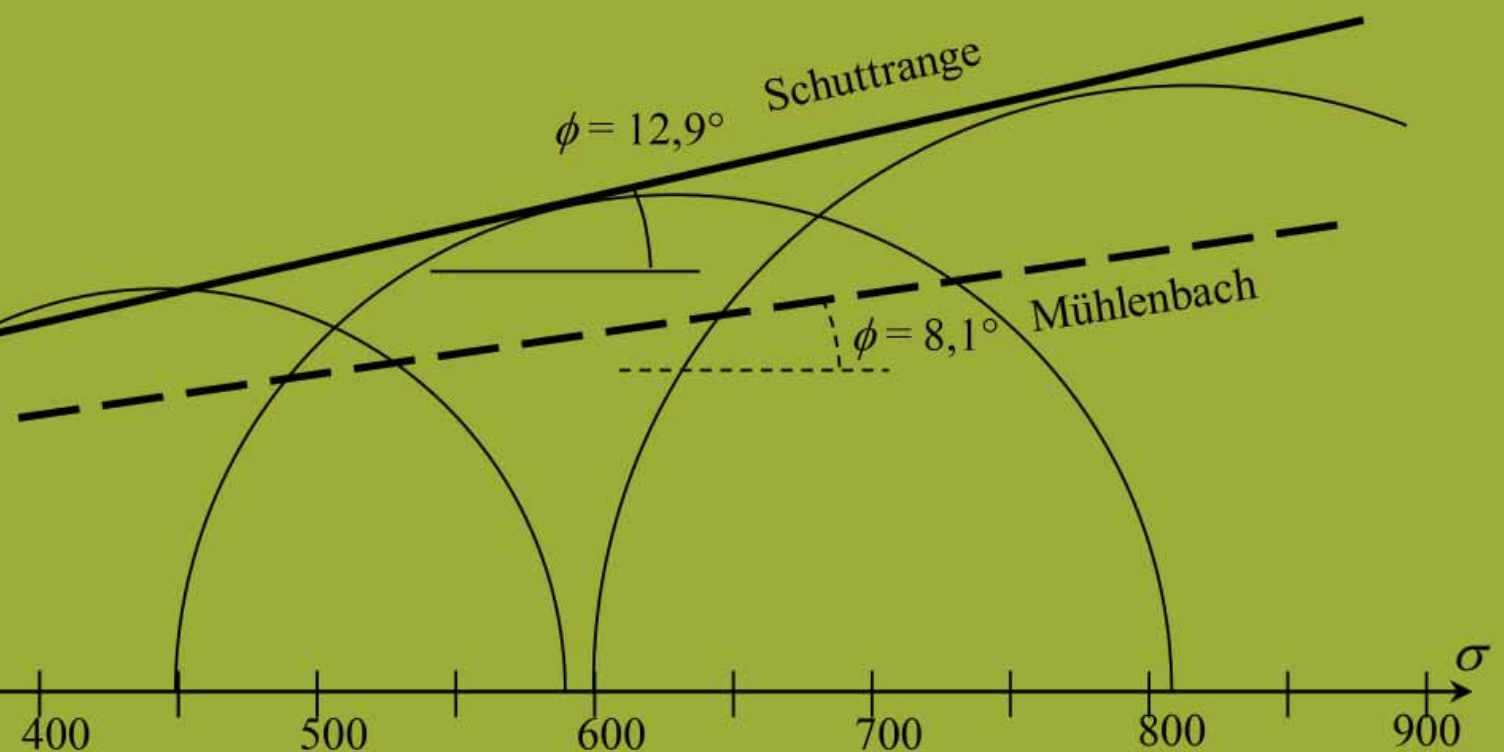
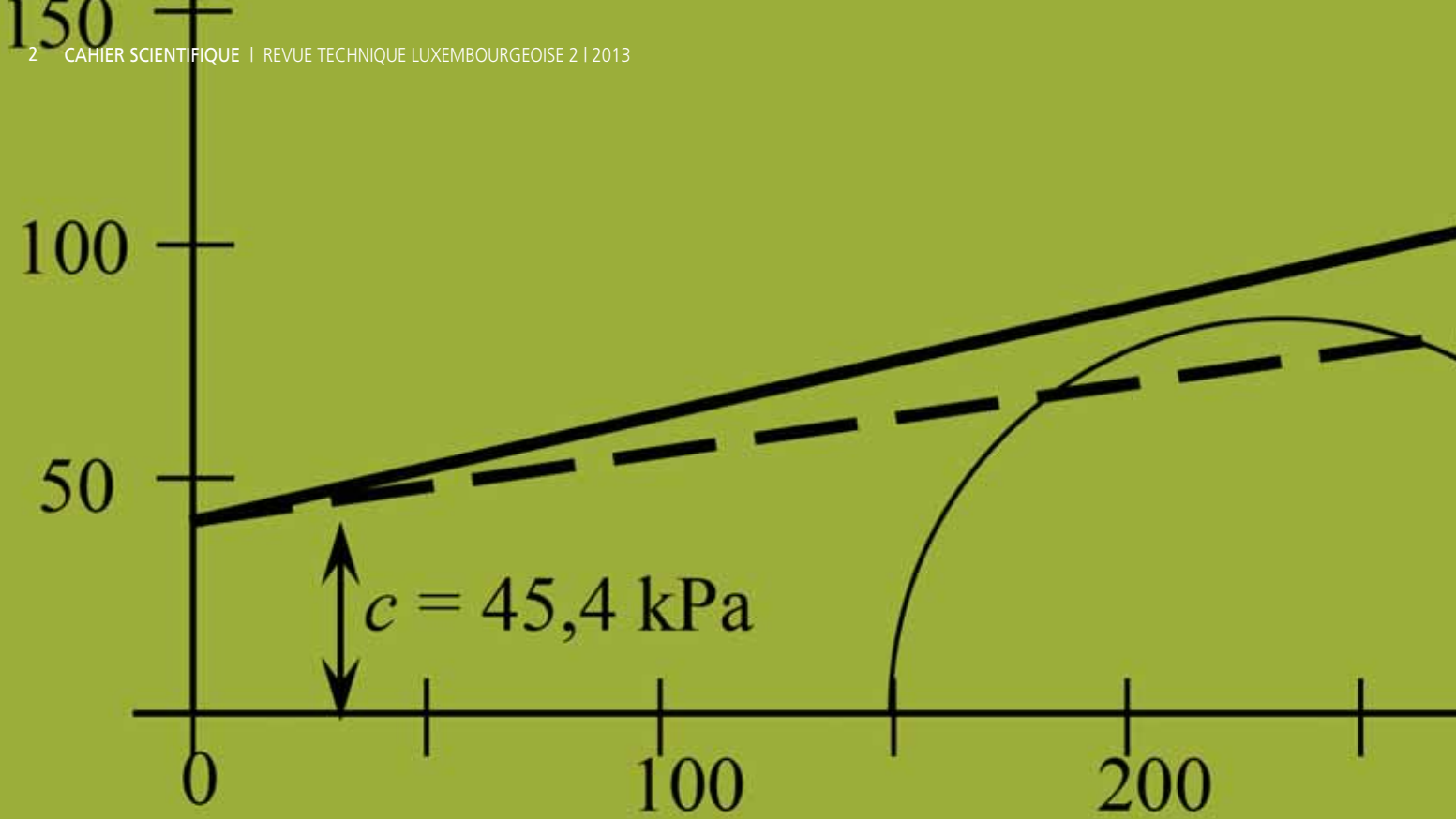


CAHIER SCIENTIFIQUE REVUE TECHNIQUE LUXEMBOURGEOISE

CAHIER SCIENTIFIQUE BIANNUEL DE LA REVUE TECHNIQUE LUXEMBOURGEOISE 2 | 2013





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

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

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

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

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

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

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

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

REVUE TECHNIQUE LUXEMBOURGEOISE

www.revue-technique.lu

pour

L'Association Luxembourgeoise des Ingénieurs, Architectes et Industriels

éditée par

Rédacteur en Chef Michel Petit

Responsable Revue Technique Sonja Reichert

Graphisme Bohumil Kostohryz

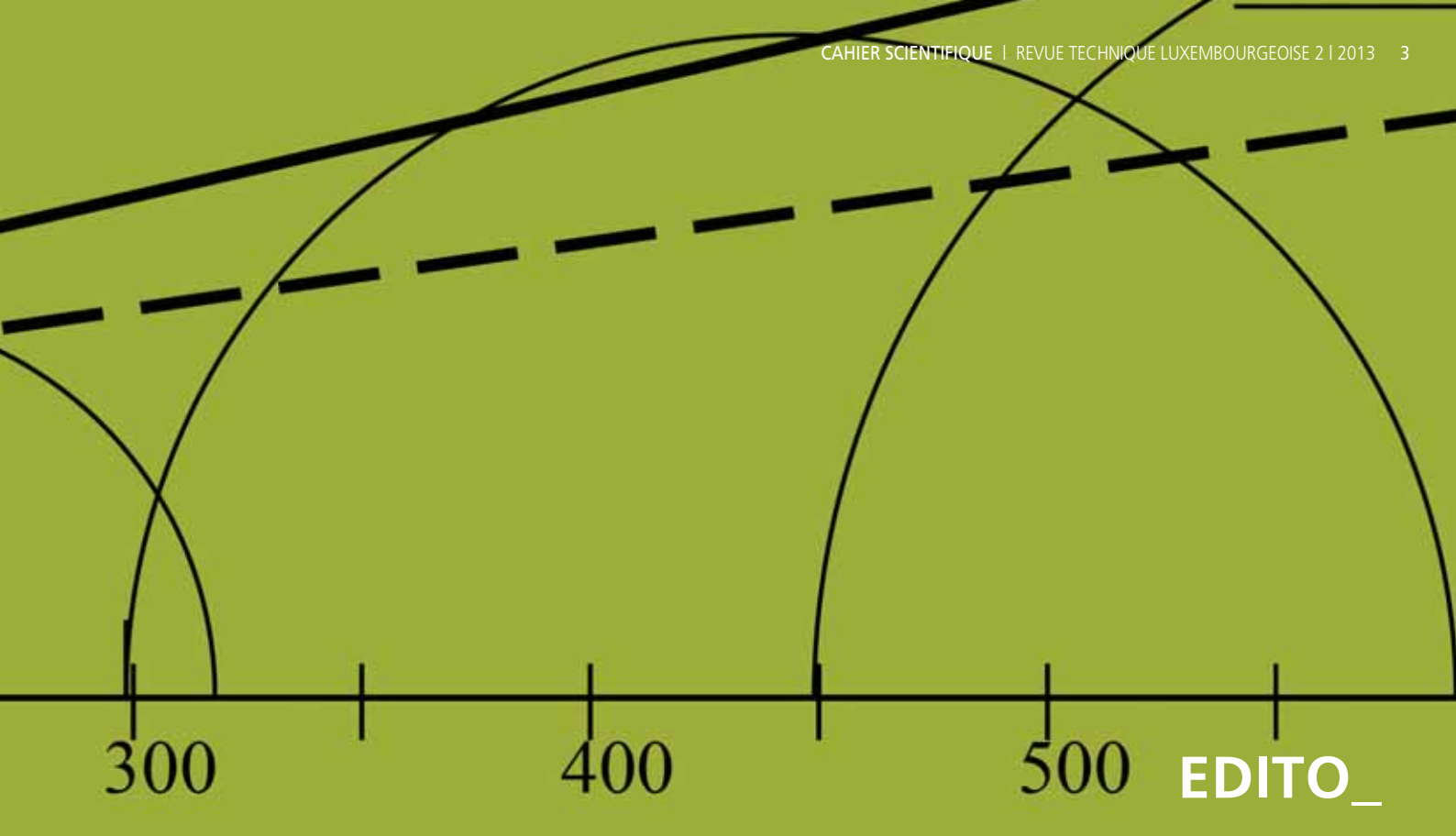
t 26 73 99 s.reichert@revue-technique.lu

7, rue de Gibraltar L-1624 Luxembourg

Impression 3.500 exemplaires

imprimerie HENGEN

14, rue Robert Stumper L-1018 Luxembourg



En vue de garantir la compétitivité du pays à long terme Luxembourg a emprunté la voie de la diversification. Un des axes forts de cette politique vise à l'établissement durable du Luxembourg comme centre de recherche et d'innovation. À cet égard, la recherche publique a connu un développement dynamique au cours des 15 dernières années. À présent, la concentration des forces et des compétences clés a permis d'atteindre dans certains domaines l'excellence scientifique et la masse critique nécessaires pour asseoir la recherche au plus haut niveau. Des chercheurs de renommée internationale sont venus s'installer au Luxembourg, ce qui permet au pays de renforcer sa visibilité internationale et de bénéficier d'un savoir-faire important. Des jeunes chercheurs au talent prometteur se sont également tournés vers notre pays pour y faire évoluer leur carrière et ainsi renforcer durablement la recherche luxembourgeoise.

L'objectif principal est aujourd'hui d'optimiser l'impact de la recherche publique. Pour ce faire, il importe en tout premier lieu de promouvoir une recherche de haut niveau scientifique, compétitive au niveau international qui puisse contribuer au rayonnement du pays, engendrer des idées innovantes, attirer les meilleurs chercheurs et permettre une meilleure formation des jeunes. Tout cela est nécessaire pour obtenir des résultats économiques à long terme, par exemple grâce à la coopération avec des entreprises. Une recherche de qualité a également une incidence sociale positive, car la société, les décideurs et les utilisateurs bénéficient durablement des nouvelles connaissances et du savoir.

Pour que le Luxembourg reste compétitif, le processus de croissance dynamique de la recherche et de l'innovation dans le pays ne doit pas être bloqué. Il s'agit d'avancer de manière réfléchie, et d'orienter davantage les objectifs vers l'impact socio-économique de la recherche. C'est à cette fin qu'il faudra veiller à une mise en œuvre ciblée des priorités, à une utilisation appropriée des deniers publics limités, et à une information continue du grand public quant à la qualité et les bienfaits de la recherche.

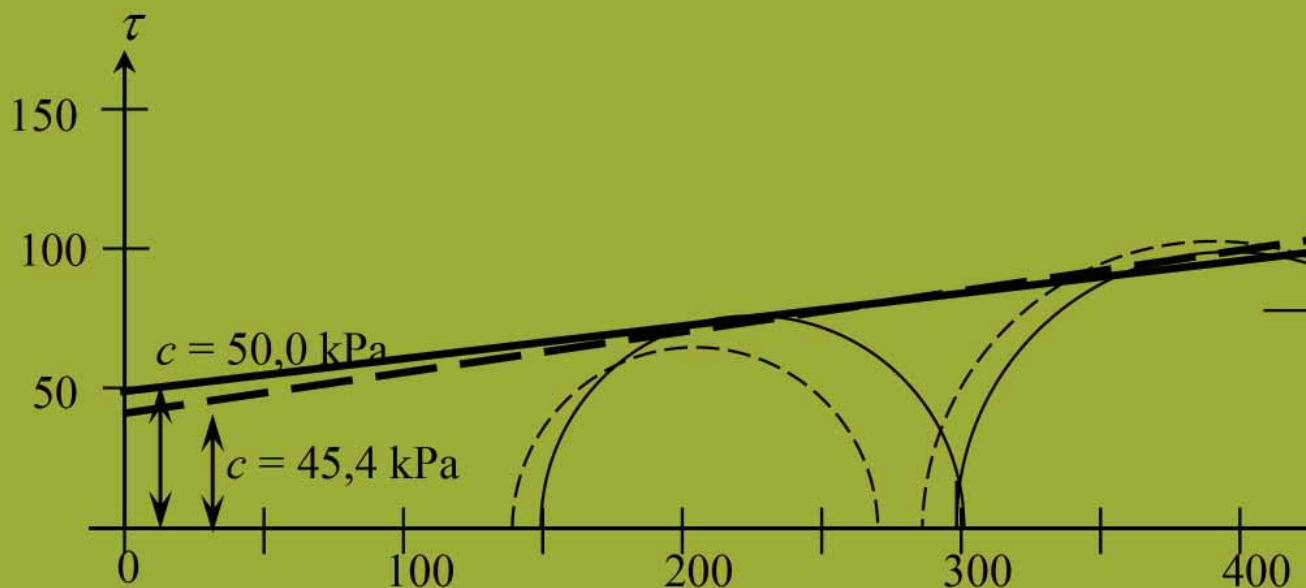
Coordonnateur de la recherche publique, garant de la qualité et de l'excellence de la recherche, promoteur de la relève scientifique et de la culture scientifique, le Fonds National de la Recherche (FNR) est devenu un acteur central et reconnu dans le système de la recherche luxembourgeoise. Il veille notamment à l'octroi compétitif des fonds selon des critères élevés de qualité et d'excellence scientifique, grâce à une évaluation systématique des projets par des experts internationaux.

La qualité et l'excellence de la recherche sont des conditions préalables à la visibilité internationale qui permet d'attirer des chercheurs hautement qualifiés. En bref, il s'agit du fondement de savoir-faire sur lequel pourra être bâti le pôle scientifique qui sera durablement attractif pour les entreprises et générera un impact économique. Une valorisation durable et responsable des résultats de la recherche contribuera à une diversification et, par là, au renouveau du secteur économique.

L'impact sociétal aboutira, quant à lui, à une société qui bénéficie du savoir des chercheurs, dont les personnalités politiques et institutions publiques consultent les chercheurs, et qui offre des perspectives d'avenir pour l'innovation et la recherche; en fin de compte, à une société de la connaissance qui emprunte la voie d'un avenir durable.

Prof. Dr. Marc Schiltz
secrétaire général FNR





_INDEX

- 6_ DAS PROBLEM MIT DER NEUTRALEN BEWERTUNG DER GEBÄUDEENERGIEEFFIZIENZ VON WOHNGEBÄUDEN
Dr.-Ing. Markus Lichtmeß
- 12_ ANTHROPOMORPHIC ROBOT HAND
Joé Hoffmann, Ben Weber, Patrick Lux
- 14_ DIE WECHSELSEITIGE BEEINFLUSSUNG VON REALER ARCHITEKTUR UND FILMARCHITEKTUR AN DEN BEISPIELEN
METROPOLIS (1927) UND INCEPTION (2010)
Simone Dengler
- 22_ EXEMPLES DE TABLIERS MIXTES EN PROFILÉS DE COMMERCE
Riccardo Zanon Ing., Nicolas Caillet Ing.
- 30_ BERECHNUNG EINER HOCHIMPEDANTEN ANTENNE FÜR EINEN TERAHERTZ PHOTOMISCHER
Robert Jannizzi, Prix Revue Technique 2013
- 34_ THE SOIL OF LUXEMBOURG AND THE WEAK RHAETIAN CLAY
Prof. Dr. Ir. Stefan Van Baars
- 38_ PARADIGM CHANGE IN RISK ASSESSMENT AND A CHALLENGE FOR SME
Dr. Ruth Moeller and Dr. Arno P. Biwer, REACH&CLP team, CRP Henri Tudor
- 44_ INTELLIGENT ENERGY USE THROUGH FUEL CELL TECHNOLOGY
Michèle Weber

_comité de lecture Ingénieur dipl. Pierre Dornseiffer
Représentant membre ALI

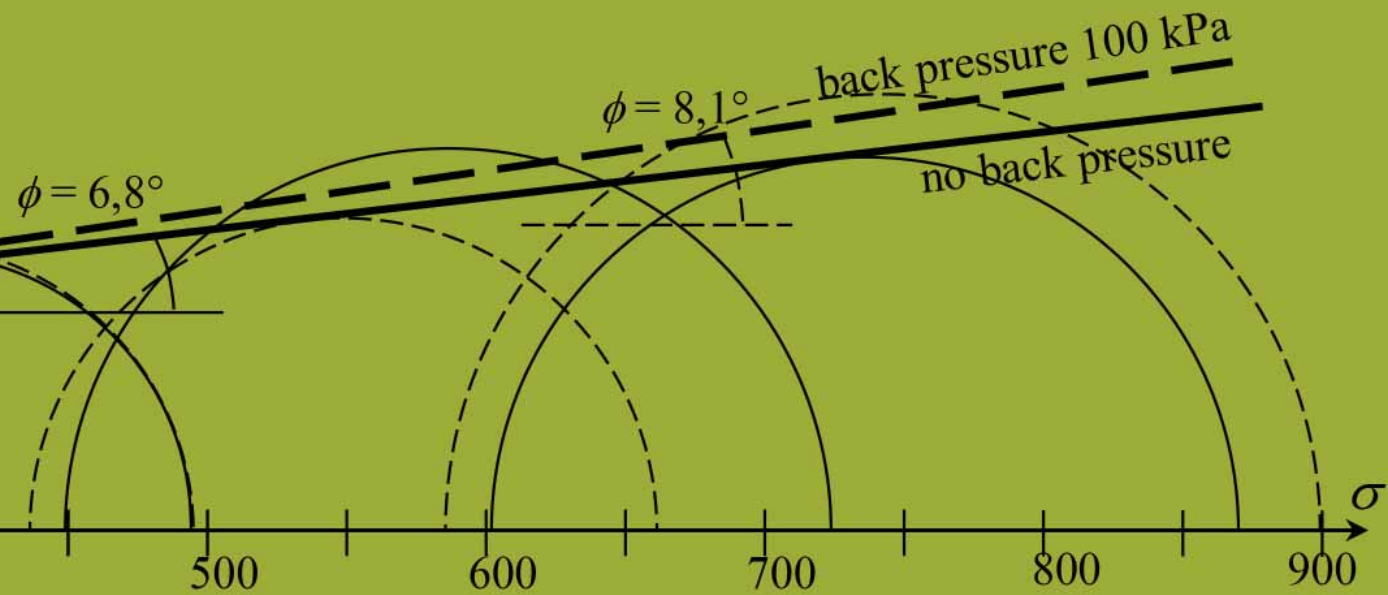
Ing. Dipl. Marc Feider
Administrateur et chef de service Bâtiments / Ouvrages
Schroeder & Associés

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

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

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

Dr. Paul Schosseler, Directeur
CRTE / CRP Henri Tudor



revue publiée pour_



A L I A I
 ASSOCIATION LUXEMBOURGEOISE DES
 INGÉNIEURS - ARCHITECTES - INDUSTRIELS
 www.aliai.lu

partenaires de la revue_



revue imprimée sur du papier_



Die Reduzierung des Energieverbrauchs im Gebäudebereich ist ein, im Konsens aller EU-Mitgliedsstaaten, ausgesprochenes Ziel. Neben der Einführung von gesetzlichen Verordnungen zur Umsetzung der Ziele, ist auch eine entsprechende Kennzeichnung der Energieeffizienz von Gebäuden und technischer Systeme erforderlich. Dies betrifft neue und bestehende Gebäude gleichermaßen¹. Wie viele andere EU-Ländern auch, nutzt Luxemburg ein Klassifizierungssystem, ähnlich wie bei Kühlschränken von A (beste Effizienz) bis I (schlechteste Effizienz), um die Energieeffizienz eines Gebäudes in einem Energiepass kenntlich zu machen.

IHR ENERGIEVERBRAUCH IST ZU GERING



DAS PROBLEM MIT DER NEUTRALEN BEWERTUNG DER GEBÄUDEENERGIEEFFIZIENZ VON WOHNGEBÄUDEN

Dr.-Ing. Markus Lichtmeß

1 Der Energiepass in Luxemburg

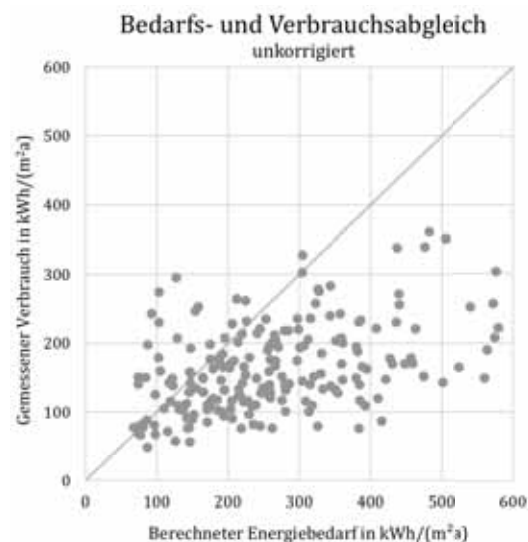
Die energetische Bewertung von Gebäuden stützt sich im Allgemeinen auf eine Berechnung in der energierelevante Parameter berücksichtigt werden, die einerseits mit vertretbarem Aufwand erfassbar und andererseits ergebnisrelevant genug sind. Bei der Bewertung ist es essentiell, dass der Nutzereinfluss sinnvoll freigeschnitten wird. Nimmt man den gemessenen Verbrauch als alleinige Bewertungsgrundlage, kann sich das individuelle Nutzerverhalten in der Bewertung niederschlagen. Wird ein Gebäude nur teilweise genutzt oder geheizt, spiegelt sich dieses Nutzerverhalten direkt in einem niedrigeren Energieverbrauch wider. Die Bewertung der Gebäudeenergieeffizienz würde sich in dem Fall zum Positiven verändern, was für einen potentiellen Käufer (mit ggf. anderem Nutzungsverhalten) kaufbeeinflussend sein kann. Bei einer vollständigen Nutzung oder Beheizung wäre der Energiebedarf allerdings deutlich höher. Dies verdeutlicht, dass eine neutrale bzw. nutzerbereinigte Bewertung von Gebäuden wichtig ist, um Gebäude untereinander vergleichbar zu machen – unabhängig davon wie ein Nutzer das Gebäude betreibt. Die Nutzerneutralität ist eine Grundvoraussetzung zur Schaffung einer verlässlichen Aussage eines Labels zur Energieeffizienz von Gebäuden.

Das Energiepasssystem in Luxemburg ist als Ökosystem zu betrachten, dessen übergeordnetes Ziel eine eindeutige Bewertung von Gebäuden ist. Der Energiepass hat nicht zum *Hauptziel* den Energieverbrauch bestmöglich vorauszuberechnen, sondern Gebäude unterschiedlicher Bauweisen – ohne Nutzereinfluss – miteinander vergleichbar zu machen. Dafür sind die Rechenregeln in der Verordnung geeignet. Der Vergleichbarkeit liegen gleiche Raumkomfortbedingungen¹ zugrunde – und zwar unabhängig vom vorhandenen Wärmeschutz. Dafür sind normierte und standardisierte Berechnungsrandbedingungen erforderlich. Der vorausberechnete Energiebedarf sollte dennoch bestmöglich mit praktischen Messungen übereinstimmen, damit eine seriöse Energieberatung durchgeführt werden kann.

