage oft nur unzureichend abgebaut und gelangen so in geringen Konzentrationen in die Oberflächengewässer, durch deren Aufbereitung sie in das Trinkwasser gelangen können. Da für viele der unzähligen Spurenstoffe mögliche und/oder nachgewiesene öko- und humantoxikologische Wirkungen vorliegen, wurden in den letzten Jahren vermehrt Ansätze unternommen, durch Primär- und Sekundärmaßnahmen den Eintrag von Spurenstoffen in die Gewässer zu vermindern.

Spurenstoff/Verfahren	Ozonung	GAK-Filtration	PAK nachgesch.
<i>Pharmaka</i>			
Carbamazepin	++	+(+)	+(+)
Diclofenac	++	++	+(+)
Metoprolol	+(+)		++
Sulfamethoxazol	++	0	0(+)
Amidotrizoessäure/Diatrizaot	0(+)	-(+)	0(+)
<i>Synthetische Moschusverbindungen</i>			
AHTN (Tonolid)	+(+)		++
HHCB (Galaxolid)	++		++

Spurenstoff/Verfahren	Ozonung	GAK-Filtration	PAK nachgesch.
<i>Industriechemikalien</i>			
Benzotriazol	+		+(+)
Bisphenol A	(0)++	0	++
Perfluorierte Tenside	-	+(+)	+
TCCP	0	+	+(+)
EDTA	0(+)	-	

Generalisierte Eliminationsrate: - 10 %, 0: 10 bis 50 %, +: 50 bis 90 %, ++: > 90 %

Generalisierte Eliminationsraten für ausgewählte Spurenstoffe: Bahr et al. 2007, Beier 2010, EAWAG 2009, Fahlenkamp et al. 2006, Fahlenkamp et al. 2008, Huber 2005, Jekel 2010, Metzger & Kapp 2008, Neptune 2010, Pinnekamp & Merkel 2008, Schaar et al. 2009, Schrader 2007, Schröder et al. 2010, Ternes et al. 2003, Wintgens et al. 2002, Zwicknupflg et al. 2010

Die Daten belegen, dass keines der betrachteten Verfahren aktuell in der Lage ist, alle 13 Substanzen hinreichend zu eliminieren. Die besten Ergebnisse zeigen die Ozonung, die Zugabe von PAK in ein Kontaktbecken oder in die Biologie sowie die NF/RO auf. Die GAK-Filtration sowie die Zugabe von PAK in die Flockungsfiltration stellen verfahrenstechnisch günstige Maßnahmen mit vielversprechenden Ergebnissen dar. Da für die mit verhältnismäßig hohen Energieverbräuchen verbundenen AOP-Verfahren nur wenige Daten hinsichtlich der Elimination vorliegen, wurde auf weitergehende Berechnungen verzichtet. Gleiches gilt für die membranbasierten Verfahren, da diese nicht primär der Spurenstoffentfernung dienen (MBR) bzw. mit einer aufwändigen Konzentratentsorgung (NF/RO) einhergehen. In oben dargestellter Tabelle sind die verallgemeinerten Eliminationsraten für die Verfahren Ozonung, Filtration über granulierten Aktivkohle und Zugabe von Pulveraktivkohle in ein separates Kontaktbecken dargestellt.

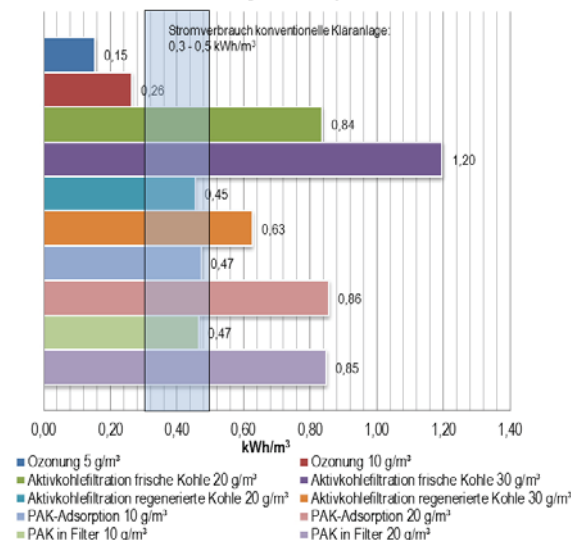
Energetische Bewertung

Für die Ozonung und die adsorptiven Verfahren wurden neben der Auswertung von Literaturdaten auch Berechnungen zum ganzheitlichen Energieverbrauch für unterschiedliche Szenarien und Dosierungen an Ozon/Aktivkohle durchgeführt. Den Hauptanteil am Energieverbrauch bei der Ozonung besitzen die energieintensive Ozonerzeugung vor Ort und die Produktion des in der Regel angelieferten Sauerstoffs. Weitere Einflussfaktoren sind z.B. die Kühlung der Ozonanlage, die Nachbehandlung und eventuelle Hebewerke. Bei den adsorptiven Verfahren ist der Energieverbrauch auf der Kläranlage deutlich geringer als bei der Ozonung; der maßgebliche Anteil wird hier durch die Aktivkohleherstellung bedingt. Für diese liegen jedoch mit großen Unsicherheiten verbundene und sich deutlich unterscheidende Literaturangaben vor. So wurden zwei Szenarien (niedriger und hoher Energieverbrauch) für die Herstellung angesetzt, die sich entsprechend auf den ganzheitlichen Energieverbrauch auswirken. Gleichwohl wird der Vorteil der Filtration mit GAK erkennbar. Dieses Verfahren ermöglicht als einziges die kontinuierliche Verwendung von regenerierter Aktivkohle, die mit deutlich geringeren Energieverbrauchsmengen einhergeht als die

Herstellung frischer Kohle.

Den niedrigsten ganzheitlichen Energieverbrauch zeigt die Ozonung auf (0,030,5 kWh/m³ bei Dosierungen zwischen 2,5 und 15 g O₃/m³ Abwasser). Bei der GAK-Filtration, wo zusätzlich die Behandlung des Filterspülwassers sowie eine Vorfiltration zu berücksichtigen sind, ergeben sich Werte von 0,23,7 kWh/m³ bei frischer GAK und rund 0,1-2 kWh/m³ für Regenerat bei Dosierungen zwischen 10 und 60 g GAK/m³ Abwasser. Für die Zugabe von PAK in ein Kontaktbecken bzw. in einen Filter ergeben sich Werte in vergleichbaren Größenordnungen: 0,1-1,4 kWh/m³ für das Kontaktbecken (5-20 g PAK/m³ Abwasser) und 0,2-1,3 kWh/m³ für den Filter (10-20 g PAK/m³ Abwasser). Für beide PAK-Verfahren muss die zusätzliche Schlammbehandlung mitberücksichtigt werden, die jedoch ebenfalls zu einer, an dieser Stelle nicht aufgeführten, Heizwerterhöhung des Klärschlammes führt.

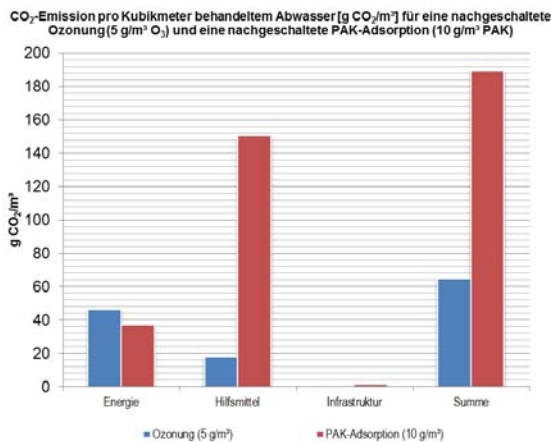
Ganzheitlicher berechneter Energieverbrauch von Verfahren zur Elimination organischer Spurenstoffe



Ökologische Bewertung

Für die Ozonung und die Adsorption an PAK im Kontaktbecken wurden CO₂-Bilanzen für die Kategorien Energie,

Hilfsmittel und Infrastruktur bei gemittelten Betriebsbedingungen aufgestellt. Bei einer mittleren Dosiermenge von 8 g O₃/m³ Abwasser beläuft sich die spezifische CO₂-Emission auf 103,3 g CO₂/m³, wobei der Hauptanteil auf Strom zurückzuführen ist. Der Wert für die Adsorption an 12,5 g PAK/m³ Abwasser beläuft sich auf 230,1 g/m³, wobei über 80 % durch das Hilfsmittel Kohle verursacht werden. Im Vergleich hierzu liegen die CO₂-Emissionen aus dem Stromverbrauch einer konventionellen Kläranlage bei 174 g CO₂/m³. Eine qualitative Bilanzierung der Zugabe von PAK in einen Filter und der Filtration mit GAK führen zu der Aussage, dass die niedrigsten CO₂-Emissionen durch die Filtration mit GAK-Regenerat bewirkt werden, vor der Ozonung und der Zugabe von PAK in einen Flockungsfilter, welche geringfügig weniger Emissionen bewirken sollte als die Zugabe in ein Kontaktbecken. Die höchsten Emissionen werden aufgrund der hohen Dosiermenge an Kohle der Filtration mit frischer GAK zugeordnet.



Fazit

Die durchgeführten Untersuchungen und Berechnungen führten zu folgenden Ergebnissen:

Die Ozonung und die nachgeschaltete Adsorption an Pulveraktivkohle stellen zurzeit die effizientesten Verfahren hinsichtlich der Spurenstoffelimination dar, jedoch scheint aktuell keines der betrachteten Verfahren in der Lage zu sein, alle Stoffe zielführend zu eliminieren.

Die spezifische Erhöhung des Energieverbrauchs ist immer anlagenspezifisch und hängt von den Dosiermengen und örtlichen Randbedingungen ab.

Bei der Betrachtung des ganzheitlichen Energieverbrauchs erreicht die Ozonung die besten Ergebnisse. Umrechnungen der hier maßgeblichen elektrischen Energie auf thermische Energie (maßgeblich bei Aktivkohle) müssten jedoch berücksichtigt werden.

Die Verwendung von regenerierter Aktivkohle führt zu relevanten Einsparungen an Energie und CO₂, kommt jedoch i.d.R. nur für die Filtration über granuliert Aktivkohle in Frage.

Energieeinsparungen bei der Ozonung können durch optimierte Sauerstoff- und Ozonerzeugung bewirkt werden, bei der Kohleherstellung können durch Verwendung von Sekundär- oder nachwachsenden Rohstoffen Ressourcen gespart werden.

Weiterer Forschungsbedarf ist gegeben, insbesondere hinsichtlich des Energieverbrauchs bei der Aktivkohleherstellung.

Eine eindeutige Empfehlung hinsichtlich eines Verfahrens ist aktuell nicht möglich. Laufende Forschungsprojekte, insbesondere in Deutschland und der Schweiz, werden weitere Erkenntnisse liefern.

Dipl.-Ing. Danièle Mousel

Seit den Ereignissen in Fukushima im März 2011 wird die Nutzung von Atomenergie kritischer beäugelt als jemals zuvor. Seitdem ist konsequenterweise die Rückfrage nach alternativen Energien gestiegen, wie zum Beispiel die Energieerzeugung durch Windkraftanlagen. Da sich außerdem fast alle großen Industrienationen dazu verpflichtet haben die CO₂-Emissionen zu senken, stellt die Windenergie weltweit eine attraktive Branche mit Zukunftsperspektiven dar. Wie in Abbildung 1.4 zu erkennen ist, können vom Wind höchstens 59% der Energie entnommen werden. Die Windenergie kann also nicht vollständig genutzt werden. Dieses Verhalten lässt sich anhand des Leistungsbeiwerts, welcher der deutsche Physiker Albert Betz entdeckte, erklären.

KONZEPTENTWURF UND BERECHNUNG EINER GENERATORBAUGRUPPE AUS ALUMINIUM

Patrick Lamberty

Zu diesen 41% Verlust der Windenergie kommen noch weitere Verluste der Anlage hinzu, wie zum Beispiel Rotorverluste, mechanische Verluste am Triebstrang, und elektrische Verluste (Generator, elektrische Komponenten). Schlussendlich bleiben dann noch ungefähr 45% der ursprünglichen Windenergie übrig, die genutzt werden kann.

Die Betriebsfestigkeit bei Windkraftanlagen spielt eine bedeutende Rolle. Die Anlagen sind sehr hohen dynamischen Belastungen ausgesetzt, wie zum Beispiel Wind-, Trägheits- und Eigengewichtskräften, und sollen eine möglichst hohe Lebensdauer aufweisen. Im Idealfall soll eine Lebensdauer von 20 Jahren oder länger erreicht werden. Daher spielt das verwendete Gussmaterial eine wichtige Rolle.

Vorteilhaft sind die geringen Wandstärken der Gussteile für die Montage und den Transport der Anlagen, da das Gesamtgewicht somit wesentlich geringer ist. Gussteile von Windkraftanlagen mit 5MW Leistung können z.B. Massen von bis zu 50t aufweisen. Windkraftanlagen sind meist großvolumig, aber mit geringen Wanddicken.

Das konventionell verwendete Material für Windkraftanlagen ist Gusseisen mit Kugelgraphit, da er technisch und wirtschaftlich am besten geeignet ist als Werkstoff für Gussteile von Windanlagen.

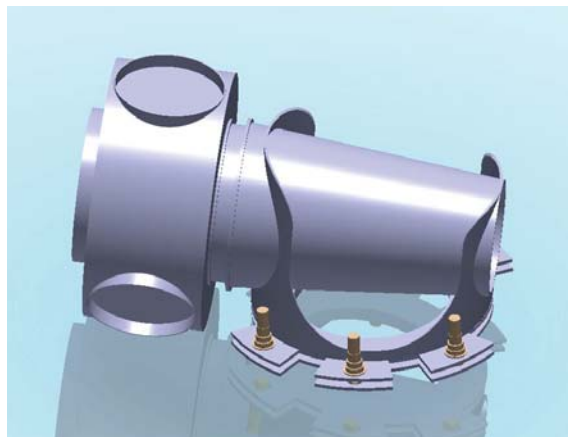
Aluminium weist eine wesentlich geringere Dichte auf und würde die Masse des Gussteils, im Gegensatz zum normalen Gusseisen, fast um das Dreifache verringern. Diese Massensparnis könnte bei einer Aluminiumgusskonstruktion für weitere Versteifungen und Rippen verwendet werden. Diese weiteren Versteifungen wären von Vorteil für die Verformung des Gussteils bei Beanspruchung. Aluminium besitzt einen wesentlich weicheren Elastizitätsmodul als Gusseisen und durch die zusätzlichen Versteifungen würden die Verformungen eingeschränkt werden. Vorteile einer Konstruktion aus Aluminiumguss wären:

_gute Gieß Eigenschaften, z.B. sind geringere Wandstärken möglich als bei Gusseisen, was vorteilhaft für die Gestaltung von Rippen ist

_geringere Dichte und somit geringere Masse

_für die Konstruktion vorteilhafte thermische Eigenschaften

Das fertige Turmkopfmodell aus Aluminium besitzt eine Masse von 14,5 Tonnen. Jedoch muss man beachten, dass noch



Die gesamte Baugruppe aus Aluminium mit vereinfachter Rotorblattnabe und Azimutmotoren

keine Flansche für das Anbringen des Turmkopfes am Azimutlager bzw. Turm vorhanden sind, welche auch wieder zu einer höheren Masse führen.

Die Spannungen liegen unter 80MPa. Die Sicherheit gegen Bruch beträgt 2,8. Die maximale befindet sich am hinteren Übergang der beiden Rohre. Später, wenn das Bauteil gegossen wird, werden an dieser Stelle kleine Rundungen entstehen, welche die Spannungen noch weiter reduzieren. Im vorliegenden Modell handelt es sich um eine vereinfachte Geometrie für Finite-Elemente Berechnungen.

Verformungen des Turmkopfes betragen bei diesem Extremfall 4,5mm und sind relativ gering für ein Bauteil mit einer Länge von über 5 Meter.

Der maximale Schaden am Turmkopf beträgt $D=0,498$, resultierend aus der Betriebsfestigkeitsanalyse. Ab einem Schaden $D \geq 1$ würde das Bauteil versagen. Allerdings wurden starke Vereinfachungen über die Kennwerte des Aluminiummaterials angenommen, da keine präzisen Werte in der Literatur zu finden waren und man sich mit Hilfe von sogenannten Korrekturfaktoren die benötigten Kennwerte ableitete. Bei der Betriebsfestigkeitsanalyse ging es in erster Linie darum, sich einen ersten Blick über die Lebensdauer (=20 Jahre) zu verschaffen. Da der Schaden D unter eins liegt, kann man behaupten, dass das Bauteil unter den vereinfachten Annahmen und Bedingungen eine ausreichende Dauerfestigkeit für eine Lebensdauer von 20 Jahren besitzen sollte.

Zunehmende Verfügbarkeit digitaler Daten und wachsende Rechenkapazitäten tragen zur Verbreitung verteilter hydrologischer Modelle bei [Sorooshian, 1994]. Diese stehen häufig in Zusammenhang mit hoher Komplexität und Datenanforderungen. Das Interesse der praktischen Anwendung führt jedoch zum Bedarf eines Modells auf Basis weniger Eingangsparameter und vereinfachten Prozessannahmen. Folgende Arbeit soll zeigen, dass ein vergleichsweise einfaches verteiltes Modell hinreichend gute Ergebnisse liefert.

HYDROLOGISCHE MODELLIERUNG KLEINER EINZUGSGEBIETE IM MITTELGEBIRGE_

Maud Lorang, Schroeder & Associés

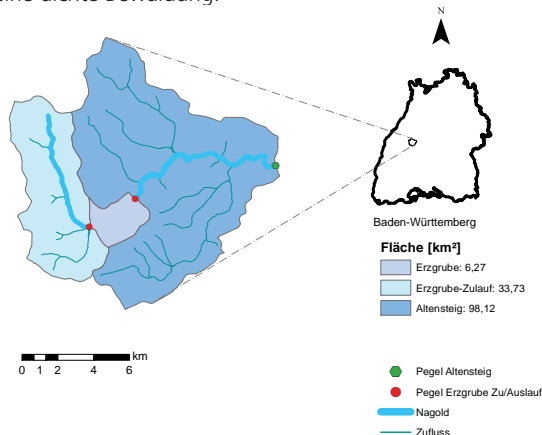
Felix Herma, Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung, Universität Stuttgart

Untersuchungsgebiet

Das Einzugsgebiet (EZG) der Nagold vom Ursprung im Hochschwarzwald Baden-Württembergs bis zum Pegel Altensteig ist das Untersuchungsgebiet dieser Arbeit. Nach bereits 7 km wird die Nagold bei Erzgrube zur Nagoldtalsperre aufgestaut. In Pforzheim fließt sie mit der Enz zusammen um schließlich bei Besigheim im Neckar zu münden.

Die obere geologische Schicht des Nordschwarzwalds wird überwiegend durch Bundsandstein geprägt [Geyer und Gwinner, 2011]. Das hohe Versickerungsvermögen führt zu einem nährstoffarmen Boden mit wenig Speicherkapazität.

Außerdem begünstigen die Höhenlage und das raue Klima eine dichte Bewaldung.



_1 EZG Pegel Altensteig

Der Niederschlag im Nordschwarzwald unterscheidet sich auffallend vom Niederschlag im Mittleren- und Südschwarzwald. Trotz geringerer Höhenlage sind die Niederschläge im Norden deutlich höher. Die Winter sind relativ mild und schneereich. Das Gebiet ist somit hauptsächlich im Winter durch schneebedingte Hochwässer (HW) gefährdet.