2 Abgleich zwischen Bedarf und Verbrauch

Der freigeschnittene Nutzereinfluss ist jedoch in der Praxis auch problembehaftet. So ergeben sich insbesondere bei Gebäuden mit schlechtem Wärmeschutz größere Abwei-

chungen zwischen dem gemessenen Verbrauch und dem berechneten Bedarf und das sorgt für Schwierigkeiten bei der Interpretation. Richtig ist, dass die Berechnungsergebnisse bestehender und schlecht gedämmter Gebäude i. d. R. über dem gemessenen Verbrauch liegen und dass sich bei sehr energieeffizienten Gebäuden das Verhältnis auch umkehren kann. Die Problematik des Bedarfs- und Verbrauchsabgleichs lässt sich auch in anderen europäischen Ländern beobachten. Diesbezüglich gibt es Forschungsprojekte in denen hierzu eine Systematik entwickelt wurde oder wird.² Indes wird in Luxemburg ebenfalls an einem Modell zur integrierten Ergebnismodifizierung bei der Gebäudemodernisierung (z. B. für die Energieberatung) gearbeitet [2].



1_ Gegenüberstellung gemessener Verbräuche und berechneter Bedarfe von in Luxemburg erstellten Energieausweisen (474 St., davon 211 St. mit validen Daten [2]).

2.1 Gründe für Unterschiede zwischen Bedarf und Verbrauch

Unterschiede zwischen berechnetem Bedarf und gemessenem Verbrauch sind vielfältig und können nach [3], [4], [5], [6] und [7] u. a. folgende Ursachen haben, die sich in der Praxis überlagern.

1_ i. d. R. die Raumsolltemperatur. Der Schwerpunkt im Behaglichkeitsfeld liegt bei 21 °C [10]. In Luxemburg wird mit 20 °C bilanziert.

Teilbeheizung von Gebäuden und Nutzerverhalten

„Mit schlechterem Wärmeschutz sinkt die mittlere Gebäudetemperatur, da i. d. R. nicht alle Räume durch den Nutzer auf Solltemperatur (z. B. 20 °C) beheizt werden. Im Gegensatz zum sehr gut gedämmten Haus: Dort kann die Temperatur einzelner Räume, die innerhalb der thermischen Hülle angeordnet sind, nicht viel weiter (etwa 2 bis 3 K), als die von beheizten Räumen abgesenkt werden (außer bei Fensterlüftung im Winter), da die Transmissionswärmeströme zwischen den Räumen größer sind, als die nach außen. Heißt man im gut gedämmten Haus die Wohnräume komfortbedingt auf z. B. 22 °C, so wird sich ein höherer Verbrauch einstellen, als mit 20 °C berechnet. Generell zeigt sich aber, dass Passivhäuser keine signifikant höheren Raumtemperaturen aufweisen [3]³.

„Der Wärmeübergang an den Außen- und Innenoberflächen der Bauteile wird in der Praxis gegenüber den Standardwerten durch folgende Effekte vermindert: Schränke, Regale, mehrlagige Tapeten oder Holzverkleidungen an den Außenwänden; Teppiche, Parkett auf Fußböden; begrünte Fassaden; reduzierte Strahlungstemperatur im Bereich von Gebäudekanten.

„Bei älteren Bestandsgebäuden finden sich konstruktive Wärmebrücken meist nur im Bereich einer massiven Kellendecke. Durch Verwendung der Außenmaße werden daher insbesondere bei kleinen Gebäuden die Verluste eher über- als unterschätzt.

„Bewohner von unsanierten Bestandsgebäuden müssen erheblich höhere Heizkosten zahlen als Bewohner von energetisch hochwertigen Häusern. Es kann daher vermutet werden, dass sie sich etwas sparsamer verhalten.“; zitiert aus [3].

Fehler in ausgestellten Energieausweisen

„Fehler bei der Dateneingabe und bei der Aufstellung des Gebäudemodells. Im Rahmen der Entwicklung eines Energiepassregisters für Wohngebäude in Luxemburg wurden Plausibilitätschecks⁴ eingeführt und es zeigt sich, dass die Energieausweise nicht immer fehlerfrei ausgestellt sind. Neben Fehlern bei der Erstellung des geometrischen Gebäudemodells, sind unpassende Angaben zu U-Werten, der Anlagentechnik, zur Einschätzung der Verschattung und sonstigen baulichen und technischen Systemen festzustellen.

„Bei der Bestimmung des Energieverbrauchskennwerts können, insbesondere wenn mit Heizöl geheizt wird, Fehler bei der korrekten Jahresverbrauchserfassung auftreten.

Nutzungseinfluss und Klimabedingungen

„In der Energiebilanz werden ein Standardnutzer und ein Standardwetter unterstellt. Diese Einflüsse müssen insbesondere bei einer Gebäudebewertung standardisiert werden. Bei einem aktiven Nutzereinfluss, bzw. bei einer Bewertung auf der Basis des gemessenen Verbrauchs, könnte für zwei baulich identische Gebäude, nur durch unterschiedliche Nutzer/Nutzung, eine differenzierte Einordnung in Energieeffizienzklassen die Folge sein. In der Praxis spielen das individuelle Nutzerverhalten und die klimatischen Randbedingungen während der Heizperiode eine wesentliche Rolle [7].

„Werden gemessene Verbräuche nicht klimabereinigt, nimmt die Vergleichbarkeit zu den mit einem Standardwetter berechneten Bedarfswerten ab. In der Energieeinsparverordnung für Nichtwohngebäude wird die Energieeffizienz von bestehenden Gebäuden über Verbrauchswerte bestimmt. Dort ist ein Verfahren zur Klimabereinigung hinterlegt [8].

Berechnungsschärfen

„Unpräzises physikalisches Rechenmodell: Die Basis sind Monatsmittelwerte für die klimatischen Randbedingungen und ein abstrahiertes Bilanzmodell mit vielfachen

Vereinfachungen bei der Abbildung physikalischer und thermodynamischer Vorgänge.

„Gemäß der Luxemburger Energieeinsparverordnung werden keine solaren Gewinne über opake Bauteile bilanziert. Ebenso werden keine Verluste (langwelliger Strahlungsaustausch) bilanziert und Vergleichsrechnungen zeigen, dass die Strahlungsbilanz über opake Bauteile zwar einen Einfluss auf die Energiebilanz hat, die saldierten Verluste und Gewinne aber nicht maßgeblich ergebnisbeeinflussend sind; wobei der Einfluss bei ungedämmten Gebäuden natürlich größer ist, als bei gedämmten.

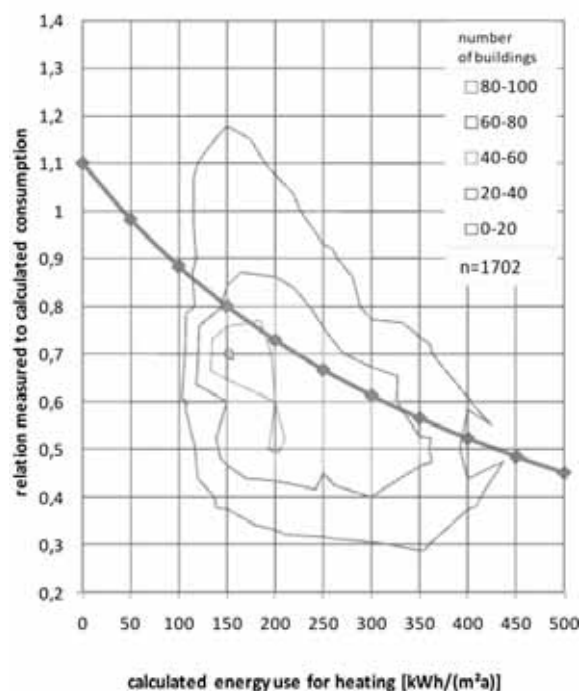
Typisierte Anlagentechnik und Baustoffdaten

„Endenergiekennwerte berücksichtigen neben dem Wärmeschutz auch die vorhandene Anlagentechnik. In der Luxemburger Energieeinsparverordnung sind insbesondere für bestehende Gebäude Standardwerte für technische Systeme hinterlegt, mit denen, basierend auf einem Heizwärmebedarf (Nutzenergie), der Heizenergiebedarf (Endenergie) bestimmt wird. Es ergeben sich verfahrensbedingte Unschärfen. Einerseits bei der Bilanzierung des Heizwärmebedarfs und andererseits bei der Bewertung der Anlagentechnik über pauschale Anlagenaufwandszahlen, die sich aggregieren [7]. Anlagentechnische Mängel (kein hydraulischer Abgleich, Fehleinstellung der Heizungsregelung oder beim Wärmeerzeuger, unvollständige Dämmung von Rohrleitungen und Armaturen, etc.) oder ein Fehleinschätzen der Anlagentechnik für die Bedarfsberechnung können ebenfalls zu Unterschieden führen [6].

Für die Bewertung der Gesamtenergieeffizienz im Ökosystem Energiepass spielen diese Phänomene eine untergeordnete Rolle, da die Anforderungswerte und die Klassengrenzen mit den gleichen Randbedingungen bestimmt wurden und das Bewertungsmodell in sich geschlossen ist.

2.2 Unterschiede in der Praxis

Folgende Bilder zeigen einen Vergleich zwischen den Ergebnissen aus dem EU-Tabula-Projekt [4] und aus eines Forschungsprojekt zur Entwicklung und Einführung einer Energiepassregisters in Luxemburg mit 474 Energieausweisen[2]. Der Trend in Bild² entspricht der gefundenen Abhängigkeit aus dem Tabula-Projekt mit über 1 700 Ge-

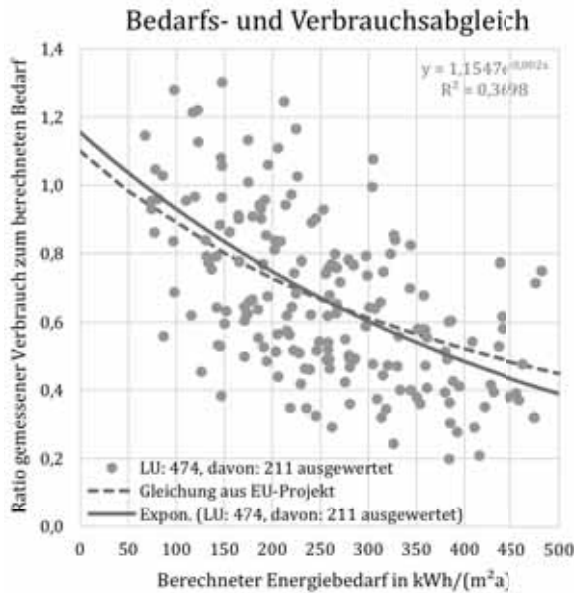


2_ Projektbeispiele unter <http://www.building-typology.eu> und <http://www.iwu.de/forschung/energie/laufend/tabula/>

3_ Das bestätigt sich ebenfalls im Rahmen der Evaluierung eigener Projekte.

4_ Eine erste Beta-Version für Plausibilitätschecks ist im LuxEeB-Tool ab Version 3.47 integriert.

2_ Vorläufiger Ansatz einer Funktionsgleichung zur Anpassung von Bedarfswerten an das Niveau typischer Verbrauchswerte (Formel für den Anpassungsfaktor: $f_{adapt} = -0,2 + 1,3 / (1 + q_{del,h,c} / 500)$, Trendkurve) [4].



3_ Bedarfs- und Verbrauchsabgleich von in Luxemburg erstellten Energieausweisen (474 St., davon 211 St. mit validen Daten). Regressionsgleichung zur Anpassung $1,1547e^{-0,002x}$ mit starker Streuung, weshalb eine Verallgemeinerung dieser Gleichung weiter untersucht werden muss [2].

bäuden. Bild³ zeigt die Auswertung in Luxemburg, wobei die gestrichelte Linie der im Tabula-Projekt ermittelten empirischen Gleichung entspricht und hier zum Vergleich dargestellt wird. Auf der Ordinate ist das Verhältnis zwischen gemessenem Verbrauch und berechnetem Bedarf aufgetragen. Auf der Abszisse der berechnete Bedarf. Die Tendenz, dass sich mit schlechterem Wärmeschutz das Verhältnis reduziert, ist klar erkennbar, jedoch auch mit einer relativ großen Streuung behaftet, die u.a. auch von der Gebäudegröße abhängt (z. B. unterschiedlich stark ausgeprägte Teilbeheizung). Hier zeigt sich, dass die Unterschiede in Luxemburg auf vergleichbarem Niveau anderer EU-Länder liegen.

3 Bewertung von Modernisierungsmaßnahmen

Möchte man den Einfluss von Modernisierungsmaßnahmen im Rahmen einer Energieberatung bestimmen, so sind die durch eine standardisierte Berechnung prognostizierten Einsparungen immer mit den real erzielbaren abzugleichen. Speziell für bestehende Gebäude existieren Ansätze zur Bilanzkorrektur, um eine bessere Übereinstimmung zwischen Verbrauch und Bedarf zu gewähren [3], [9], [4], [7]. Folgend wird ein Ansatz zur automatisierten Bilanzkorrektur vorgestellt, der entsprechend den in Luxemburg zugrundeliegenden Rechenregeln modifiziert wurde.

3.1 Erweiterung des Bilanzmodells für Luxemburg

Die grundlegende Bilanzgleichung zur Bestimmung der Transmissions- und Lüftungswärmeverluste in Luxemburg nach [10] lautet:

$$Q_{tL,M} = 0,024 \cdot (H_T + H_V) \cdot (\vartheta_i - \vartheta_{e,M}) \cdot t_M \cdot f_{ze}$$

mit	kWh/M	
$Q_{tL,M}$	monatlicher Transmissions- und Lüftungswärmeverlust	
H_T	W/K	spezifischer Transmissionswärmeverlust
H_V	W/K	spezifischer Lüftungswärmeverlust
ϑ_i	°C	Raumsolltemperatur
$\vartheta_{e,M}$	°C	durchschnittliche monatliche Außentemperatur
t_M	d/M	Anzahl der Tage im Monat
f_{ze}	-	Korrekturfaktor für zeitlich eingeschränkte Beheizung

Um im Rahmen einer Energieberatung oder bei der Ausarbeitung von Modernisierungsempfehlungen den typischen Nutzereinfluss besser in der Energiebilanz zu präzisieren, kann obige Bilanzgleichung über zwei weiteren Faktoren modifiziert werden.

$$Q_{tL,M} = 0,024 \cdot (H_T + H_V) \cdot (\vartheta_i - \vartheta_{e,M}) \cdot t_M \cdot f_{ze} \cdot f_{re} \cdot f_n$$

mit	kWh/M
f_{re}	Anpassungsfaktor für die räumlich eingeschränkte Beheizung
f_{ze}	Anpassungsfaktor für die zeitlich eingeschränkte Beheizung
f_n	Normierung mit einem empirisch bestimmten „Nutzungsfaktor“

In der Luxemburger Energieeinsparverordnung wird die zeitlich eingeschränkte Beheizung (Nachtabsenkung) bereits über den Anpassungsfaktor f_{ze} wie folgt berücksichtigt:

$$f_{ze} = 0,9 + \frac{0,1}{1 + \left(\frac{H_V + H_T}{A_n}\right)}$$

mit	m²	Energiebezugsfläche
A_n	-	Anpassungsfaktor für die zeitlich eingeschränkte Beheizung. Bei einer Nacht- und Wochenendabsenkung ändern sich die Parameter 0,9 zu 0,75 und 0,1 zu 0,25 (für die Auswertung nicht berücksichtigt).

Zur Einbeziehung der räumlich eingeschränkten Beheizung wird in [3] ein Verfahren zur Korrektur vorgestellt, was in ähnlicher Form auch für die Bilanzierung von Einzonengebäuden (in der Regel sind das Wohngebäude) nach DIN V 18599:2011[9] eingeführt wurde⁵. Der generelle Ansatz berücksichtigt, dass ein Nichtbeheizen von Räumen innerhalb der thermischen Hülle abhängig vom Wärmeschutzniveau und der Größe eines Gebäudes bzw. einer Wohnung ist. Die Formel zur Bestimmung des Anpassungsfaktors f_{re} wurde für die direkte Anwendung nach dem in Luxemburg zugrundeliegenden Bilanzverfahren modifiziert:

$$f_{re} = \frac{1}{0,5 \cdot \sqrt{\frac{H_T + H_V}{A_n}} \left(0,25 + 0,2 \cdot \arctan \left(\frac{\left(\frac{A_n}{n_{WE}} - 100 \right)}{50} \right) \right)^2 + 1} -$$

mit	-	Anpassungsfaktor für die räumlich eingeschränkte Beheizung
f_{re}	-	Anzahl der Wohneinheiten im Gebäude
n_{WE}	-	

Für die Berechnung ist die Kenntnis der mittleren Wohnungsgröße in einem Gebäude erforderlich. Liegen keine Angaben dazu vor, kann die typische Wohnungsgröße vereinfacht wie folgt abgeschätzt werden; angelehnt an [7].

$$\frac{A_n}{n_{WE}} = \min \left[708,6 \cdot A_n^{-0,244} \right]$$

wobei $A_n/n_{WE} \geq 50 \text{ m}^2$

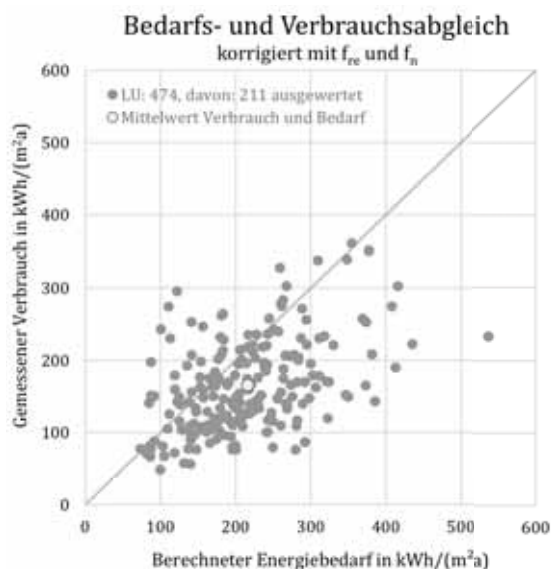
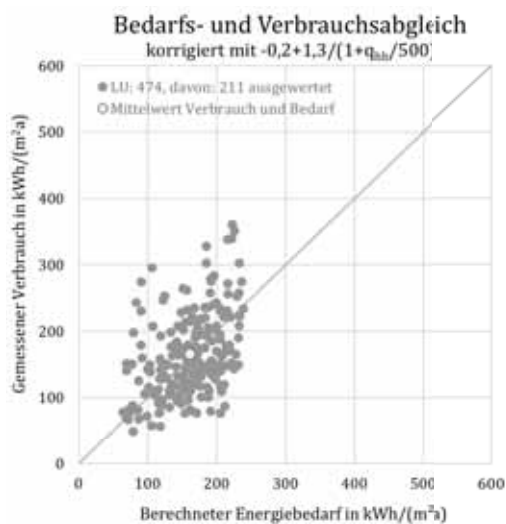
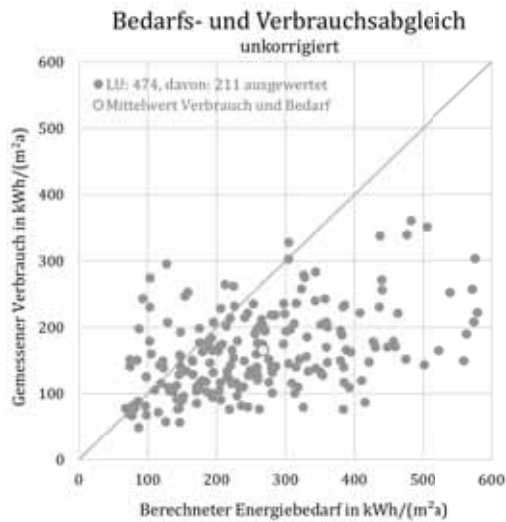
Durch die Berücksichtigung einer räumlichen und zeitlichen Teilbeheizung über die Faktoren f_{ze} und f_{re} ergeben sich Bilanztemperaturen von etwa 16°C bis 19°C innerhalb der Heizperiode. Praktische Erfahrungen zeigen jedoch, dass damit berechnete Werte für den Heizwärmebedarf noch höher liegen als gemessene [3]. Die Gründe dafür sind z. T. in Abschnitt 2.1 beschrieben. In [3] wurde zudem ein empirischer Zusammenhang in Form eines Anpassungsfaktors f_n bestimmt, mit dem die Bedarfswerte in Abhängigkeit des Wärmeschutzes weiter modifiziert werden können. Dieser Faktor drückt u. a. auch unterschiedliche Komfortansprüche von Bewohnern in bestehenden und neuen Gebäuden aus. Die Berechnung ist gemäß folgender Gleichung definiert:

$$f_n = 0,5 + \frac{1}{1 + 0,5 \cdot \left(\frac{H_V + H_T}{A_n} \right)}$$

mit	-	Normierung mit einem empirisch bestimmten „Nutzungsfaktor“
f_n	-	

5_ Die überarbeitete DIN V 18599 wird in der kommenden Energieeinsparverordnung EnEV 2014 in Deutschland Anwendung finden.

Der Anpassungsfaktor f_n liegt zwischen etwa 0,7 bei unsanierten Altbauten und 1,5 für hochwärmegedämmte Gebäude, wie z. B. Passivhäuser [3]. Die Anwendung dieser Korrektur muss im Einzelfall stets *genau* überprüft und *abgewägt* werden. Folgende Abbildungen zeigen den Vergleich bei Anwendung der Bedarfskorrektur für in Luxemburg erstellte Energieausweise.

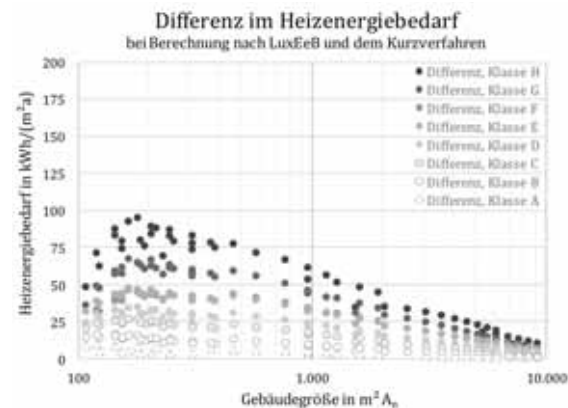


St., davon 211 St. ausgewertet) [2]. Das obere linke Bild zeigt den unkorrigierten Vergleich ($\bar{\phi}$ Bedarf 267,3 kWh/(m²a), $\bar{\phi}$ Verbrauch 165,6 kWh/(m²a)). Im mittleren linken Diagramm wurde die im Tabula bestimmte Anpassungsfunktion angewendet. Im Mittel wird der Energiebedarf deutlich besser vorausgesagt und liegt über alle Gebäude etwa auf dem Niveau wie auch der mittlere Verbrauch aller Gebäude ($\bar{\phi}$ Bedarf 161,2 kWh/(m²a)). Es treten jedoch häufiger Unterschätzungen bei der Bedarfsrechnung auf. Das untere linke Bild zeigt die Korrektur über das in Abschnitt 3.1 beschriebene Modell. Im Mittel über alle Gebäude liegt der Energiebedarf leicht höher als der mittlere Verbrauchswert ($\bar{\phi}$ Bedarf 216,2 kWh/(m²a)). Im Gegensatz zum unkorrigierten Vergleich kann jedoch eine deutlich bessere Voraussage des Energieverbrauchs erzielt werden. Aus der Analyse geht jedoch nicht hervor, ob alle Energieausweise korrekt erstellt wurden und fehlerfrei sind – was bei der Interpretation der Ergebnisse kritisch zu bewerten ist. Von den 474 Energieausweisen konnten 211 für diese Auswertung genutzt werden. Die anderen enthielten entweder keine Verbrauchskennwerte (Neubau) oder waren offensichtlich fehlerhaft und wurden nicht berücksichtigt. Hierzu sind weitere Forschungsarbeiten erforderlich.

3.2 Anwendung auf Förderprogramme

Die in der Luxemburger Energieeinsparverordnung beschriebene Berechnungsmethode dient in der Basis als reines Nachweis- und Bewertungsinstrument im Rahmen einer Gebäudeklassifizierung [10]. Mit der Überarbeitung des Luxemburger Förderprogramms 2013 wurde für die Bestimmung von Energieeinsparungen ein angepasstes Rechenmodell genutzt, welches die räumlich und zeitlich eingeschränkte Beheizung in Abhängigkeit des Wärmeschutzstandards eines Gebäudes einbezieht [7]. Die berechneten Einsparungen liegen im Mittel damit näher an praktisch gemessenen Werten, was für die Bestimmung von Energieeinsparung bei der Modernisierung essentiell ist [11]. Das Rechenmodell ist an das in Abschnitt 3.1 vorgestellte und an die in [12] und [3] beschrieben angelehnt und wurde für die spezifische Anwendung ergänzt. U. a. wird die mittlere Raumtemperatur innerhalb der Heizzeit in Abhängigkeit vom vorhandenen Wärmeschutzstandard und von der Gebäudegröße modifiziert.

Für 57 analysierte Modellgebäude (EFH und MFH) werden die berechneten Heizwärmebedarfe mit der Methode



5_ Differenz im Heizenergiebedarf zwischen Berechnung nach LuxEeB und dem Kurzverfahren mit räumlich und zeitlich eingeschränkter Beheizung.



6_ Differenz im Heizenergiebedarf zwischen Berechnung nach LuxEeB und dem Kurzverfahren mit räumlich und zeitlich eingeschränkter Beheizung sowie einer Nutzerbereinigung.

*LuxEeB*⁶ und dem in [7] vorgestellten *Kurzverfahren* gegenüber gestellt. Der Einfluss ist insbesondere bei größeren schlecht gedämmten Einfamilienhäusern deutlich, da mit steigender Anzahl der Räume ein größerer Anteil als nicht voll beheizt bilanziert wird. Bei besonders gut gedämmten Gebäuden ist die Gleichgewichtstemperatur im Gebäude näher an der Raumsolltemperatur, weshalb die Differenz zwischen den beiden Verfahren mit steigendem Wärmeschutzstandard abnimmt. Bei Mehrfamilienhäusern reduziert sich der Einfluss ebenfalls, da eine gleichmäßigere Beheizung einzelner Wohnungen vorliegt, was sich mit praktischen Erfahrungen deckt [7]. Zur Bestimmung der Endenergie wird für beide Berechnungen eine pauschale Anlagenaufwandszahl angesetzt.