Datengrundlagen

Ein digitales Geländemodell dient als Grundlage des rasterbasierten, verteilten Modells. Die Niederschlagsdaten stammen von insgesamt 36 im Untersuchungsgebiet gelegenen Stationen. Die Messdaten werden über *External Drift Kriging* interpoliert.

Im Untersuchungsgebiet werden an drei Pegeln die stündlichen Abflüsse gemessen. Die Pegel befinden sich am Zu- und Auslauf der Nagoldtalsperre sowie in Altensteig. Die gemessenen Abflüsse am Erzgrube-Zulauf werden zur Kalibrierung der Parameter des Niederschlag-Abfluss-Modells (N-A-Modell) herangezogen. Die Bewertung des Modells erfolgt durch den Vergleich gemessener und simulierter Abflüsse am Pegel Altensteig. Die Kalibrierung wird anhand von 20 Ereignissen zwischen 1989 und 2004 durchgeführt. Dabei sind die seit Beginn der Aufzeichnungen am Pegel Erzgrube-Zulauf im Jahr 1990 und 1993 eingetretenen HW-Ereignisse mit Abstand die Extremsten.

Grundlagen und Methodik

Translation & Retention

Das verwendete N-A-Modell setzt sich im Wesentlichen aus *Zeitflächendiagramm* und linearem Speicher zusammen welche Translations- und Retentionseffekte berücksichtigen.

Das Zeitflächendiagramm beschreibt in welcher zeitlichen Reihenfolge und mit welchem mengenmäßigen Anteil die Teilflächen vom Gebietsauslass stromaufwärts zum Abfluss beitragen. Das Zeitflächen-Histogramm (ZFH) ist die Basis für die Niederschlag-Abfluss Transformation und dient als Transferfunktion zwischen Eingangsdaten (Niederschlag) und zugehörigem Ausgang (Abfluss).

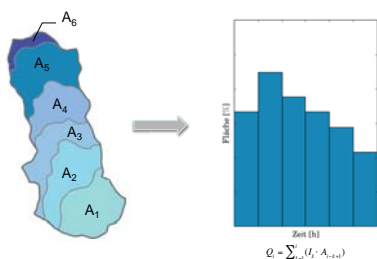
Zur Bestimmung des ZFH wird zunächst das EZG durch Isochronen in Teilflächen unterteilt. Diese beschreiben Linien gleicher Fließzeit bis zum Gebietsauslass. Durch Einführung einer Gewichtung kann der Einfluss der Landnutzung berücksichtigt werden.

Über ZFH und effektive Niederschlagsintensität I kann die Abflussganglinie des Oberflächenabflusses durch Faltung bestimmt werden [Saghafian et al., 2002]

Der Effektivniederschlag h_{Ne} ist der Anteil des Gesamtniederschlags welcher zum Abfluss beiträgt. Durch Effekte wie Benetzung, Versickerung und Evapotranspiration kann je nach Bodenart, Bodenfeuchte und Landnutzung dieser Anteil mehr oder weniger groß sein und zeitlich variieren. Der hohe Grad der Auswirkungen von Effektivniederschlag auf simulierten Abfluss verdeutlicht die Notwendigkeit verschiedene Verfahren zur Effektivniederschlagsbestimmung anzusetzen. Im Rahmen dieser Studie werden die Auswir-

Translation model: Time-area concept

Time of concentration (T_c) Time-area histogram (TAH)



• Objectives • Study area • **Theory** • Calibration • Results • Summary • Outlook 6

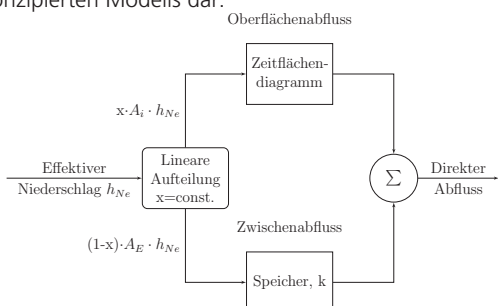
_2 Isochronunterteilung und zugehöriges ZFH

kungen von vier Ansätzen zur Bestimmung des Effektivniederschlags untersucht:

- _Konstantes Abflussbeiwertverfahren
- _Exponentielles Abflussbeiwertverfahren
- _Exponentiell abnehmende Verlustrate
- _Zellenbezogener Abflussbeiwert, abhängig von Landnutzung, Gefälle, Boden

Ein Teil des Abflusses wird von den oberflächennahen Bodenschichten aufgenommen und wird durch ein Retentionsmodell berücksichtigt. Das hier angewendete Retentionsmodell besteht aus zwei Komponenten; dem Oberflächenabfluss und dem schnellen Zwischenabfluss.

Durch die Verknüpfung von Translation und Retention kann der Verlauf einer Hochwasserwelle vollständig dargestellt werden. Folgende Abbildung stellt das Fließschema des konzipierten Modells dar:



_3 Schema des angewendeten hydrologischen Modells

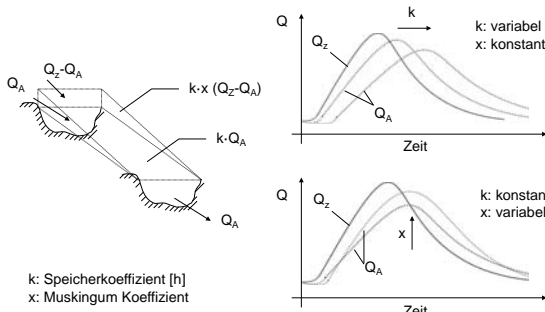
Schneeakkumulation & -schmelze

Im betrachteten Gebiet treten bedeutende HW-Ereignisse häufig im Winter unter Einfluss von Schnee auf. Daher ist es wichtig, eine Routine zur Berücksichtigung der Schneeschmelze und -akkumulation im Modell einzufügen. Die Einführung von zwei Parametern, Grenztemperatur und Schmelzfaktor, ermöglichen die Bestimmung der Akkumulation und der Schmelze. Die Schneeroutine wird zellenweise durchgeführt, um auf die räumliche Variabilität des Niederschlags und der Temperatur einzugehen und somit auch die Topographie des Mittelgebirges zu berücksichtigen.

Floodrouting

Floodroutingmodelle beschreiben den Verlauf einer Hochwasserwelle im Gerinne. In folgender Studie wird das Muskingum-Verfahren am Auslauf der Talsperre angewendet. Das Modell beschreibt den Gerinneabschnitt zwischen zwei Pegeln als einen Speicher, bestehend aus einem Prismen- und Keilspeicher. Die Parameter k und x beschreiben die zeitliche Abflachung und Verschiebung der Welle:

Floodrouting: Muskingum model



• Objectives • Study area • **Theory** • Calibration • Results • Summary • Outlook 9

_4 Einfluss von k und x auf die Abflussganglinie [Maniak, 2005]

Ergebnisse

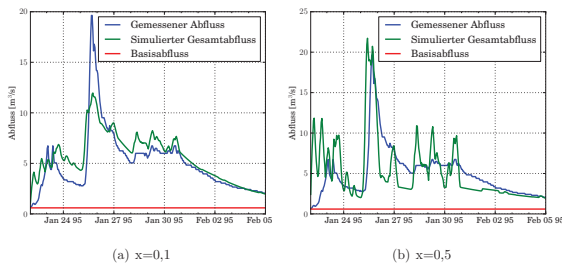
Modellkalibrierung

Die Modellkalibrierung wird anhand der gemessenen Abflussreihen am Pegel Erzgrube Zulauf durchgeführt. Die verschiedenen Verfahren werden miteinander verglichen und bewertet. Zur Bestimmung der Parameter wird eine

automatisierte Optimierung der Parametersätze durchgeführt. Als Zielfunktion der Optimierung wird die Summe der kleinsten Fehlerquadrate von simuliertem und gemessenem Abfluss ausgewählt.

Die Auswahl des Verfahrens zur Bestimmung des Effektivniederschlags erweist sich als sehr einflussreich auf die Qualität der Modellierung. Dabei ergibt der über die Zeit exponentiell steigende Abflussbeiwert gute Resultate hinsichtlich Bestimmtheitsmaß (R^2) und Gütemaß nach Nash-Sutcliffe (NS). Im Gegensatz zum konstanten Abflussbeiwert berücksichtigt der gewählte Ansatz eine Zunahme des Direktabflusses über die Zeit bedingt durch zunehmende Bodensättigung. Ein Vorteil des Verfahrens gegenüber der Verlustrate ist die geringe Anzahl der Parameter. Dadurch bleibt das Modell vergleichsweise einfach und zugänglich für die praktische Anwendung.

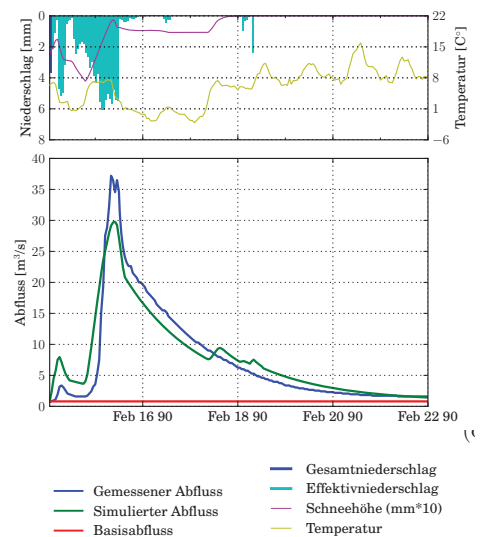
Der abfallende Ast der Abflusskurve wird weitläufig über den Parameter x bestimmt, welcher den Anteil des Oberflächenabflusses am Gesamtabfluss quantifiziert. Folgendes Beispiel zeigt den deutlichen Einfluss dieses Parameters:



5 Einfluss des Parameters x

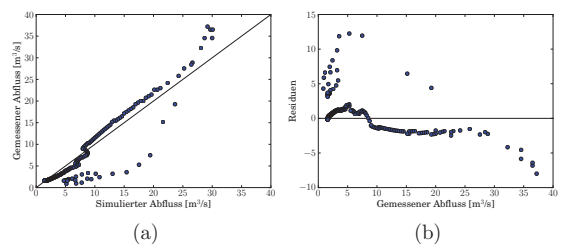
Der Abflussscheitel kommt bei $x = 0,5$ bedeutend näher an den gemessenen Wert heran. Anstieg und Auslauf der Hochwasserwelle werden jedoch bei $x=0,1$ deutlich besser getroffen. Diese werden überwiegend über den linearen Speicher gesteuert. Die kleineren Abflussspitzen zu Beginn des Ereignisses und nach dem Hauptscheitel zeigen, dass durch eine Übergewichtung des Translationsmodells, das Modell sehr sensibel auf kleine Niederschlagsspitzen reagiert.

Die Gütemaße des Ereignisses 1990 ($R^2=0,91$ & $NS=0,89$) sagen eine hohe Qualität des Modells voraus.



6 Ergebnis Erzgrube-Zulauf HW 1990

Zur Bewertung der Vorhersagequalität wird das Modell neben den quantitativen Beurteilungskriterien R^2 und NS auch der visuellen Beurteilung unterzogen. Die Analyse weiterer statistischer Merkmale erlaubt eine umfassendere Einschätzung der Güte.



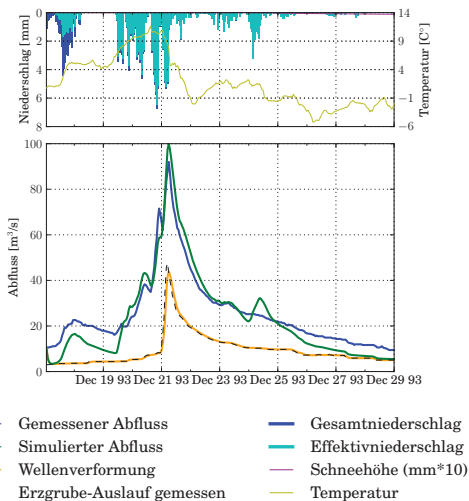
7 Statistische Bewertung HW 1990

Scatterplot (a) verdeutlicht das Verhältnis vom gemessenen zum simulierten Abfluss. In Abbildung (b) sind die Residuen der Subtraktion von simuliertem und gemessenem Abfluss aufgetragen. Beide Graphiken verdeutlichen, dass kleinere Abflusswerte tendenziell eher überschätzt werden. Beim Spitzendurchfluss hingegen liegen simulierte Werte meist

unter den gemessenen Werten. Abbildung (b) verdeutlicht den negativen Bias der simulierten Abflussreihe.

Modellvalidierung

Das am EZG des Pegels Erzgrube-Zulauf kalibrierte Modell wird nun auf das EZG Altensteig angewendet und bewertet. Die Kalibrierung der Muskingum-Parameter k und x wird nach einer Methode von [O'Donnell, 1985] durchgeführt. Es wird beispielhaft das Ereignis von 1993 dargestellt:



8_ Ergebnis Altensteig HW 1990

Zusammenfassung und Ausblick

Die praktische Anwendbarkeit eines hydrologischen Modells wird durch die Verfügbarkeit der benötigten Daten, die Komplexität der Modellstruktur und die Anzahl der zu kalibrierenden Parameter bestimmt.

Das Modell sollte je nach Anwendung die erforderliche Güte betreffend Volumen, Dynamik, zeitlicher Abfolge und Maximalwerte der Abflussspitzen aufweisen.

Das vorgestellte Modell zeigt größtenteils gute Ergebnisse hinsichtlich dieser Bewertungskriterien. Die Einfachheit des Modells im Aufbau und in der Anwendung sind durch vergleichsweise wenige Eingangsdaten und geringem Rechenaufwand gegeben.

Ein Schwerpunkt der hydrologischen Modellierung stellt die Parameteroptimierung dar. Die Parameter stehen in Zusammenhang mit Niederschlagsintensität, Temperatur, Anfangssättigung, Landnutzung und Boden. Die unterschiedlichen Ausgangssituationen der verschiedenen Ereignisse ermöglichen es nicht, den gleichen Parametersatz auf unterschiedliche Ereignisse anzuwenden. Weitere Untersuchungen über den Zusammenhang der Parameter mit oben genannten Einflussfaktoren wären im Hinblick auf eine allgemeine Anwendung des Modells sinnvoll.

Maud Lorang
Felix Herma

Literatur

- Sorooshian, S. (1994). Comparison of simple versus complex distributed runoff models on a mid-sized semiarid watershed. *Water Resources Research*.
- Geyer, O. F. und P. Gwinner (2011). *Geologie von Baden-Württemberg*, Bd. 5. völlig neu bearbeitete Auflage. Schweizerbart.
- Saghafian, Bahram, P. Y. Julien und H. Rajaie (2002). Runoff hydrograph simulation based on time variable isochrone technique. *Journal of Hydrology*.
- Maniak, U. (2005). *Hydrologie und Wasserwirtschaft - Eine Einführung für Ingenieure*, Bd. 5. bearbeitete und erweiterte Auflage. Springer.
- O'Donnell, T. (1985). A direct three-parameter Muskingum procedure incorporating lateral inflow. *Hydrological Sciences Journal*.

The presented diploma thesis uses a physically accurate modelling approach to predict the performance of a realistic multi-antenna communication system under various conditions. Thereby, arguments are provided that help refute the prevalent opinion in the signal processing community, stating that compact arrays do not perform efficiently.



ON THE INFLUENCE OF HEAT LOSS ON THE PERFORMANCE OF MULTI-ANTENNA COMMUNICATION SYSTEMS_

Lionel Arend



_picture 1
Wireless LAN modem
with simple two-element
antenna array

Communication terminals with multiple antennas become increasingly popular in small consumer devices. Picture 1 shows an example of such a device, a wireless LAN modem comprising a two-element antenna array. Such an array presents important advantages with respect to traditional, single-antenna systems.

First of all, by operating several antennas in an array, it is possible to increase the transmission and reception gains with respect to the individual elements. This way, several small antennas can behave like a single, larger antenna. With the same technique, called **beamforming**, the direction of maximum antenna sensitivity (i.e. the main lobe) can be electronically steered into the direction of the link partner. No mechanical antenna movement is required.

There are other benefits: random signal outages, as are often experienced with mobile devices, can be rendered less severe and less frequent. Signal loss of a single element can be compensated by the other antennas in the array. This is known as **antenna diversity**.

A third and important asset of antenna arrays is the ability to transmit and receive several waves at the same time from different directions. One could thereby exploit several propagation paths between communication partners, this is called **multistreaming**. In another scenario, **multiple access**, simultaneous links to several, spatially separated users can be maintained in the same frequency band. In a cell phone scenario for instance, this would allow one base-station to handle more network subscribers simultaneously.

Like in all engineering disciplines, these advantages do not come for free. Arrays are in principle more narrow-banded than their constituent, individual antennas. In addition, unwanted side-lobes may catch interfering signals.

In order to profit from the aforementioned advantages, complex signal processing algorithms are required to synthesize or interpret the waveforms for the different antenna elements.

In the signal processing literature, the physical quantities that govern the antenna behaviour – the electric and magnetic fields – are in general only marginally considered. Often, one merely speaks of a **signal** and the antenna is modelled as a device onto which such a signal can be **impressed or measured from**.

As a consequence of this design simplification, it is commonly believed that smaller arrays, also called **compact arrays**, are not capable of efficiently exploiting their array benefits. The reasoning is that the antennas are so close, that they essentially **see** and **produce** identical fields. However, compact arrays could prove very useful: they would allow dense antenna packings and thereby smaller arrays. As an example, it might become possible to mount multiple antennas on mobile phones.

My thesis supervisor, Dr. Michel Ivrlač has shown in a series of papers (most notably¹), that this prevalent description of arrays is not sufficient to model the behaviour of compact arrays. This comes about because the existing model neglects **antenna mutual coupling**: close antennas influence each other and can no longer be considered independent. From an engineering point of view, this presents itself as a matching problem: in a compact array it is not

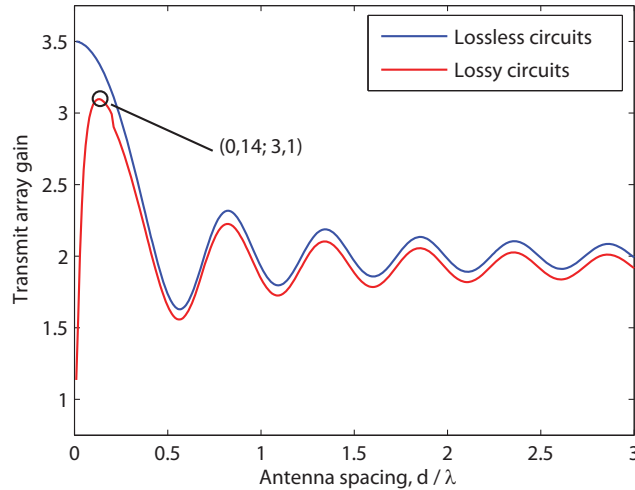


figure 1 End-fire transmit array gain for two-element array in the lossless and lossy cases.

possible to simply match amplifiers to antennas, because the impedance each amplifier **sees** is dependent on what the other amplifiers **do** at that precise instant.

By applying a physically rigorous modelling approach using circuit theory, Dr. Ivrlač has shown that compact antenna arrays are able to achieve similar benefits than their larger counterparts, provided that the feeding circuitry comprises a so-called decoupler. Such a decoupler is required to **undo** the coupling behaviour of the antennas. He showed that in the case of lossless circuits, the antennas could even be approached arbitrarily close, without any reduction of array efficiency.

However, the lossless assumption still remains an objectionable idealization. Therefore, the goal of my thesis was to create a more realistic transceiver model, then apply the same physically correct approach and use it to recompute the different performance gauges used by my supervisor.

My model uses $\lambda/2$ copper dipoles of finite diameter as antennas. The concept of minimum-scattering antenna² is employed to derive the coupling between the array elements. A parasitic capacitance is inserted to account for the imperfect antenna feeding gap. Finally, the decoupler and matching networks are implemented using lossy microstrip transmission lines.

To decouple a simple two-antenna array, a 90° hybrid coupler can be used. For the case of a four-antenna rectangular array, a decoupler was developed consisting of four interconnected couplers. The matching networks, interfacing the decoupler and the amplifiers, are implemented using a piece of transmission line with a stub. The transmission line lengths are automatically determined by an optimisation algorithm in the software.

This model was then used to estimate compact array performance under more realistic conditions, with a focus on heat loss in particular. It was implemented in Matlab to allow performance predictions with different parameter values for the losses and inter-antenna distance. Also, characteristic application scenarios serving as benchmarks to the previously summarized four disciplines of array signalling were adapted to the lossy model and implemented.

One of the computation results is shown in figure 1. It depicts the transmit array gain performance of a two-element array in end-fire operation (i.e. along the array axis, from left to right in picture 1), as a function of the antenna distance. The transmit array gain is defined as the increase in signal-to-noise-ratio, achieved by applying **beamforming** in the transmitter, compared to a single-antenna system. The lossless case is given as a reference curve. One can see that the lossy array is able to sustain reasonable operation down to an antenna distance of around 0.14 wavelengths, whereas a lossless transmitter does not incur any penalties as the antennas are further approached.

Similarly optimistic results were received for the **receive array gain** and **antenna diversity** as well as the **multistreaming** and **multiple access** scenarios. The numerical computations yielded that in all these benchmarks, the antennas can be safely approached up to $\lambda/7$ and even sometimes $1/10$ of a wavelength and still perform reasonably well. Moving the antennas closer than this threshold however, leads to a drop in performance towards that of a single antenna system.

It can be concluded that the previous results, valid for lossless systems only, were generalised towards a more realistic system setup. A minimum threshold distance can be determined, dependent on the precise system parameters, up to which reliable array operation can be expected. For the system under analysis, this threshold was far below the common $\lambda/2$ threshold.

Lionel Arend

¹ Ivrlač, M.T.; Nossek, J.A., "Towards a Circuit Theory of Communication," Circuits and Systems I: Regular Papers, IEEE Transactions on , vol.57, no.7, pp.1663,1683, July 2010

² Kahn, W.K.; Kurss, H., "Minimum-scattering antennas," Antennas and Propagation, IEEE Transactions on , vol.13, no.5, pp.671,675, Sep 1965

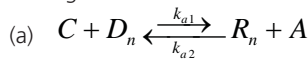
Poly(lactic acid) (PLA), which is used as biodegradable plastic or biocompatible material, can be produced by polycondensation or ring-opening polymerization (ROP). As in most applications long chains need to be produced, the latter method is preferred. The aim of the current work is to predict average properties (e.g. polydispersity) and chain length distribution, using direct integration ("brute force"), the methods of moments and the "fractionated moments" method.

RING-OPENING POLYMERIZATION OF L, L-LACTIDE:

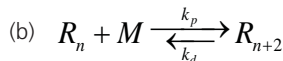
MODELING STUDY OF TRANSESTERIFICATION REACTIONS_

Eric Fischer

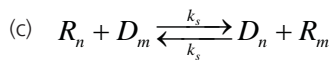
According to Duda and Penczek¹, the ROP of L,L-dilactide includes several distinct reactions: catalyst activation (a), propagation (b), chain transfer (c) and intermolecular transesterification of a living chain with another living (d) or dormant (e) chain – where C represents the catalyst tin(II) 2-ethylhexanoic acid $\text{Sn}(\text{Oct})_2$; A the acid 2-ethylhexanoic acid; M the monomer dilactide; R_n the living polymer chain of length n ; D_n the dormant (deactivated) polymer chain of length n :



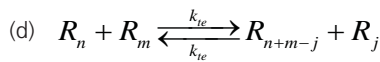
Reversible catalyst activation



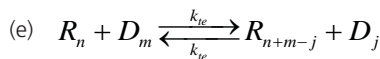
Reversible propagation



Reversible chain transfer



Inter-molecular transesterification



Inter-molecular transesterification

Further details about the model and kinetic constants can be found in the paper of Yu et al.²

At first, a model taking into account only reversible propagation (2) is implemented to demonstrate that the moment method (a moment of order i is defined as $\mu_i = \sum_{n=0}^{\infty} n^i R_n$) leads to the same average properties

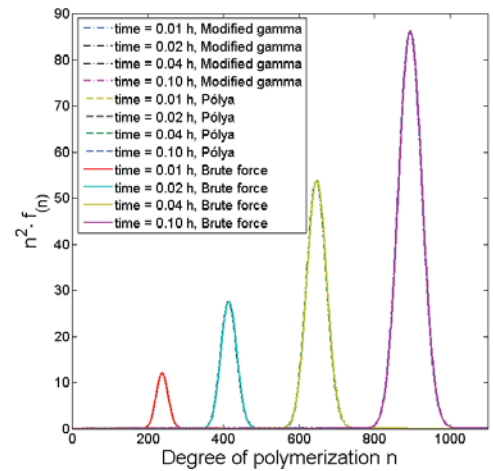
(number-average $M_n = \mu_1 / \mu_0$ and weight-average

molecular weight $M_w = \mu_2 / \mu_1$ and polydispersity

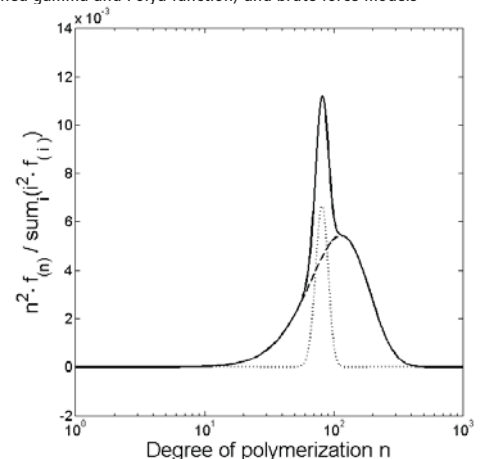
$PDI = M_w / M_n$) than the direct integration method

(for which the concentration of each chain length is cal-

culated separately). Out of the moments method, a chain length distribution can be calculated using a modified gamma distribution developed by Bamford and Tompa³ or a Pólya distribution⁴. As shown in figure 1, a perfect agreement is found between the two methods.

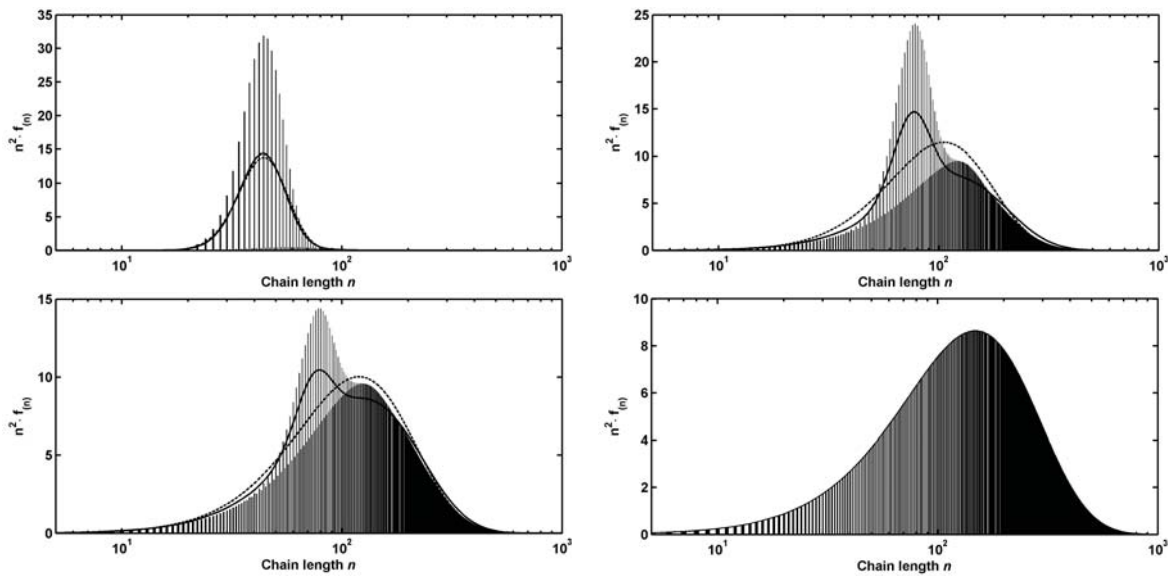


_1 Distribution of the reversible propagation model for the moments (modified gamma and Pólya function) and brute force models



_2 Distribution of the non-transesterified (dotted line), transesterified (dashed line) and all chains (solid line).

When the transesterification reaction (d) is added, the direct integration model shows a bimodal behavior – which



3 Calculated molecular weight distributions at reaction time (a) = 0.1 h; (b) = 1 h; (c) = 1.5 h; (d) = 10 h.

cannot be correctly predicted by the moments method. To bypass this deficit, Szymanski⁵ developed the fractionation method: the polymer chains are split into two categories: chains having experienced the transesterification reaction (at least once) and those which have not. The moments are calculated separately for each of this category, as well as the resulting chain length distribution using the modified gamma distribution. The summation of these distributions gives the final distribution, which is represented in Figure 2. This figure is very close to the graph in the paper⁵, proving the correctness of the written program.

Adding catalyst activation (a), chain transfer (c) and living-dormant transesterification (e), the complete reaction scheme is obtained. In this model, dilactide is considered to consist of two lactoyl units. Therefore, in one propagation step, two repeat units are added to the active chain. Figure 3 shows the distributions obtained via direct integration, moments method and fractionated moments method of a specific reaction at different reaction times. At short reaction times (Figure 3.a), the non-transesterified PLA chains are dominant, as the transesterification reaction is much slower than the propagation reaction. Actually, only chains with an even number of repeat units are present, since during propagation, two repeat units are always added at the same time and the starting material is an initial "chain" of length 0. These findings are in accordance with the results obtained via MALDI-TOF mass spectrometry. As the other two distributions are based on average quantities (moments), no differentiation can be made between even and odd chain lengths, so that the concentrations are too small for even and too high for odd chain lengths.

As the reaction proceeds (3.b), the distribution calculated by direct integration becomes bimodal. The chains of high molecular weight are formed by transesterification, whereas the sharper peak at lower molecular weight is due to propagation only – with the usual spikes for chains of an even and odd length. The fractionated moments method is able to reproduce this bimodality, whereas the moments method is completely unsuited to reflect this behavior. It can be noted that the peak due to transesterification is clearly broader than of propagation, as the active chain can attack the other at any random ester bond.

These trends continue to exist at higher reaction times (Figure 3.c). At very high reaction time (Figure 3.d), the sharp peak disappears completely, suggesting that all the chains have been transesterified by now. This leaves a broad monomodal peak which can also be correctly represented using the fractionated moments – or even without any fractionation.

To summarize, it has become clear that the direct integration method gives the fully detailed molecular weight distribution, whereas the fractionated moments method leads to a smoothed representation of it, adequate to reproduce the bimodality and the tailing effect in Figure 3.c. Despite some discrepancies between the fractionated moments and the direct integration methods, the fractionation method remains very attractive due to its much smaller computational effort: to solve the fractionated moments method, about 10 ODEs need to be calculated – compared to several ten thousand ODEs for the direct integration method.

It is important to note that MALDI-TOF results can only be used for quantitative considerations at molecular weight. Therefore, in order to validate the computed results with experimental data, the polymer is analyzed by gel permeation chromatography (GPC). Smaller polymer molecules are retained longer in the porous material, so that they elute after those of larger size. The experimental data obtained via GPC is converted to molecular weight distributions using the universal Mark-Houwink equation based on poly(styrene) standards. The comparison shows a good overall agreement between experimental and simulated data. However, one can see that the simulated peaks are sharper and show a more pronounced bimodality as those molecular weight distributions obtained experimentally. This is due to some non-ideal behavior such as axial or radial mixing occurring in the columns, which leads to smoothed eluted peaks and reduces the resolution of the estimated distributions. The (submitted) paper by Yu et al.⁶ deepens this aspect and suggests the use of a Gaussian-type expression in order to simulate the elution of the modeled molecular weight distribution through the columns. This leads to an even more convincing overlay of the curves, thus validating the selected model.

Eric Fischer

1 Duda, A., Penczek, S., In *Biopolymers, Volume 3b, Polyesters II - Properties and Chemical Synthesis*, Doi, Y., Steinbüchel, A., Ed. Wiley-VCH, Weinheim: 2002; pp 371-430.

2 Yu, Y. C.; Storti, G.; Morbidelli, M., Ring-Opening Polymerization of L,L-Lactide: Kinetic and Modeling Study. *Macromolecules* 2009, 42, 8187-8197.

3 Bamford, C. H.; Tompa, H., The Calculation of Molecular Weight Distributions from Kinetic Schemes. *Trans. Faraday Soc.* 1954, 50, (10), 1097-1115.

4 Eggenberger, F.; Pólya, G. Über die Statistik verketteter Vorgänge. *Z. Angew. Math. Mech.* 1923, 4, 279-289.

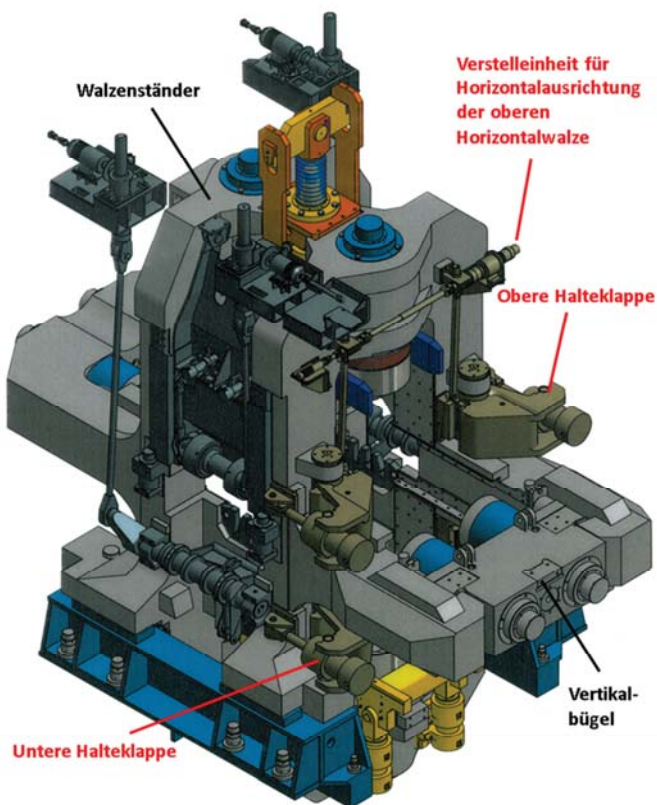
5 Szymanski, R., Molecular weight distribution in living polymerization proceeding with reshuffling of polymer segments due to chain transfer to polymer with chain scission, 1 - Determination of $k(p)/k(tr)$ ratio from DP_w/DP_n data. Ideal reproduction of polymer chain activities. *Macromol. Theor. Simul.* 1998, 7, (1), 27-39.

6 Yu, Y.; Fischer, E.; Storti, G.; Morbidelli, M. Modeling of Molecular Weight Distribution in Ring-opening Polymerization of L,L-Lactide. *Ind. Eng. Chem. Res.*, submitted on September 3, 2013.

Für einen im Produktionsumfeld arbeitenden Betrieb ist die Produktionsmenge pro Zeit und somit die Durchlaufzeit ein wichtiger Wirtschaftsfaktor. Im Sinne Benjamin Franklins trifft dessen Aussage „Time is money“ ganz besonders auf jenem im Produktionsumfeld arbeitenden Betriebe zu. Jeder Stillstand, besonders jene uneingeplanten Stillstände durch Störungen an den Anlagen, kosten wahres Geld. Damit einhergehend sinkt die Produktivität, welche eine Kennzahl für die Effizienz des Produktionsprozesses als Verhältnis zwischen mengenmäßigem Ausstoß und dem zur Produktion dieses Outputs notwendigen Einsatz von Produktionsfaktoren darstellt. Demnach bedeutet eine Reduktion der Durchlaufzeit bei gleichbleibender Produktionsmenge eine Steigerung der Produktivität. Werden demzufolge die Ausfälle reduziert, so kommt es unweigerlich zu einer Abnahme der Durchlaufzeit und somit zu einem Zugewinn an Produktivität. [WIRT11]

AUSLEGUNG DER HALTEKLAPPEN AN EINEM UNIVERSALWALZGERÜST

Pol Philippe



Schema des Walzgerüsts mit geschlossenen Halteklappen ohne Walzkassette

Auch ArcelorMittal, der derzeit größte Stahlkonzern der Welt, verfolgt dieses Ziel der Produktivitätssteigerung, indem fortwährend in neue Anlagen investiert wird, um demzufolge mögliche Schwachstellen, welche die Produktivität abmindern, zu eliminieren. Doch auch die bestehenden Anlagen werden laufend überarbeitet, um dem wachsenden Konkurrenzdruck zu widerstehen. Aus diesem Grund ergeben sich stets neue Projekte, welche einer Bearbeitung bedürfen.

Ein solches Projekt, das nachfolgend behandelt werden soll, bestand ebenfalls in der Optimierung bzw. Neuauslegung eines Bauteils (Halteklappe) an einem Tandem-Universal-Gerüst, welches für den ordnungsgemäßen Einbau der Walzkassetten im Walzgerüst sowie die sichere Positionierung der Walzen erforderlich ist.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass infolge der durchgeführten Analyse der Halteklappen an dem Tandem-Universalgerüst eine Optimierung unter Berücksichtigung sämtlicher Randbedingungen erfolgreich abgeschlossen werden konnte.

Um zu diesem positiven Ergebnis zu gelangen, wären allerdings eine Vielzahl von Untersuchungen sowie Berechnungsschritten erforderlich. Denn wie den vorangegangenen Kapiteln zu entnehmen, reichten einfache analytische Berechnungsmethoden nicht aus, um fundierte Aussagen über das tatsächliche Tragverhalten unter Last ableiten zu können. Auch anhand der FEM-Modellierung konnten zunächst keine genaueren Schlüsse bezüglich des Versagens ermittelt werden. Erst durch die mikrofraktographische Auswertung einer gebrochenen Schraube ergaben sich mögliche Ursachen für das vorliegende Problem, woraus schließlich der Grundgedanke für weiterführende Messungen an dem System heranreifte. Aus den ermittelten Erkenntnissen der durchgeführten Messungen sowie unter Berücksichtigung der FEM-Analyse ergab sich letztlich die wahre Versagensursache des Schraubenbruchs, welche zum einen geometrisch bedingt schien, zum anderen wöglichlich auf die Nichtberücksichtigung der auftretenden Kraftspitzen im realen Betrieb zurückzuführen war. Damit konnten die beiden ursächlichen Faktoren für das Versagen identifiziert und anschließend eine Optimierung durchgeführt werden.