Die Bilder 5 und 6 zeigen die Differenzen im Heizenergiebedarf innerhalb der Heizperiode nach [7], wenn diese Effekte berücksichtigt werden. Bild 5 zeigt den Einfluss einer räumlich- und zeitlich eingeschränkten Beheizung, Bild 6 additiv den Einfluss des empirischen Ansatzes der Nutzerbereinigung über f_n . In beiden Fällen kann der berechnete Energiebedarf von gut gedämmten Gebäuden mit dem adaptierten Bilanzmodell auch geringfügig höher ausfallen. Dargestellt wird die Differenz im Heizenergiebedarf zwischen der Berechnung mit Standardrandbedingungen und der mit dem adaptiven Bilanzmodell.

3.3 Eine einfache Methode für die Praxis

Die in Abschnitt 3.1 vorgestellten Gleichungen können genutzt werden, um eine nachträgliche Korrektur der Berechnungsergebnisse durchzuführen. Im Falle der Energieberatung kann die effektive Energieeinsparung einer Maßnahme vereinfacht auch in Relation zum gemessenen Verbrauch angegeben werden, wenn mit einem Nachweiswerkzeug gerechnet wurde, indem es keinen direkten „Modernisierungsmodus“ gibt. Die direkten Berechnungsergebnisse sollten jedenfalls nicht genutzt werden, wenn der Energieberater vor Ort Unstimmigkeiten in der Nutzung im Vergleich zur Standardnutzung feststellt. Dabei kann bereits ein einfacher Anpassungsfaktor f_{bv} brauchbare Ergebnisse erzielen, sofern sich die Nutzung bei der Modernisierung nicht wesentlich ändert.

$$q_{h,b,bv} = f_{bv} \cdot q_{h,b} \quad \text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$$

wobei

$$f_{bv} = \frac{q_{h,v}}{q_{h,b}}$$

$q_{h,b,bv}$	kWh/(m ² a)	Verbrauchskorrigierter berechneter Energiebedarf einer Sanierungsmaßnahme
f_{bv}	-	Anpassungsfaktor für die Bedarfskorrektur
$q_{h,b}$	kWh/(m ² a)	Berechneter Energiebedarf des Gebäudes bei Standardnutzungsbedingungen
$q_{h,v}$	kWh/(m ² a)	Gemessener Energieverbrauch des Gebäudes

Beispiel: Der berechnete Energiebedarf des Gebäudes $q_{h,b}$ beträgt 300 kWh/(m²a); der über Verbrauchsabrechnungen festgestellte $q_{h,v}$ nur 200 kWh/(m²a). Es ergibt sich ein Anpassungsfaktor für die Bedarfskorrektur f_{bv} von 0,66. Im Rahmen einer untersuchten Maßnahme (z. B. die Modernisierung einer Außenwand) mit Standardrandbedingungen wird eine rechnerische Energieeinsparung von 100 kWh/m²a bestimmt. Adaptiert mit dem Bedarfskorrekturfaktor f_{bv} von 0,66 kann die berechnete Energieeinsparung auf 66 kWh/m²a angepasst werden.

Vorausgesetzt das Berechnungsmodell ist korrekt aufgestellt, passt diese Bedarfskorrektur in erster Näherung gut und die berechnete Energieeinsparung stimmt besser mit

der real erzielbaren überein. Bei umfangreichen Maßnahmenkombinationen muss man den Wert natürlich anpassen, da sich z. B. die mittlere Gebäudetemperatur in der Heizperiode ändert.

4 Anpassungsvorschlag für Luxemburg

Für die Adaptation des allgemeinen Berechnungsverfahrens in Luxemburg sind mind. 2 weitere Gleichungen erforderlich (vgl. Abschnitt 3.1), die einfach in die Luxemburger Energieeinsparverordnung oder direkt in die Energiebilanzierungswerkzeuge integriert werden können – dann allerdings nur für die Energieberatung nutzbar. Nutzt man diese auch bei der Klassifizierung, werden zum Einen bestehende Energieausweise nicht mehr vergleichbar mit neu erstellten und zum Anderen stimmt die Klassifizierungsskala (A bis I) nicht mehr mit den neuen Bedarfsergebnissen überein. Das Klassifizierungssystem müsste in Gänze umgestellt werden (z. B. gebäudegrößenabhängige Klassengrenzen oder ein Effizienzvergleich mit einem Referenzgebäude). Zudem wird die Bewertung der Energieeffizienz eines Gebäudes mit dem Nutzerverhalten vermischt, sofern man diese Bedingungen bei der Nachweisführung frei editierbar macht. Es ist nämlich ein Unterschied, ob ein 250 m² Altbau von einer Person oder von einer sechsköpfigen Familie bewohnt wird – obwohl sich die Gebäudeenergieeffizienz nicht ändert.

Es ist zeitweise schwierig zu erklären, wo genau die Erwartung herkommt, dass ein standardisiertes und einfaches Rechenmodell mit festen Nutzungsrandbedingungen – wie das Luxemburger Reglement für die Nachweisführung eins ist – den realen Verbrauch möglichst exakt treffen soll. Hier ist allgemein Aufklärungsarbeit zu leisten; z. B. im nationalen Schulungsprogramm zur Luxemburger Energieeinsparverordnung.

Der Energiepass hat folgende Aufgaben:

- Überprüfung und Sicherstellung der energetischen Anforderungen im Rahmen von Baugenehmigungen und Schaffung von Vergleichbarkeit im Gebäudemarkt;
- Standardisierte Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden in einem Klassensystem;
- Vergleichbarkeit der Gebäude unter Zugrundelegung der gleichen Komfortbedingungen (operative Raumtemperatur im Gesamtgebäude);
- Im Falle einer Modernisierung sind die Berechnungsergebnisse, die unter Standardrandbedingungen erstellt werden, stets praxisgerecht vom Experten zu modifizieren.

Für Luxemburg kann folgende Vorgehensweise empfohlen werden:

- Klare fachliche Trennung zwischen Nachweisführung im Rahmen von Bauanträgen bzw. bei der Klassifizierung von Gebäuden und individueller Energieberatung im Falle einer angestrebten Modernisierung;
- Entwicklung eines standardisierten und in LU veröffentlichten Verfahrens zur Berechnung von Modernisierungsempfehlungen und Implementierung in den Berechnungswerkzeugen. Hierfür sollte das in Bälde in Luxemburg vorgesehene Energiepassregister genutzt werden, um statistisch besser abgesicherte Methoden zu entwickeln (betrifft z. B. Abschnitt 3.1);
- Partizipation an laufenden und/oder neuen EU-Projekten zu den Themen *Gebäudetypologie* und *Bedarfs- und Verbrauchsabgleich*;
- Einführung von 2 Betriebsmodi in den Berechnungswerkzeugen Modus 1: Nachweisführung mit festen Randbedingungen zur eindeutigen Bewertung des Gebäudes (nur für das Labeling, wie bisher); Modus 2: Energieberatung mit freien Randbedingungen für das individuelle Gebäude/Modernisierungsvorhaben. Im dem Fall muss

6_ LuxEeB: Luxembourg Energy efficient Buildings. Das LuxEeB-Tool ist ein Rechenwerkzeug zur Erstellung von Energieausweisen.

das Erstellen eines gültigen Energieausweises oder Nachweises zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden unterbunden werden;

– Erstellung eines Leitfadens für die Modernisierung, sowie das Anbieten einer Ausbildung für die korrekte und praxisgerechte Anwendung bei der Modernisierung von Gebäuden.

Eine nationale Arbeitsgruppe, die sich mit den verschiedenen Aspekten beschäftigt, ist sinnvoll. Diese Arbeitsgruppe muss mit Fachleuten unterschiedlichster Disziplinen besetzt sein, inhaltlich und ergebnisorientiert arbeiten und die Schlussfolgerungen kurz dokumentiert an die verantwortlichen Ministerien weiterleiten. Das wäre ein gangbarer Weg den Interessen und Anliegen Gehör zu verschaffen. Es geht nicht nur darum auf Schwachstellen hinzuweisen, sondern auch darum, Lösungen auszuarbeiten mit denen das Zukunftsthema *Modernisierung von bestehenden Gebäuden* in Luxemburg gestärkt wird. Dabei ist der Punkt *Verbrauchs- und Bedarfsabgleich* sehr wichtig – aber auch verhältnismäßig einfach einzubeziehen. Luxemburg beschreitet, im Gegensatz zu anderen EU-Ländern, nämlich einen transparenten Weg, denn der gemessene Verbrauch ist mit auf dem Energiepass anzugeben und dient somit als direkte Vergleichsgröße. Dadurch erhält der Energieberater eine wichtige Information, die für eine Modernisierungsempfehlung genutzt werden kann und muss. Zur detaillierten Bestimmung der Einflussfaktoren für eine gesicherte Bedarfsberechnung sind weitere Forschungsarbeiten erforderlich, da die systematischen Zusammenhänge in den Energiebilanzen noch nicht erschöpfend bekannt sind.

www.golav.lu

Literaturverzeichnis

- [1] Amtsblatt der Europäischen Union, "Richtlinie 2010/31/EU des europäischen Parlaments und des Rates über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden," Brüssel, 2010.
- [2] M. Lichtmeß, "Forschungsprojekt Gebäudedatenbank und Plausibilitätscheck im LuxEeB-Tool, interne Ergebnisse," Goblet Lavandier & Associés, Luxemburg, 2012.
- [3] T. Loga, M. Großklos and J. Knissel, "Der Einfluss des Gebäudestandards und des Nutzerverhaltens auf die Heizkosten - Konsequenzen für die verbrauchsabhängige Abrechnung," IWU Institut für Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2003.
- [4] T. Loga, N. Diefenbach and R. Born, "Deutsche Gebäudetypologie, Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden," IWU Institut für Wohnen und Umwelt, Intelligent Energy Europe, Darmstadt, 2011.
- [5] J. Knissel, R. Alles, R. Born, T. Loga, K. Müller und V. Stercz, „Vereinfachte Ermittlung von Primärenergiekennwerten zur Bewertung der wärmetechnischen Beschaffenheit in ökologischen Mietspiegeln," IWU Institut für Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2006.
- [6] B. Oschatz, K. Jagnow und D. Wolff, „Leitfaden zum Abgleich Energiebedarf - Energieverbrauch," Beuth, EnEV aktuell, Berlin, 2008.
- [7] M. Lichtmeß and J. Knissel, "Überarbeitung des Förderprogramms für energieeffiziente Neu- und Altbauten aus dem Jahre 2009," Wirtschaftsministerium, Luxemburg, 2013.
- [8] Le gouvernement du grand-duché de Luxembourg, „Règlement grand-ducal du 5 mai 2012 concernant la performance énergétique des bâtiments d'habitation et fonctionnels (11.05.2012)," Service central de législation, Luxembourg, 2012.
- [9] DIN 18599-2:2011-12, „Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung, Teil 2," Beuth, Berlin, 2011.
- [10] Le gouvernement du grand-duché de Luxembourg, "Règlement grand-ducal du 30 novembre 2007 concernant la performance énergétique des bâtiments d'habitation (14.12.2007)," Service central de législation, Luxembourg, 2007.
- [11] M. Sunikka-Blank und R. Galvin, Introducing the prebound effect: the gap between performance and actual consumption, U. o. C. Department of Architecture, Hrsg., Building Research & Information, 40(3), 260-273, 2012.
- [12] T. Loga, „Die Heizperiodenbilanz im Vergleich zum Monatsbilanzverfahren," IWU Institut für Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2004.
- [13] H. Marquardt, „Energiesparendes Bauen, Von der europäischen Normung zur Energieeinsparverordnung," Teubner, Stuttgart, 2004.

Mechanische Prothesen der oberen Gliedmaße, welche auf dem Markt erhältlich sind, haben meist einen Einstiegspreis von über 35'000 €. Im Rahmen eines Projektes beim Concours Jeunes Scientifiques in Luxemburg, ist es dem Team, bestehend aus Joé Hoffmann, Ben Weber und Patrick Lux, drei Schülern des Athénée de Luxembourg, gelungen eine mechanische Roboterhand, mit den Grundfunktionen der menschlichen Hand, zu entwickeln, deren Produktionskosten unter 200 € sinken können.

ANTHROPOMORPHIC ROBOT HAND_

Joé Hoffmann, Ben Weber, Patrick Lux

Die Idee zum Projekt

Im November 2012 wurde unser Interesse am *Concours Jeunes Scientifiques Luxembourg* geweckt, und schnell stand fest, dass wir, aufgrund unseres Interesses in den Bereichen der Natur- und Ingenieurwissenschaften, an diesem Wettbewerb teilnehmen wollten. Während der Suche nach einem möglichen Thema stießen wir auf die Geschichte eines Jungen, welcher die Hilfe eines großen Konzerns, zur Finanzierung einer solchen Hand benötigte. Statistiken zeigen, dass allein in den USA jährlich mehrere zehntausend Menschen eine Verstümmelung der oberen Gliedmaßen erleiden.

Da die Anatomie einer menschlichen Hand sehr komplex ist, und es infolgedessen nicht im Interesse eines solchen Projektes liegt, die menschliche Anatomie möglichst genau zu imitieren, beschränkten wir die Zielsetzung unseres Projektes auf die Entwicklung einer Roboterhand, welche lediglich die mechanischen Funktionen der menschlichen Hand erfüllt.

Die ersten Prototypen

Erste Beobachtungen im Alltagsleben ergaben, dass verschiedene Griffe benötigt werden, so z.B. der "Key-Grip" (Ein Schlüssel wird im Schloss gedreht) oder der "Precision Grip" (Halten eines Kugelschreibers) sowie ein "Universal-Grip" (Halten eines Objektes z.B. einer Flasche). Diese Funktionen sind im Wesentlichen abhängig vom Umklappen des Daumens. Des Weiteren wurde deutlich, dass für die oben genannten Grundfunktionen nur ein Daumen, sowie Zeige- und Mittelfinger benötigt werden. Zu Beginn des Projektes beschränkten wir uns deswegen auf die Entwicklung dieser drei Finger.

Die Bewegung der Finger wird durch Rotation der einzelnen Fingergelenke um ihre Verbindungsachsen erzielt. Die Bewegung wird durch Ziehen an einem, in den Fingerspitzen befestigten, Spanndraht erreicht. Unterschiedlich steife Torsionsfedern in jedem Gelenk sorgen für eine natürliche Bewegung der Finger und ermöglichen das Zurückdrehen in die Initialposition. Somit wurde ein sogenannter "Under Actuated Mechanism" möglich, bei dem ein einzelner Motor ausreicht, um die drei Gelenke eines Fingers zu bewe-

gen, wodurch die Kosten erheblich reduziert werden konnten. Das Umklappen des Daumens erfordert allerdings einen weiteren Motor.

Während die ersten Modelle der Fingergelenke noch aus Holz bestanden, wurde bereits für den ersten Prototypen 3D Druckplastik benutzt. Diese Fertigungsweise bringt mehrere Vorteile mit sich. Die Teile bleiben leicht, und verlieren nicht an Stabilität. Des Weiteren ermöglicht der 3D-Druck eine schnelle und präzise Umsetzung, der mit CAD-Software erstellten, technischen Zeichnungen.

Die Steuerung des ersten Prototypen erfolgte über einen Sensorhandschuh, welcher dazu diente die Roboterhand durch menschliche Bewegungen zu steuern und somit einen direkten Vergleich der Funktionalität ermöglichte. Ungenaue Sensorausgaben machten diese Steuerung jedoch äußerst störanfällig. Eine präzise Kontrolle der Roboterhand wurde durch numerische Steuerung erreicht, welche auch im zweiten Prototypen ebenfalls benutzt wurde. Die Finger wurden durch den Einsatz von Servomotoren aus dem Modellbaubereich bewegt, welche wiederum über einen Arduino Due © Microcontroller gesteuert wurden.

Der erste Prototyp konnte im April 2013 beim nationalen *Concours Jeunes Scientifiques* zum ersten Mal der Öffentlichkeit vorgestellt werden. In den Sommermonaten wurde dann der zweite Prototyp der Roboterhand entwickelt.

Die Zielsetzung während der zweiten Phase des Projektes beinhaltete das Einfügen aller Motoren sowie der Batterie und des Controllers in eine Unterarmstruktur sowie die Entwicklung eines beweglichen Handgelenkes. Schließlich wurden auch der Ringfinger, sowie der kleine Finger, hinzugefügt. Durch den Einbau von zwei weiteren Servomotoren in den Unterarm, und die Befestigung der gesamten Handfläche an einer beweglichen Scheibe, wurde es möglich, das Handgelenk in jede beliebige Position zu bewegen. Ein letzter Servomotor macht die gesamte Hand um die eigene Achse drehbar. Die Produktionskosten bei beiden Prototypen beliefen sich auf jeweils ungefähr 200 €.



Erster internationaler Erfolg

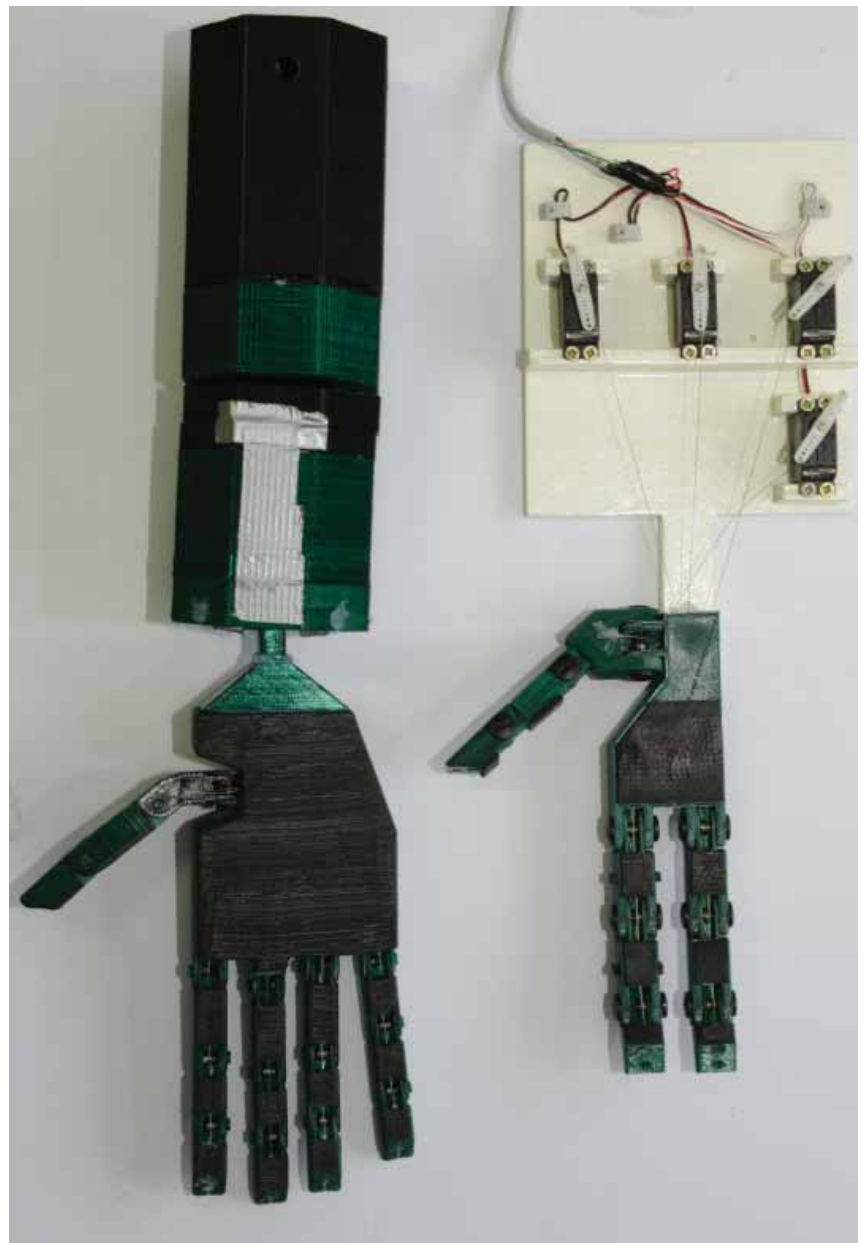
Im nationalen Wettbewerb konnten wir die Jury überzeugen und uns wurde die Ehre zuteil Luxemburg bei gleich zwei internationalen "Young Scientists"-Wettbewerben, zu vertreten. Im Mai hatten wir die Gelegenheit an der Intel International Science and Engineering Fair, in Phoenix (AZ, USA) teilzunehmen. Unter 1500 anderen Jugendlichen konnten wir, gemeinsam mit einem anderen Team, Luxemburg vertreten und unser Projekt vor der internationalen Jury des weltweit größten vergleichbaren Wettbewerbes, vorstellen, sowie weltweite Kontakte knüpfen. So hatten wir die Gelegenheit einen Vortrag von Adam Stelzner, Leading Engineer für die Landephase beim NASA Mars Rover Projekt "Curiosity" zu hören.

Im September 2013 führte unsere zweite Reise nach Prag zum European Union Contest for Young Scientists, wo wir wiederum als luxemburgische Vertreter am größten Europäischen "Jugend forscht" Wettbewerb teilnehmen konnten. In Prag wurde unser Projekt mit dem Preis für Originalität vom Europäischen Patentamt ausgezeichnet.

Ausblick

Zusätzlich angespornt durch die internationale Anerkennung welche unser Projekt erfahren hat, hat erfolgt nun schon seit Oktober die Planung und Entwicklung eines dritten Prototypen. Die dritte Phase soll auch den Übergang von den Modellbaumaterialien hin zu professionellerem Material darstellen. Obwohl wir für diesen Schritt auf die Hilfe von Sponsoren angewiesen wären, würden die finalen Produktionskosten einer Roboterhand, aktuell geschätzte 1500 €, weit unter diesem genannten Marktpreisen liegen. In diesem Bestreben sieht die Zielsetzung des dritten Prototypen die Benutzung von kräftigeren und zuverlässigeren Motoren, sowie die Weiterentwicklung des Gelenkmechanismus', mit dem Ziel einer höheren Greifkraft und höherer Präzision in den Bewegungen, vor. Des Weiteren wurde mit der Entwicklung eines Sensorik-Systems begonnen, welches zum Ziel hat, eine Rückmeldung der aktuellen Greifkraft der Roboterhand zu liefern.

www.robot-hand.com



Im Jahr 1925 beobachtet der französische Architekt und Set Designer Robert Mallet-Stevens, „it is undeniable that the cinema has a marked influence on modern architecture; in turn, modern architecture brings its artistic side to the cinema. Modern architecture does not only serve the cinematographic set (décor), but imprints its step on the staging (mise en scène), it breaks out of its frame, architecture ,plays’“¹

Architektur in bewegten Bildern

DIE WECHSELSEITIGE BEEINFLUSSUNG VON REALER ARCHITEKTUR UND FILMARCHITEKTUR AN DEN BEISPIELEN METROPOLIS (1927) UND INCEPTION (2010)_

Simone Dengler

1. EINLEITUNG

Dass das Aufkommen der Filmindustrie fast zeitgleich mit dem Modernismus in Architektur und Städtebau aufeinander trifft ist kein Zufall. Die technischen und räumlichen Entwicklungen in der Gesellschaft haben die Wahrnehmung und das Wachstum der Stadt gefördert. Die Architektur, oder vielmehr, der Raum, gibt dem Film seine Glaubwürdigkeit, definiert die Stimmung, den Charakter und den Ort des Geschehens. Inwiefern sich Film und Architektur gegenseitig beeinflusst haben, und immer noch beeinflussen lässt sich an der parallelen Entwicklung beider Ausdrucksformen beobachten.

Die ersten Filmarchitekturen können in den experimentellen Kurzfilmen der Gebrüder Lumière im Jahre 1895 beobachtet werden. Unter anderem *La Sortie de l'Usine Lumière à Lyon*² oder *La Place des Cordeliers à Lyon*³ zeigten reale unbearbeitete Alltagssituationen und somit auch zeitgetreue Architektur aus Städten wie Lyon und Paris.⁴ Die Filme sollten den Menschen die Realität vor Augen führen, sie entfernten sich von den Büchern und Geschichten insofern, dass sie die Informationen visuell unverändert übertragen konnten. Das Reale an der Filmarchitektur in dem Sinne dass sie unverändert ausgestrahlt wird ist heute oft nicht mehr vorhanden, denn die Kulissen werden der Handlung angepasst.

Aus Sicht der Architekten haben immer komplexere futuristische Konstruktionen, Ideen und Verwendungszwecke das Filmgenre zu einem Studien- und Inspirationsobjekt erhoben. Bekannte Architekten wie Bernard Tschumi, Rem Koolhaas, oder auch Jean Nouvel beschreiben die Filmarchitektur und die gewonnenen Einblicke als inspirierend für ihre Herangehensweise an die Visualisierung ihrer Bauwerke:

*“Architecture exists, like cinema, in the dimension of time and movement. One conceives and reads a building in terms of sequences. To erect a building is to predict and seek effects of contrast and linkage through which one passes [...]”*⁵

Die elektronischen und technischen Entwicklungen im Medienbereich haben keineswegs nur die Abbildung von ‚Raum‘, sondern vielmehr die grundsätzliche Wahrnehmung, den Entwurf und die Interpretation von zeitgenössischer Architektur und der fiktiven urbanen Illusionen, die zu einem Teil doch vorstellbar sind, verändert.

Die vorliegende Arbeit beschreibt die wechselseitige Beeinflussung von Architektur und Filmindustrie seit ihren gemeinsamen geschichtlichen Anfängen. Am Beispiel der Filme *Metropolis* von Fritz Lang und *Inception* von Christopher Nolan werden die jeweiligen Filmbauten im Zusammenhang mit ihrem geschichtlichen Kontext aufgezeigt und analysiert. Abschließend sollen im Fazit die beiden Entwicklungsstränge verglichen, und Perspektiven auf die Entwicklung der aktuellen Filmarchitektur eröffnet werden.

2. FILMARCHITEKTUR: BEGRIFFSERKLÄRUNG UND -VERWENDUNG

Die Schwierigkeit den Begriff „Filmarchitektur“ zu definieren, liegt darin zwischen Filmarchitektur als Ausstattungsgegenstand und seiner Assoziation mit dem Begriff „Dekoration“ zu differenzieren.

Die Architektur definiert die Stimmung und die Orientierung im Film. Ohne sie wäre der Film unverständlich. Obwohl der Begriff „Filmdekoration“ oder „Dekor“ oft im gleichen Zusammenhang benutzt wird, wende ich in meiner Arbeit den Begriff Filmarchitektur nicht im Sinne von Verzierungen und Ausschmückungen an. Filmarchitekturen sind oftmals provisorische Bauten, Attrappen, ohne praktische, bzw. ökonomische Nachnutzung.⁶ Eine treffendere Beschreibung der in dieser Arbeit anvisierten Definition liefert der Begriff „Filmbauten“ im Sinne von „Inszenierung der Gebäude einer Filmszene“ da er die Idee des „Gebauten“ viel deutlicher hervorhebt.

3. FILM UND ARCHITEKTUR – DIE GEMEINSAMEN ANFÄNGE

Um die Frage nach dem Warum der gemeinsamen Entwicklung, und deren Einfluss auf zeitgenössische Projekte zu beantworten, kommt man nicht umher einige grundlegende Informationen zur gemeinsamen Geschichte der beiden Kunstformen anzuführen. Die Popularität der Filmvorführungen entwickelte sich vorwiegend während des ersten Weltkrieges. In der Nachkriegszeit wurde der Film vor allem in der Mittel- und Oberklasse als Massenmedium akzeptiert, und rezipiert. Da Architektur- und Film-Avantgarde den gleichen gesellschaftlichen und kulturellen Interessen nachkamen, wurden die Architekturmagazine schnell darauf aufmerksam Artikel über Filmarchitekturen zu sch-

1_ Zitiert nach Mallet-Stevens, R. (1925). In: Vidler A. (2000), S. 100f.

2_ Erstaussstrahlung Dezember 1895, Les Frères Lumière.

3_ Erstaussstrahlung Dezember 1895, Les Frères Lumière.

4_ Vgl. Chardère, B., Borgé G. und Borgé M. (1985), S. 71.

5_ Zitiert nach Nouvel, J. In: Ratzenbury, K., S. 35

6_ Vgl. Weihsman H. (1988), S. 19.



<http://metropolis1927.com/>
Pressematerial
Screenshots: Inception, Warner Bros. Pictures, 2010

reiben und zu publizieren. Diese ersten Interaktionen zwischen moderner Architektur und dem Filmmedium dienten Andres Janser zufolge vorwiegend Propaganda- und Erziehungszwecken.⁷

„The growing knowledge about the importance of film as an efficient means of advertising has led to the fact that in the field of building, as well as housing too, a long series of film seither planned, began or already carried out. On one hand, such an optimistic formulation reveals that architects believed that film was a new useful means for propaganda purposes. On the other hand it reveals that architects were inspired by an (already) existing filmic practice.“⁸

Die Darstellung der Bauten im Film bestand aus Bewegung, und einer Vielfalt an Wahrnehmungswinkeln, welche in der Architektur bis zu jenem Zeitpunkt nicht umgesetzt werden konnten. Es erscheint naheliegend, dass das neue Verständnis für die Bewegung im ‚Frame‘, für Nahaufnahmen und komplexe Perspektiven eine Art Inspiration für Architekten dargestellt haben könnte.

Lev Kuleshov beschreibt in seinem Essay *The Art of Cinema* erste Zusammenhänge zwischen Film und architektonischer Wahrnehmung vor beinahe 100 Jahren während der Entstehung einer Filmsequenz von Engineer Prite's Project (1917-18):

„It was necessary for our leading characters, a father and his daughter, to walk across a meadow and look at a pole from which electric cables were strung. Due to technical circumstances, we were not able to shoot all this at the same location. We had to shoot the pole at one location and separately shoot the father and daughter in another place. We shot them looking upward, talking about the pole and walking on. We intercut the shot of the pole, taken elsewhere, into the walk across the meadow. This was the most ordinary, the most childlike thing – something which is done now at every step. It became apparent that through montage it was possible to create a new earthly terrain that did not exist anywhere.“⁹

Die Architektur wurde zu einem fundamentalen Element der Filmbranche, ebenso wie sich das Kino zum gefragtesten Medium der modernen Architektur entwickelte. Kurz nach dem ersten Weltkrieg, im Jahre 1920, wurden mehre-

re bekannte deutsche expressionistische Filme gedreht, wie Paul Wegeners *Der Golem*, wie er in die Welt kam, Robert Wiens *Das Cabinet des Doctor Caligari* oder auch Fritz Langs *Metropolis*. Der deutsche Kunstkritiker und Korrespondent der *New York Times*, Herrmann G. Scheffauer, spricht von der Geburt eines neuen Raumes:

„So begann der Film das zu erweitern, was Scheffauer „den 6ten Sinn des Menschen, sein Raumgefühl“ nannte, und zwar in dem er die Wirklichkeit selbst verwandelte. Die Architektur war nicht mehr passiver Hintergrund, sondern selbst Trägerin von Emotionen [...]“¹⁰

Filmkinos wurden in fast jeder größeren Stadt gebaut und Hollywood boomte. Die Produzenten fanden ihren eigenen Stil, Schauspieltalente aus Europa und New York wurden unter Vertrag genommen. Die ersten größeren Filmstudios wie Paramount and Fox, und MGM orientierten sich am Beispiel von Detroit.¹¹

Schließlich waren es die unabhängigen Produzenten die, aus eigenem Willen oder von der Notwendigkeit getrieben, erneut auf der Straße drehten, mit Schauspielern und Schauplätzen die frei nutzbar waren.¹² In Deutschland zeigten Filme wie Joe Mays *Asphalt*, oder Fritz Langs *Metropolis* in naher oder ferner Zukunft liegende Visionen von deutschen Städten und ihrer Architektur. Die Architektur der 20er Jahre war geprägt von einem neuen Menschenbild, das naturgemäß eine neue, an sich angepasste Umgebung forderte: das ‚Neue Bauen‘, oder die ‚Neue Sachlichkeit‘. Die Architektur wandte sich damit vollständig vom Jugendstil und vom Expressionismus ab. Es folgten Schlagwörter wie „Auskühlung, Ernüchterung, sogar Verstillung.“¹³

„Denn das moderne Leben braucht neue Bauorganismen, entsprechend der Lebensform unserer Zeit.[...] Die exakt geprägte Form, jeder Zufälligkeit bar, klare Kontraste, Ordnen der Glieder, Reihung gleicher Teile und Einheit von Form und Farbe sind die Grundlagen zur Rhythmik des modernen baukünstlerischen Schaffens.“¹⁴

Als Reaktion auf das Schreckensszenario ‚Stadt‘ in *Metropolis* wurden in Amerika und Großbritannien Filme wie *Just Imagine* (1930) oder *Things to come* (1936) gedreht, die eine weitaus positivere urbane Zukunft verkündeten, und sich an den städtebaulichen Entwürfen der Moderne orientierten.

7_ Vgl. Janser A., In: Penz F. und Thomas M. (1997), S. 34f.

8_ ebd., S. 36.

9_ Levaco R. (1974), S. 51f.

10_ Vidler, A. In: Neumann, D. (1996), S. 15.

11_ Vgl. Webb, M., S. 6.

12_ Vgl. ebd., S. 6.

13_ Vgl. Pehnt W. (1998), S. 291.

14_ Gropius W. (undatiert), (abgerufen am 04.10.2012).



Die vertikal orientierte, städtische Architekturdarstellung der Neuen Sachlichkeit wandelte sich in den 60er und 70er Jahren dann vollständig ins Horizontale. Die Leere, die das Stadtbild der 50er Jahre beherrschte, wird von Überfüllung und Überpopulation abgelöst. In vielen Filmen dieser Periode fällt das Augenmerk auf den Verfall der Städte. Planet of the Apes (1968) oder auch Logan's Run (1978) zeigen Städte wie New York und Washington DC in Ruinen. Zehn Jahre später, seit den 90ern scheint die Filmstadt dann völlig abgehoben, sowohl in ihrer Architektur, als auch in der Identität ihrer Protagonisten.

Auf Filme wie Blade Runner (1982), folgten The Terminator (1984), Robocop (1987), Total Recall (1990) und Twelve Monkeys (1996), allesamt Vertreter der Filmarchitektur ihres Jahrzehntes. In Luc Bessons The Fifth Element (1997) beispielsweise leben die Protagonisten praktisch freischwebend in der Luft. Die Stadt scheint weder nach oben noch nach unten Grenzen zu kennen:

„[T]he skies are filled with flying vehicles darting through a thrinlingly chaotic New York City, where skyscrapers canyons descend into smog and extend into the stratosphere.“¹⁵

4. FALLSTUDIEMETROPOLIS VON FRITZ LANG, 1926-1927

Ende des 18ten Jahrhunderts führte die industrielle Revolution zu enormen sozialen und kulturellen Veränderungen in der Gesellschaft. Die Reaktion der Kunstszene ließ nicht lange auf sich warten, und schon bald wurden die Städte und ihr tägliches Leben zum bestimmenden Thema in Gemälden, Zeitschriften, Theater, und vor allem im Filmgenre. Fritz Langs Metropolis ist der wohl bekannteste deutsche Stummfilm dieser Zeit. Er repräsentiert in einzigartiger Weise die deutsche Filmkultur der Weimarer Republik, und vertritt eine der ersten formulierten Fantasien der städtischen Entwicklung des 20ten Jahrhunderts.

4.1. KURZINHALT

Metropolis spielt in einer streng von strukturellen und sozialen Unterschieden geprägten Wolkenkratzerstadt: Während die Arbeiter Tag und Nacht unter der Erde schuften um das ‚Herz der gigantischen Stadt‘ -die zahlreichen Maschinen am Laufen zu halten, vergnügen sich die Söhne und Töchter

der Technokraten in den ewigen Gärten, oder im Vergnügungsviertel „Yoshiwara“ in der Oberstadt und leben in den höchsten Etagen der Wolkenkratzer. Freder, der Sohn des herrschenden Industriemagnaten Joh Fredersen, jedoch verfällt dem Arbeitermädchen Maria und folgt ihr in die Unterstadt, wo er die katastrophalen Zustände der Arbeiterwelt miterlebt. Er wird Teil einer, von Maria geleiteten, Arbeiter-verschwörung, die in der Zerstörung und Überflutung der Arbeiterstadt resultiert, was letzten Endes zu der Versöhnung von Freder, seinem Vater und den Arbeitern führt.

4.2. ENTSTEHUNG EINER URBANEN FANTASIE

Als Fritz Lang im Oktober 1924, zur Filmaufführung der Nibelungen, mit dem Ufa¹⁶-Produzenten Erich Pommer in den New Yorker Hafen einfuhr, behauptete er die Inspirations für Metropolis gefunden zu haben:

„Metropolis, you know, was born from my first sight of the skyscrapers of New York in October 1924, and then I took myself to Hollywood, where UFA send me to study American production methods. It was terribly hot that season.... In any case, while visiting New York, I thought that it was the crossroads of multiple and confused human forces, blinded and knocking into one another, in an irresistible desire for exploitation, and living in perpetual anxiety.“¹⁷

Erst im Nachhinein beschreibt er den ambivalenten Effekt den New York auf ihn gehabt haben muss. Die Großstadt, ihre Lebendigkeit und die enormen Wolkenkratzer faszinierten Lang, und diese Eindrücke flossen in die Filmarchitektur von Metropolis mit ein. Doch das Gefühl von Angst oder zumindest Unbehagen in den Straßen New Yorks muss ihn ebenso stark geprägt haben. Vergleicht man die ersten Entwürfe des Filmarchitekten Erich Kettelhuts mit der schlussendlichen Darstellung der ‚Metropolis‘, wird die erdrückende Vision Langs noch greifbarer.

Wenngleich diese Erklärung authentisch scheint, ist sie Teil eines von Fritz Lang konstruierten Mythos.¹⁸ In Erich Pommers Notizen zeigt sich, dass Thea von Harbou das Skript bereits beendet hatte noch ehe Lang seine Amerikareise angetreten hat. Die gesammelten Eindrücke und Erfahrungen haben wohl eher sein Konzept einer Zukunftsstadt bestärkt, als dass sie deren Ursprung sind.¹⁹

15_ Hanson, M. (2005), S. 63.

16_ „Die UFA Film & TV Produktion GmbH ist eine der ältesten und profiliertesten deutschen Unterhaltungsunternehmen und steht in der künstlerischen Tradition von Filmen wie „Metropolis“ oder „Der blaue Engel“ und den Filmen des deutschen Expressionismus. Heute präsentiert die UFA sich als leistungsstarker Programmkreater, der in den vergangenen Jahren seine Marktführerschaft in Deutschland als Film- und Fernsehproduzent kontinuierlich ausgebaut hat.“ zitiert nach www.ufa.de (abgerufen am 10.10.2012).

17_ Grant, B. K. (2003), S. 68.

18_ Vgl. Minden M. und Bachmann H. (2000), S. 5f.

19_ Vgl. Jacobsen W. und Sudendorf W. (2000), S. 8.



Die Bilder entsprangen also einerseits einigen zeitgenössischen Architekturentwürfen, sowie Zeichnungen wie z.B. Paul Citroens Fotomontage Metropolis von 1923, und andererseits der Fantasie von Langs Ehefrau Thea von Harbou:

„[...]Unter dem Zucken und Wogen, dem Sturze der Licht-Niagaras, unter dem Farbenspiel um sich selbst gewundener Türme aus Glas und Glanz schien die große Metropolis durchsichtig geworden zu sein. In Kegel und Würfel zerlegt von den mähenden Sennen der Scheinwerfer, glühten die Häuser, schwebend getürmt, und Licht floß an ihren Flanken hinab wie regen. Die Straßen leckten das glühende leuchten auf, und leuchteten selbst, und was auf ihnen hinglitt in unablässigem Strom, warf Lichtkegel vor sich her.“²⁰

Sie formulierte die futuristische Kulisse auf dem Papier, und verlieh Langs Vorstellungen Mystik, Tiefe und Komplexität. Thea von Harbou erschuf eine lebendige Stadt, und Lang, zusammen mit den Filmarchitekten Kettelruth, Vollbrecht und Hunte, setzte alles daran ihre Vision anhand einprägsamer urbaner Räume zu einer Einheit aufleben zu lassen.²¹

4.3 DIE ARCHITEKTUR IM FILM

Die Architektur in Metropolis, vor allem die monumentalen Wolkenkratzer und Lang's Technikadaptionen, sind von der Architekturströmung der ‚Neuen Sachlichkeit‘ geprägt, die sich in der Architektur insbesondere durch enorme Wohnbausiedlungen auszeichnet. Kennzeichen dieser neuen Architektur waren „einfache Formen, rechte Winkel, geschlossene Flächen, schmucklose Blöcke, auch schwungvoll gekurvt.“²² Stahl und Stahlbeton wurden als neue Baumaterialien eingeführt.²³

Wie schon zuvor im Film Nibelungen (1924) arbeitete Fritz Lang für den Dreh von Metropolis mit den drei Filmarchitekten Otto Hunte, Erich Kettelhut und Karl Vollbrecht zusammen. Gemeinsam entwarfen und konstruierten sie die gesamte Architektur im Film. Die zahlreichen Trickarbeiten gestalteten sich damals schwierig, und vor allem kostspielig: 400.000 Mark verbuchte die Produktion allein für Licht, Farbe, Holz und Mörtel.²⁴

Bei den vollmaßstäblichen Kulissen handelte es sich, Kettelhut zufolge, hauptsächlich um mit Putz beworfene Holzwände.²⁵ Die Wohnkulissen der Arbeiterstadt wurden zum

Beispiel an einem Stück gebaut, die Fenster wirkten wie ausgeschnitten, eine rein funktionale Anhäufung dunkler, kahler, streng geometrischer Hausfronten ohne jegliche architektonische Gliederung. Ein Bild, das zynisch an Le Corbusiers Begriff der „Wohnmaschine“²⁶ erinnert. Für die Szene der gefluteten Unterstadt installierten die Architekten Wasserbassins mit einem Fassungsvermögen von insgesamt um die 500 Kubikmeter. Die resultierende Wasserfontäne sprengte die Modelle der Arbeiterstadt in Zement, Asbest und Balserholzstücke.²⁷

Die Wohnhochhäuser der 20er Jahre spiegelten die Anonymität und die Isolation eines Individuums in einem Umfeld monotoner, gigantischer Architektur wieder²⁸, die auch Fritz Lang in der Arbeiterstadt von Metropolis vermittelte. Als gebautes Beispiel hierfür kann Walter Gropius Wohnhaussiedlung „Dammerstock“ genannt werden, die 1929 als eine der ersten Hochhauswohnsiedlungen realisiert wurde.

Die Architektur in Metropolis war modern, futuristisch und traditionell zugleich. Sie orientierte sich trotz aller futuristischen Visionen doch maßgeblich an den städtebaulichen Entwürfen der 20er Jahre, denn,

„In seiner technischen Perfektion stellt Metropolis einen Barometer der herrschenden Architekturdiskussion der 20er Jahre dar, welche zwischen Konservatismus (Historismus) und Modernismus (Funktionalismus, Kubismus, „Neue Sachlichkeit“) hin- und herschwankte.“²⁹

Bruno Tauts Entwurf der Stadtkrone aus dem Jahr 1919 wird von vielen Kritikern als die Inspirationsquelle des Fredersens Turmes betrachtet, der majestätisch über die gesamte Metropolis ‚herrscht‘. Eine Architektur die, Wolfgang Peht zufolge, dazu gedacht war Macht zu demonstrieren und Einfluss zu üben:

„In den desolaten Nachkriegsjahren sollte das Hochhaus zugleich die Wiederkehr des Lebensmutes und der Arbeitslust, den wirtschaftlichen Aufbauwillen, wenn nicht sogar den nationalen Wiederaufstieg symbolisieren.“³⁰

Der Dreh der Frontalansicht des Turmes mit der befahrenen Geschäftsstraße war den Filmarchitekten zufolge am zeitaufwendigsten. Miniaturmodelle in den Maßstäben 1:25 bis 1:100 wurden nachgebaut um den Straßenverkehr zu

20_ Zitiert nach Von Harbou, T.. In: Neumann, D. (1996), S. 34.

21_ Vgl. Neumann, D. (1996), S. 34.

22_ Jacobsen W. und Sudendorf W. (2000), S. 20.

23_ Vgl. ebd., S. 20.

24_ Vgl. Metropoli - Presseinformation (2010), S. 5 (abgerufen am 05.10.2012).

25_ Vgl. Sudendorf, W. (2009), S. 140.

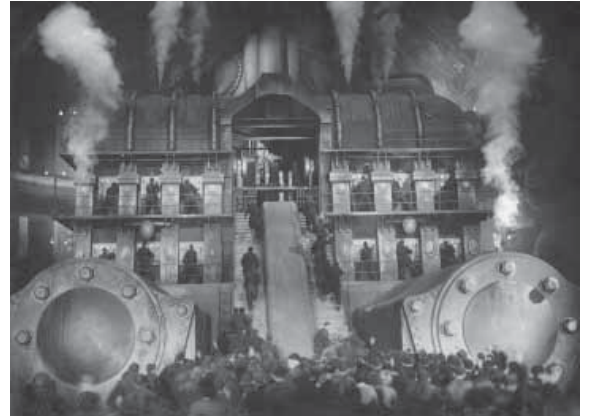
26_ Die Wohnmaschine: „Genau den einzelnen Funktionen angepasste Dimensionen führen zu äußerster Raumaussnutzung. Die Anordnung folgt dem Ablauf der einzelnen Tätigkeiten. Bei Annahme eines Minimums an Grundfläche für jede Funktion wurde eine Totalgrundfläche von fünfzig Quadratmetern errechnet. Der fertige Plan des einstöckigen Hauses weist mit allen Nebenräumen, eine Grundfläche von sechzig Quadratmetern auf.“ Le Corbusier (2005), neugedruckte Auflage von 1954, S. 5.

27_ Sudendorf, W. (2009), S. 142-143.

28_ Eckhard, K. (1998), S. 10.

29_ Weihsman H. (1988), S. 176.

30_ Peht, W. (1998), S. 283.



simulieren.³¹ Eine zeitintensive und nervenaufreibende Arbeit, denn „aufgrund der Probenresultate stellten wir fest, dass Flugzeuge nach der Aufnahme eines Einzelbildes um eineinhalb Zentimeter, Schnellbahnen um einen Zentimeter, die Autos zirka einen Dreiviertelzentimeter, die Fußgänger schließlich nur ganz minimal verschoben werden mussten, um eine flüssige Bewegung im glaubhaften Tempo zu erzielen“³²,

erinnert sich Erich Kettelhut zurück. Überhaupt „scheinen die vollmaßstäblichen Kulissen in Metropolis eher die Modelle zu ergänzen als umgekehrt.“³³ Letztere können „in vollmaßstäbliche Bauten, Modellbauten, Ergänzungsmodelle nach dem ‚Schüfftanverfahren‘ und gemalte Szenerie“³⁴ eingeteilt werden. Der Kameramann Eugen Schüfftan schuf unter anderem die Architektur im Stadion der Söhne, Rotwangs Haus, den Maschinensaal, und die Wolkenkratzerfassaden anhand des von ihm entwickelten Spiegeltrickverfahrens. Dank dieser Vorgehensweise mussten die Entwürfe größtenteils nur noch als Modelle gebaut werden, anschließend konnte man sie anhand eines Spiegels mit Rückseitenversilberung in die Hintergrundkulisse einspiegeln, während sich die Schauspieler im Vordergrund bewegten. So konnte die Szene in einem einzigen Aufnahmeversuch gedreht werden, wenngleich sich der Zeitaufwand als immens herausstellte. Der Einsatz von Modellen ermöglichte es aber Standpunkte und Beobachtungen vorwegzunehmen, die an realen Modellen in der Praxis nicht realisierbar waren.³⁵

Metropolis sprach seinerzeit moderne gesellschaftliche Probleme an, wie soziale Unruhen, Zweifel an der Religion, oder auch die zwiespältigen Gefühle auf die Architektur der Großstadt, die sich vor allem am amerikanischen Beispiel orientierten. Das 1913 in New York fertiggestellte Woolworth Building war bis 1930 das höchste Gebäude der Welt, und wurde vom Volksmund „Kathedrale des Kommerz“ getauft. Die Wirtschaft übernimmt die Herrscherrolle vor der Kirche.

Eine Parallele die Lang mit Sicherheit aufgegriffen hat, als er den Fredersen Turm in Metropolis höher als die Kathedrale darstellte. Besonders Architekten sahen die amerikanischen Hochhäuser als „Sinnbild für unkontrollierten Kapitalismus,

für Reichtum der einen, soziale Verelendung der anderen, für Erlebnisflut, Menschenmassen, Anonymität, Kriminalität – kurz: das negativ geprägte Bild einer Großstadt.“³⁶

Trotz, oder vielleicht gerade wegen dieser ungewohnt negativen Darstellung einer Zukunftsstadt war das Filmdebüt starker Kritik ausgesetzt. H.G. Wells veröffentlichte im April 1927 einen vernichtenden Artikel in der New York Times, in dem er unter anderem meinte,

“[i]t gives in one eddying concentration almost every possible foolishness, cliché, platitude, and muddlement about mechanical progress and progress in general served up with a sauce of sentimentality that is all its own.”³⁷

Die Friedrich-Wilhelm-Murnau-Stiftung veröffentlichte dann im Jahr 2001 nach aufwendigen Restaurationsarbeiten die bisher werkgetreuste Rekonstruktion des Originalfilms von 1927, die noch im gleichen Jahr von der UNESCO zum Weltdokumentenerbe erklärt wurde.³⁸

5. FALLSTUDIE INCEPTION VON CHRISTOPHER NOLAN, 2010

„What links the work of modern sci-fi directors with the auteurs like Fritz Lang (Metropolis 1926[sic]) is their interest in architecture. If you’re trying to realize the unrealizable – to present something genuinely beyond our grasp – design is your most important tool. Every director trying to create a new environment faces the question – how do you convey ‘otherworldliness’ without resorting to cliché or pastiche?“³⁹

Inception ist im Gegensatz zu Metropolis, Blade Runner, oder the Fifth Element ein eher untypischer Science Fiction Film, da die Stärke des Filmes in der realistischen Abbildung der Stadtarchitektur liegt.

5.1 KURZINHALT

Der Protagonist Dom Cobb stiehlt keine materiellen Besitztümer, er stiehlt Ideen und Geheimnisse einflussreicher Menschen indem er sich im Schlaf in deren Unterbewusstsein „hackt“. In einer Welt, die von der Wirtschaft und dem Aktienmarkt beherrscht wird, hat er sich zu einer zentralen Spielfigur entwickelt. Ein missglückter Coup führt Cobb und sein Team dazu das „fast“ Unmögliche zu versuchen: Sie sollen keine Information stehlen, sondern eine Idee in

31_ Vgl. Vana, G. (2001), S. 170.

32_ Sudendorf, W. (2009), S. 160.

33_ Vana, G. (2001), S. 56.

34_ Vana, G. (2001), S. 168.

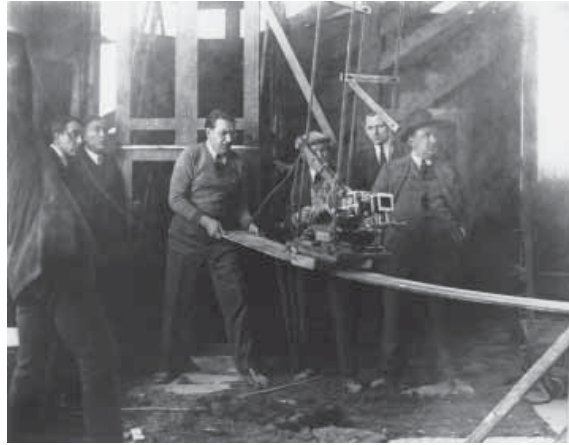
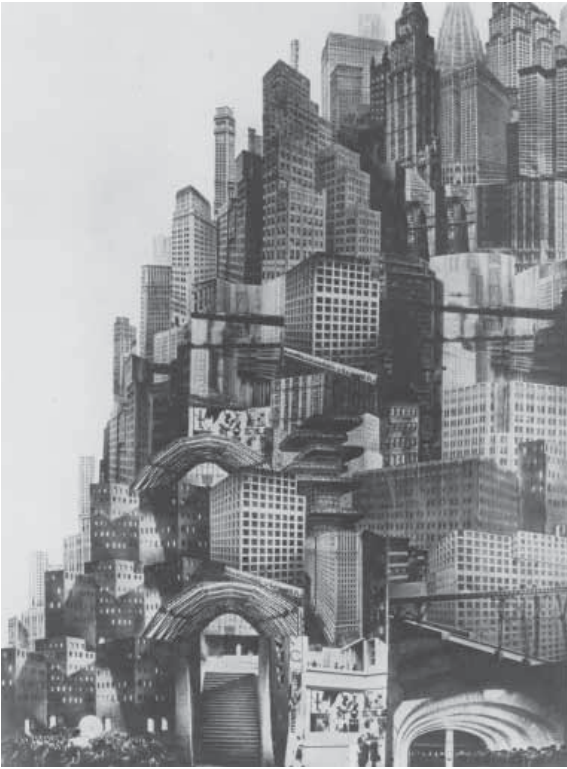
35_ Vgl. Vana, G. (2001), S. 35-43.