Unter Beachtung der zugrundeliegenden Anforderungen ließen sich letztlich die gewünschten Optimierungspotentiale ableiten, welche wiederum anhand des FEM-Modells überprüft werden mussten, um deren Nutzen zu verifizieren. Durch systematisches Interpretieren der FEM-Ergebnisse ließ sich letztlich die angeführte optimierte Konsolenform ableiten.

Abschließend lässt sich demnach festhalten, dass diese vielversprechende Neukonzipierung gemäß der Berechnungen deutlich besser gegenüber den früheren Versionen abschneidet, sich jedoch erst in Zukunft unter den realen Betriebsbedingungen bewähren muss.



**COMPETENCES
+ CREATIVITY
= INNOVATION**

Global leader in **Ironmaking Technologies**

- Construction of complete blast furnaces, coke ovens, sinter and recycling plants
- Advanced environmental protection technologies

Innovative solutions for **Civil Construction** and **Infrastructure Projects**

On a regular basis, Paul Wurth is accompanying thesis work and offering practical internships as well as challenging positions within an international environment.



PAUL WURTH

SMS group

Hybride Elektronik-Bauelemente beinhalten sowohl anorganische als auch organische Halbleiter als Funktionsmaterialien. Organische Halbleiter sind Gegenstand aktueller Forschung und erfuhren in den letzten Jahrzehnten ein großes technisches, wie wirtschaftliches Interesse. Wichtige Punkte hierbei sind beispielsweise die Vielzahl an Möglichkeiten die chemischen und elektronischen Eigenschaften organischer Materialien zu verändern und die, im Vergleich zu anorganischen Halbleitern, kostengünstige Herstellung. Die organische Elektronik steht dabei in der Regel nicht in direkter Konkurrenz zur weltweit etablierten anorganischen Elektronik, da die Kenngrößen organischer Halbleiter (Leitfähigkeit, Wirkungsgrad etc.) meist um Größenordnungen unter denen anorganischer Halbleitern liegen. Vielmehr ist in den nächsten Jahren die Entwicklung eines neuen Marktes zu erwarten, in den die anorganische Elektronik, z.B. auch aus Kostengründen nicht vordringen kann. Neuartige Konzepte werden denkbar, da sich die organische Elektronik interdisziplinär in verschiedene Forschungsbereiche einordnen läßt.

Hybride Elektronik

ANWENDUNG ANORGANISCH-ORGANISCHER HETEROSTRUKTUREN IN DER PHOTOVOLTAIK

Félix Urbain

In diesem Zusammenhang besteht aktuell vermehrt Interesse daran, die Themenbereiche der organischen und anorganischen Halbleiter miteinander zu kombinieren. Bei diesen hybriden Anwendungen kann die hohe Funktionalität organischer mit den guten elektrischen Eigenschaften anorganischer Materialien verknüpft werden.

Unter den hybriden Heterostruktur-Bauelementen scheint sich vor allem das Forschungsgebiet der Photovoltaik hervorzuheben. Wie beispielsweise die Farbstoff-Solarzellen oder die hybriden Solarzellen basierend auf nanostrukturierten Metalloxiden.

Ziel ist es, durch Kombination von konventionellen Photovoltaik-Strukturen mit organischen Halbleiter-Strukturen den Wirkungsgrad von Solarzellen kostengünstig zu steigern.

Für die Konzipierung hybrider Bauelemente wird jedoch ein tiefreichendes Verständnis beider Materialklassen benötigt, wobei zusätzlich die Vorgänge am Anorganik-Organik Heterostruktur-Übergang eine tragende Rolle einnehmen.

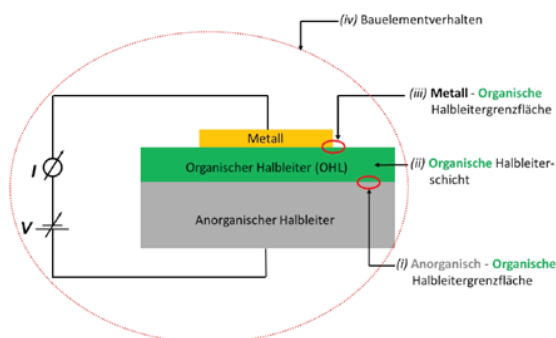
An dieser Stelle setzt die diesem Artikel zugrundeliegende Masterarbeit an, wobei im Folgenden daraus exemplarisch das hybride Materialsystem, bestehend aus dem (n-dotierten) anorganischen Verbindungshalbleiter Galliumnitrid (GaN) und dem organischen Halbleiter Pentacen ($C_{22}H_{14}$), untersucht und diskutiert wird*.

Bauelementtechnologie heraus. Für das Bauelementverhalten spielen hierbei vor allem die Halbleiter-Halbleiter, bzw. die Metall-Halbleiter-Übergänge, sowie die elektrischen Eigenschaften des organischen Halbleiters eine zentrale Rolle. Das Bauelement an sich, besteht aus einem anorganischen Halbleitersubstrat auf das der organische Halbleiter mit Hilfe organischer Gasphasendeposition (OVPD) aufgedampft wird.

Die Dicke der organischen Schicht ist hierbei ein sehr wichtiger Parameter. Damit möglichst viele der durch Lichtabsorption in Pentacen generierten Ladungsträgerpaare (Exzitonen) bis zur n-GaN/Pentacen Grenzfläche diffundieren können und dort effektiv getrennt werden können, sollte die Schichtdicke von Pentacen die materialabhängige Diffusionslänge der Exzitonen nicht überschreiten. Dünnere Schichten reduzieren wiederum die Lichtabsorption. Es besteht somit ein Schichtdicken-Optimum, welches sich aus dem Kompromiß einer hohen Lichtabsorption einerseits und einer bis zur Heterostruktur-Grenzfläche reichenden Exzitonendiffusion andererseits ergibt. Anhand der in dieser Arbeit durchgeführten Versuche, konnte ein Optimum der Pentacen-Schichtdicke von 80 nm ermittelt werden. Der metallische (Top-)Kontakt ist ein 20 nm dünner Gold (Au) Film, welcher sich durch eine gute Transparenz (60 % Transmission bei 550 nm Lichtwellenlänge) sowie gute elektrische und strukturelle Eigenschaften auszeichnet. Ein möglichst verlustfreier (ohmscher) Kontakt zum anorganischen GaN Substrat wird mittels einer Ti/Al/Ni/Au Metalllegierung realisiert. In Durchlassrichtung arbeitet der Goldkontakt als Anode und das n-GaN Substrat als Kathode.

Grundlegende Annahmen über die elektronische Ankopplung von n-GaN und Pentacen sind für die Interpretation elektrischer und optischer Messungen unabdingbar. Dabei sind vor allem die Vorgänge am hybriden n-GaN/Pentacen Heterostruktur-Übergang von Interesse. Der erste Schritt hierfür ist das Aufstellen der entsprechenden elektronischen Energiebändermodelle. Die zugehörigen Banddiagramme sind in Abbildung 2 dargestellt.

Abbildung 2 (a) zeigt das Banddiagramm der n-GaN Oberfläche. Das Materialvolumen (Bulk-Region) von n-GaN ist elektrisch neutral und es bildet sich kein internes elekt-



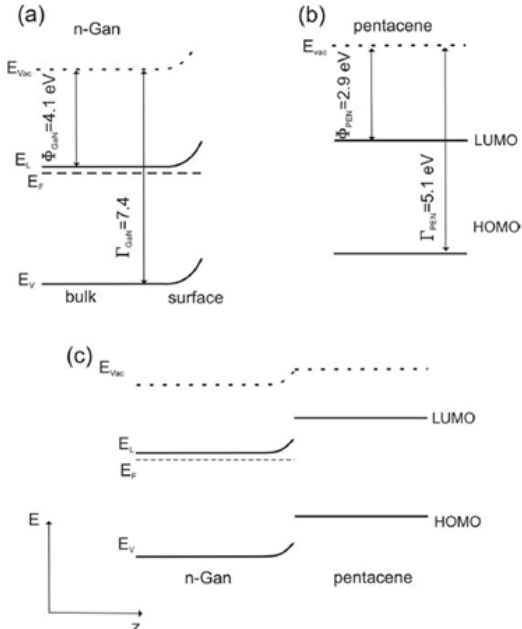
1 Schematischer Schichtaufbau und wesentliche Aspekte hybrider Bauelemente.

Abbildung 1 zeigt schematisch den Schichtaufbau der in dieser Arbeit hergestellten Bauelemente und stellt außerdem die wichtigsten Forschungsaspekte der hybriden

*Galliumnitrid (GaN) ist ein III-V-Halbleiter mit großer elektronischer Bandlücke (3,4 eV) der in der Optoelektronik insbesondere für blaue und grüne Leuchtdioden (LED) und für Hochleistungs-, Hochtemperatur- und Hochfrequenzfeldeffekttransistoren Verwendung findet. Pentacen ($C_{22}H_{14}$) ist ein polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoff mit fünf linear kondensierten Benzolringen. In reiner Form bildet Pentacen tiefblaue Kristalle.

risches Feld in dieser Region auf. An der Oberfläche hingegen, kommt es zu einer Verarmung an Ladungsträgern (Elektronen). Man spricht auch von einer spontanen Polarisation ausgehend von Oberflächenzuständen, welche die Elektronen „einfangen“ können. Als Konsequenz entsteht nahe der Oberfläche eine positiv geladene Raumladungszone, mit lokalisierten ionisierten Atomen, welche ein elektrisches Feld induzieren (positive Bandverbiegung).

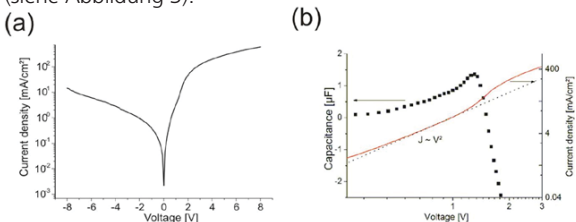
Pentacene besitzt nahezu keine freien Ladungsträger und kann, aufgrund der im Vergleich zu GaN sehr geringen Ladungsträgerbeweglichkeiten, als Isolator angesehen werden. Wie in Abbildung 2 (b) dargestellt, bildet sich dementsprechend kein internes Feld aus (keine Bandverbiegung).



2 Banddiagramme der n-GaN (a), Pentacene (b) und der n-GaN/Pentacene Grenzflächen (c). Φ beschreibt die Elektronenaffinität, während Γ die Ionisierungsenergie darstellt (Energiewerte aus Ref.1).

Bringt man nun n-GaN und Pentacene zusammen, kommt es am Übergang, aufgrund der beschriebenen Materialeigenschaften, (ohne Anlegen einer externen Spannung) zu vernachlässigbar geringen Drift- bzw. Diffusionsvorgängen zwischen beiden Halbleitermaterialien. Jedoch kann durch das Aufbringen von Pentacene auf n-GaN die Oberflächenstruktur, bzw. die Raumladungszone von n-GaN signifikant beeinflusst werden. Die Annahme ist, daß die Pentacene-Schicht die n-GaN Oberfläche stellenweise passiviert und es somit zu einer partiellen Kompensation der Oberflächenzustände kommen kann. Wie in Abbildung 2 (c) gezeigt, würde dies zu einer kleineren Raumladungszone und einer geringeren Bandverbiegung, bzw. zu einer geringeren Barrierenhöhe für die Ladungsträgerinjektion nahe der n-GaN Oberfläche führen, was wiederum die (photo-)elektrischen Eigenschaften des Bauelements beeinflussen würde.

Der folgende Schritt besteht darin, das Injektions- und Transportverhalten der hybriden Heterostruktur, auf Basis des vorgestellten Energiebändermodells (siehe Abbildung 2) zu charakterisieren und zu verstehen. Zu diesem Zweck wurden Strom-Spannungs- (J - V), sowie Kapazität-Spannungsmessungen (C - V , 1000 Hz) bei Raumtemperatur durchgeführt (siehe Abbildung 3).

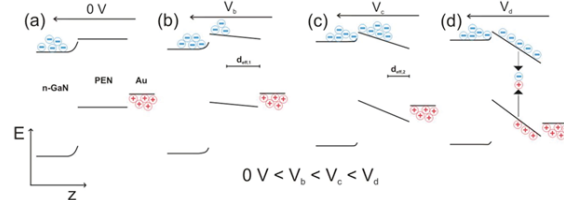


3 J-V Verhalten der n-GaN/Pentacene/Au Diode (a) [2]; C-V (schwarze Rechtecke) und J-V Verhalten (rote Linie) der n-GaN/Pentacene/Au Diode zwischen 0,2 Volt und 3 Volt (b) [1].

In Abbildung 3 (a) ist die Strom-Spannungskurve in einfach-logarithmischer Auftragung unter Vorwärts- und Rückwärtsspannung dargestellt. Das Abflachen der J - V -Kurve in Vorwärtsrichtung bei hohen Strömen ($> 30 \text{ mA/cm}^2$) läßt dabei auf einen hohen Serienwiderstand des Bauelements schließen ($> 15 \Omega$).

Anhand von Kapazität-Spannungsmessungen kann das Injektionsverhalten sehr detailliert untersucht werden. Wie in Abbildung 3 (b) ersichtlich, steigt die Kapazität bis zu einer Spannung von 1,25 Volt kontinuierlich an. In einer vorangegangenen Arbeit zum Thema organischer Zweischicht Systeme [3], wurde ein solches Verhalten durch die Ansammlung (Akkumulation) von injizierten Ladungsträgern gleichen Typs (entweder Elektronen oder Löcher) an der Schicht-Grenzfläche erklärt. Die Begründung hierfür ist, daß die Ansammlung von injizierten Ladungen eine Raumladung induziert, wodurch die effektiven Kapazitätsdicke (Dicke von Dielektrikum) d_{eff} verringert wird, welche umgekehrt proportional zur Kapazität ist ($C \sim 1/d_{eff}$).

Der komplette C - V Verlauf aus Abbildung 3 (b) kann mit Hilfe der in Abbildung 4 dargestellten Mechanismen veranschaulicht werden. Ausgehend von der zuvor gemachten Annahme einer verringerten Bandverbiegung/Barrierenhöhe an der n-GaN/Pentacene Grenzfläche (Abbildung 2 (c)), kann die Ladungsträgerinjektion (hier: Elektronen) bereits bei relativ kleinen Vorwärtsspannungen beginnen, was an dem Stromanstieg in Abbildung 3 (a) und/oder 3 (b) zu sehen ist. Durch die sehr geringe (Elektronen-)Ladungsträgerbeweglichkeit in Pentacene ($\mu \sim 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{Vs}$) kommt es zu der bereits beschriebenen Ansammlung von Elektronen an der n-GaN/Pentacene Grenzfläche, woraufhin sich eine negative Raumladungsschicht ausbildet (Abbildung 4 (a) – (c)). Man spricht in diesem Fall von einem raumladungs-limitierten Ladungstransport (engl.: *space-charge limited*), welcher durch die Strom-Spannungsbeziehung $J_{SCL} \sim V^2$ beschrieben



4 Injektion und Ansammlung von Elektronen und Löchern am n-GaN/Pentacene Übergang bei ansteigenden Vorwärtsspannungen [1].

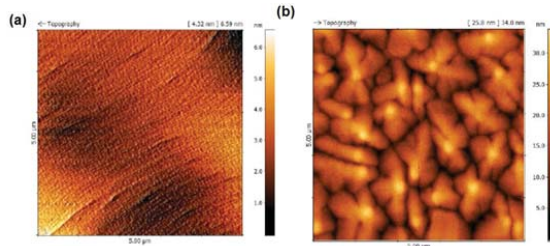
Die Kapazität erreicht einen maximalen Wert bei ca. 1,25 Volt und fällt, wie in Abbildung 3 (b) zu sehen, bei größeren Spannungen stark ab. Brütting *et al.* erklärt dieses Abfallen der Kapazität mit dem Einsetzen der Injektion positiv geladener Ladungsträger (Defektelektronen oder Löcher) [3]. Wie in Abbildung 4 (d) zu sehen, führt die Injektion von Löchern in die Pentacene-Schicht zu einer Rekombination von Elektronen und Löchern (Vereinigung positiver und negativer Ladungsträger). Dementsprechend verringert sich die Raumladung, bzw. die Dicke der Raumladungsschicht, was eine Reduktion der Kapazität bewirkt ($C \sim 1/d_{eff}$).

Anhand dieser Messungen konnte somit der bipolare Betrieb des hybriden n-GaN/Pentacene Bauelements für Spannungen $V > 1,25$ Volt nachgewiesen werden.

Wurde die hybride n-GaN/Pentacene Heterostruktur bisher grundlegend und rein elektrisch charakterisiert, soll in einem abschließenden Schritt untersucht werden, ob das Bauelement für photovoltaische Anwendungen in Frage kommen kann. Hierbei sollen die hervorragenden optischen Absorptionseigenschaften von Pentacene mit den exzellenten elektrischen Eigenschaften von GaN gepaart werden. Zu diesem Zweck werden photo-elektrische Messungen unter AM 1.5 Standard-Testbedingungen (100 mW/cm² Lichteinstrahlung), an der gleichen Bauelementstruktur

tur wie in Abbildung 1 dargestellt, durchgeführt, wobei das Bauelement durch den semi-transparenten Gold-Kontakt belichtet wird.

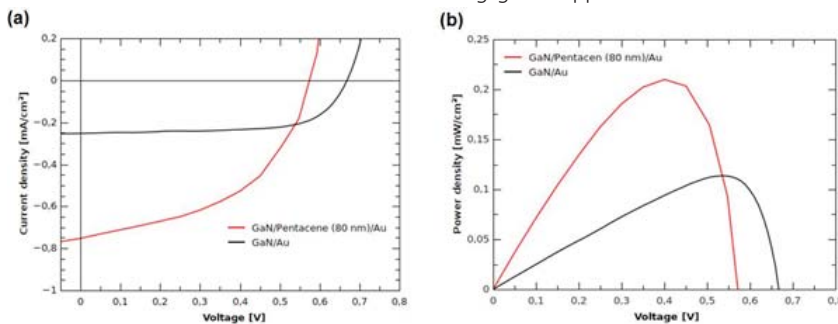
Zusätzlich hierzu wurde die GaN- und Pentacen-Oberfläche mit Hilfe von Rasterkraftmikroskop-Aufnahmen vermessen. Die entsprechenden Oberflächentopographien sind in Abbildung 5 dargestellt.



5 Rasterkraftmikroskop-Aufnahmen einer GaN- (a) und Pentacen-Oberfläche (b). Die Oberflächenrauigkeit (RMS) von GaN und Pentacen beträgt dabei 0.7 nm, bzw. 2.4 nm.

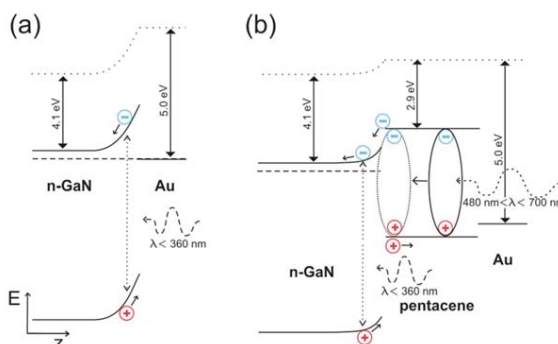
Die Pentacen-Schicht wächst auf einem sehr glatten GaN-Oberfläche (Abbildung 5 (a), RMS = 0.7 nm) auf und bildet Kristallstrukturen mit den für Pentacen typischen Dendritenarmen aus (Abbildung 5 (b)).