36_ Eckhard, K. (1998), S. 10.

37_ zitiert nach Wells, H.G. In: Minden M. und Bachmann H. (2000), S. 94.

38_ UNESCO (2001), (abgerufen am 05.10.2012).

39_ Hoggard, L., In: Fortin, D.T. (2011), S. 50.



ein Unterbewusstsein einpflanzen. Ein überaus schwieriges und gefährliches Unterfangen, welches sich durch drei räumlich unterschiedliche Traumebenen zieht, und noch dazu von Cobbs eigenem Unterbewusstsein sabotiert wird.

5.2 DIE ARCHITEKTUR IM FILM

Die Architekten im Film erschaffen die Struktur von geträumten Realitäten. Der Ort des Geschehens und das Geschehen selbst, Raum und Verstand verschmelzen zu ein und derselben Erfahrung. Ein wesentliches Element des Filmes sind die architektonischen Paradoxe, wie die unendliche Treppe von Roger Penrose, oder Cobbs selbstentworfenes Limbo-Zuhause. Letzteres besteht aus mehreren Welten von Erinnerungen, die durch einen Aufzug miteinander verbunden sind. Die Geschehnisse im Leben der Menschen projizieren sich auf die Architektur die sie erschaffen.

Die Stadtarchitektur in *Inception* ist offenbar auch nicht integral Normans Fantasie entsprungen. Die im Film konstruierte Traumrealität des „Limbo“ besitzt große Ähnlichkeit mit den heutigen neoliberalistischen Emiraten-Städten wie Dubai. Die Stadt, ein kapitalistisches, leeres Nirgendwo aus Glas, Stahl und Beton entspricht genau der Beschreibung die Los Angeles Times-Redakteur Christopher Hawthorne über Dubai verfasste:

„If the endless rows of stalled towers now resemble mere shells, perhaps shells are all they were ever meant to be“⁴⁰

Normans Limbo-Dubai lässt sich wohl mit Langs Metropolis-New York vergleichen. Die beiden Filmregisseure beziehen sich auf die städtischen Entwicklungsvorreiter ihrer Zeit. Ein Bezug, der jedoch nicht immer positiv ausfällt, denn sowohl Fritz Lang, als auch Christopher Nolan verdeutlichen vor allem die negativen Zukunftsaussichten der Städte.

Die reale Architektur ist im Gegensatz zum Film oder anderen Kunstformen vergänglich, sie orientiert sich am Leben der jeweiligen Gesellschaft. Architekten entwerfen und konzipieren ihre Projekte quasi komplett per Computer in dreidimensionalen Modellen. Die Entwürfe können beliebig verändert werden, ohne je existiert zu haben. Dieses Phänomen unserer Gesellschaft, alles virtuell zu entwerfen, sich in virtuelle Räume hineinzusetzen und dreidimensionale Projektionen von der Umwelt zu erstellen, ist der

Vorreiter zu *Inception*. Christopher Nolan bringt die Thematik nur auf die nächste Ebene. Die Geschwindigkeit der Körper im Raum wird zur Geschwindigkeit der Gedanken des jeweiligen Träumers. Anders als beim herkömmlichen Träumen wissen die Eindringlinge um ihr Traumleben, eine parallel zur Story laufende Ideenentwicklung, die sich zu deren Auslöser entwickelt.

Die ausgearbeitete Parallelmontage der jeweiligen Traumwelten ist eine der narrativen und architektonischen Stärken des Filmes. Die größte Herausforderung für den Filmarchitekten Guy Hendrix Dyas war seiner Aussage nach der Dreh der Schneefestung in der dritten Traumebene, da Dyas so viel wie möglich mit herkömmlicher Technik aufzeichnen wollte.

“Despite a few blizzards, we were really fortunate to have perfect weather conditions, and during the shoot you could actually see the real snow blowing across the set, and the amazing mountains behind it. It was a testament to how great it is to be able to shoot on location, with real conditions.“⁴¹

Für die Inszenierung der finalen Explosion wurde die Festung im Maßstab 1:6 nachgebaut. Das Modell wurde durch die im Inneren benötigte Sprengmechanik sehr schwer, weshalb das Äußere des Modells in Leichtbauweise realisiert werden musste: Die Modellbauer verwendeten Sprühgips in Verbindung mit Urethan, um einerseits dem Beton-Look des Originalgebäudes zu entsprechen und andererseits eine möglichst spektakuläre Explosion herbeizuführen.⁴² Entgegen der Annahme ein Film wie *Inception* bestünde hauptsächlich aus Computergrafiken, wurde sehr wenig mit „Green Screen“ gearbeitet: Eine weitere Gemeinsamkeit die beide Filme verbindet. Nolan nutzte, ebenso wie Lang, die Modellarchitektur um ansonsten unmögliche oder unbezahlbare Gebäudeszenen zu visualisieren. Die

Herangehensweise unterscheidet sich allerdings in den unterschiedlichen Motiven der beiden Regisseure. Während Lang nicht über die nötigen technischen Ressourcen verfügte um seine Visionen graphisch optimierter darzustellen, setzt Nolan wohl bewusst keine Computergrafiken ein um das Reale am Film hervorzuheben. Beide arbeiteten mit zeitgenössisch eher ungewöhnlichen Mitteln ihrer Zeit um

40_ Hawthorne, C. (2009), (abgerufen am 05.10.2012).

41_ Hendrix Dyas, G., (abgerufen am 05.10.2012).

in ihren Augen die Zukunft zu visualisieren, denn während Lang filmtechnisch nach vorne strebte, reduzierte Nolan die graphischen Eingriffe, und machte so technisch einen Schritt rückwärts.

6 FAZIT

Filmarchitektur diente seit Anfang des 20ten Jahrhunderts als eine Art Versuchsobjekt für Experimente jeglicher räumlichen Darstellung. Die Rolle der Architektur beim Entwerfen und realisieren der Filmbauten sowie die offenkundige Fähigkeit der Filme ihre eigene Architektur aus einem Spiel von Licht, Schatten und Kameraeinstellungen zu „bauen“, prädestinierte die beiden räumlich-modernistischen Bewegungen zur Zusammenarbeit. 43 Es war der Kunsthistoriker Elie Faure, der als Erster mit dem Begriff „cinéplastique“ die beiden Dimensionen verband. Er schrieb 1922:

„Le cinéma est plastique d'abord: il représente, en quelque sorte, une architecture en mouvement qui doit être en accord constant, en équilibre dynamiquement poursuivi avec le milieu et les paysages où elle s'élève et s'écroule.“⁴⁴

Die Folgen dieser städtischen Ausformungen sind bis heute bekannte Verfilmungen wie Das Cabinet des Dr. Caligari oder Metropolis, die die Grenzen der Architektur einfach übergangen. Während der Mensch seine Umgebung im Alltag eher unbewusst wahrnimmt, verändert der Film die Wahrnehmung der Architektur durch die Zuschauer, indem er die Architektur in die Narrative mit einbindet. Die Architektur wird vom Rezipienten bewusst als unabdingbares Element der Story wahrgenommen. Die Filmarchitekten haben dieses Phänomen erkannt und setzen Raumwirkungen bis heute intentional ein um einerseits den Film atmosphärischer zu gestalten und andererseits Reflektionen zu neuen Architekturvisionen in der Gesellschaft einzuführen. Die weiter oben durchgeführte Analyse der Filmarchitektur in Metropolis zeigt deutlich die Anfangsschwierigkeiten bei der Umsetzung der gewünschten Effekte. Die Technik in den 20er Jahren war nicht ausgereift genug um die Visionen der Architekten eins zu eins wiedergeben zu können, der Einsatz von nachgebauten Filmkulissen war unvermeidlich. Dennoch, oder vielleicht gerade deswegen gilt Metropolis bis heute als Ursprung vieler späterer Science-Fiction-Städte.

Die expressionistischen Elemente gepaart mit dem Funktionalismus der Neuen Sachlichkeit prägen das Bild das auch die heutigen Regisseure noch von futuristischen Städten zu besitzen scheinen. Die technischen Mittel sind jedoch viel ausgereifter: Schauspieler agieren in komplett computer-generierten Welten, nahezu alles ist möglich da dem Filmarchitekten keine materiellen, gravitationstechnischen oder künstlerischen Grenzen mehr gesetzt sind. Und doch scheint es einen Rückwärtstrend zu geben, denn Inception zeigt weder ‚neue‘ Tricks, noch viele atemberaubende Actionszenen. Ganz wie Metropolis stellt er Fragen dazu wie in der Welt gelebt wird die unsere Zukunft darstellen soll, welche Faktoren dieses Leben beeinflusst haben, und weiter beeinflussen. Ganz oben auf dieser Liste steht die Architektur. Während sie zum Einen mit gesellschaftlichen, politischen und umwelttechnischen Problemen arbeiten und nebenher mit dem technischen Fortschritt mithalten muss, steht sie zum Anderen für die Gesellschaft, reflektiert den Fortschritt und definiert wie wir leben und wer wir sind. Das Anliegen vieler Filmregisseure dürfte es also sein ihre Filme so nahe wie nur möglich an der Realität der Stadt des 21ten Jahrhunderts zu orientieren, und eine Perspektive auf die nahe Zukunft zu eröffnen.

www.simone-dengler.de

7 LITERATURVERZEICHNIS

Primäre Literatur

Chardère B., Borgé G. und Borgé M. (1985):
Les Lumières. Paris: Bibliothèque des Arts.

Eckhard, K. (1998):

Den Wolken entgegen – die höchsten Türme Deutschlands. 2. überarbeitete Auflage, München: Herbert Utz Verlag GmbH

Faure, E.: De la cinéplastique.

In: L'Herbier, M. (1946) : Intelligence du cinématographe. Paris: Éditions Corrêa. S. 266-278

Hanson, M. (2005):

Building Sci-Fi Movie Scapes – The Science behind the Fiction. Hove: Rotovision SA.

Jacobsen, W. und Sudendorf W. (2000):

Metropolis – Ein Filmisches Laboratorium der Modernen Architektur/A Cinematic Laboratory for Modern Architecture. Stuttgart/London: Edition Axel Menges.

Le Corbusier (2005):

Une petite maison – 1923. 7. Neuedruckte Auflage von (1954), Zürich/London: Artemis Verlags-AG Zürich.

Pehnt, W. (1998):

Die Architektur des Expressionismus. 3. Auflage. Ostfildern-Ruit: Verlag Gerd Hatje.

Vana, G. (2001):

Metropolis – Modell und Mimesis. Berlin: Gebrüder Mann Verlag.

Vidler, A. (2000):

Warped Space – Art, Architecture, and Anxiety in Modern Culture. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.

Von Harbou, T. (1984):

Metropolis.

In: Neumann, D. (Hrsg.) (1996): Filmarchitektur – von Metropolis bis Blade Runner. München/NewYork: Prestel.

Weihsmann, H. (1988):

Gebaute Illusionen – Architektur im Film. Wien: Promedia Druck und Verlags GmbH.

SEKUNDÄRE LITERATUR

Grant, B. K. (Hrsg.) (2003).

Fritz Lang – Interviews. Jackson : University Press of Mississippi.

Janzer A.: Only Film Can Make The New Architecture Intelligible.

In: Penz F. und Thomas M. (Hrsg.) (1997):

Cinema and Architecture – Melies, Mallet Stevens, Multimedia, London: British Film Institute Publishing.

Levaco, R. (Hrsg.) (1974):

Kuleshov on Film – Writings of Lev Kuleshov. Berkley/Los Angeles: University of California Press.

Minden, M. und Bachmann H. (Hrsg.) (2000):

Fritz Lang's Metropolis - Cinematic Visions of Technology and Fear. New York: Camden House Inc.

Neumann, D. (Hrsg.) (1996):

Filmarchitektur – von Metropolis bis Blade Runner. München/NewYork: Prestel.

Sudendorf, W. (Hrsg.) (2009):

Erich Kettelhut - Der Schatten des Architekten – Erinnerungen. München: Belleville.

ZEITSCHRIFTEN

Rattenbury, K.:

Echo and Narcissus.

In: AD Architectural Design (1994), Book 112.

Webb, M.:

The City in Film.

In: Design Quarterly – The City in Film (1987), Nummer 136.

Hoggard, L.:

Urban Legends (2002), Blueprint, Nummer 194.

In: Fortin, D.T. (2011): Architecture and Science Fiction Film –

Philip K. Dick and the Spectacle of Home, Surrey/Burlington:

Ashgate Publishing.

INTERNETQUELLEN

Failes, I. (2010): Inception, fxguide.com,

URL: <http://www.fxguide.com/featured/inception/> (abgerufen am 06.10.2012).

Hawthorne C. (2009): Dubai development may be down, but it's not out, URL: <http://www.latimes.com/entertainment/news/arts/la-ca-dubai21-2009jun21,0,3828787.story> (abgerufen am 05.10.2012).

Gropius W. (undatiert): Industriebauten,

URL: http://www.keom02.de/KEOM%202001/archive/dm/v167_1.html (abgerufen am 04.10.2012).

Hendrix Dyas, G. (undatiert) im Interview mit Angela Mitchell,

URL: <http://performingarts.about.com/od/Costumes/ss/Inception-Production-Designer-Talks-About-Designing-The-Films- Dreamscape.html> (abgerufen am 05.10.2012).

Koerber, M., Stobel F., Wilkening A. (2010): Metropolis – Presseinformation, URL: http://www.warnerbros.de/metropolis/download/METROPOLIS_Presseheft.pdf (abgerufen am 05.10.2012).

UNESCO (2001),

URL: <http://www.unesco.org/new/en/communication-and-information/flagship-project-activities/memory-of-the-world/register/fulllist-of-registered-heritage/registered-heritage-page-5/metropolissicherungsstueck-nr-1-negative-of-the-restored-and-reconstructed-version-2001/> (abgerufen am 05.10.2012).

UFA,

URL: http://www.ufa.de/company/ufa_film_tvproduktion/ (abgerufen am 07.10.2012).

42_ Vgl. Failes, I. (2010), (abgerufen am 06.10.2012).

43_ Vgl. Neumann, D. (1996), S. 14.

44_ Faure E., In: L'Herbier, M. (1946), S. 268.



RETHINK INNOVATION THINK TUDOR

As a leader in applied research in Luxembourg, Tudor responds to your needs by mobilising its scientific and technological competences in nine innovation programmes, each targeting specific challenges.

MANUFACTURING INDUSTRY

CONSTRUCTION

ECOTECHNOLOGY

MOBILITY

TRANSPORT & LOGISTICS

HEALTH

PUBLIC SERVICES

INNOFINANCE

HUMAN CAPITAL

tudor
PUBLIC RESEARCH CENTRE HENRI TUDOR

Innovating together

For further information: www.tudor.lu/innovation-programmes

L'acier autopatinable connaît de nos jours un nouvel intérêt pour son utilisation dans le domaine des ouvrages d'art. Les expériences en demie teinte sur les ouvrages construits dans le passé doivent permettre aujourd'hui de ne retenir que les bonnes pratiques. L'acier autopatinable, est une réponse efficace pour la protection anticorrosion de l'acier, quand il est utilisé dans un environnement et dans des conditions adéquates. Il permet alors de minimiser les interventions d'entretien et les coûts inhérents. Cet article montre les possibilités d'utilisation des profilés de commerce pour les ouvrages de petites et moyennes portées, et décrit différents exemples d'ouvrages réalisés au Luxembourg au cours de ces dernières années, et leurs retours d'expériences.



Ouvrages d'art courants en acier autopatinable:

EXEMPLES DE TABLIERS MIXTES EN PROFILÉS DE COMMERCE

Riccardo ZANON Ing., Nicolas CAILLET Ing.

1. L'acier autopatinable

L'acier autopatinable est un acier de construction faiblement allié dont la particularité est de résister à la corrosion sans avoir recours à des mesures de protection additionnelles (dans les conditions d'emploi adaptées). Cette propriété est obtenue grâce à une composition chimique légèrement modifiée (en particulier l'ajout des éléments d'alliage Cr et Cu).

L'oxydation de l'acier (phénomène habituel de formation de rouille) donne ici naissance à une patine qui présente la particularité de rester adhérente et de réduire très fortement l'oxydation ultérieure de l'acier.

Le concept de l'acier autopatinable date de 1923 – avec la marque commerciale COR-TEN déposé par US Steel Corporation. Dans les années suivantes cet acier a connu un certain succès et aujourd'hui il est entré dans les normes de construction et est régulièrement produit. En Europe les qualités autopatinables sont présentes dans la norme produit harmonisée EN10025-5 : 2005.

Pour les produits longs, la production industrielle de poutrelles débute au Luxembourg dans les années 1970. A l'heure actuelle une grande partie de la gamme des profilés est disponible dans cette nuance autopatinable.



1_ Exemple de développements possibles de la patine pour différentes conditions d'exposition 2. Conditions d'utilisation

La formation de la couche d'oxyde stable (patine) qui rend inutile l'application d'une protection contre la corrosion, dépend néanmoins de l'environnement auquel la surface est exposée. Dans certaines conditions d'utilisation inadéquates sa fonction protectrice peut être inefficace.

En particulier, la surface doit être soumise à des cycles secs et humides pour permettre à la couche protectrice de se

développer. L'utilisation de l'acier autopatinable est donc fortement déconseillée dans les conditions suivantes:

- _ Dans des atmosphères contenant des fumées industrielles très corrosives ou bien des fumées chimiques concentrées (à des niveaux extrêmes rarement rencontrés);
- _ Dans des lieux soumis à des embruns ou des brouillards chargés en sel (et donc en environnement marin);
- _ Quand le salage hivernal conduit à d'importants dépôts de chlorures sur l'acier;
- _ Dans des applications pour lesquelles l'acier est constamment immergé dans l'eau, enterré dans le sol ou plus généralement dans des sites chauds et humides (absence de cycles sec / humide);
- _ Quand la couche protectrice est régulièrement enlevée par contact mécanique.

3. Esthétique

L'apparence, la texture et la maturité de la patine dépendent de la durée et du degré d'exposition, ainsi que de l'atmosphère environnante. Avec le temps, l'oxyde passe d'une couleur rouge-orange à une couleur brun foncé (avec parfois même des teintes légèrement violettes). Une fois le phénomène d'oxydation stabilisé, cette patine présente une couleur brun-rouille et un aspect finement grainé.

Les teintes les plus sombres sont généralement obtenues dans les environnements industriels. En milieu rural la couche d'oxyde se forme plus lentement, et présente en général une teinte plus claire. Le sablage de la surface permet d'obtenir une patine régulière et une coloration homogène, et il est recommandé quand on souhaite rapidement un aspect uniforme de la patine.



Début de l'exposition



5 jours



1 mois



13 mois

2_ Développement des coupons d'essais au CRP H. Tudor, Esch-sur-Alzette

Avec son aspect particulier, l'acier autopatinable est particulièrement apprécié ces dernières années pour ses qualités architecturales. Son emploi est actuellement assez courant pour des éléments de décor urbain, ainsi que pour des façades visibles.



3_ Restaurant Lea Lynster, Kayl (Luxembourg), Photo source www.archiduc.lu



4_ Rond Point giratoire Kirchberg (Luxembourg), Photo source www.gio.lu

4. Utilisation d'acier autopatinable pour les Ouvrages d'Art

L'utilisation d'acier autopatinable pour les ouvrages d'arts a débuté en Europe dès les années 1960. A la différence d'autres alliages métalliques résistants à la corrosion (comme l'acier inoxydable), l'acier autopatinable présente une composition chimique proche de l'acier de construction traditionnel. Il a donc l'avantage d'être produit sur les mêmes installations, avec des possibilités comparables et des surcoûts relativement faibles.

Pour sa mise en oeuvre, les mêmes possibilités de parachèvement que celles des aciers traditionnels sont disponibles (soudage, formage, découpe, perçage,...), à condition d'utiliser des matériaux compatibles.

Les aciers autopatinsables se prêtent ainsi particulièrement bien au domaine des Ouvrages d'Art et leur utilisation permet de bénéficier des avantages suivants:

- 1_ **Economies lors de la construction de l'ouvrage:** le surcoût lié au matériau de base reste inférieur au coût du système de peinture anti-corrosion;
- 2_ **Simplification du procédé de construction:** L'absence de mise en peinture réduit le délai de fabrication de la charpente métallique, et peut simplifier les phases de chantier, de contrôle et d'éventuelle manutention;
- 3_ **Réduction de l'entretien pendant la vie de l'ouvrage:** L'absence d'entretien d'une peinture pendant la vie de l'ouvrage permet de réduire les coûts de maintenance. C'est également un avantage considérable lorsque cette opération engendre une interruption de la circulation sous-jacente pouvant avoir des conséquences socioéconomiques importantes;

Pour bénéficier de ces avantages, il faut d'abord rappeler que le concepteur doit s'assurer que l'**environnement climatique** dans lequel l'ouvrage se trouve soit compatible

avec les conditions de formation d'une patine protectrice, comme expliqué au paragraphe 2. On peut néanmoins noter que le territoire européen est en grande partie adapté, si on exclu les zones en bord de mer.

En deuxième lieu, même si l'environnement est favorable, il faut s'assurer de ne pas créer des conditions locales défavorables. Cela nécessite alors une bonne **conception des détails constructifs**, essentielle pour assurer la pérennité de l'ouvrage.

En troisième lieu, l'**aspect esthétique** doit être pris en considération et le concepteur doit s'assurer que l'intégration de l'ouvrage dans son environnement soit réussie. L'attrait économique ne doit pas conduire à une utilisation systématique et donc parfois inopportune de l'acier autopatinable.

Le retour d'expérience sur l'utilisation de l'acier autopatinable pour les ouvrages est généralement positif parmi les maîtres d'ouvrages. Toutefois, certains ouvrages ont connu des problèmes liés à une mauvaise formation de la patine ceci étant principalement dû à des choix constructifs malheureux (concernant plus souvent l'équipement que la structure elle-même). En se basant sur ces retours d'expériences, plusieurs guides et documents normatifs présentent les détails constructifs pour la réalisation de charpente métallique en acier autopatinable – pour plus d'informations le lecteur pourra consulter l'abondante bibliographie sur le sujet [1], [2], [3], [4], [6]. Autre particularité, certains pays peuvent exiger de façon sécuritaire des surépaisseurs sacrificielles pour la justification statique de la charpente (variant généralement entre 0.5mm et 1.5mm par face en fonction de l'environnement climatique). Soulignons que sur la base des expériences plus récentes ces valeurs sont souvent en train d'être revues à la baisse, considérant que dans des conditions d'utilisation correctes la perte d'épaisseur est suffisamment négligeable pour ne pas affecter la vérification de la sécurité structurelle. Par contre, en cas de mauvaise utilisation (environnement inadéquat) il est simplement conseillé de peindre l'acier de façon traditionnelle.

En conclusion, l'alternative de l'acier autopatinable devrait particulièrement être considérée dans les cas suivants:

- 1 - Ponts et viaducs périurbain dans des contextes ruraux;
- 2 - Ouvrages de franchissement sur voie à forte circulation;

Aujourd'hui l'Europe compte des centaines d'ouvrages en acier autopatinable. Dans les paragraphes suivants quelques exemples en profilés du commerce sont présentés.

5. Viaducs routiers en milieu rural

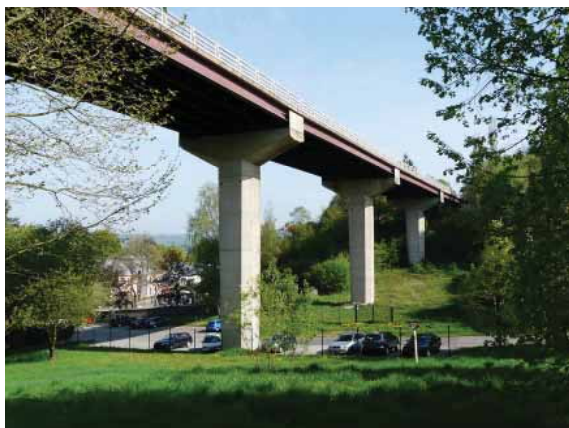


5_ Viaduc de Ditzgesbaach, accès sur l'autoroute A7, après réalisation – 1981 (Luxembourg)

En milieu rural, l'utilisation d'acier autopatinable est en générale très bien adaptée – considérons les points suivants:

- 1_ **Corrosivité:** La corrosivité de l'environnement en milieu rural est généralement adaptée à l'utilisation de l'acier autopatinable;
- 2_ **Entretien:** Pendant la vie de l'ouvrage les opérations d'entretien de la peinture (en hauteur) sont évitées. Ces opérations peuvent être particulièrement contraignantes compte tenu des restrictions sur la pollution en environnement naturel, pouvant nécessiter la construction de structures provisoires pour recueillir les déchets;

3_ Esthétique: L'acier autopatinable prend généralement une teinte brune en milieu rural et il s'intègre parfaitement dans le milieu naturel. Après un certain nombre d'années la coloration devient assez uniforme et de loin l'oeil ne distingue pas nécessairement la patine protectrice d'une peinture traditionnelle de même couleur. Pour les ouvrages de petites et moyennes portées l'acier autopatinable peut être d'autant plus intéressant que les opérations d'entretien, rapportées à la quantité d'acier à protéger, peuvent devenir relativement importantes. Par ailleurs, pour une charpente métallique de taille modeste posée sous la voie portée, l'effet esthétique est moindre que pour des ouvrages d'arts majeurs avec une bonne visibilité des poutres maitresses dans une vallée ouverte. L'utilisation de l'acier autopatinable pour ce type d'ouvrage a commencé relativement tôt au Luxembourg, la disponibilité des profilés de commerce rendant également cette solution particulièrement attractive du point de vue économique. La première génération d'ouvrages a été conçue à la fin des années 1970.



6_ Viaduc de Ditzgesbaach, accès sur l'autoroute A7 – 2013 (Luxembourg)

VIADUC DE DITGESBAACH
Maitre d'oeuvre
Administration des Ponts et Chaussées, Luxembourg
Bureau d'Etudes - Setec T.P.
Génie Civil - Tralux – Perrard - Soludec
Charpente métallique - Arbed
Surface tablier - 2526 m ²
Béton pour tablier - 690 m ³
Armatures pour tablier - 138 tons
Ossature métallique tablier - 550 tons



7_ Viaduc de Mamer, autoroute A6 (Luxembourg)

L'exemple le plus représentatif de cette génération d'ouvrages est probablement l'OA 1001, dit Viaduc de Mamer, construit dans les années 1977 – 1981. L'Autoroute A6 entre Luxembourg et la Belgique surplombe la vallée de la Mamer par un viaduc de 252 m de longueur totale. Le via-

duc est composé de huit travées isostatiques avec portée de 31.20m. Avec un tablier pour chaque sens de circulation, la largeur totale est de 29.60m. La hauteur maximale de la voie portée sur la vallée est d'environ 40m.

Chaque tablier est réalisé avec six poutres maitresses de type HX1100A x 363 kg/ml (comparable à l'actuel HL1000B) avec un entraxe de 2.60 m. Les poutres maitresses sont jumelées deux à deux pour la stabilisation en phase provisoire par des IPE600 aux tiers de la travée. Sur les appuis elles sont reliées par des pièces de pont HEM700 dimensionnées pour le vérinage du tablier. L'hourdi en béton armé a une épaisseur de 28 cm, avec une hauteur de construction totale d'environ 1.26m (élanement $h : L = 1 : 25$). Le grutage s'est fait par grutage successive d'une travée après l'autre. Le viaduc de Ditzgesbaach (figures 5 et 6) réalisé peu après, se base sur une conception tout à fait identique au viaduc de Mamer.



8_ Viaduc de Mamer, autoroute A6 (Luxembourg)

VIADUC DE MAMER
Maitre d'oeuvre
Administration des Ponts et Chaussées, Luxembourg
Bureau d'Etudes - Setec T.P.
Génie Civil - Arbed
Charpente métallique - Arbed
Surface tablier - 6426 m ²
Béton pour tablier - 1800 m ³
Armatures pour tablier - 342 tons
Ossature métallique tablier - 1250 tons

L'OA1001 a été remis en état en 2008 avec la substitution des appareils d'appui et des joints de chaussées. La dégradation de ces derniers au cours des années a causé une humidité persistante sur les abouts de poutres, empêchant une bonne formation de la patine protectrice. Pour cette raison les zones concernées ont été peintes avec une peinture anticorrosion lors de la remise en état (figure 9).

Le résultat de ces premières expériences d'utilisation de l'acier autopatinable au Luxembourg est positif. Les ouvrages sont encore en très bon état alors que certains d'entre eux ont été soumis à une charge routière très importante et fortement accrue durant ces dernières années.

On retrouve néanmoins sur les ouvrages de cette génération des défauts liés à la conception structurelle de l'époque, potentiellement dangereuse pour l'acier autopatinable.



9_ Viaduc de Mamer, autoroute A6 (Luxembourg)

La subdivision en plusieurs travées isostatiques représente en effet un premier risque. Cette conception, très pratiquée à l'époque pour les tabliers en ossature mixte ainsi que pour le béton précontraint, exploite au mieux et de façon très

simple les matériaux – l'acier en zone inférieure en tension et le béton comme table de compression en partie supérieure. Ceci permet en outre de s'affranchir des travaux de rabouffages sur site (les éléments étant préfabriqués à la longueur de la travée) et de tous problèmes de fissuration du béton armé, celui-ci travaillant principalement en compression.

Néanmoins, en phase d'exploitation, cette conception présente l'inconvénient d'un grand nombre d'appareils d'appuis et de joints de chaussées (ou bien de dalles souples entre travées adjacentes). La durée de vie de ce type d'équipement est largement inférieure à celle de l'ouvrage : il faut donc empêcher qu'un mauvais fonctionnement de l'équipement en fin de vie provoque des dégâts sur la structure porteuse. Or c'est ce qui a souvent été constaté, des fuites dans les joints de dilatation ont engendré des dégâts importants sur les poutres métalliques en acier autopatinable (les conditions d'humidité quasi permanente ne permettant pas à la patine de se former correctement) et sur les appareils d'appuis.

Un autre problème rencontré était une distance insuffisante de la poutre de rive avec le bord du tablier. Cette disposition permet en effet d'éviter lors du chantier le coffrage de l'encorbellement en porte à faux. Cependant, en phase d'exploitation, on s'aperçoit que le tablier ne protège pas suffisamment la poutre des intempéries et plus particulièrement des opérations de salage hivernal. De cette façon on retrouve des concentrations en éléments salins dans le raccord inférieure âme-semelle, du côté extérieure. Dans les exemples d'ouvrages mentionnés, les concentrations constatées ne sont pas critiques et n'ont pas donné lieu à de réels problèmes. Cette disposition est néanmoins à éviter. Actuellement, on considère comme suffisante une distance équivalente à la hauteur de poutre, entre la poutre et le bord. La littérature fournit des recommandations à ce sujet.



11_ Viaduc de la Haute Syre, autoroute A1 (Luxembourg)

De conception postérieure, le viaduc de la Syre sur l'autoroute A1 entre Luxembourg et Trèves est un autre exemple réussi d'utilisation d'acier autopatinable en milieu rural. L'ouvrage, d'une longueur totale de 372.5m entre culées, surplombe la vallée de la Syre (affluente gauche de la Moselle) et franchit la ligne ferroviaire à deux voies Luxembourg - Port de Mertert ainsi qu'une route locale. En plan, l'ouvrage se trouve sur un cercle avec une courbure prononcée (rayon de 1500m). La largeur totale de 25.50m est composée par deux tabliers identiques en ossature mixte acier-béton, continue sur onze travées de 33.46m pour les travées de rives et 33.86m pour les travées intermédiaires. La longueur totale entre culées est de 372.5m. Le tablier pose sur des piles à marteaux avec une hauteur maximale de 33.70m de la voie portée sur la vallée.

Les six poutres maitresses de chaque tablier sont réalisées en profilés de commerce de type HX1000B x 399kg/m et HX1000R x 488 kg/m (comparables à la série HL1000 actuelle). Les entretoisées sont des IPE600 avec espacement



11_ Phase de construction du viaduc de la Syre, autoroute A1 (Luxembourg)

de 5m à proximité des appuis et de 12 m en travée. Les éléments de la charpente métallique sont en acier autopatinable de 355 MPa de limite d'élasticité. A noter que cet ouvrage a été dimensionné pour des charges de trafic substantiellement plus importantes que les ouvrages précédemment décrits (notamment avec l'introduction à cette époque du nouveau Fascicule 66 prenant en compte la charge militaire correspondant au Char MC120), ce qui explique la consommation d'acier supérieure.

Les poutres maitresses ont été livrées sur site à la longueur de laminage entre 34m et 40m et posées à la grue. Avec un poids maximal entre 14 et 20 tonnes, il était possible de poser une travée dans une journée. Tous les assemblages sur chantier ont été réalisés à l'aide de boulons à serrage contrôlé en acier autopatinable. Une peinture à la poudre de zinc au silicate donnant un coefficient de frottement élevé a été appliquée sur les surfaces de contact.

L'hourdis participant en béton armé d'épaisseur de 25cm a été coulé de façon traditionnelle sur coffrages en bois. Avec une hauteur de construction de 1.25m, l'ouvrage franchit la vallée avec un élancement prononcé ($h : L = 1 : 27$).

Le viaduc a été mis en service en 1984 et constitue une partie importante de l'axe autoroutier supportant le trafic frontalier très intense. En 2004, les joints de chaussées en correspondance des culées ont été changés sans interventions importantes sur le reste de la structure. Le choix de l'acier autopatinable était judicieux pour une réalisation dans une vallée d'un très grand intérêt du point de vue écologique, puis quelle constitue en particulier un refuge de taille pour la faune ornithologique.



12_ Phase de construction du viaduc de la Syre, autoroute A1 (Luxembourg)

VIADUC DE LA SYRE

Maitre d'oeuvre

Administration des Ponts et Chaussées, Luxembourg

Bureau d'Etudes - Setec T.P.

Génie Civil - Soludec

Charpente métallique - Arbed

Surface tablier - 9275 m²

Béton pour tablier - 2400 m³

Armatures pour tablier - 582 tons

Ossature métallique tablier - 2058 tons

La continuité structurelle présente de grands avantages par rapport à une conception à travée isostatique. En effet, la moitié des appareils d'appuis, et surtout, un sixième seulement des joints de dilatation sont nécessaires. Ceci réduit donc fortement le nombre de discontinuités, zones potentielles de faiblesses, ainsi que les frais d'entretien. Le choix des détails constructifs adéquats (distance de poutre au bord du tablier, conformation des culées) a garanti que l'ossature métallique porteuse soit aujourd'hui en parfait état.

6. Ouvrages de franchissement sur voie circulée

L'utilisation d'acier autopatinable dans le cas d'ouvrage sur voie circulée est également bien adaptée:

1_ **Corrosivité**: ce critère doit toujours être vérifié en fonction du climat local. Dans le cas de trafic routier sous l'ouvrage, il faut également porter une attention particulière au risque lié au salage ; Pour éviter d'importants dépôts de chlorures sur la charpente, une hauteur minimale doit être respectée (des indications sont données dans la littérature). En revanche, dans le cas de circulation ferroviaire il n'y a pas de problèmes particuliers;

2_ **Rapidité de la phase de construction** : en plus de la rapidité de construction propre à l'ossature métallique (pré-fabrication et pose d'éléments relativement légers), l'acier autopatinable évite d'éventuelles retouches avec la peinture anticorrosion;

3_ **Entretien**: les considérations sur les gains d'entretien citées au paragraphe 4 s'appliquent bien entendu pour ces ouvrages;

4_ **Esthétique**: L'apparence de l'acier autopatinable était souvent jugée disgracieuse et celui-ci n'était donc pas conseillé pour les ouvrages de franchissement sur circulation routière. Aujourd'hui, cette vision évolue et plusieurs passages supérieurs sont envisagés en acier autopatinable (par ex. [14]). Quant aux passages supérieurs sur voie ferroviaire, l'aspect de l'ossature sous-voie joue normalement un rôle tout à fait mineur, les usagers ne la voyant généralement pas.



13_ OAT5 Howald CR 231 sur ligne CFL Luxembourg – Bettembourg (Luxembourg)

Au Luxembourg, plusieurs nouveaux passages supérieurs routiers sur voie ferroviaire existante ont été construits en charpente métallique autopatinable. Les portées de franchissement allant typiquement de 15m à 40m, ont justifié l'utilisation de profilés de commerce.

Le pont OAT5 est un exemple d'ouvrage appartenant à cette catégorie. Dans le cadre du redressement de la route CR 231 Gasperich-Hesperange et de la suppression d'un passage à niveau, il fallait construire un pont franchissant les voies de chemin de fer de la ligne Luxembourg- Bettembourg (située sur l'axe important reliant le Luxembourg à la France). La plateforme ferroviaire comporte 6 voies qui devaient être enjambées sans pile intermédiaire, fixant la portée de la travée centrale à 32.90m. Les travées de rive ont chacune une portée de 19.95m permettant le passage de deux voies routières pour la desserte d'une zone industrielle et pour une bretelle d'accès à la route.

Le gabarit ferroviaire vertical ainsi que le tracé en long de la route déterminé en fonction des ouvrages et accès environnants, imposaient une hauteur disponible très limitée pour la construction du tablier : environ 1.25m, avec un élanement de $h : L = 1 : 26$. Les impératifs pour la mise en place du tablier étaient particulièrement contraignants : aucune interruption du trafic ferroviaire (très intense sur cette ligne) n'était permise. D'autre part, une sécurité absolue devait être garantie pour toutes les opérations effectuées au-dessus des voies électrifiées.

Au stade de l'avant-projet, sur les quatre variantes étudiées en détail, la solution mixte à poutres multiples en acier de hauteur constantes, supportant une dalle en béton armé, s'est révélée être l'option la plus économique et répondant le mieux aux impératifs de mise en place et d'entretien.



14_ OAT5 Howald CR 231 sur ligne CFL Luxembourg – Bettembourg (Luxembourg)

L'ouvrage est rectiligne et comporte trois travées de 19.95, 32.90 et 19.95m de portée. Il supporte une chaussée en courbe (rayon 750m) d'un largeur de 15.40m bordée des deux cotées d'un trottoir de 1.50m de largeur utile et d'une barrière de sécurité type BN4. Les piles et les culées en béton armé sont fondées sur des pieux métalliques H. Leur force portante a été contrôlée par essai dynamique lors du battage. Pour la réalisation des semelles des piles situées à proximité immédiate des voies on a eu recours à un blindage en palplanches.

Le tablier est constitué d'une structure mixte continue à poutres métalliques multiples supportant une dalle en béton armé. Les 11 poutres principales, distantes de 1.75m, sont en poutrelles laminées de la série américaine : profil W 840 x 329 kg/m en travée centrale et sur piles, profil W 840 x 299 kg/m en travées latérales. Ils ont été choisis pour leur largeur d'aile de 400mm, qui est plus importante que celle des profils européens correspondants et leur confère une stabilité latérale accrue.

La dalle en béton armé d'épaisseur de 22cm est solidarisée avec les poutres métalliques à l'aide de goujons soudés sur les semelles supérieures. Les 11 poutres maitresses sont entretoisées par des profilés avec modules inférieures W690x125 kg/ml, avec un espacement réduit en correspondance des piles intermédiaires pour empêcher le phénomène d'instabilité de la semelle comprimée. Les éléments de la charpente métallique sont en acier autopatinable avec limite d'élasticité de 355 MPa.

Les appareils d'appui en néoprène fretté sont disposés sous chaque poutre principale. La faible hauteur du tablier (1.243m) comparée à la portée centrale de 32.90m lui confère un aspect léger et élancé.



15_ OAT5 Howald CR 231 sur ligne CFL Luxembourg – Bettembourg (Luxembourg)

Après le parachèvement et le montage à blanc en atelier, les éléments de l'ossature furent transportés par convoi exceptionnel sur chantier – dont les tronçons centraux des poutres principales en longueurs non raboutées de 43m.

Le montage de la charpente métallique a été effectué sans que le trafic ferroviaire ait été perturbé. Afin de réduire les opérations à effectuer au-dessus des voies, les poutres principales ont été préalablement assemblées par paires sur l'aire du chantier avant d'être posées sur les piles à l'aide d'une grue mobile se déplaçant à l'écart des voies. Le poids maximum levé était de 34 tons. Le tronçon de la travée centrale surplombant les voies a été monté durant une nuit de samedi à dimanche, seule période de la semaine pendant laquelle on disposait de quelques intervalles d'une demi-heure à une heure entre les passages des trains. Par la suite les tronçons de rive ont été montés de jour car l'accès pour ces travées n'était soumis à aucune contrainte particulière.

Tous les assemblages sur chantier ont été réalisés à l'aide de boulons à serrage contrôlé en acier autopatinable. Une peinture à la poudre de zinc au silicate donnant un coefficient de frottement élevé a été appliquée sur les surfaces de contact. Pour coffrer le hourdis on eu recours à un coffrage métallique permanent en tôles nervurées galvanisées qui ont été appuyées sur les bords des ailes de poutre principales. De cette façon la circulation ferroviaire n'était pas mise en danger par la manutention des poids à la grue.

Avec le coulage du béton du tablier un ouvrage dans des contraintes complexes a été réalisé de façon simple et efficace.



16_ OAT5 Howald CR 231 sur ligne CFL Luxembourg – Bettembourg (Luxembourg)

OAT5
Maitre d'oeuvre
Administration des Ponts et Chaussées, Luxembourg
Bureau d'Etudes - Setec T.P.
Génie Civil - CDC Compagnie de construction
Charpente métallique - Arbed
Montage - Paul Wurth
Surface tablier - 1120 m ²
Pieux métalliques - 62 tons
Palplanches métalliques - 42 tons
Béton pour semelles - 200 m ³
Béton pour piles et culées - 370 m ³
Béton pour tablier - 360 m ³
Armatures pour tablier - 90 tons
Ossature métallique tablier - 296 tons



17_ OAT293 Dudelange, C161 sur ligne CFL-SNCF Luxembourg – Metz, env. 1978 (Luxembourg)

L'acier autopatinable se montre donc très intéressant pour les ouvrages sur voie circulée, permettant d'éviter les opérations de remise en peinture et exploitant au maximum l'avantage de la rapidité de pose. En dehors de l'exemple mentionné, l'exécution devient encore plus

simple dans le cas de franchissement de section ferroviaire courante à deux ou trois voies, comportant donc une portée comprise entre 20 et 35m (en fonction du type de culée et de longueur du talus). Cette longueur peut alors être réalisée sans aucun raboutage des poutrelles principales (voir figure 17).

7. Une nouvelle tendance aux USA

L'utilisation des profilés de commerce en acier autopatinable pour la réalisation d'ouvrages d'art de petites et moyennes portées est une pratique bien implantée aux États-Unis. La conception classique prévoit un tablier multi-poutres classique entretoisées par des contrevents en K ou en X. La nuance d'acier est le Grade 50W suivant la norme ASTM A709, qui est proche de la nuance européen S355W. Cette conception s'est révélée fiable et bon marché sur les dernières décennies face aux solutions classiques en béton précontraint sur les moyennes portées.



18_ Exemple des Pont de Las Cruces (gauche) et Pont de Hatch (droite)

Une tendance récente très intéressante est la réalisation d'une connexion monolithique entre le tablier et la sous-structure, pour réaliser les ainsi nommé ponts intégraux. Dans un premier temps les poutrelles sont posées en travée isostatique entre les appuis et supportent ainsi le poids propre de la structure. Avec le coulage des chevêtres en béton armé en correspondance des piles et des culées, ainsi que de la dalle, on réalise une structure solidarifiée avec continuité complète pour la transmission des charges d'exploitation et de séisme.

Les portées moyennes et la constitution des piles intermédiaires assez élancées permet d'avoir de moments réduits en fondation. Les culées sont souvent posés sur des pieux métalliques qui grâce à leur flexibilité unie à une grande résistance s'adaptent au mieux aux déformations imposés.



19_ Vue de l'encastrement sur piles intermédiaires et sur culées – Pont de Hatch.

Le principal avantage de cette technologie est d'éviter tout l'équipement structurel (appareils d'appui, joints de chaussées) ayant une durée de vie inférieure à celle de l'ouvrage. Associée au choix de l'acier autopatinable, cette technologie vise donc l'objectif d'ouvrages d'art *maintenance-free*: sans nécessité d'opération d'entretien au cours des années. Un autre aspect important est la résistance au séisme substantiellement accrue par rapport aux solutions traditionnelles en béton préfabriqué, grâce à la réduction importante du poids du tablier et à une liaison monolithique avec la sous-structure.

8. Conclusions

Dans le contexte actuel, l'acier autopatinable connaît un nouvel intérêt pour son utilisation dans le domaine des ouvrages d'art. Les expériences en demie teinte sur les ouvrages construits dans le passé doivent permettre aujourd'hui de ne retenir que les bonnes pratiques. L'acier autopatina-

ble, est une réponse efficace pour la protection anticorrosion de l'acier, quand il est utilisé dans un environnement et dans des conditions adéquates. Il permet alors de minimiser les interventions d'entretien et les coûts inhérents.

Dans le domaine des petites et moyennes portées, la possibilité d'utiliser des profilés de commerce est d'un grand intérêt. La gamme dimensionnelle et les nuances proposées, offrent au concepteur des possibilités structurelles innovatrices dans le cadre budgétaire des solutions traditionnelles en béton armé.

La nouvelle tendance de concevoir des tabliers monolithiques avec les fondations semble prometteuse. La conception de ce type d'ouvrage a aussi débuté en Europe ces dernières années, avec quelques projets innovants, et toujours dans l'optique de construire des ouvrages vraiment durables, qui ne feront pas payer aux prochaines

générations les coûts d'entretien des réalisations d'aujourd'hui.

www.arcelormittal.com/sections

Abstract:

Self-weathering steel is nowadays again center of new interest for bridges applications. The experiences, positive and negative, collected over the last decades have shown the way towards the good practice of this special grade, which has to be understood as a possible solution for retrieving the corrosion problem of structural steelwork. The mission of self-weathering steel is to minimize the maintenance interventions and the relative costs for the administration. In this article the possible use of hot-rolled sections is showed for small to medium span bridges, presenting into details different types of case studies in Luxembourg and discussing the collected experiences.

9. Références bibliographique:

- 1_ SETRA – P. Mehue, Note d'information sur les aciers de construction avec résistance améliorée à la corrosion atmosphérique, 1982.
- 2_ DAST Richtlinie 007, Lieferung, Verarbeitung und Anwendung wetterfester Baustähle, 1993.
- 3_ ECCS 81, The use of weathering steel in bridges, 1997.
- 4_ UK DESIGN MANUAL FOR ROADS AND BRIDGES, Weathering steel for highway structures, 2001.
- 5_ Ted L. Barber, Cost effective detailing of a dead load simple live load continuous weathering steel girder bridge, 2002.
- 6_ ASTM, G101-04 Standard, Guide for Estimating the Atmospheric Corrosion Resistance of Low-Alloy Steels, 2004.
- 7_ CEN, EN 10025-5-2005, Hot rolled products of structural steels - Part 5: Technical delivery conditions for structural steels with improved atmospheric corrosion resistance, 2004.
- 8_ Merkblatt 434, Wetterfester Stahl, Stahl-Informations-Zentrum, 2004
- 9_ Daniel Enrique Morales, Feasibility Study of continuous for live load steel bridges, 2004.
- 10_ Modern Steel Construction, National Award: Box Elder Creek Bridge, 2007.
- 11_ G. Hanswille, Composite bridges in Germany – State of the Art, 2010.
- 12_ Jean-Michel Morel, Ouvrages d'art et développement durable - Recensement des ouvrages français en acier autopatinable par le CETE de l'Est, 2012.
- 13_ ArcelorMittal Long Carbon Europe, Profilés et Aciers Marchands, Programme de Vente 2012.
- 14_ Genereux, Michel, Jandin, Cousin, Présentation du projet innovant du pont du Bosc sur A75, 2013.
- 15_ Page internet du Bureau d'Etude Luxoa : www.luxoa.lu



EVA

ENVIRONNEMENT ET
AGRO-BIOTECHNOLOGIES



ISC

INFORMATIQUE, SYSTEMES
ET COLLABORATION



SAM

SCIENCE ET ANALYSE
DES MATERIAUX



CRP - GABRIEL LIPPMANN

TROIS DÉPARTEMENTS AU SERVICE DE VOTRE INNOVATION

Acteur majeur de la recherche scientifique et du transfert de technologie au Luxembourg, le CRP - Gabriel Lippmann met à votre service ses compétences de haut niveau et ses technologies de pointe.

Die elektromagnetische Strahlung im Frequenzbereich von 0,3 THz bis 3 THz wird als Terahertzstrahlung bezeichnet und schliesst die Lücke zwischen den Mikrowellen und Infrarotwellen (Abbildung 1). Eine von vielen tollen Anwendungen fände die THz-Strahlung beim DNA-Scanner, mit dem in Zukunft Krebs früher erkannt und dadurch besser bekämpft werden kann. Vorteilhaft bei der Terahertz-Strahlung ist dass sie im Gegensatz zur Röntgenstrahlung als ungefährlich für den Menschen gilt.

Gewinner des Prix Revue Technique 2013

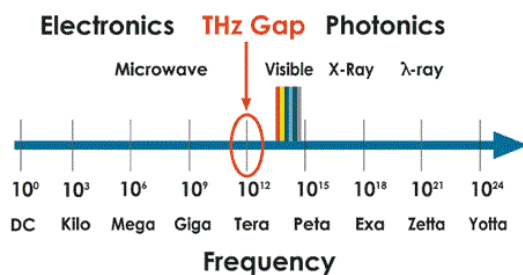
BERECHNUNG EINER HOCHIMPEDANTEN ANTENNE FÜR EINEN TERAHERTZ PHOTOMISCHER_

Robert Jannizzi

Eine Problemstelle ist die Erzeugung dieser Strahlung: Bis heute ist es nicht gelungen, eine effiziente und zugleich kompakte und kostengünstige Strahlungsquelle zu bauen.

Eine Möglichkeit für die Erzeugung von THz-Strahlung, die auch in dieser Arbeit eingesetzt wird, gelingt mittels eines Photomischers, bestehend aus dem Halbleitermaterial Galliumarsenid (GaAs). Nachteilhaft bei der Verwendung von Photomischern ist die resultierende geringe Ausgangsleistung wobei wiederum vorteilhaft ist dass sie ziemlich kostengünstig sind.

Ein Grund für die niedrige Ausgangsleistung ist die elektrische Fehlanpassung zwischen hochohmigem Photoleiter und niedriger Antennenimpedanz.



1_ Die „Terahertz-Lücke“

Ziel dieser Abschlussarbeit ist es, eine T-Match-Antenne an einen Photomischer anzupassen um die Leistung dadurch zu erhöhen. Die Impedanz der T-Match-Antenne (in der Theorie) ist mit ca. 600 Ω für eine Antenne ziemlich hochohmig, sodass die nötige Anpassschaltung relativ unkompliziert wird. Als Zusatz wird auch die T²-Match-Antenne angepasst, um somit ein Vergleich zwischen beiden Antennen darstellen zu können.

Das Design der Photomischerschaltung erfolgt mit dem Simulationsprogramm „CST Microwave Studio“, welches auf den elektromagnetischen Bereich spezialisiert ist. Die Optimierung der Schaltung wird durch Variation der Antennenparameter (Antennenengeometrie) bestimmt.

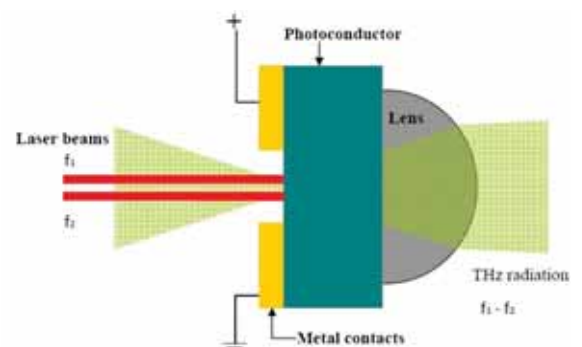
Erzeugung

Die Erzeugung von THz-Strahlung erweist sich als technisch schwierig. Über Halbleiterlaser ist dieser Bereich nicht direkt

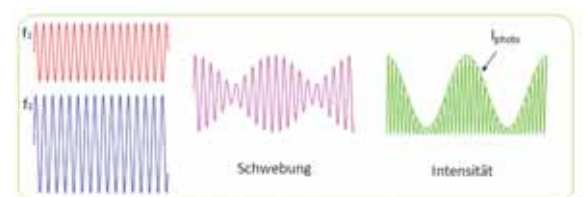
zugänglich, da keine Halbleiter mit entsprechender Bandlücke existieren. Über einen optoelektronischen Ansatz lässt sich THz-Strahlung effizient und kostengünstig erzeugen: nahinfrarotes Laserlicht wird dazu auf eine spezielle Halbleiterstruktur fokussiert. Der hervorgerufene Photostrom dient wiederum als Quelle für die Terahertz-Welle.