In Abbildung 6 ist das gemessene photovoltaische Verhalten des hybriden Bauelements gezeigt (blaue Kurve) und mit der Kennlinie einer n-GaN/Au Schottky-Solarzelle (gleicher Aufbau, nur ohne Pentacen) verglichen (orange Kurve). Beide Bauelemente zeigen einen photovoltaischen Effekt, wobei die n-GaN/Pentacen/Au Struktur eine höhere Kurzschlussstromdichte ($J_{SC} = 0.75 \text{ mA/cm}^2$), jedoch eine geringere Leerlaufspannung ($V_{OC} = 0.57 \text{ Volt}$) aufweist als die n-GaN/Au Struktur (Abbildung 6). Die maximal erzeugte elektrische Leistung des hybriden Bauelements (0.22 mW/cm^2) ist doppelt so hoch, als die durch die n-GaN/Au Solarzelle erzeugte Leistung (0.11 mW/cm^2). Konsequenterweise ist auch der Wirkungsgrad doppelt so hoch.



6 J-V Kennlinien (a) und generierte elektrische Leistung (b) einer Au/Pentacene (80 nm)/GaN-Solarzelle (blaue Linie) und einer Au/GaN-Schottky-Solarzelle (orange Linie) unter AM1,5-Beleuchtung (100 mW/cm^2).

Obgleich die Effizienz beider Bauelemente relativ niedrig ist, so kann die Leistung des Bauelements durch Einfügen der 80 nm dünnen Pentacen-Schicht zwischen n-GaN und dem Gold-Kontakt doch signifikant gesteigert werden. Die der Leistungssteigerung zugrundeliegenden physikalischen Effekte sind schematisch in Abbildung 7 dargestellt.



7 Mechanismen zur Erzeugung von Photostrom in einer Schottky-Diode (a) und in einer hybriden anorganisch-organischen Heterostruktur [1].

Die GaN Schottky Diode absorbiert, aufgrund des hohen Bandabstandes von GaN (3.4 eV), nur Lichtteilchen (Photonen) mit kleiner Wellenlänge $\lambda < 360 \text{ nm}$ (UV-Bereich). Generierte Elektronen-Loch Paare werden durch das elektrische Feld in der Raumladungszone nahe der n-GaN/Au Grenzfläche voneinander getrennt und können zu den jeweiligen Kontakten wandern (Abbildung 7 (a)).

Im Gegensatz dazu, beinhaltet die in Abbildung 7 (b) gezeigte hybride n-GaN/Pentacene Diode zwei Mechanismen zur Erzeugung von Photostrom. Analog zu der Schottky-Diode, werden die durch Photonen hoher Energie ($\lambda < 360 \text{ nm}$) erzeugten Elektron-Loch Paare durch die Raumladungszone an der Anorganik/Organik-Grenzfläche getrennt. Allerdings ist dieser Effekt, wie bereits beschrieben, in hybriden Bauelementen durch das dort abgeschwächte elektrische Feld (kleinere Bandverbiegung, vergleiche Abbildung 2) geringer ausgeprägt. Die Pentacene-Schicht besitzt darüber hinaus ausgezeichnete Absorptionseigenschaften für Photonen kleiner Energie ($\lambda > 480 \text{ nm}$). Diese Photonen erzeugen Exzitonen im Pentacene, welche bis zur n-GaN/Pentacene Grenzfläche diffundieren müssen um dort, zuerst in schwächer gebundene Elektron-Loch Paare zu kollabieren und anschließend, durch das interne elektrische Feld in der Raumladungszone, getrennt zu werden (Abbildung 7 (b)).

Die Funktionsweise der hybriden Solarzelle kann somit als Kombination einer anorganischen Schottky-Solarzelle und einer organischen (exzitonischen) Solarzelle beschrieben werden.

Der größere Photostrom und somit der höhere Wirkungsgrad des hybriden Bauelements (Abbildung 6) können demnach einer effektiveren Absorption des AM 1.5 Lichtspektrums zugeordnet werden (n-GaN: Absorption hochenergetischer Photonen; Pentacene: Absorption niederenergetischer Photonen). Die geringere Leerlaufspannung im Vergleich zur anorganischen Schottky-Diode entsteht durch die kleinere Bandverbiegung an der n-GaN/Pentacene-Grenzfläche (Abbildung 7).

Schlussfolgernd kann festgehalten werden, dass die elektrischen und optischen Eigenschaften der n-GaN/Pentacene Heterostruktur detailliert untersucht und grundlegend auf der Basis eines energetischen Bändermodells diskutiert wurden. Anhand von J-V und C-V Messungen, konnten hierbei bipolare Injektions- und Transporteigenschaften des hybriden Bauelements identifiziert werden.

Wenngleich der Wirkungsgrad der im Rahmen dieser Arbeit entwickelten hybriden n-GaN/Pentacene/Au Solarzelle relativ gering ist, so bieten das vorgestellte Grenzflächenmodell, sowie die experimentellen Ergebnisse eine fundierte Grundlage für zukünftige Forschungsaktivitäten. Die Kombination aus anorganischen und organischen Halbleitern könnte eine vielversprechende Methode zur Effizienzsteigerung von Solarzellen aus Verbindungshalbleitern (z.B. InGaN) darstellen.

Im Fokus hieran anschließender Forschungen sollte einerseits die Entwicklung anorganischer Verbindungshalbleiter mit angepassten Bandabständen, und andererseits die Forschung an effizienteren organischen Halbleitern, bezüglich Lichtabsorption und Ladungstransport, stehen.

Die diesem Artikel zugrundeliegende Masterarbeit wurde am Lehr- und Forschungsgebiet GaN-Bauelementtechnologie der RWTH Aachen unter der Betreuung von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Andrei Vescan angefertigt.

Félix Urbain

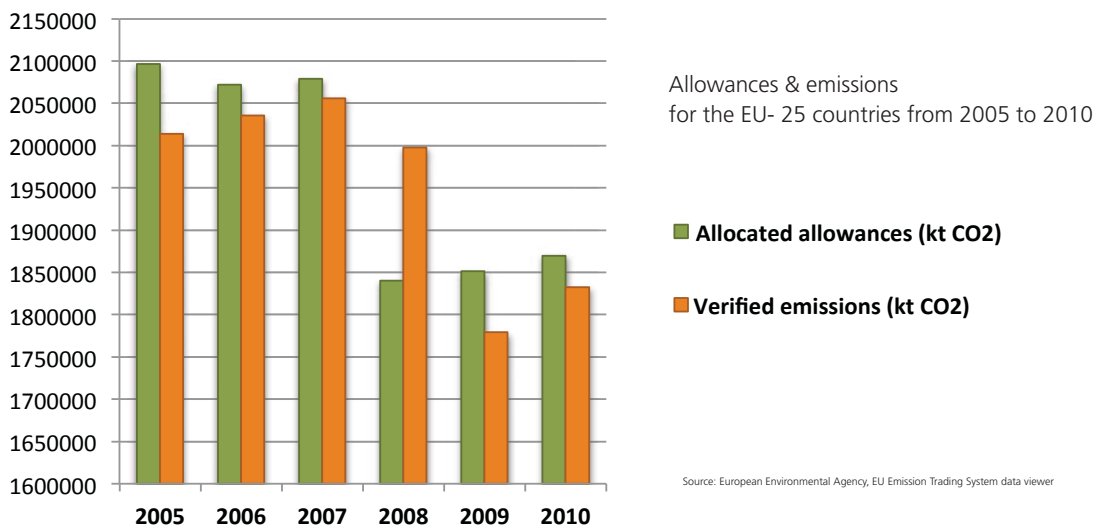
Literatur

- 1 M. Slawinski, M. Weingarten, S. Axmann, F. Urbain, and A. Vescan, Appl. Phys. Lett. 103, 153305 (2013).
- 2 M. Weingarten, M. Slawinski, F. Urbain, and A. Vescan, SPIE Organic Photonics and Electronics, 84761H-84761H-7 (2012).
- 3 S. Berleb, W. Brueetting, and G. Paasch, Org. Electron. 1, 41–47 (2000).
- 4 H. Hoppe and N. S. Sariciftci, J. Mater. Res. 19(07), 1924–1945 (2004).

In 2002, the EU ETS Directive 2003/87/EC established the European Emission Trading Scheme (ETS) for greenhouse gases in order for the European Union to meet its Kyoto target to reduce its emissions by eight per cent from 1990 emissions by 2008-2012. The ETS is divided into two main periods, the first from 2005 to 2007 and the second from 2008 to 2012. During the two periods, it was up to the Member States to determine and distribute the total number of European Union allowances through National Allocation Plans, NAPI for the first phase and NAPII for the second period. These allowances give the right to the holder to emit 1 tonne of CO₂ emissions within some period. The distribution of these rights for free, which have a value linked to the scarcity rent created by them, is what is called allowance allocation process. Of course, such a system involves tough political decisions on who will be the receiver of the value created by the emission constraint.

AGENCY PROBLEMS IN THE ALLOCATION PROCESS OF THE EU ETS

Yannick Oswald



As a result, a number of agency problems led to an overall disappointing result of the ETS. In fact, the two periods have been characterized by an over-allocation of allowances compared to the emissions and thus a very low price of the carbon permits that did not stimulate enough green investments.

The aim of this thesis is to identify these agency problems and measure statistically the effect of the most important of them on the over-allocation. It has been found out that the bigger countries were responsible for the heaviest reductions whilst smaller Member States are often characterized by loose national allocation plans. Furthermore, the power sector as a whole has been responsible for most of the emission reduction and did not exercise any significant lobbying power in order to get more emission allowances. On the other hand however, the very carbon intense industries like the steel, cement, paper & pulp companies, have been allocated far too many allowances compared to their emissions and were able to lobby on the national and European level in order to get more permits by threatening their

governments to relocate their industries in other countries. This effect has even been more important for the EU-15 countries where the installations of these companies are often present in regions with a high unemployment rate. Moreover, the financial crisis starting in 2007 began to have an impact on the sectors covered by the ETS from 2008-2009 on and their emissions. The economic downturn is hence another reason for over-allocation as the allocation plans were not adapted to this strong emission reduction.

In order to improve the functioning of the ETS in the third phase from 2013 to 2020, the Commission released a revised ETS Directive proposal in January 2008. Even if important changes have been undertaken in order to tackle the agency problems and the resulting over-allocation, the revised directive does not fully respond to the problems. De facto, a more important reduction target and an application of the auctioning system in more sectors would have been necessary if the European Union and its Member States want a more efficient and integrated trading scheme and not one that just supports short term national interests.

Graphene is the thinnest, strongest and stiffest material known. New techniques can manufacture graphene which is only one atom thick, but more than a meter wide. This challenges engineers, wanting to design graphene based materials, to model molecular structures. A new computationally efficient Finite Element in the shape of the most elemental building block, a single atom, is proposed.

A REDUCED-UNIT-CELL BASED FINITE ELEMENT FOR MODELLING THE MECHANICAL RESPONSE OF GRAPHENE

André A.R. Wilmes

Graphene, a one atom thin layer of carbon atoms, was first reported in 2004¹ and less than a decade later, it has led to a Nobel Prize and has become one of the fastest growing research areas in science. Graphene's thermal conductivity, structural stiffness and strength as well as electronic properties are among the highest ever measured in any material. These and many other superlative properties make graphene the most promising candidate for designing next-generation technologies ranging from terahertz-frequency computer processors over water desalination techniques and ultra-fast DNA sequencing to structural composite materials for aerospace applications. The sheer breadth of applicability and the potentially leap progress in technologies has led the EU to commit to a ten-year-long 1000 million euro funding program for graphene research.

Next-Generation Graphene Composite Materials and Their Virtual Design

Graphene's potential in structural applications, which is the focus of the work presented hereafter, stems from its unrivalled in-plane stiffness ≈ 1000 GPa and tensile strength of ≈ 130 GPa at an ultimate breaking strain of 25% with no permanent plastic deformation [2]. For comparison, current carbon-fibre reinforced epoxy composite materials as used in the latest generation of commercial jetliners (A380, B787), only have stiffness and tensile strength values of ≈ 70 GPa and ≈ 0.280 GPa respectively. It is apparent that graphene based composite materials could result in game-changing weight reductions for airplane manufacturing.

The first graphene flakes in 2004 were only a few micrometres in size, but recent manufacturing processes such as Roll-to-Roll based Chemical Vapour Deposition (R2R-CVD) allow for the large-scale synthesis of graphene up to the meter size and beyond [3]. This ability to create large scale materials, with atomic structures controllably designed at the nano-scale, requires a physically accurate and numerically efficient modelling method for engineers to virtually design new materials with nano- and micro-structures which meet structural properties as set by given product requirement targets.

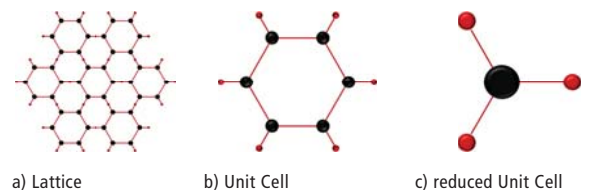
Designing and modelling these large giant covalent nano-structures, e.g. large-scale graphene, is computation-

ally unaffordable with Quantum Mechanics (QM) or even Molecular Dynamics (MD) methods. For instance, MD may handle simulations up to several billion atoms; however a 1 mm² graphene sheet already contains about a thousand billion (10^{15}) atoms. Computationally affordable continuum mechanics based methods, e.g. Finite Element Method (FEM), inherently struggle to capture discrete physical features such as lattice defects which govern critical phenomena such as fracture.

This article presents a summary of a newly developed reduced Unit-Cell Finite Element, which captures the physical accuracy of MD required for modelling the structural response of graphene, while retaining the computational cost advantages of FEM, in order to allow for engineers to numerically design graphene based nano-structures for use in composite materials.

Graphene's Physical Structure, Deformation Modes and Chemical Potentials

Graphene is a large giant covalent network with sp^2 bonded carbon atoms arranged in a hexagonal pattern, see figure 1(a). One possible choice of a repeating Unit Cell (UC) is shown in figure 1(b), while a smaller reduced Unit Cell (rUC) is given in figure 1(c). The rUC, containing just a single carbon atom and three half-bonds, requires 180° rotations as well as translations to tessellate the full graphene lattice.



_1 Graphene lattice, Unit Cell (UC) and reduced Unit Cell (rUC)

The carbon nuclei in graphene are connected with strong in-plane bonds, the σ -bonds. Additional weaker bonds exist above and below the plane of carbon nuclei, the π -bonds. Due to the symmetry in the hexagonal rings these bonds start resonating, resulting in a delocalized electron cloud above and below the plane of nuclei. This electron cloud gives graphene a weak bending rigidity.

Molecular Dynamics (MD) describes the potential energy stored in these bonds by associating potential energies with different deformation modes, see figure 2. Different chemical force fields consider different deformation modes, however the most common modes include bond stretching, bending, torsion and inflexion which take different functional forms as outlined in equations (1)-(5).

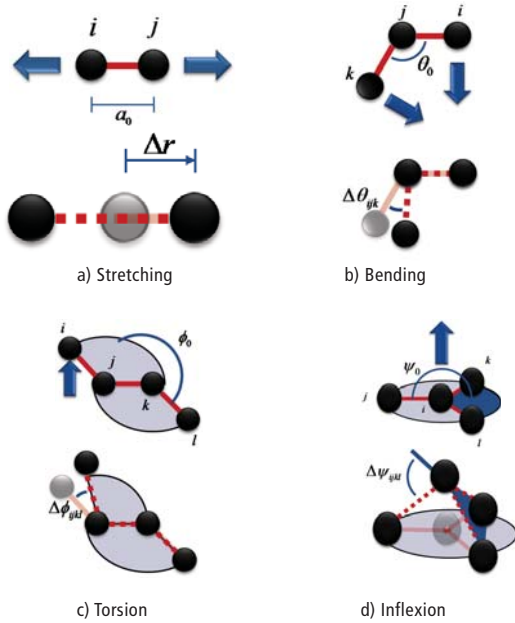
$$V = V_S + V_B + V_T + V_I \quad (1)$$

$$V_S = \frac{1}{2} k_{ij} (r_{ij} - a_0)^2 \quad (2)$$

$$V_B = \frac{1}{2} k_{ijk} (\theta_{ijk} - \theta_0)^2 \quad (3)$$

$$V_T = \sum_m k_T^m (1 - 1^{m+1} \cos(m \phi_{ijkl})) \quad (4)$$

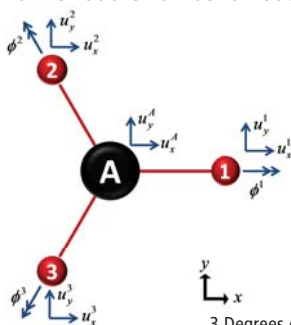
$$V_I = \frac{1}{2} k_{ijkl} (\varphi_{ijkl} - \varphi_0)^2 \quad (5)$$



_2 MD deformation modes and energies

A reduced Unit Cell based Finite Element for Graphene

Molecular bonds have been modelled using a beam analogy in which the MD energies are equated with the strain energies of an Euler or Timoshenko beam element. However, this approach leads to erroneous results, especially regarding the out-of-plane bending predictions because the geometrical assumptions of this analogy, with regards to the beam cross-section, couple the physical behaviour of the in-plane σ -bond angle bending with the out-of-plane π -bond bending resistance. Instead, a new physically accurate FEM element is proposed. The most compact, self-contained and non-overlapping element design is therefore given by the rUC shape. The rUC element, see figure 1(c), is given three translational Degrees of Freedom (DoF) at the central atom node as well as three translational and one torsional DoF at the half-bond nodes, see figure 3.



_3 Degrees of Freedom - rUC element

In the framework of FEM, the equilibrium of this element can be expressed in the classical manner:

$$\mathbf{k} \mathbf{u} = \mathbf{f} \quad (6)$$

where the stiffness is the linearization of:

$$\mathbf{k} = \frac{\partial}{\partial \mathbf{u}} \left(\frac{\partial V}{\partial \mathbf{u}^T} \right) \quad (7)$$

Upon assembly of two of these rUC elements, the DoF of the shared half-bond node are no longer free variables of the system as these must be constrained to lie in the line of the overall bond, i.e. the straightness as well as the torsional continuity of the σ -bonds must be guaranteed, see figure 4(a). Four dummy variables are introduced at the half-bond nodes only, which carry the relative axial displacement, relative torsional angle, relative in-plane and out-of-plane rotations of the half-bond node with respect to element's central atom node. These dummy variables' geometrical definitions, in their linearized form, are stated as a function of the physical DoF as:

$$\mathbf{d} = \mathbf{L} \mathbf{u} \quad (8)$$

Upon assembly, these dummy variables can be used to guarantee the chemical continuity of a bond and its displacements. Hence, the rUC element's mathematical description is fully stated as:

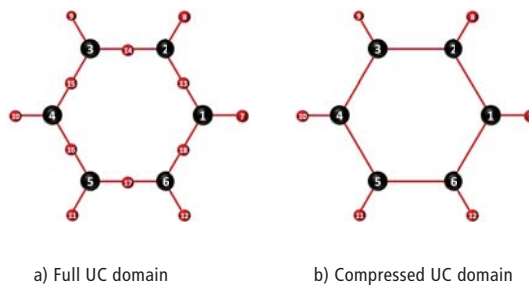
$$\begin{bmatrix} \mathbf{k} & \mathbf{0} \\ \mathbf{L} & (-\mathbf{I}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{u} \\ \mathbf{d} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{f} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Element Assembly and Internal Constraints Reduction

The rUC element can be used to mesh any geometry of choice, such as the graphene UC in figure 4(a), by applying a standard FEM assembly technique. Contrary to the additive assembly of the element stiffness contributions, the two constraint equations for each internally shared dummy variable are subtracted upon assembly, resulting in the following overall system of equations:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{K}_{11} & \mathbf{K}_{12} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{K}_{21} & \mathbf{K}_{22} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{L}_{11} & \mathbf{L}_{12} & (-\mathbf{I}) & \mathbf{0} \\ \mathbf{L}_{21} & \mathbf{L}_{22} & \mathbf{0} & (\mathbf{I} - \mathbf{I}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{U}_E \\ \mathbf{U}_I \\ \mathbf{D}_E \\ \mathbf{D}_I \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{F}_E \\ \mathbf{F}_I \\ \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} \quad (10)$$

where the DoF and dummy variables are separated into internal ones, i.e. those at shared half-bond nodes (nodes 13-18), and external ones, i.e. those at atomic nodes and external half-bond nodes (nodes 1-12), see figure 4(a).