Photomischer

Je stärker die Intensität des Lichtes ist das auf einen Photowiderstand einfällt, umso kleiner wird der Widerstand, wovon der Photomischer Nutz macht. Es fallen zwei Laser mit leichter unterschiedlicher Frequenz, z.B. 380 THz und 381 THz, auf das Substrat (z.B. GaAs) des Photomischers (Abbildung 2). Das Resultat der additiven Überlagerung beider Laserstrahlenschwingungen führt zu einer Schwebung der Lichtintensität.



2_ Aufbau eines Photomischers



3_ THz-Erzeugung durch Photomischen

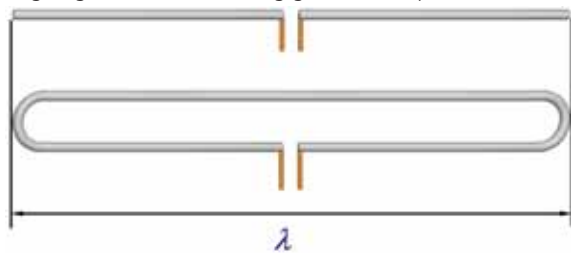
Man spricht von einer Schwebung, wenn sich die Amplitude einer Schwingung periodisch mit der Frequenz ändert. Nimmt man die Schwebung nun im Quadrat, dann ergibt sich die Intensität und man erkennt in der Kurve, dass die

umhüllende Kurve die erzeugte 1 THz Schwingung ist (Abbildung 3). Diese Schwingung von 1 THz moduliert den Photostrom sodass ein Gleichstrom mit Wechselanteil von 1 THz erzeugt wird.

Die T-Match- und T²-Match-Antenne

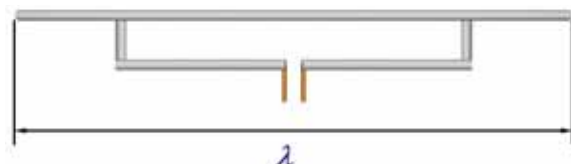
Ein λ -Dipol hat eine Antennenimpedanz von 70Ω sodass eine Impedanztransformation notwendig ist um diese Antenne an eine 2-Draht-Leitung von 300 bis 600Ω charakteristischer Impedanz anzupassen.

In Abbildung 4 sieht man ein modifizierter Dipol. Durch die Änderung der Antennen geometrie erhöht sich die Impedanz auf ca. 300Ω und kann somit an eine 2-Draht-Leitung gleicher Impedanzcharakteristik angeschlossen werden. Solche Antennen bezeichnet man als Faltdipol, oder genauer gesagt als 2-Draht-Leitung gefalteter Dipol.



4_ Gestreckter Dipol (oben) und Faltdipol (unten)

Eine weitere effektive Anpassungstechnik ist mit der T-Match-Verbindung, in Abbildung 5, möglich. Mit dieser Methode ist der Dipol durch einen anderen Dipol mit der Übertragungsleitung verbunden. Der kleine Dipol wird an den großen „angeklemmt“ und beide sind durch einen kleinen Abstand voneinander getrennt. Die Übertragungsleitung wird an das Zentrum des kleineren Dipols angeschlossen. Die T-Match-Antenne ist also eine umgeformte Version des Faltdipols und kann Impedanzen von bis zu 600Ω erreichen.



5_ T-Match-Antenne

Durch die Spiegelung der T-Match-Antenne erhält man die Antennenstruktur aus Abbildung 6. Sie wird als T²-Match-Antenne bezeichnet und weist höhere Impedanzen auf als die normale T-Match-Antenne. Die Erhöhung der Impedanz soll in dieser Abschlussarbeit bewiesen werden.



6_ T²-Match-Antenne

CST Microwave Studio

CST Microwave Studio ist ein 3 dimensionaler Simulator zur Berechnung elektromagnetischer Felder im Hochfrequenzbereich.

Diese Software beeindruckt besonders durch eine bedienerfreundliche und gut gelöste Programmoberfläche zur Erstellung von 3 dimensionalen Designs.

CST MWS ermöglicht eine schnelle und genaue Analyse von Hochfrequenz-Geräten wie Antennen, Filter, Koppler und EMV-Einflüsse. Die Software stellt verschiedene Solver zur Verfügung, wobei in dieser Arbeit mit dem Frequency Domain Solver simuliert wird.

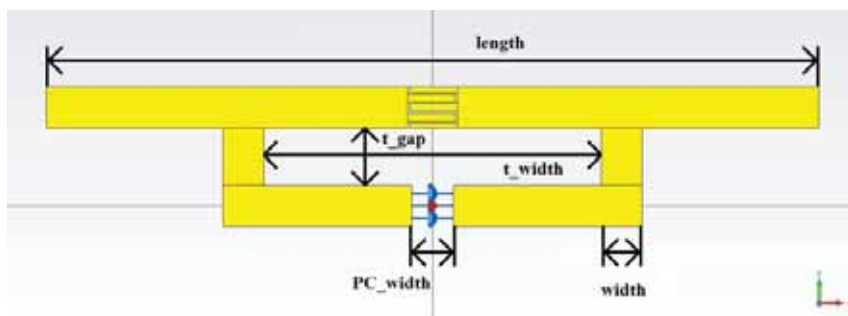
Der Simulationsumfang von CST ist in dem Sinne begrenzt, dass das Programm nur die Maxwell'schen Gleichungen löst.

Design

Um die T-Match- und T²-Match-Antenne zu simulieren wird im CST ein passendes Design (Abbildung 7) für sie entwickelt. Die Antenne befindet sich auf einem GaAs-Substrat. Die parasitischen Kapazitäten werden dargestellt durch die Lumped Elements (Abbildung 8) um das Benehmen des Photoleiters mit ein zu beziehen. Die AC-Kopplung (Abbildung 9) sorgt dafür dass kein Kurzschluss in der Antenne entsteht wenn die Bias-Spannung angeschlossen wird.

Die Nenndaten der in der Arbeit simulierten Antennen lauten wie folgt:

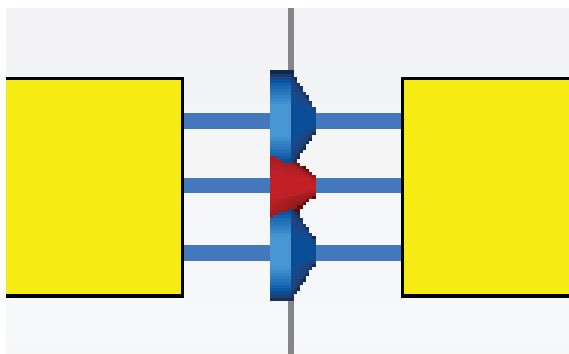
thickness = 0,15 μm	PC_width = 5 μm
width = 5 μm	t_width = 92 μm
length = 98 μm	t_gap = 5 μm



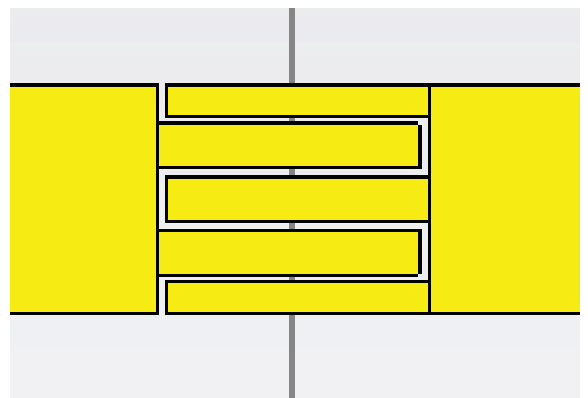
7_ Dimensionierungen der T-Match-Antenne

Folgende Namensgebung wird verwendet:

thickness	Dicke der Metallschicht
width	Leitungsbreite
length	Breite der Antenne
PC_width	Breite des Photoleiters
t_width	Breite der Dipolkomponente
t_gap	Länge der Antenne



8_ Kapazitäten um den Photoleiter darzustellen

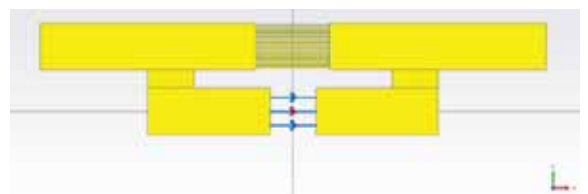


9_ AC-Kopplung

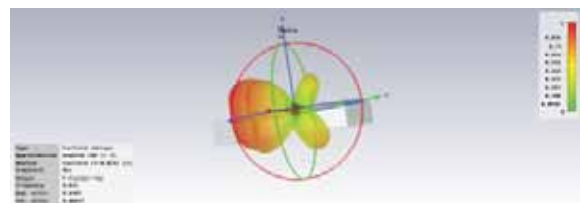
Im Programm wurden die Breite und die Länge der Antennen, die Leitungsbreite, die Breite der Dipolkomponente, die sogenannten Lumped Elements als auch die AC-Kopplung so oft variiert, bis dass bei einer Resonanzfrequenz zwischen 0,8 und 1 THz die Antennenrichtwirkung stärker und verbessert wird.

Simulierte T-Match-Antenne

Nach mehreren Versuchen und Variationen jedes Parameters erhält man dann dieses Design für die T-Match-Antenne:



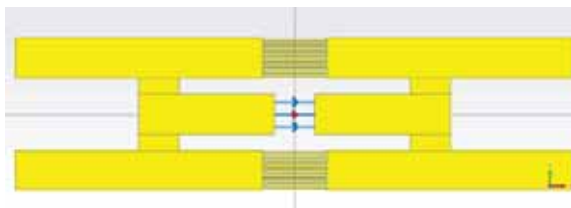
10_ Design der T-Match-Antenne



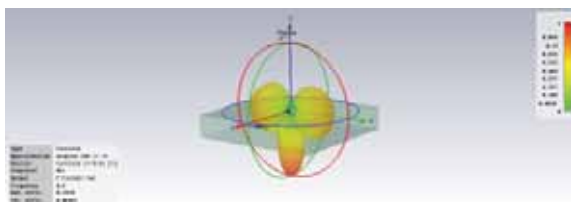
11_ Richtwirkung der T-Match-Antenne in 3D

Simulierte T²-Match-Antenne

Und anschließend erhält man dieses Design für die T²-Match-Antenne:



12_ Design der T²-Match-Antenne



13_ Richtwirkung der T²-Match-Antenne in 3D

Vergleich zwischen der T-Match- und der T²-Match-Antenne

Bei beiden Antennen wurden die verschiedenen Einwirkungen der Parameteränderungen auf die Antenne beobachtet und dann ein Parameter gewählt wo die Resonanzfrequenz bei 0,9 THz liegt.

Der Strahlungswiderstand bzw. die Ausgangsleistung bei der Antennen liegt sehr nahe beieinander, wobei bei der T²-Match-Antenne die Richtwirkung (Abbildung 13) deutlich stärker in die richtige Richtung abstrahlt wie bei der T-Match (Abbildung 11).

Schlussfolgerung zur T-Match-Antenne

Die Ausgangsleistungen der beiden ist praktisch die gleiche, doch der Unterschied liegt beim Blindwiderstand der AC-Kopplung und bei der Richtwirkung. Die Kapazität der AC-Kopplung des ersten Designs ist geringer als beim zweiten Design, daraus folgt dass der Blindwiderstand des zweiten Designs kleiner ist als der des ersten. Aus diesem Grund kann die Antenne des zweiten Designs besser abstrahlen

und deshalb erhält man eine etwas bessere Richtwirkung als beim ersten Design.

Schlussfolgerung zur T²-Match-Antenne

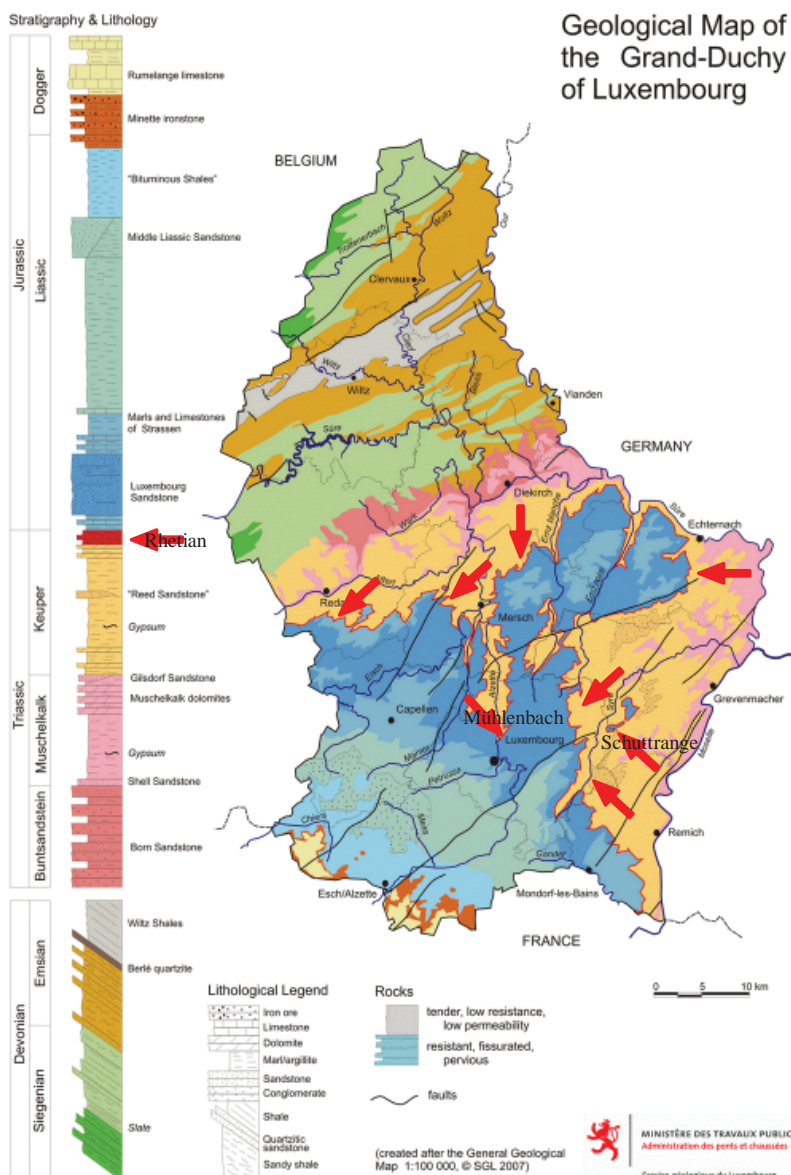
Es konnte festgestellt werden dass die T²-Match-Antenne eine Umsetzung ist eines doppelten Faltdipols. Die T²-Match-Antenne verhält sich fast genau gleich wie die T-Match-Antenne, nur dass ihr Strahlungswiderstand viel höher ist und die Richtwirkung besser ist (symmetrisch).

Ein Nachteil dieser Antenne ist, dass man hier nur über geringen Platz verfügt um eine Mikrowellen-Drossel hinzuzufügen zu können damit kein Durchlass vom THz-Strom in die Bias-Zuleitung auftritt.

Luxembourg is geologically divided into two parts: Oesling in the North and Gutland in the Middle and South. Oesling is part of the Ardennes plateau. Gutland was formed in the Triassic and Jurassic ages and is much younger than Oesling. It consists mainly of sedimentary rocks.

THE SOIL OF LUXEMBOURG AND THE WEAK RHAETIAN CLAY

Prof. Dr. Ir. Stefan Van Baars



Luxembourg has a variety of interesting, weak or problematic soils, such as the swelling gypsum layers, the layered schists of Wiltz and especially the weak Keuper-Rhaetian-clay. The Rhaetian clay layer is mostly rather thin and is found at a relatively constant altitude and the band where it comes to the surface is identified by the varying erosion erratically found throughout Gutland. Approximately two third of all landslides are found along this line.

Hence it was decided to investigate the Rhaetian clay in the geotechnical laboratory of the University of Luxembourg. Samples were taken from a pit at Rue de Mühlenbach on the north side of the city of Luxembourg and from a sliding slope of a building pit in Schuttrange.

The friction angle was found to be $\phi = 8^\circ$ at Mühlenbach and $\phi = 13^\circ$ at Schuttrange, which are both record low friction angles, which explains the high number of landslides in Luxembourg.

Keywords: Soft Clay, Triaxial Test, Slope Failure

Introduction

The small and hilly country Luxembourg has a strong economy and a population growth of almost 2,5% per year, mainly due to the large immigration surplus. On a total population of 537.000 people (2013), every day more than 150.000 employees pass the border and commute from Belgium, Germany and France to Luxembourg. Therefore there is a high demand for new offices and houses, which are because of the shortage, the relative high salaries and the low interest rates, very expensive. This explains why many new construction sites are found in ever more geologically complex locations. Here the geology determines to a large extent the geotechnical engineering. Most new constructions have an underground garage constructed in a building pit. For the geotechnical engineer in Luxembourg, this combination of complex soils, deep excavation pits, many projects and enough money is a dream situation. But also many unexpected landslides have occurred in the past.

Oesling

The country is geologically divided into two parts: the North, which is called Eisleck or Oesling; and the combined regions of Middle and South, called Gutland, literally the

1_ Geological map of Luxembourg with indication of Rhaetian clay outcrop (Map: Administration des Ponts et Chaussées, Geological Service du Luxembourg)

“good land”. Oesling is part of the Ardennes plateau and has an elevation up to 550 m. It is largely covered with forest and consists mainly of Quartzite and Schist formed in the Devonian era. Quartzite is sandstone, metamorphosed under high pressure and temperature. Schist is a rock that becomes layered during its formation, often by the preferred orientation of micas. The rock layers in Oesling are often folded and rotated; usually around 45 degrees, see the legend on the left in Figure 1.

Sometimes the stratification of the Schist of Wiltz (which is mainly found around Wiltz) is almost perpendicular. Since the shear strength along the layers can be very low, there can be a risk of a sudden slope failure. The owner of the parking lot next to a Schist rock face in Clervaux, was warned by the local authorities, but still did not plan to carry out a serious stabilisation. In the winter during frost, the wall collapsed and flooded the car; see the photo of figure 2. Fortunately nobody was in the car during the collapse. Afterwards the municipality stabilised the rock face on the expenses of the owner.



2_ Excavation of the car after rock face collapse in Clervaux (Photo: R. Becker)

Gutland

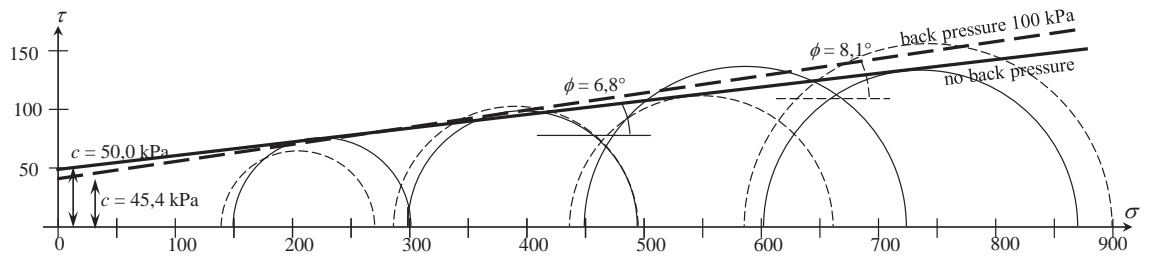
Gutland was formed in the Triassic and Jurassic ages and is much younger than Oesling. It consists mainly of sedimentary rocks, such as limestone, sandstone, dolomite, and a little gypsum. There are swelling gypsum layers in the south-east of the country that present significant problems at the

tunnel from the A13 motorway through the Markusberg-hill near Schengen. The sedimentary history causes the soil layers to be horizontally askew, usually only 1 to 5 degrees, see the legend on the left in figure 1. This ensures that the altitude of the ground surface determines the type of soil at the surface. The oldest layers are thus the deepest layers. These are found along the rivers Alzette (downstream), Sauer, and Moselle, and therefore near many communities, including Mersch, Diekirch, Echternach, Wasserbillig (MSL +129 m), and Remich. The youngest layers are found near Esch sur Alzette (MSL +426 m) and are therefore the highest. Here also ferruginous layers are found, from where up to the 1970s iron ore was extracted. That is why the sheet piling manufacturer Arcelor-Mittal (formerly Arbed) is also established there. The coal needed for the blast furnace also came from the region, namely Saarland, where the last mine closed in 2012.

Rhaetian

The Keuper layer, or the upper Triassic layer, consists mainly of marl and sandstone. Interestingly, in Luxembourg these layers are covered by thin layers of clay, named Rhät (D), Rhaetium (Lat), Rhétien (Fr) or Rhaetian (Eng). The thickness of the clay layers varies usually between one and a half decimetre and a few meters. The Rhaetian layer is found at a relatively constant altitude and the band where it comes to the surface is identified by the varying erosion erratically found throughout Gutland (narrow red line in the map indicated by red arrows). Approximately two third of all landslides are found along this line. Often this line is also the line that the valleys follow around the rivers. Since roads and residential areas also follow this line (for example the communities of Mersch, Walferdange, Beggen, and Dommeldange along the river Alzette) and since there are a lot of construction sites in these zones, there are regularly slope failures at the building pits of these construction sites.

Hence it was decided to investigate the Rhaetian clay in the geotechnical laboratory of the University of Luxembourg. It was suspected that, either the cohesion, or the angle of internal friction of the clay, or even both, may be very low.



3_ Mohr-Coulomb line for Rhaetian clay from Mühlenbach

Triaxial tests

As a preliminary study, a series of triaxial tests were performed on regular potter's clay. After this, two series of CU-triaxial tests were carried out on Rhaetian clay from a pit at Rue de Mühlenbach on the north side of the city of Luxembourg. The unit weight of this clear solid clay was determined to be: $\gamma_{\text{sat}} = 19,7 \text{ kN/m}^3$, $\gamma_{\text{dry}} = 16,0 \text{ kN/m}^3$ and the porosity $n = 39,4\%$.

The first series consisted of 4 tests without back pressure (increased pore water pressure in the sample), the second of 4 tests with a back pressure of 100 kPa. The loading speed of the triaxial apparatus was 1 mm/min.

The first series were executed without back pressure because the goal was to find the cause for the many landslides, so realistic circumstances were needed: In situ, no higher values for the pore water pressure can be found than the natural hydrostatic groundwater pressure, so it is better to copy this for the tests. The reason for also executing a second series with back pressure was the very low change of pore water pressure that was measured during the first series. For clays with a neutral behaviour, one expects normally a change of pore water pressure of a third of the vertical load increase. For dilatant behaviour this is somewhat lower and for contractant behaviour this is somewhat higher. However, in the test series without backpressure, values of this so-called Skempton coefficient A of less than 1% were found, which is remarkably low. It was as if the clay was not (well enough) saturated.

The experimental series with backpressure showed values varying between 4% and 8%, which is higher, though still very low. The first series without back pressure showed a friction angle of $\phi = 7$ degrees and a cohesion of $c = 50 \text{ kPa}$, the second series with back pressure showed a friction angle of $\phi = 8$ degrees and a cohesion of $c = 45 \text{ kPa}$, see Figure 3. The strength results of the two series are within each error range. The measured cohesion is still fairly normal. What is most extraordinary is the very low friction angle.

Shear slope at Schuttrange

While performing the tests, the authors were informed about a new landslide at a construction site between Schut-

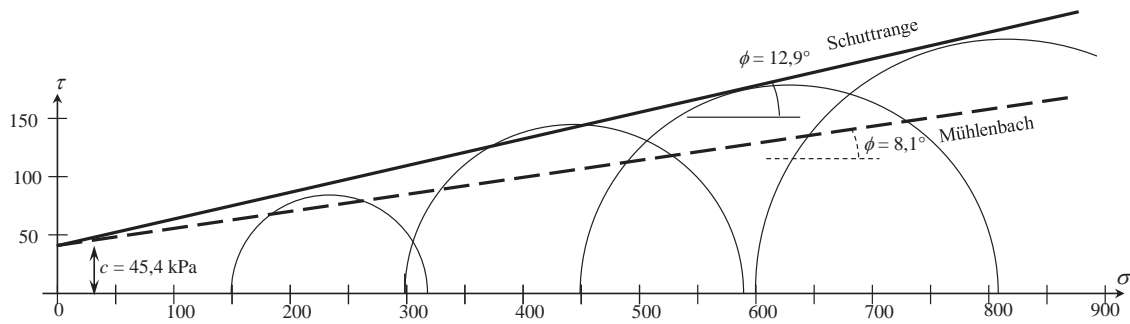
trange and Schrassig, which was already going on for several days, since about June 22, 2012, see Figure 4. This is a building pit of an expensive villa with an underground parking lot. In the design phase the pit was planned to consist partly of a slope and partly of a Berliner wall, but to save money, this was later changed to only slopes. The shearing of the slope began at the Rhaetian layer and very slowly progressed. The analysed Rhaetian clay layer is grey and is located between a yellow clay layer on top and a red clay layer below. The excavated soil was put on the edge next to the excavation, see top right of Figure 4. The picture was taken while the contractor was covering the slopes with plastic, see on the left of Figure 4, to protect the slope against rain and perhaps to deprive the sight of annoying photographers.



4_ Slope failure on Rhaetian clay layer in Schuttrange, July 5, 2012 Photo: M.Bautista)



5_ Slope failure on Rhaetian clay layer in Schuttrange, August 6, 2012 (Photo: R. Becker)



7_ Mohr-Coulomb line Rhaetian clay from Schuttrange



6_ Slope failure on Rhaetian clay layer in Schuttrange, September 9, 2012
(Photo: S. Van Baars)

Figures 5 and 6 show the situation one and a half months after the start of the shearing.

The clay of this interesting case has been investigated as well. The unit weight of this Rhaetian clay was determined to be: $\gamma_{\text{sat}} = 20,5 \text{ kN/m}^3$, $\gamma_{\text{dry}} = 17,0 \text{ kN/m}^3$ and the porosity $n = 41.8\%$. Four Triaxial tests without backpressure were made on this clay taken from the building pit. As with the clay from Mühlenbach (Luxembourg City), the Skempton coefficient A was very low (between 0.5% and 1.5%). On the basis of an approximately equal cohesion, the friction angle was measured to be $\phi = 13$ degrees, see Figure 7. Although the friction angle from the clay at Schuttrange is clearly higher than the clay from Mühlenbach, it remains extremely low, which explains the occurred slope failure.