_4 Assembled graphene UC

The subtraction of the constraint equations for internal dummy variables allows for the resolution of the internal half-bond nodes' DoF in terms of the adjacent atom nodes' DoF, effectively enforcing bond continuity. This relation can be used to define the following transform:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{U}_E \\ \mathbf{U}_I \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{I} \\ -(\mathbf{L}_{22})^{-1} \mathbf{L}_{21} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{U}_E \end{bmatrix} = \mathbf{T} \mathbf{U}_E \quad (11)$$

which in turn can be used to remove the constrained DoF in the stiffness part of equation (10):

$$\mathbf{T}^T \mathbf{K} \mathbf{T} \mathbf{U}_E = \mathbf{T}^T \mathbf{F} \quad (12)$$

as well as removing constrained DoF from the external dummy variable equations:

$$\left[\begin{array}{c} (\mathbf{L}_{11} - \mathbf{L}_{12}(\mathbf{L}_{22})^{-1}\mathbf{L}_{21}) \\ (-\mathbf{I}) \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} \mathbf{U}_E \\ \mathbf{D}_E \end{array} \right]^T = \mathbf{0} \quad (13)$$

resulting in a system describing the compressed FEM domain, as shown in figure 4(b), which is analogous to equation (9) and which is stated as:

$$\left[\begin{array}{cc} \mathbf{K}^* & \mathbf{0} \\ \mathbf{L}^* & (-\mathbf{I}) \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} \mathbf{U}_E \\ \mathbf{D}_E \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \mathbf{F}^* \\ \mathbf{0} \end{array} \right] \quad (14)$$

rUC Element Applications and Scope

The presented formulation was, subjected to three-fold symmetry Periodic Boundary Conditions (PBC) on the UC element in figure 4(b), used to obtain the constitutive response of graphene under in-plane tension and shear as well as out-of-plane bending and twisting. These predictions, based on three force fields, MM3⁴, Lobo-Keating⁵, AMBER⁶, agree well with reference Ab Initio and full MD simulations.

The current model can easily adopt different chemical force field potentials and, in general, the rUC element can be used to model more complex, non-planar geometries such as Carbon Nanotubes, Schwarzites, Fullerenes or any other non-carbon sp² hybridized structure. The modelling of out-of-plane properties as well as curved geometries was previously inadequate using the beam analogy approach. The latter approach is not appropriate for capturing the three order of magnitude difference between the in-plane and the out-of-plane stiffness properties, which is due to the weak nature of the delocalized π -bonds in graphene. Albeit not discussed here, the presented formulation can equally

account for defects in the graphene lattice such as vacancy defects or non-hexagonal rings (e.g. Stone-Wales defect).

Conclusion

The outlined rUC element represents a highly adaptive framework, bridging the areas of continuum and molecular mechanics. It offers the numerical advantages of a FEM solver approach while retaining the accurate description of graphene's physical behaviour, especially when including further MM cross-energy and higher-order potentials which are crucial in the non-linear nano-environment. Finally, the proposed model can numerically design large-scale nano-materials, nano-structures and architectures for given target desired material properties, which may then be synthesized on demand.

André A.R. Wilmes, Dr. Silvestre T. Pinho
Department of Aeronautics
Imperial College London

References

- _1 K.S. Novoselov, A.K. Geim, et al., Electric field effect in atomically thin carbon films, *Science*, vol. 306, no. 5696, pp. 666–669, 2004.
- _2 C. Lee, X. Wei, et al., Measurement of the elastic properties and intrinsic strength of monolayer graphene, *Science* vol. 321, no. 5887, pp. 385–388, 2008.
- _3 S. Bae, H. Kim, et al., Roll-to-roll production of 30-inch graphene films for transparent electrodes, *Nature Nanotechnology*, vol. 5, no.8, pp.574–578, 2010.
- _4 N.L. Allinger, Y.H. Yuh, and J.H. Lii, Molecular mechanics the mm3 force field for hydrocarbons, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 111, no. 23, pp. 8551–8566, 1989.
- _5 C. Lobo and J.L. Martins, Valence force field model for graphene and fullerenes, *Zeitschrift fuer Physik D Atoms Molecules and Clusters*, vol. 39, pp. 159–164, 1997.
- _6 P.K. Weiner and P.A. Kollman, Amber: Assisted model building with energy refinement a general program for modeling molecules and their interactions, *Journal of Computational Chemistry*, vol. 2, no. 3, pp. 287–303, 1981.

ABOUT US ●

over **45**
multidisciplinary employees
from many industrial &
technology backgrounds

4
main fields of activity in
which we offer our clients
innovative solutions

100%
Luxembourg owned company
since the inception in 1986

100
industrial customers in over 20
countries worldwide

6
core competencies, combined
to deliver integrated and
innovative solutions

more than **2**
decades in research &
development





RETHINK CAREER THINK INNOVATION

Researchers, PhD students, research support and administrative staff, students, join the leading public research employer in Luxembourg and work in a challenging environment.



Find all our job offers, thesis proposals, internships, etc. at www.tudor.lu/jobs

tudor
PUBLIC RESEARCH CENTRE HENRI TUDOR

Innovating together

Finanzkrisen und globale Erwärmung machen den Begriff Nachhaltigkeit immer populärer und bedeutsamer. Energie- resp. Nebenkosteneinsparungen sind das Ziel jeder Betriebsoptimierung von Gebäuden. Die Verwendung regenerativer Energien sowie die Reduzierung von CO₂-Emissionen sollen zur Lösung des Klimaproblems beitragen.

AM BEISPIEL DES EIB-GEBÄUDES HINSICHTLICH EINES BREEAM/DGNB-VERGLEICHS
UND EINER FRÜHZEITIGEN ERKENNUNG VON OPTIMIERUNGSPOTENZIALEN

SIMULATION DER DGNB NEUBAU-ZERTIFIZIERUNG_

Nathalie Muller



Was bedeutet Nachhaltigkeit? Der ursprüngliche Wortsinn „längere Zeit anhaltende Wirkung“ (Bibliographisches Institut GmbH, 2012)

deutet auf einen Effekt hin, der nicht sofort verschwindet oder wirkungslos wird

„Heutzutage rückt die Nachhaltigkeit immer mehr in den Fokus der Gesellschaft, bedingt durch den beharrlich fortschreitenden globalen Wandel. Die Veränderung der natürlichen Umwelt kann nicht länger ignoriert werden. Die Verknappung des Trinkwassers, der Rückgang des Grundwasserspiegels, der Klimawandel, der Verlust der Biodiversität, die zunehmende Flächeninanspruchnahme durch Neubaukonstruktionen sowie die Luftverschmutzung durch Gasemissionen sind nur einige der vielen Probleme, die im Sinne eines bleibenden Umweltschutzes gelöst werden müssen.“

„Nachhaltigkeit bedeutet allerdings nicht ausschließlich Umweltschutz, wie dies die Mehrheit der Bevölkerung annimmt, sondern sie beeinflusst auch Bereiche, wie die wirtschaftliche, die soziale und prozessbedingte Ebene. Die Bau- und Betriebskosten drängen innerhalb einer lebenszyklusorientierten Betrachtung der Gebäude immer mehr in den Vordergrund, zumal sie – im Vergleich zu den Herstellkosten – den größeren prozentualen Anteil an den Gesamtkosten haben.“

„Auch die soziale Komponente, deren Ziel vor allem der Komfort und die Gesundheit der Gebäudenutzer ist, sollte in einer integralen Nachhaltigkeitsbetrachtung nicht fehlen. Darüber hinaus fördert die Abstimmung der Prozesse innerhalb der Planungsphase durch ausgearbeitete Konzepte in unterschiedlichen Bereichen, wie z.B.: Energie, Wasser, oder Abfall, die Einhaltung der Nachhaltigkeitsanforderungen im späteren Verlauf der Bau- und Betriebsphase.

Diese Kriterien der Nachhaltigkeit können nicht verallgemeinert werden, sondern müssen jederzeit an die Standortbedingungen, sowie an die politischen Gegebenheiten angepasst werden.

In der Baubranche wird gefordert, dass unter Schonung der Ressourcen, eine möglichst hohe Gebäude- und Architekturqualität erreicht wird. Um diese Forderung bestmöglich zu erfüllen, wurden Zertifizierungssysteme entwickelt, die

die Nachhaltigkeit anhand von Indikatoren und Kriterien verständlich und greifbar machen sollen.“

(Ebert, EBig, & Hauser, 2010)

Der Vergleich zweier dieser Zertifizierungssysteme ist Hauptbestandteil der vorliegenden Arbeit. Dabei geht es um die seit 1990 existierende britische Methode BREEAM (Building Research Establishment's Environmental Assessment Method), ein System der „ersten Generation“, das lediglich einen energieeffizienten und ökologischen Ansatz beinhaltet und die Wirtschaftlichkeit außer Acht lässt. Erst die neueren Systemvarianten berücksichtigen einen vereinfachten Ansatz der Lebenszykluskostenberechnung. 2007 wurde die „Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB)“ gegründet, die die DGNB-Zertifizierung auf den Markt brachte. Dabei handelt es sich um ein System der sogenannten „zweiten Generation“, das einen ganzheitlichen Ansatz vertritt, in dem nicht nur die Ökologie, sondern auch die Ökonomie, die technische und soziokulturelle Qualität, sowie die Prozessqualität Bestandteil der Bewertung sind.

Im Verlauf der vorliegenden Arbeit werden die beiden Zertifizierungssysteme nicht ausschließlich auf theoretischer Ebene miteinander verglichen, sondern werden spezifisch auf ein Gebäudeobjekt angewendet. Im Mittelpunkt der Arbeit steht das Gebäude der EIB („European Investment Bank“) in Luxemburg, das 2008 fertiggestellt wurde und bereits ein BREEAM-Zertifikat („Excellent“) besitzt.

Bei beiden Zertifizierungssystemen wurde eine gewisse Anzahl an Verbesserungspotenzialen festgestellt.

Nichtsdestotrotz erkennt das DGNB-System die umfassenderen Potenziale, die nicht nur die Ökologie des Gebäudes, sondern auch die Kosten betreffen. Die Optimierung der Ressourcenverbräuche sowie der Nutzungskosten stehen somit deutlich im Vordergrund. Demnach werden durch das DGNB-Zertifikat die Themengebiete angesprochen, die, wie schon in der Einleitung erwähnt, in Zeiten der Finanzkrise und einem in den Vordergrund drängenden Umweltschutz, in der Gesellschaft und ebenfalls bei den Investoren Gehör finden werden. Denn fast alle Kriterien sind über die Verbräuche oder die Instandhaltung mit den Lebenszykluskosten des Gebäudes verbunden. Demnach ist der Einfluss

auf das Endergebnis dieser Kriterien nicht nur durch den Prozentsatz des eigentlichen Kriteriums gegeben, sondern auch durch einen Teil des prozentualen Einflusses der Lebenszykluskosten. Dies wäre ein weiterer Anreiz sich der Verbesserung der Nachhaltigkeit eines Gebäudes anzunehmen.

Das DGNB-Zertifikat beruht entwicklungsbedingt auf den drei „Säulen der Nachhaltigkeit“ (Ökologie, Ökonomie und Soziokulturelle Aspekte) und vereint diese Säulen mit der Prozessoptimierung. Dieser Ansatz resultiert aus der ganzheitlichen Betrachtungsweise von Gebäuden, die mitunter auch den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes, von Planung bis hin zum Abriss, abdeckt. Die gleichwertige Verteilung im DGNB-Ansatz verdeutlicht, dass die Nachhaltigkeit eines Gebäudes nur im Zusammenspiel aller Faktoren berücksichtigt werden sollte. Die Erkenntnis, dass einige Kriterien Hand in Hand gehen und sich teilweise sogar gegenseitig ausschließen können (man denke an das Zusammenspiel von Ökologie und Ökonomie) bekräftigt die Förderung der ganzheitlichen Betrachtungsweise. Insgesamt scheint dieser Lebenszyklusansatz in allen Zertifizierungssystemen Bestätigung zu finden, weshalb auch BREEAM in seiner neuesten Generation (wenn auch vereinfacht und mit geringer Gewichtung) die Lebenszykluskosten bewertet.

Insgesamt ist es wichtig, dass die Gebäudezertifikate nicht das reine sogenannte „Greenwashing“ fördern, bei dem wahl- und planlos einfach nur Makulatur am ökologisch wertvollen Erscheinungsbild vorgenommen wird, sondern dass die Nachhaltigkeitsüberlegung mit einem überlegten Gesamtkonzept realisiert wird. Insofern ist es wichtig anzumerken, dass die Zertifizierungssysteme nicht auf das Erreichen eines Siegels zu reduzieren sind, sondern als Möglichkeit zur wirklichen Verbesserungen der Nachhaltigkeit von Gebäuden in allen Hinsichten und für alle betroffenen Akteure, wahrgenommen werden.

Nathalie Muller

Die europäische Kohäsionspolitik umfasst die kohärente Entwicklung der gesamten Europäischen Union sowie die Förderung des ökonomischen und gesellschaftlichen Zusammenhaltes. Außerdem soll sie zum Erhalt und zum Ausbau der Wettbewerbsfähigkeit der EU beitragen. Aufgrund verschiedener Entwicklungen besteht die Notwendigkeit, die Kohäsionspolitik zu reformieren und sie an die neuen Herausforderungen anzupassen.

DIE ERSTEN REFORMVORSCHLÄGE FÜR DIE EUROPÄISCHE KOHÄSIONSPOLITIK IN DER PERIODE 2014-2020_

Chantal Hermes

Die Gründe für die Reform der Kohäsionspolitik 2014-2020 ergeben sich aus einem Zusammenspiel unterschiedlicher Faktoren. Zum einen handelt es sich hierbei um allgemeine, nicht-EU-spezifische Entwicklungen, zum anderen aber auch um EU-interne Einflüsse. Zu den allgemeinen Entwicklungen zählen insbesondere der demographische Wandel, der Klimawandel, die Globalisierung und die aktuelle Wirtschafts- und Finanzkrise. Die EU-spezifischen Veränderungen umfassen den Reformvertrag von Lissabon sowie die Ablösung der Lissabon-Strategie durch die Europa 2020-Strategie. Aber auch aus der Struktur der Kohäsionspolitik selbst heraus ergeben sich Reformnotwendigkeiten. Hier bestehen mehrere Möglichkeiten um vor allem die Effizienz der Kohäsionspolitik zu steigern. Dazu gehören etwa die Steigerung der Qualität der geförderten Vorhaben, eine stärkere Einbindung der lokalen Akteure und ein fokussierter Einsatz der Fördermittel. Darüber hinaus ist die verbesserte Koordination der Instrumente der Kohäsionspolitik untereinander und mit denjenigen anderer Politiken, von hoher Bedeutung. Hierbei steht insbesondere die Abstimmung mit anderen raumrelevanten Politikbereichen wie der Gemeinsamen Agrarpolitik oder der Meeres- und Fischereipolitik im Vordergrund.

Als Reaktion auf die vielfältigen Ursachen, die eine Reform unabdinglich machen, hat die Europäische Kommission in ihrem Fünften Bericht über den wirtschaftlichen, sozialen und territorialen Zusammenhalt im Jahr 2010 Vorschläge für den Aufbau und den Inhalt der Kohäsionspolitik 2014-2020 vorgestellt. Wie auch in den vorangegangenen Förderperioden gliedert sich der Reformprozess in mehrere Schritte. Hierzu gehören die Evaluierung der abgeschlossenen und laufenden Förderzeiträume sowie Diskussionsverfahren an denen alle betroffenen Akteure teilnehmen können. Aus den Vorschlägen der Kommission und den Ergebnissen der öffentlichen Konsultation hat die Europäische Kommission erste Legislativvorschläge entwickelt, die im vierten Quartal des Jahres 2011 veröffentlicht wurden.

Die Kohäsionspolitik in der aktuellen Periode 2007-2013 ist an der stark durch wirtschaftliche Schwerpunkte geprägten Lissabon-Strategie orientiert. Durch die zukünftige Ausrichtung der Kohäsionspolitik an der Europa 2020-Strategie

treten in der Kohäsionspolitik 2014-2020 neben der ökonomischen Thematik auch soziale und ökologische Aspekte stärker in den Vordergrund. Diese Entwicklung lässt sich insbesondere im Rahmen der thematischen Konzentration und der Vorgaben zum Inhalt der operationellen Programme feststellen.

Im Allgemeinen wird die strategische Ausrichtung der Kohäsionspolitik 2014-2020 durch die von der Europäischen Kommission vorgeschlagenen Regelungen gestärkt und ihre Kohärenz mit anderen EU-Politiken wird weiter gefördert. Allerdings erhält sie durch den stärkeren Einbezug der lokalen Akteure und durch die in der Europa 2020-Strategie enthaltenen Themenbereiche auch einen umfassenderen und integrierteren Ansatz. Die Kohäsionspolitik entwickelt sich dadurch von einem Instrument mit einem wirtschaftlichen Schwerpunkt hin zu einer Strategie für eine nachhaltige und querschnittsorientierte Entwicklung der gesamten Europäischen Union.

Die Europäische Kommission erhebt den Anspruch, durch die Reform der Kohäsionspolitik 2014-2020 sowohl Einfluss auf den Umgang mit den Gründen für diese als auch eine Verbesserung in der Struktur und dem Ablauf der Kohäsionspolitik zu erreichen. Sowohl in den Schlussfolgerungen zum Fünften Kohäsionsbericht als auch in den Legislativvorschlägen macht sich allerdings bemerkbar, dass diese Bestrebungen sich in vielen Fällen gegenseitig ausschließen. So strebt die Europäische Kommission zwar an, durch die Reform den bürokratischen Aufwand abzubauen, allerdings steigt der Verwaltungsaufwand durch die Vorgaben die einen vertrauenswürdigen Rahmen für den Einsatz der Kohäsionsmittel schaffen sollen, stark an. Der Versuch, die Qualität der Vorhaben durch Anreize zu verbessern wird durch die Möglichkeit, die Etappenziele sehr niedrig anzusetzen, ebenfalls konterkariert. Die thematische Konzentration, die die Kohäsionspolitik 2014-2020 effektiver gestalten soll, führt dazu, dass die Flexibilität der Einsatzmöglichkeiten der Kohäsionsmittel insbesondere in den stärker entwickelten Regionen und den Übergangsregionen stark eingeschränkt wird.

Es macht sich bemerkbar, dass die Stellungnahmen der Mitgliedsstaaten und anderer Akteure, die während der öffent-

lichen Konsultation zu den Schlussfolgerungen des Fünften Kohäsionsberichtes abgegeben wurden, in der Entwicklung der Legislativvorschläge teilweise nur unzureichend berücksichtigt wurden. Dies fällt insbesondere im Kontext der makroökonomischen Konditionalitäten, die von einem Großteil der Mitgliedsstaaten abgelehnt wurden, auf. Vermutlich wird dieser Punkt in der kommenden Debatte der Vorschläge weiter diskutiert und unter Umständen abgeändert.

Die Änderungen, die die Reform der Kohäsionspolitik 2014-2020 für die jeweiligen Ebenen, die die Mittel in den einzelnen Mitgliedsstaaten verwalten, mit sich bringen wird, sind vor allem inhaltlicher Natur. Der Aufbau der Verwaltungs- und Kontrollsysteme oder der zuständigen Stellen für das Monitoring und die Evaluierung werden kaum verändert. Ihre Aufgabenbeschreibungen für die Periode 2014-2020 sind allerdings weitaus umfassender und konkreter als in den Zeiträumen davor. Das Gleiche gilt für die operativen Programme, die weiterhin als Hauptumsetzungsinstrument der Kohäsionspolitik dienen werden. Die einzige größere strukturelle Änderung besteht in den neuen Möglichkeiten der Einbindung der lokalen Ebene. Diese inspirieren sich teilweise am LEADER-Programm der Gemeinsamen Agrarpolitik. Während die Durchführung von Vorhaben nun auch von der lokalen Ebene übernommen werden kann, verbleibt die Verantwortung allerdings auf den darüber liegenden Ebenen. Dies führt zu einer Entkoppelung von Verantwortung und Durchführung, deren Erfolgspotential sich im Laufe der Förderperiode 2014-2020 erst beweisen muss.

Der Einfluss der Kohäsionspolitik auf den Umgang mit den Reformursachen gestaltet sich sehr unterschiedlich. Während durch Regelungen oder Zusatzinstrumente in der Kohäsionspolitik 2014-2020 auf den Klimawandel, die Globalisierung und teilweise auch auf die Wirtschafts- und Finanzkrise eingegangen wird, wird der demographische Wandel zu stark vernachlässigt. Durch die starke Ausrichtung der Kohäsionspolitik 2014-2020 an der Europa 2020-Strategie wird sie voraussichtlich stark zur Erreichung von deren Zielen beitragen. Auch die Bereiche der Qualität der geförderten Vorgaben, des Einbezugs der lokalen und regionalen Akteure, der stärkeren Konzentration der Mittel sowie der besseren Koordination der Kohäsionspolitik untereinander und mit denjenigen anderer Politiken werden nicht nur in den Vorschlägen aufgegriffen, sondern finden sogar Eingang in die bedeutendsten Punkte der Regelungen.

Schlussendlich kann festgehalten werden, dass die Legislativvorschläge der Europäischen Kommission positiv zu bewerten sind. Dies ergibt sich zum einen durch die Tatsache, dass sie der Kohäsionspolitik einen strategischen, integrierten und umfassenden Charakter verleihen. Zum anderen führen sie nicht nur dazu, dass auf die genannten Reformursachen reagiert wird, sondern sie ermöglichen auch einen besseren Umgang mit deren Auswirkungen. Durch die Vorschläge der Europäischen Kommission können die Mitgliedsstaaten und -regionen in der kommenden Förderperiode dem Ziel der Kohäsionspolitik, dem territorialen, ökonomischen und sozialen Zusammenhalt, einen weiteren Schritt näher kommen.

Chantal Hermes



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!

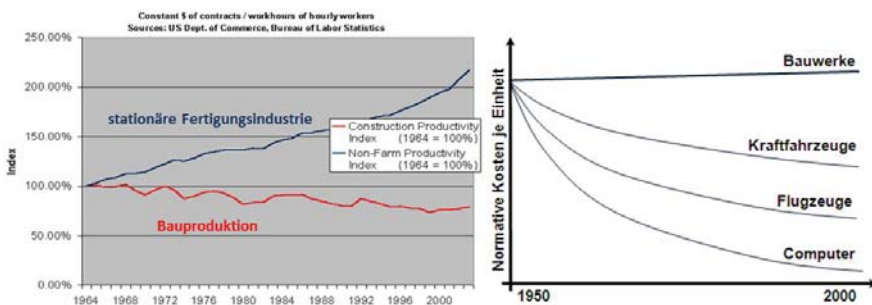
www.uni.lu

Tel. +352 46 66 44 - 6617/6222

Bauprojekte sind häufig durch Komplexität und Interdisziplinarität gekennzeichnet. Viele Teilprojekte und unterschiedliche Interessenslagen der Projektteilnehmer müssen geschickt zu einem sinnvollen Ganzen zusammengeführt werden. Zur Erreichung von anspruchsvollen Projektzielen kommt dem Projektmanagement hierbei eine Schlüsselrolle zu. Chronisch auftretende Missstände wie Terminverzögerungen, Kostenüberschreitungen sowie erhebliche Qualitätsmängel lassen jedoch feststellen, dass das traditionelle Projektmanagement seiner Schlüsselrolle in der Bauindustrie nicht ausreichend gerecht wird.

ANWENDUNG VON LEAN-PRINZIPIEN AUF BAU-PROJEKTMANAGEMENT

Dipl. -Ing Paul Nathan



1_ Branchenübergreifender Vergleich der Entwicklung der Produktivität und der Einheitskosten¹

Nach dem Vorbild der stationären Fertigungsindustrie wird deshalb seit einigen Jahren versucht den Missständen durch Übertragung von Lean-Prinzipien auf die Bauproduktion entgegenzuwirken. Diese Bemühungen in Forschung und Praxis sind vor allem unter dem Begriff "Lean Construction" bekannt geworden. In bisherigen Ansätzen wurde jedoch der ganzheitliche, integrale Charakter der Lean Denkweise vernachlässigt, obwohl die Anwendung von Lean Prinzipien entlang der gesamten Wertschöpfungskette von der Konzeption bis hin zur Fertigstellung ein substantielles Optimierungspotential vermuten lässt.

Der vorliegende Beitrag liefert einen Leitfaden über die Anwendung von Lean-Prinzipien im Bauprojektmanagement sowie eine Aussicht welches Potential sich hierdurch erreichen lässt.

1 - Einleitung

Wagt man einen Ausblick auf die bedeutendsten, Bauprojekte der jüngsten Vergangenheit, so fällt einem schnell auf, dass die komplexen Bauvorhaben unter keinem guten Stern stehen. Bauvorhaben wie die Elbphilharmonie in Hamburg, der Flughafenbau in Berlin oder der U-Bahn Bau in Köln sind nur einige Beispiele, wie sich Defizite in der Bauwelt manifestieren können.

Als Gründe für die Missstände werden oft die nur schwer zu beeinflussenden Projekttrandbedingungen der Bauindustrie verantwortlich gemacht. Während sich die Liste für die desolate Situation ins Unermessliche führen lassen würde, sieht es auf der Gegenseite, bei der Suche nach neuen innovativen Lösungsansätzen, eher mager aus. In anderen Worten

ausgedrückt, die nicht zufriedenstellende Lage im Bauhauptgewerbe wird zwar ständig beklagt, jedoch ohne durch ein Umdenken mit Hilfe von neuen Ansätzen der bisherigen Situation aktiv entgegenzuwirken. Folge dieser hypokritischen Verhaltensweise ist, dass die Bauindustrie in der Vergangenheit nicht mit den Fortschritten anderer Branchen und Wirtschaftszweige mithalten konnte. (siehe Abbildung 1)

Vor allem in der Königsdisziplin der Bauprojektabwicklung, dem Projektmanagement, konnte die Bauindustrie nicht den Entwicklungen anderer Branchen folgen. Dabei wird die Lage zusätzlich dadurch verschärft, dass Bauprojekte zunehmend größer, technisch komplexer und durch dynamische und instabile Zielvorstellungen gekennzeichnet sind.² Folglich steigen auch die Anforderungen an das Bauprojektmanagement. "Mangelnde Projektmanagementfähigkeiten" jedoch stellen die Hauptursache für das schlechte Abschneiden von Bauprojekten dar.³

Im bisherigen Projektmanagement wurde versucht den Missständen und steigenden Anforderungen mit immer neuen Methoden und Werkzeugen entgegenzuwirken. Die Projektkomplexität wurde dabei versucht reaktiv beherrschbar zu machen, anstatt aktiv zu gestalten. Als Folge dieser Herangehensweise ist im Baugewerbe das Verständnis entstanden, dass es sich beim Projektmanagement um ein Instrumentarium handelt, mit dem sich Ablaufstörungen bekämpfen lassen und nicht um ein Führungskonzept, mit dem sich die Probleme präventiv umgehen lassen. Dementsprechend bedarf es dem Projektmanagement nach grundlegend neuen Ansätzen, um den steigenden Ansprüchen der Bauproduktion gerecht zu werden.

Nach dem Leitsatz von Albert Einstein, dass „man ein Problem nicht mit derselben Denkweise lösen kann, das zu dem Problem geführt hat“, konzentriert sich der vorliegende Beitrag darauf, einen Blick über den Tellerand zu wagen und mit Hilfe der Lean Denkweise einen neuen Ansatz aus der unbefriedigenden Situation im Bauprojektmanagement zu präsentieren.

2- Lean Projektmanagement - Herleitung eines neuen Projektmanagementansatzes

Bei der traditionellen Projektabwicklung nimmt das Projektmanagement eine hierarchische Rolle ein. Projekte werden

zentral gegliedert und strukturiert, bis sie in Form einzelner Arbeitspakete ausgeschrieben und anschließend an Unternehmen vergeben werden können. Das traditionelle Projektmanagement beruht auf der Annahme, dass die Summe der preisgünstigsten Anbieter, insgesamt zum billigsten Herstellungsprozess führt. Zusätzlich geht das traditionelle Projektmanagement davon aus, dass die Anforderungen des Kunden bereits in der Planungsphase vollständig identifiziert worden sind und mittels von Verträgen beschrieben werden können.

Aufgrund der Tatsache, dass Bauprojekte auf regelrechten "Vertragsnetzen" basieren, ist im Bauwesen das Verständnis entstanden, dass es sich beim Projektmanagement ausschließlich um ein "Management der Verträge" handelt. Dieses Verständnis wird zusätzlich dadurch bekräftigt, dass die Planung und Steuerung des traditionellen Projektmanagements darauf beruht, die Qualitätsziele der einzelnen Arbeitspakete auf Basis von Verträgen, in einem vordefinierten Kosten- und Zeitrahmen zu erreichen.⁴

Die Erfüllung der Kundenbedürfnisse sowie die Vermeidung von Verschwendung zwischen den einzelnen Prozessen, wird bei dieser Betrachtungsweise vernachlässigt. Des Weiteren führt die Eigenschaft des traditionellen Projektmanagements, einzelne Vorgänge bei Zielabweichungen, isoliert und ohne Gesamtabstimmung durch Ressourcen- und Zeitanpassungen reaktiv zu steuern, in der Projektentwicklung zu gestörten Arbeitsflüssen und somit zu einem zusätzlichen Maß an Verschwendung.⁵

Folglich kann behauptet werden, dass das traditionelle Projektmanagement, das vorwiegend darauf ausgerichtet ist, auf Basis von Verträgen, den Bauablauf zu lenken indem auf Zielabweichungen reagiert wird, ungeeignet für den Einsatz bei komplexen Bauprojekten ist. Vor dem Hintergrund, dass die Implementierung von neuen Methoden und Werkzeugen im traditionellen Projektmanagement keine Lösung darstellt, sondern zu einer zusätzlichen Überlastung und somit Intensivierung des Problems führt, bedarf es im Projektmanagement eines grundsätzlichen Paradigmenwechsels.⁶

Die Übertragung der Lean-Prinzipien auf das Projektmanagement bewirkt einen grundlegenden Wandel des abstrakten Managementverständnisses, in kultureller sowie organisatorischer Hinsicht, aus dem sich veränderte Anforderungen an das Projektmanagement in den Bereichen der Führung, Planung, Steuerung, Produktion und Organisation herleiten lassen.



2_ Lean-Prinzipien

Generell soll durch die Übertragung der produktionsbezogenen Lean-Prinzipien auf das Projektmanagement, eine ganzheitliche Prozessoptimierung der Abläufe erreicht werden. Planungs- und Bauprozesse sollen aktiv gestaltet werden, anstatt reaktiv nach Kosten-, Termin-, oder Qualitätsabweichungen gesteuert zu werden. Das Managementverständnis vom "Projektmanagement der Verträge"

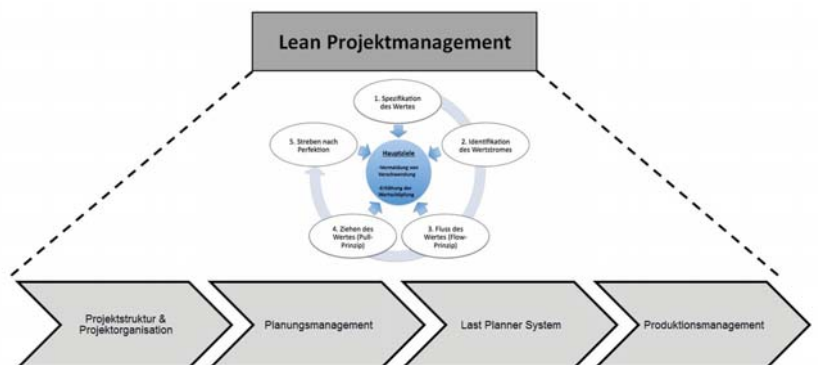
soll hierbei zu einem "Produktionsmanagement auf der Baustelle" gewandelt werden. Die Baustelle, als Ort der Wertschöpfung, soll mittels dieser Betrachtungsweise in den Mittelpunkt des Wirkens gerückt werden.⁷

Der Begriff Lean Projektmanagement steht hierbei als Synonym für die Übertragung der Lean-Denkweise auf die Ebene des Projektmanagements. Übergeordnetes Ziel von Lean Projektmanagement ist es, ein Projekt und damit ein temporäres Produktionssystem derart zu organisieren, dass durch minimalen Einsatz an Ressourcen und Kapazitäten wie Zeit, Kapital, Mitarbeiter, etc., dem Auftraggeber, als Gegenleistung für dessen Aufwendungen, ein maximaler Wert entsteht. Lean Projektmanagement zeichnet sich durch eine klare, systematische Vorgehensweise aus, bei der versucht wird durch Konzentration auf das Wesentliche die Kundenbedürfnisse vollständig zu erfüllen. Zu diesem Zweck sollen bei der schlanken Projektabwicklung die sich wiederholenden Prozesse identifiziert und standardisiert werden, und angesichts der divergierenden Projektanforderungen konfiguriert berücksichtigt werden. Durch die Standardisierung soll ein kontinuierlicher Lernprozess im Projekt ermöglicht werden, der es allen Projektbeteiligten erlaubt, gemeinsam aus früheren Fehlern zu lernen und sich kontinuierlich zum Wohle des Kunden zu verbessern. Die Grundidee der schlanken Projektabwicklungsmethodik ist es dabei störende Einflussfaktoren bzw. Verschwendung frühzeitig zu identifizieren und zu beheben, damit Projekte mit minimalem Aufwand optimal abgewickelt werden können.⁸

Der wesentliche Unterschied zum konventionellen Projektmanagement liegt somit in der veränderten Sichtweise. Beim Lean Projektmanagement wird nicht versucht die Komplexität eines Projektes mit Hilfe von erhöhtem Methoden-, Kapazitäten- und Ressourcenaufwand in den Griff zu bekommen, sondern das Projektmanagement wird bewusst auf das Nötigste „abgespeckt“ um Projekte möglichst effektiv und effizient zu „managen“.

3 - Allgemeiner Leitfaden des Lean Projektmanagements

Vor dem Hintergrund, dass es sich beim Projektmanagement um ein Instrumentarium handelt, welches eine Vielzahl an Methoden und Werkzeuge geschickt miteinander verknüpfen muss, wird im Rahmen dieses Beitrages ein allgemeiner Leitfaden zur Anwendung präsentiert. (siehe Abbildung 3)



3_ Lean Projektmanagement

3.1 – Projektstruktur und Projektorganisation

Der Erfolg von Projektmanagement hängt letzten Endes von der richtigen Anwendung der bereitgestellten Methoden und Werkzeuge sowie von der richtigen Projektorganisation ab. Grundvoraussetzung, zur optimalen sowie zielorientierten Anwendung, ist die Schaffung eines stabilen Projektumfeldes.

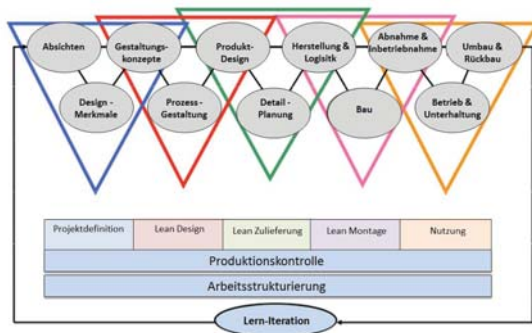
Nach dem Vorbild der industriellen Organisation kann das LPDS Modell als ein ganzheitliches Produktionssystem an-

gesehen werden, das sowohl die Funktion eines Projektabwicklungs-systems als auch die Funktion einer Projektorgani-sationsform umfasst.⁹ (siehe Abbildung 4)

Das angestrebte Wirkungsprinzip des LPDS Modells ist ver-gleichbar mit dem des Simultaneous Engineering, welches ebenfalls auf eine Verringerung der Schnittstellenproblema-tik durch partielle Parallelisierung der Projektphasen abzielt. Die Ziele von Simultaneous Engineering können dabei fol-gendermaßen zusammengefasst werden:¹⁰

- _Schnellere Auftragsabwicklung durch Verkürzung der Durchlaufzeiten,
- _Reduzierung von Schnittstellenproblemen,
- _Förderung einer ganzheitlichen Sichtweise der Wertschöp-fung,
- _Vermeidung von später auftretenden Veränderungen.

Das LPDS Modell wurde als ein Mittel zur Umsetzung des Lean Philosophiegedankens im Bauwesen entwickelt. Dies-es vereint in seiner Gesamtheit verschiedene Aspekte, wie z.B. Prozeduren für die Auftragsabwicklung, Regeln für die Entscheidungsfindung, Strategien für die Implementierung von schlanken Methoden sowie Darstellung der spezifi-schen Abhängigkeiten und Interaktionen zwischen den ein-zelnen Phasen.¹¹



4_ Das Lean Produktionssystem LPDS¹²

3.2 – Planungsmanagement

Anhand von Untersuchungen an Schlüsselfertigbaustel-len konnte festgestellt werden, dass Planungsprozesse die Hauptschwachstelle bei der Bauprojekt-abwicklung dar-stellt. So konnte nachgewiesen werden, dass insgesamt 56% aller auftretenden Qualitätsmängel bei Bauprojekten auf Fehler in der Planungsphase zurückzuführen sind.¹³ Aus dem hohen Maß, der sich hieraus ergebenden Folgekosten,

kann geschlußfolgert werden, dass der Planungsprozess ein hohes Potential für optimierte Planungsansätze darstellt.

Als sinnvolle Elemente zur Verbesserung des Planungsma-nagements konnten folgende Methoden und Werkzeuge identifiziert werden:

Prozesslandkarte

Ein effektives Strukturierungs-, Steuerungs- und Überwa-chungsinstrument, um den Prozessablauf und die Verant-wortlichkeiten der Projektbeteiligten aus übergeordneter Sicht darzustellen, liefert die Prozesslandkarte. Diese kann genutzt werden, um den Ablauf des Planungsprozesses auf einer übersichtlichen Ebene abzubilden und den Pro-jektbeteiligten die einzelnen Prozessschritte transparent zu machen. Durch die standardisierte Darstellungsweise der Prozesse, repräsentiert die Prozesslandkarte somit ein wir-kungsvolles Mittel, das die Grundlage für eine systemati-sche Auftragsabwicklung bildet. (siehe Abbildung 4)

Target Value Design (TVD) und Target Costing (TC)

Das Target Costing (TC) kombiniert mit dem Target Value Design (TVD) repräsentiert die zentrale Methode des Lean Ansatzes in der Planung. Beim TC und TVD handelt es sich um eine Methode, bei der das Design an die vom Auftrag-geber vorgegebenen Zielkosten angepasst wird. Demnach orientiert sich beim TC die Planung an dem zur Verfüg-ung stehenden Budget und nicht umgekehrt.¹⁵ Das TC differenziert sich folglich wesentlich von der traditionellen Vorge-hensweise, bei der die Budgetierung eines Bauprojektes auf Basis eines vorher festgelegten Designs (Entwurfes) erfolgt.

Diese Methode stellt den Kunden mit dessen Bedürfnisse im Sinne der Lean Philosophie ins Zentrum des Wirkens. Durch Betrachtung des Kunden als zentrales Element der Wertschöpfungskette, sollen Voraussetzungen geschaffen werden, welche es ermöglichen die diversen Ziele sowie Wertevorstellungen des Kunden frühstmöglich zu identi-fizieren und bestmöglich im Projekt umzusetzen.

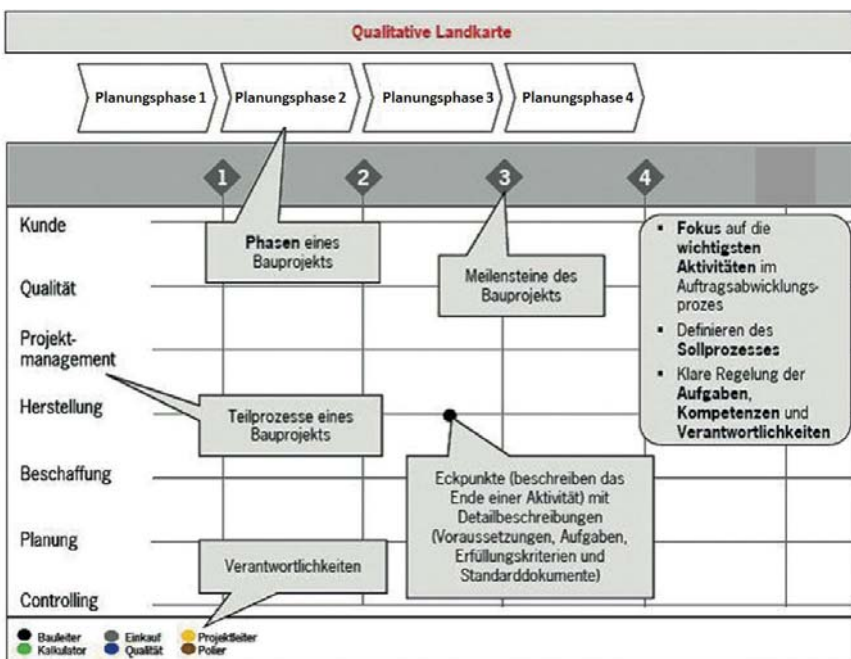
3.3 – Last Planner System (LPS)

Das Last Planner System (LPS) bildet das Kerninstrument des Lean Constructions.¹⁶ Es wurde eigens für die Anfor-derungen der Bauindustrie nach den Prinzipien der Lean Denkweise entwickelt und stellt sowohl ein Produktionspla-nungs-, Produktionssteuerungs-, als auch ein Controllingin-strument dar.

Das Konzept des LPS vertritt im Gegensatz zum traditio-nellen Projektmanagement, die Auffassung, dass es bei komplexen Bauprojekten sinnlos ist über eine längere Zeit-spanne hinweg detaillierte Terminplanungsleistungen zu erbringen. Beim LPS werden, auf Basis einer kooperativen Vorgehensweise und unter Berücksichtigung der Variabili-tät, die Arbeitsvorgänge infolge des tatsächlichen Bedarfes auf der Baustelle dezentral geplant und gesteuert.

Der Begriff Last Planner steht dabei stellvertretend für eine Organisationseinheit (Person oder Gruppe) welche direkt in der Verantwortung für die Ausführung bestimmter Arbei-ten steht. Der letzte Planer verkörpert somit einen örtlichen Ausführungsvertreter (Polier, Bauleiter), der in der Lage ist, unter Berücksichtigung der erforderlichen Voraussetzungen, verlässliche „Arbeitszusagen“ für bestimmte gewer-keabhängige Arbeiten zu treffen. Durch das kooperative Verhalten der Ausführungsvertreter beim LPS entsteht, durch die Summe an verbindlichen und zuverlässigen „Ar-beitszusagen“, ein Netzwerk aus verlässlichen Zusagen, die es erlauben die Bauproduktion flexibel zu planen und zu steuern.¹⁷

Das Konzept des LPS stellt einen regelrechten Paradigmen-wechsel zur traditionellen Projektmanagementmethodik dar. Statt auf Grundlage einer auf lange Sicht geplanten



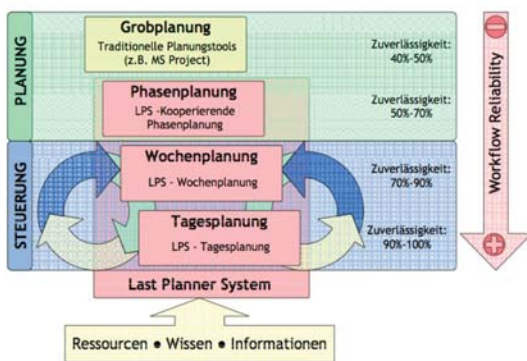
5_ Qualitativer Aufbau einer Prozesslandkarte¹⁴

Terminplanung die einzelnen Arbeitsprozesse im Hinblick auf die Fertigstellung in den Bauablauf „zu drücken“, wird beim LPS durch Berücksichtigung der gegenseitigen Abhängigkeiten und unter Einbindung der wesentlichen Beteiligten, eine kontinuierliche sowie vorausschauende Planung generiert. Diese veränderte Sichtweise erlaubt es die Arbeitsprozesse aktiv zu steuern anstatt reaktiv zu kontrollieren.

Demnach repräsentiert das LPS einen effektiven Zwischenprozess, bei dem vorzeitig geprüft wird, ob eine Aufgabe nach den vorher bestimmten Vorgaben überhaupt ausgeführt werden kann. Sind die Voraussetzungen für die Umsetzung einer Aufgabe nicht gegeben, kann beim LPS flexibel auf andere Tätigkeiten umgeschaltet werden, ohne dass sich hierbei der Endtermin des gesamten Projektes verschiebt. Durch die Flexibilisierung der Terminplanung und -steuerung kann sich somit schnell den stetig ändernden Anforderungen der Bauproduktion angepasst werden.

Zusammenfassend können die angestrebten Ziele des LPS folgendermaßen beschrieben werden:¹⁹

- _Prozessversteigerung durch Verringerung an Variabilität,
- _Erhöhung der Zuverlässigkeit durch zuverlässige Arbeitszusagen,
- _Anwendung des Pull-Prinzips,
- _Transparenz,
- _Rechtzeitiges Erkennen von Hindernissen,
- _Das Ganze in einem integrierten Projektteam.



6_ Elemente des Last Planner Systems²⁰



3.4 – Produktionsmanagement

Analyse der Produktionsprozesse

Identisch zur stationären Industriefertigung können bei der Bauproduktion die Material- und Informationsprozesse anhand einer Wertstromanalyse abgebildet werden. Durch die Visualisierung der einzelnen Teilprozesse mit ihren Abhängigkeiten lassen sich Defizite aufdecken und verschwendungsvermeidende Maßnahmen für den Gesamtprozess ableiten. Die Wertstromanalyse umfasst dabei je nach Detaillierungsgrad nicht nur die Prozesse der Baustellenproduktion, sondern auch die Lieferprozesse, die eine maßgebende Bedeutung in Bezug auf das Endergebnis der Baustelle haben. Im Vordergrund der Betrachtung steht bei der Wertstromanalyse die Stabilisierung und Optimierung des Gesamtprozesses mit dem Ziel, Verschwendung zu identifizieren und stetigen Produktionsfluss auf der Baustelle zu generieren.

Verbesserung des Gesamtprozesses

Ein wichtiges Hilfsmittel zur Verbesserung des Gesamtprozesses auf Basis der Lean-Prinzipien, liefert die Taktplanung und -steuerung.

Ziel der Taktplanung und -steuerung ist es einen Bauablauf zu stabilisieren, transparenter zu gestalten sowie eine höhere Termintreue zu fördern. Voraussetzung für die Anwendbarkeit der Taktfertigung sind Arbeitsprozesse, mit hohem Wiederholungsgrad, die von den gleichen Prozessverantwortlichen (Kolonnen, Gewerke) ausgeführt werden können. Je höher der Repetitionsgrad ist, desto effektiver kann die Taktplanung und -steuerung eingesetzt werden.

Aus diesem Grund eignet sich die Taktfertigung insbesondere für die Herstellung von Linienbauwerken wie Strassen oder Bahntrassen. Zusätzlich kann die Taktfertigung jedoch auch im Hochbau eingesetzt werden. Nach dem Egan Report wiederholen sich nämlich bis zu 80% der Arbeitsprozesse bei normalen Bauwerken.²¹ Gebäude mit einer gewissen Regelmäßigkeit in der Architektur sind für die Taktfertigung besonders geeignet. Durch Unterteilung der Objekte in gleichartige Bauabschnitte entstehen bei Hochbauprojekten, Fertigungslose die den wiederholten Einsatz gleicher Arbeitsschritte in einem Takt zulassen. Vor allem für Rohbauarbeiten, wo sich die Abläufe vornehmlich in Schalungs-, Bewehrungs- und Betonierprozesse gliedern lassen, kann die Taktfertigung sinnvoll und relativ einfach anzuwenden sein. Zur Verminderung von Schnittstellenproblemen sowie zur Beschleunigung des Bauablaufes zwischen den Gewerken kann die Taktfertigung jedoch auch in der konfliktanfälligen Ausbauphase genutzt werden.

Die Taktplanung und -steuerung in der Ausbauphase eines Hochbauprojektes kann nach folgenden groben Eckpunkten durchgeführt werden:²²

- 1_ Definition von möglichst kleinen Bauabschnitten (Fertigungslosen),
- 2_ Abstimmung der erforderlichen Arbeitskapazität an die geplante Zeitvorgabe (Taktzeit),
- 3_ Durchführung kurzzyklischer Qualitäts- und Terminkontrollen (Soll-Ist Vergleiche),
- 4_ Übergabe des Bauabschnitts an den nächsten Prozesskunden (Folgegewerk).

Neben der kontinuierlichen Verbesserung der Qualität findet bei der Taktfertigung synchron auch eine Verbesserung der Produktivität statt. Durch das Wiederholen der gleichen Arbeitsschritte können Lernkurveneffekte genutzt werden, die zu einer Verringerung der einzelnen Zykluszeiten führen. Dieser Effekt kann wiederum dazu genutzt werden die Taktzeit zu verkürzen und somit die gesamte Durchlaufzeit der Prozesskette zu verringern.

Verbesserung einzelner Prozesse

Neben der Industrialisierung der gesamten Produktionskette, sollte zur Optimierung und Stabilisierung dieser, auch die Verbesserung der einzelnen Produktionsprozesse berücksichtigt werden.

Entgegen der traditionellen Sichtweise sollen bei der Umsetzung eines schlanken Logistikkonzeptes, Optimierungspotentiale nicht durch unkoordinierte Produktivitätssteigerungen, sondern durch Vermeidung von Verschwendung in den Produktionsabläufen erreicht werden. Somit soll durch die Rationalisierung der verschwenderischen Zeitanteile: Aufräumen und Umräumen, Materialsuche, überflüssige Wege sowie unnötige Transporte, eine ganzheitliche Optimierung erreicht werden.

4 – Fazit und Ausblick

Im bisherigen Lean Ansatz des Lean Construction wurde die Anwendung von Lean Prinzipien vornehmlich auf die Bauproduktion reduziert, obwohl sich durch die Anwendung von Lean Prinzipien entlang der gesamten Wertschöpfungskette weitreichende Effizienzgewinne im Bauprojektmanagement vermuten lassen.

Ob und inwieweit der Lean Gedanke im Bauprojektmanagement Anhalt finden wird, hängt letzten Endes maßgeblich davon ab, wie das Instrumentarium in der Zukunft vom Baugewerbe wahrgenommen wird. In einer abschließenden Betrachtung kann demnach behauptet werden, dass der Erfolg des Lean Ansatzes im Projektmanagement wesentlich davon abhängig ist, ob es als Chance erkannt wird, um bisher unerschlossene Verbesserungspotentiale wahrnehmen zu können oder ob es als rein theoretisches Konzept verstanden wird, das aufgrund seiner Voraussetzungen nicht im Bauwesen umsetzbar ist.

Dipl.-Ing Paul Nathan

- 1_ Quelle: Abb. Links: Teicholz, Paul: Labor productivity declines in the construction industry: causes and remedies, AECbytes Viewpoint, Heft 4, April 2003; Quelle: Abb. Rechts: Paulson, B. C.: Computer Aided Project Planning and Management, in: Sixth International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, Berlin, July 12-15, 1995
- 2_ Seefeldt, Melich: Projektmanagement im Auf-Bau – Verbesserungspotentiale in der Auftragsabwicklung zur Steigerung der Ertragsfähigkeit von Bauunternehmen, 2., überarb. Aufl., Hamburg/Berlin: hansebuch Verlag, 2003
- 3_ Spang, Konrad: Innovative Projektentwicklung bei Bauprojekten – Plädoyer für einen Paradigmenwechsel, in: Bauingenieur, Jg.:81, Nr.3, 2006, S. 117-125
- 4_ Gehbauer, Fritz / Kirsch Jürgen: Lean Construction – Produktivitätssteigerung durch „schlanke“ Bauprozesse, in: Bauingenieur, Heft 81, 2006, S.504-509
- 5_ Simon, Stefan/ Schriek Thomas/ Gehbauer, Fritz, Dittmann, Marc: Last Planner, ein Instrument für Bauprojekte nach den Grundsätzen des Lean Managements, Düsseldorf: VDI Verlag, 2008
- 6_ Spang, Konrad: Innovative Projektentwicklung bei Bauprojekten – Plädoyer für einen Paradigmenwechsel, in: Bauingenieur, Jg.:81, Nr.3, 2006, S. 117-125
- 7_ Gehbauer, Fritz / Kirsch Jürgen: Lean Construction – Produktivitätssteigerung durch „schlanke“ Bauprozesse, in: Bauingenieur, Heft 81, 2006, S.504-509
- 8_ Ballard, Glenn: The Lean Project Delivery System: An Update, in: Lean Construction Journal, 2008
- 9_ Heidemann, Ailke: Kooperative Projektentwicklung im Bauwesen unter der Berücksichtigung von Lean-Prinzipien Internationale Untersuchungen im Hinblick auf die Umsetzung und Anwendbarkeit in Deutschland, "Diss." Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – Institut für Technologie und Management im Baubetrieb, o.O.: Scientific Publishing, 2010
- 10_ Ahrens, Hannsjörg / Klemens Bastian / Muchowski, Lucian: Handbuch Projektsteuerung – Baumanagement, 4., aktualisierte Aufl., Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2010
- 11_ Ballard, Glenn: LCI White Paper-8 – Lean Project Delivery System, in: Lean Construction Institute, 2000
- 12_ Ballard, Glenn: The Lean Project Delivery System: An Update, in: Lean Construction Journal, 2008, S. 1-19
- 13_ Lindemann, Udo /Erdell, Elmar / Schneider, Sebastian: Transfer von Methoden zur nachhaltigen Entwicklung aus dem Maschinenwesen in das Bauwesen, Abschlussbericht, Technische Universität München, 2005
- 14_ Kaiser, Jörg / Khodawandi, Darius: Applikation der Automobilentwicklungsprozesse in der Bauwirtschaft, in: Tiefbau, Heft 12/ 2008, S. 757-761
- 15_ Ballard, Glenn / Decker, Dick / Mack, John: Construction in California Health Care, in: Modern Steel Construction, November 2008
- 16_ Gehbauer, Fritz: Lean Management im Bauwesen –Skript der Vorlesung „Moderne Methoden der Betriebsplanung- und steuerung (Lean Construction)“ des Instituts für Technologie und Management im Baubetrieb der TU Karlsruhe, o. Verlag, 2010
- 17_ Ballard, Glenn: LCI White Paper-8 – Lean Project Delivery System, in: Lean Construction Institute, 2000
- 18_ Ballard, Glenn/ Howell, Gregory: Competing Construction Management Paradigms, in: Lean Construction Journal, Vol 1 #1, Oktober 2004, S. 38-45
- 19_ Simon, Stefan/ Schriek Thomas/ Gehbauer, Fritz, Dittmann, Marc: Last Planner, ein Instrument für Bauprojekte nach den Grundsätzen des Lean Managements, Düsseldorf: VDI Verlag, 2008
- 20_ Quelle: Steffek, Peter: Einsatz des Last Planner Systems, Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB) Universität Karlsruhe, Lean Construction Institut, Präsentation, 2007
- 21_ Egan, Sir. J.: Rethinking Construction – The report of the construction task force to the deputy Prime Minister, John Prescott, on the scope for improving the quality and efficiency of the UK construction, 1998
- 22_ Scholz, Reiner: Der lange Weg zum Gipfel, in: Caracho – Das Magazin von Porsche Consulting, Heft 8, April 2009, S. 26-35

HORS SERIES DE LA REVUE TECHNIQUE LUXEMBOURGEOISE

- #001 Inauguration Forum da Vinci
- #002 40 years of DELPHI in Luxembourg
- #003 100+1 Administration des bâtiments publics
- #004 Ouvrages d'art - ponts - Administration des ponts et chaussées
- #005 Deuxième l'Ecole européenne et Centre polyvalent de l'Enfance
- #006 Concours Construction Belvédère
- #007 Ouvrages d'art - routiers+ fluviaux - Administration des ponts et chaussées
- #008 Château d'eau - Ville de Luxembourg
- #009 Prix excellence - Fondation de Luxembourg

REVUE TECHNIQUE LUXEMBOURGEOISE

www.revue-technique.lu

éditée par

L'Association Luxembourgeoise des Ingénieurs, Architectes et Industriels

Rédacteur en Chef Michel Petit

Responsable Revue Technique Sonja Reichert

tel 26 73 99 email s.reichert@revue-technique.lu

Graphisme Bohumil Kostohryz

Impression 4.000 exemplaires

imprimerie HENGEN

14, rue Robert Stumper L- 1018 Luxembourg

revue imprimée sur du papier_



HORS SERIE

REVUE TECHNIQUE LUXEMBOURGEOISE

HORS SERIE DE LA REVUE TECHNIQUE LUXEMBOURGEOISE # 009