Conclusion

For clays, an average peak friction angle of $\phi = 25$ degrees is used for calculations. Sometimes it is a bit lower, like London Clay has a friction angle of only $\phi = 20$ degrees (Terzaghi et al, 1996). For weak, clean, and pure clays in the Netherlands and Germany a minimum friction angle of $\phi = 17.5$ degrees (NEN 9997-1 and EAU 1990) may be considered in stability calculations.

According to Bjerrum and Landva the quick-clay landslide in 1959 in Furre, Norway, had a back-calculated friction angle of 7 degrees (Bjerrum and Landva, 1996, 2008). The friction

angle measured with a simple shear apparatus was $\phi = 9$ degrees, but the values for the friction angle measured with a Triaxial test were found to be around $\phi = 21$ to 25 degrees. So, the Rhaetian clay in Luxembourg could be one of the clays with the lowest friction angle in the world. Therefore some new plans are made for the future to obtain some optimally, fresh, undisturbed samples of Rhaetian clay. These should be analysed using further Triaxial test series to validate the previous findings. The results found herein suggest that other friction angles should be used for stability calculations, and these further studies could lead to safer construction in the region.

www.uni.lu

References

- Bintz, J et al. (1979) Zur Ausbildung des Rhäts in den Flachbohrungen Mersch (Luxemburg), Publications du Service Géologique du Luxembourg Bulletin N° 10/1979
- Bjerrum, L. And Landva, A.O. (1996) Direct simple-shear tests on a Norwegian quick clay, *Geotechnique* 16(1), p1-20
- EAU (1990), Empfehlungen des Arbeitsausschusses "Ufereinfassungen" Hafen und Wasserstrassen, Ernst & Sohn, 1990
- Landva, A. (2008), Simple shear testing and behavior of Norwegian Quick Clays – Revisited, *GeoCongress 2008, From Research to Practice in Geotechnical Engineering*, ASCE, ISBN 978-0-7844-0962-6, pp 230-250.
- Muller, A. (1974) Die Trias-Lias Grenzschiechten Luxemburgs, Veröffentlichung des Luxemburger Geologischen Dienstes Vol. XXII.
- NEN 9997-1-NL (2011), Geotechnisch ontwerp van constructies - Deel 1: Algemene regels, Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, Tab. 2.b, p50 (Previously Tab. 1 of NEN 6740)
- Service géologique du Luxembourg, Geological Map of the Grand-Ducy of Luxembourg, Administration des ponts et chaussées, www.geologie.lu
- Terzaghi, K. Peck, R.B. Mesri, G. (1996), *Soil Mechanics in Engineering Practice*, John Wiley & Sons, Tab. 19.5, p154
- Van Baars, S., Bautista, M., Becker, R. (2013), *De Luxemburgse bodem en de zwakke Rhät klei*, *Geotechniek*, Educom, Rotterdam NL, ISSN 1386-2758, April 2013

Substitution of hazardous substances is a fundamental measure to reduce risks to human health and the environment. Several pieces of Community legislation and international agreements exist on substitution, either directly or more or less closely related to it. Chemicals are regulated under different frameworks and risk assessment has to be considered for regulatory decision making. Over the last years, the European Union has modernised its chemicals legislation and introduced new principles. They strongly emphasise the substitution of certain hazardous chemicals such as the so called 'Substances of very high concern' (SVHC) under the REACH Regulation and substances of concern according to other specific Community legislation, e.g. on biocidal products and plant protection products.



Substitution principle for substances of concern

PARADIGM CHANGE IN RISK ASSESSMENT AND A CHALLENGE FOR SME

Dr. Ruth Moeller and Dr. Arno P. Biwer, REACH&CLP team, CRP Henri Tudor

(Pure) hazard criteria are considered in regulatory decision making. These cut-off or exclusion and substitution criteria are applied independently of standard risk assessment and aim in restricting the use or phasing out of substances with very severe intrinsic properties which may pose unacceptable risk to human health or the environment. These substances are mainly identified by their harmonised classification and labelling according to the CLP Regulation based on their intrinsic hazardous properties. Less emphasis is given to assess whether the chemical actually presents a risk or if efforts can be done to reduce the exposure and thereby minimising risk arising from the use of such a substance.

This paradigm shift in risk assessment and regulatory management of chemicals and the underlying pre-cautionary principle has consequences that are currently most evident for chemicals under REACH but also for the authorisation of pesticides. Policy instruments are a major driver of chemical substitution and consequently impact innovativeness in the chemical industry. Companies, especially small and medium-sized (SME), face several challenges when considering substitution of chemicals which they use and which play a key role in their product or process and thus in business and competitiveness.

1. Introduction

REACH¹ is the European Regulation on chemicals and their safe use which entered into force for the whole European Union (EU) in June 2007. This framework regulation deals with the registration, evaluation, authorisation and restriction of chemicals. The aim of REACH is to improve the protection of human health and the environment while at the same time to enhance innovation and competitiveness of the EU chemical industry, a key activity sector for European economy. Historically, REACH was developed and adopted to address the growing concern on long-term and unforeseen effects of chemicals with the pre-cautionary principle and a better understanding of the properties of substances and the risk they may pose.

This better and earlier identification of properties is achieved through the registration obligation, imposing a large burden on industry to systematically gather substance data, assess the hazardous properties and the risks arising



from their use, and subsequently to recommend appropriate risk management measures (RMM) to the so-called downstream users (DU) via Safety Data Sheets (SDS). DUs have to ensure that the minimum RMM are in place to adequately control the risk and that hazardous substances are only used as recommended by the supplier.

The restriction provisions of REACH should ensure that substances, on its own, in mixtures or in articles, are not placed on the market or used when there is unacceptable risk, which need to be addressed on a Community-wide basis. Finally, the authorisation title of REACH lays down provisions for substances of very high concern, i.e. those with certain severe hazardous properties, and aims in adequate control of risk, if authorised to be used, and in progressive replacement by safer alternatives. A harmonised identification of the intrinsic hazardous properties is facilitated by the CLP Regulation² on classification, labelling, and packaging of substances and mixtures. It entered into force in 2009 and implements the UN Globally Harmonised System (GHS).

Compared to the former legislative framework, REACH introduces a compulsory substitution principle based on the hazardous properties in addition to the already previously established restriction measures which are risk-based. Generally, chemical risk may arise when a hazardous substance is used in a way potentially exposing humans or the environment. With other words, risk depends on the likelihood of exposure and can be minimised by control of exposure (reduce or avoid). The introduction of the substitution principle in environmental regulation in such a direct way has also been achieved at the same time for the revision of the pesticides legislation (Biocidal Product Regulation (BPR)³, Plant Protection Products Regulation (PPR)⁴), which recently entered into force.

1_ Regulation (EC) No 1907/2006 on Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH)

2_ Regulation (EC) No 1272/2008 on classification, labelling and packaging of substances and mixtures (CLP)

3_ Regulation (EU) No 528/2012 of the European Parliament and of the Council of 22 May 2012 concerning the making available on the market and use of biocidal products

4_ Regulation (EC) No 1107/2009 of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 concerning the placing of plant protection products on the market and repealing Council Directives 79/117/EEC and 91/414/EEC

Companies developing and using existing or new products have to consider regulatory requirements. Not only REACH and CLP, but also further specific national or Community legislation regulate the presence, use or emission of certain chemicals as such (e.g. volatile organic carbons), during certain life cycle stages (e.g. use or waste stage), in certain products (e.g. electronic equipment), or control emissions in environmental compartments (e.g. air, water). The substitution principle in chemicals legislation progressively forces companies to switch to safer alternatives and to find new sustainable solutions.

2. The Substitution principle in legislation

Legislation and international agreements relevant to substitution either refer directly to the substitution principle or are closely related to it. Before REACH entered into force, the substitution principle was already directly included in the **EU occupational health and safety legislation. The Chemical Agents Directive**⁵ lays down minimum requirements for the protection of the health and safety of workers and defines substitution of hazardous chemicals by less hazardous chemicals or processes as first priority (Article 6). The **Carcinogens and Mutagens Directive**⁶ aims to protect workers from risks related to carcinogens and mutagens, and requests that employers reduce them at the work place, in particular by replacing them, as far as is technically possible (Article 4.1). In order to ensure a high level of consumer health and safety, the **Directive on general product safety**⁷ requires manufacturers and distributors to supply only safe products to consumers and substitution is a measure in the context of restriction for dangerous products (Annex II).

Since voluntary substitution of hazardous substances was not common practice in the past, **REACH** introduced a compulsory substitution principle in its authorisation title (Article 55): "The aim of this Title is to ensure the good functioning of the internal market while assuring that the risks from **substances of very high concern** are properly controlled and that these substances are progressively replaced by suitable alternative substances or technologies where these are economically and technically viable. To this end all manufacturers, importers and downstream users applying for authorisations shall analyse the availability of alternatives and consider their risks, and the technical and economic feasibility of substitution". SVHC are chemicals with very serious and possibly irreversible effects on human health or the environment. REACH foresees the inclusion of identified SVHC in Annex XIV REACH, the so called authorisation list, obliging companies to apply for an authorisation to use an SVHC. With the application, the applicant has to submit an analysis of alternatives, a substitution plan in case alternatives are available, in most cases a socio-economic analysis and also appropriate information about any relevant research and development activities. An authorisation may only be granted if there is evidence that the risk by using SVHC are properly controlled or "if it is shown that socio-economic benefits outweigh the risk to human health or the environment arising from the use of the substance and if there are no suitable alternative substances or technologies" (Article 60 REACH). Thus, an authorisation implicates a very high investment for a company, and is only granted on risk-based and socio-economic considerations and only for a limited period of time.

Substances can be identified as SVHC when they meet at least one of the following conditions: (i) being carcinogenic,

mutagenic or toxic to reproduction (CMR, classification in category 1A or 1B according to CLP), (ii) being persistent, bioaccumulative and toxic (PBT) or very persistent and very bioaccumulative (vPvB) (criteria set out in Annex XIII REACH), or (iii) there is scientific evidence for probable serious effects to human health or the environment at an equivalent level of concern as the other SVHC. The latter criterion, according to Article 57f REACH, is not sufficiently defined and is decided on a case-by-case basis. Only endocrine disrupting chemicals (EDC) or PBT and vPvB chemicals not fulfilling Annex XIII REACH criteria are mentioned as examples. So far⁸ the first EDCs have been identified, followed by some respiratory sensitisers and one CMR compound classified for specific target organ toxicity after repeated exposure (STOT RE). The European Commission committed in 2010 to have all relevant currently known SVHC included in the list of officially identified SVHC - the so-called Candidate List - by 2020⁹. In cooperation with Member States and the European Chemicals Agency (ECHA), the European Commission is developing a roadmap to assess and identify these SVHC, and the preliminary estimation identified 440 substances to be assessed by 2020. In this draft roadmap, CMR, PBT, vPvB, EDC and e.g. dermal and respiratory sensitisers are mentioned. REACH registration dossiers will be analysed for relevant uses and a Risk Management Option Assessment (RMO) will identify the most suitable regulatory actions. Further potential SVHC not considered relevant until 2020 will be considered after this milestone. Thus, in the future, not only already highly regulated CMR substance will be identified but also less known and less regulated substances. In the end, all identified SVHC will "eventually" move to Annex XIV (Art. 59(1) REACH) with the final goal of substitution.

Beside REACH, there is product and life-cycle stage specific legislation. The **RoHS Directive**¹⁰ restricts the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment. Regarding substitution it states that "[...] *taking into account technical and economic feasibility, including for small and medium sized enterprises (SMEs), the most effective way of ensuring a significant reduction of risks to health and the environment [...] is the substitution of those substances in EEE [Electrical and electronic equipment] by safe or safer materials [...]*". Also the **Batteries and Accumulators Directive**¹¹ aims in minimising negative impact to the environment and restricts certain hazardous substances and Member States are encouraged to promote the use of less polluting and hazardous substances, in particular for substituting cadmium, mercury and lead. Similarly, the **End-of-life-vehicles Directive**¹² restricts the use of certain hazardous substances in vehicles, which can be achieved by substitution.

Pesticides are regulated within specific frameworks and two recent revisions (BPR, PPR) introduced compulsory substitution. Pesticides may have severe undesirable effects and are strictly regulated by a dual system - the approval of the active ingredient on EU level and the authorisation of the product by the Member States. **Biocidal substances** are used to protect humans, animals, materials or articles against harmful organisms, like pests or bacteria. The new biocidal products regulation entered into force in September 2013 and introduces exclusion and substitution criteria for "substances of concern". Active substances meeting the exclusion criteria should not be approved (Article 5 BPR). These include CMR substances (category 1A or 1B according to CLP), endocrine disruptors that may cause adverse effects in humans or identified as SVHC according to Art 57(f) REACH, and PBT or vPvB substances (fulfilling Annex XIII REACH). However, where risk is negligible (based on exposure considerations), the substance is evidently es-

5_ Council Directive 98/24/EC on the protection of the health and safety of workers from the risks related to chemical agents at work

6_ Directive 2004/37/EC on the Protection of workers from the risk related to exposure to carcinogens or mutagens at work

7_ Directive 2001/95/EC of the European Parliament and of the Council of 3 December 2001 on general product safety

8_ As of 11 November 2013

9_ Roadmap on Substances of Very High Concern, (Council of the European Union, 6th February 2013 (<http://register.consilium.europa.eu/pdf/en/13/st05/st05867.en13.pdf>, accessed 11th Nov 2013)

10_ Directive 2011/65/EU of the European Parliament and of the Councils of 8 June 2011 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment

11_ Directive 2006/66/EC of the European Parliament and of the Council of 6 September 2006 on batteries and accumulators and waste batteries and accumulators and repealing Directive 91/157/EEC

12_ Directive 2000/53/EC of the European Parliament and of the Council of 18 September 2000 on end-of-life vehicles

sential, or based on social considerations, such a substance may be approved. Active substances of biocidal products meeting the substitution criteria are comparatively assessed with regard to risks they pose and benefits from their use with the objective of phasing-out. As a result of the assessment, candidates for substitution “should be prohibited or restricted where it is demonstrated that other authorised biocidal products or non-chemical control or prevention methods that present a significantly lower overall risk for human health, animal health and the environment, are sufficiently effective and present no other significant economic or practical disadvantages”. The criteria (Article 10 BPR) are also based on the intrinsic hazardous properties, but partly in combination with the use: the meeting of at least one exclusion criteria, classification as a respiratory sensitiser, having a toxicological reference value significantly lower than those of the majority of approved active substances for the same product type and use, meeting two of the criteria to be considered as PBT, causing concerns for human or animal health and for the environment even with very restrictive risk management measures, or containing a significant proportion of non-active isomers or impurities.

Similarly, the Regulation on **plant protection products** (PPR), entered into force in 2011, defines approval criteria (Annex II, 3.6-8). No approval should be given to active substances, safeners or synergists, that are CMR (CLP category 1A or 1B) or endocrine disruptors which may cause adverse effects in humans. However, under certain conditions, an approval is possible if exposure of humans is negligible (e.g. closed system application). Furthermore, persistent organic pollutants (POP), PBT, and vPvB shall not be approved. Further specific exclusion criteria considering hazard and risk are defined for ecotoxicology like honey bee toxicity. Generally, incentives should be given for the placing on the market of low-risk products, e.g. those which are not classified as CMR, are no sensitiser, or have no neurotoxic or immunotoxic effects (Annex II, 5. PPR). In addition, certain properties are defined qualifying an active substance as candidate for substitution with the aim of replacing it by other products which require less risk mitigation measures or by non-chemical measures (Article 24 PPR). Candidates for substitution are e.g. those with a significantly lower reference value¹³ ADI, ARfD or AOEL than the majority of active substances within a group, or meeting two of the PBT criteria, or other concern such as developmental neurotoxicity or immunotoxicity (Annex II, 4)).

There is further Community legislation and international agreements on substitution of hazardous substances with specific properties: Regulation (EC) No 850/2004¹⁴ transfers the Stockholm convention on Persistent Organic Pollutants and the Long-Range pollution Protocol into EU law and implements strict measures for the elimination of the production, placing on the market and use of **Persistent Organic Pollutants** (POPs). The VOC Solvents Directive¹⁵ reduces emissions of **Volatile Organic Compounds** (VOC) to the air and applies to a certain list of activities. Article 6 and 7 refer to substitution and especially CMR compounds should be replaced.

Concerning the pollution of environmental compartments, the **Water Framework Directive** (WFD)¹⁶, the Directive on environmental quality standards¹⁷, and the Directive on pollution caused by certain dangerous substances discharged into the aquatic environment¹⁸, aim in progressively reducing aquatic pollution from priority substances and ceasing or phasing out emissions, discharges and losses of priority hazardous substances. Directive 2008/1/EC concerning **integrated pollution prevention and control** (IPPC)¹⁹, which will be replaced by the industrial emissions

Directive (IED)²⁰ as of January 2014, introduces measures to reduce environmental pollution arising from installations with expected significant impact based on their activities. Best Available Techniques (BAT) are provided, that companies have to apply. They have to describe the “main alternatives” and the use of “less hazardous substances” has to be considered (Annex XIV IPPC).

Further international agreements and conventions are only mentioned here, including the Montreal Protocol on **Ozone-depleting substances** (ODS)²¹ and the Rotterdam Convention on the **Prior Informed Consent Procedure** (PIC)²². Going back to the year 1992 in Rio, Agenda 21 was adopted by more than 178 Governments at the United Nations Conference on Environment and Development. The Globally Harmonised System is one output of the Agenda 21 (chapter 19) adopted in Rio that time and was introduced with the CLP Regulation which entered into force in the European Union in 2009. A more comprehensive overview on Substitution in Legislation is available on the Substitution Support Portal (SUBSPORT)²³.

3. Paradigm change in risk assessment of chemicals

With REACH and the revision of the pesticides legislation, new principles in risk assessment have been introduced with a strong leaning towards substitution of substances of (very high) concern. Hazard-based substitution and exclusion criteria have been introduced, complementing traditional risk assessment methodologies.

Reflecting this, chemicals and pesticides regulations lay down provisions to ensure a high level of protection of human health and the environment including animal health, and are underpinned by the pre-cautionary principle.

A science-based implementation of cut-off and substitution criteria, however, may be hampered for certain reasons. For using and placing Annex XIV SVHC on the market under REACH, socio-economic considerations have to be taken into account where no substitutes are available and the risk from the use cannot be demonstrated to be adequately controlled. Thus, benefits from using SVHC outweighing the risk need to be analysed taking into account cost increase and profit reduction, reductions in economic performance, employment and investment, and environmental impact assessments. So far, no experiences exist yet with these methods for decision making, and for the next years companies and authorities will be in a learning phase.

Testing requirements for hazardous properties are mainly guided by risk assessment although hazard criteria, according to CLP and others, should be considered by regulators for decision making. This is evident for REACH, where the testing strategy is tonnage-dependent with no registration obligation below one tonnage per year placed on the market, and following an integrated testing strategy with increasing tonnage. Classification and labelling of a substance for certain hazard categories like CMR may therefore not be possible due to insufficient or lacking data.

The classification and labelling of certain hazardous chemicals is harmonised according to CLP to ensure that adequate risk management measures are in place throughout the EU. Such a harmonised classification and labelling (HCL) may and usually is proposed by Member States Competent Authorities, but also manufacturers, importers and downstream users may propose such a HCL of a substance which is then mandatory for suppliers of the respective substance.



- 13_ Legally binding exposure levels used for risk assessment and authorisation decision which may not be exceeded; ADI = Acceptable Daily Intake, ARfD = Acute Reference Dose, AOEL = Acceptable Operator Exposure Level
- 14_ Regulation (EC) No 850/2004 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 on persistent organic pollutants and amending Directive 79/117/EEC
- 15_ Council Directive 1999/13/EC of 11 March 1999 on the limitation of emissions of volatile organic compounds due to the use of organic solvents in certain activities and installations
- 16_ Directive 2000/60/EC of the European parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy
- 17_ Directive 2008/105/EC on environmental quality standards in the field of water policy, amending and subsequently repealing Council Directives 82/176/EEC, 83/513/EEC, 84/156/EEC, 84/491/EEC, 86/280/EEC and amending Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council
- 18_ Directive 2006/11/EC on pollution caused by certain dangerous substances discharged into the aquatic environment of the Community
- 19_ Directive 2008/1/EC of the European Parliament and of the Council of 15 January 2008 concerning integrated pollution prevention and control
- 20_ Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control) (Recast)
- 21_ 1987 Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer, as either adjusted and/or amended in London 1990, Copenhagen 1992, Vienna 1995, Montreal 1997, Beijing 1999
- 22_ Rotterdam Convention on the Prior Informed Consent Procedure for Certain Hazardous Chemicals and Pesticides in International Trade, revised 2011.
- 23_ <http://www.subsport.eu/substitution-in-legislation>

Conflicting decisions under different legal frameworks may arise due to insufficient integration of hazard identification and HCL horizontally in the different risk assessment procedures. Evaluation of HCL proposals is under responsibility of the Member States, ECHA and its Risk Assessment Committee, with the decision finally taken by the EU Commission. The HCL process needs to be better aligned with a currently rather decoupled risk assessment carried out by Member States or European risk assessment agencies under the different frameworks at national or Community level.

Exposure based exemptions for hazard-driven rules for placing chemical products on the EU market like “negligible” exposure, “strictly controlled conditions”, or “closed system applications” are reason for discussions regarding the lack of definitions. A specification of what is the level of negligible exposure and low risk, and how to realise closed system use conditions for pesticide application, is the basis for the consideration of risk assessment in science-based decisions for such priority substances. Otherwise, purely pre-cautionary decisions will most likely be taken by authorities.

4. Substitution steps

Substitution is the replacement of hazardous substances by alternative substances, technologies or processes. This process can be easy but also rather complex since functional equivalence is a central element. Substitution should result in similar or even better product quality and both, technological and organisational changes may be necessary.

Users of chemical substances like formulators or other downstream users, often small and medium sized companies (SME), need to **prioritise substitution activities** based on policy demands and customer needs. Necessity of substitution may also depend on the function of the hazardous substance in the production chain. Is the product provided to the general public and thus many uninformed users may be at risk, or is there only few industrial uses which would allow strictly controlled conditions with minimal potential for exposure of workers. Running a chemical inventory and following the regulatory status of the chemical substances is a prerequisite for prioritisation.

The **definition of the problem** for substituting a prioritised substance involves the description of the hazard properties and the function of the compound (desired useful property) including process conditions like operational parameters.

The criteria to be applied for the **selection of alternatives** and exclusion of those which are not considered safe enough depends on the demands of legislation concerned (e.g. REACH SVHC criteria), company policy (voluntary toxic use reduction strategy, green image), customer demands (company black lists for envisaged use), or other market demands (needs and awareness of consumers). The search for alternatives may simply involve asking the supplier to provide or formulate a safer product. Taking over implemented solutions, of course, lowers innovation costs but implicates the risk of supply chain interruption and loss of competitiveness when running behind the legislation. Instead of reacting on restrictions in force a more proactive approach with anticipation allows the preparation of changes in time. This would involve a more comprehensive search for alternatives including internet, literature search, market watch methodologies also considering potential patent restrictions, interaction with professional associations, authorities or other organisations, and investment in RDI activities to find new solutions. This is, ideally, rewarded by an innovative advantage and a leading market position.

Potential alternatives need to be assessed and compared.

For this, the hazard criteria as defined need to be considered and the risk arising from the use of the alternatives should be comparatively assessed. Here, attention to uncertainties and lack of data play also a role as well as the Risk Management Measures (RMM) in place or implementable for adequate control of risk. Further decision criteria may be environmental performance or, more general, the consideration of key principles of green chemistry like waste reduction, resource efficiency, safer solvents reaction conditions, degradability and pollution prevention²⁴. Overall costs of the substitute including innovation and operation need to be estimated. For several reasons, substitution costs may be lower than the cost of continuing the current practice, e.g. lower costs for raw material, no need for implementation of stricter RMM or increased process performance, but may also be higher. Better product quality and process performance, addressing consumer demand and market competitiveness, anticipated regulation, or a green company image may however justify the investment in terms of sustainable product design. Thus, a comprehensive assessment of alternatives does not only include hazard, exposure and risk assessment, but also the employment of further decision support tools for environmental impact assessment including Life Cycle Assessment for a more functional life cycle approach and socio-economic analysis (SEA).

Implementation of substitution on a small scale (pilot) may help in getting aware on organisational changes needed and related problems, unexpected functional performance and availability of substitutes, new workplace risks due to risk shift, the need for implementation of other RMM, and impact on employers, consumers and environment. For full implementation, supply chain communication, marketing and promotion activities, evaluation of improvement possibilities and evaluation of any other negative (side) effects belong to the list of measures.

5. Challenge for SME

Luxembourgish companies using chemical products, either in chemical manufacturing or as downstream user like formulators or manufacturer of articles (e.g. rubber and plastics or textile industry) have the responsibility to ensure compliant operation with respect to relevant national and European legislation.

As a **sector-specific example** given here and as illustrated by CEFIC²⁵, the relevant pieces of legislation through the life cycle for the **polyester industry** as shortly outlined. Meanwhile under REACH and CLP, for the production of unsaturated polyester (UP) many raw materials used are classified as hazardous according to CLP and are supplied with Safety Data Sheets (SDS) describing the properties, identified uses, relevant occupational exposure limits (OEL), and recommended risk management measures. For instance, for the additive styrene a proposal for harmonised classification for Specific target Organ Toxicity Repeated Exposure (STOT RE 1) category 1 and Reproduction Toxicity category 1B was submitted to ECHA which would lead to strict RMM. Beside strict exposure limits set by national law, the European Directive for setting standard OEL is Directive 98/24/EC. Emissions of VOC are regulated by the VOC Directive. In the subsequent use stage, companies have to comply with specific European legislation. For instance, plastics used as food contact materials (FCM), have to comply with food and drinking water legislation like the framework Regulation for FCM²⁶ and the Regulation on plastic materials and articles intended to come into contact with food²⁷, for electronic equipment the RoHS Directive is relevant (e.g. hexabromocyclododecane (HBCDD), bis (2-ethylhexyl) phthalate

24_ <http://www2.epa.gov/green-chemistry/basics-green-chemistry#twelve> (accessed 11th Nov 2013)

25_ European legislation governing the polyester industry, UP Resin Group, CEFIC, 2006 (www.plasticseurope.org, accessed 11th Nov 2013)

26_ Regulation (EC) No 1935/2004 of the European Parliament and of the Council of 7 October 2004 on materials and articles intended to come into contact with food and repealing Directives 80/590/EEC and 89/109/EEC

27_ Commission Regulation (EU) No 10/2011 of 14 January 2011 on plastic materials and articles intended to come into contact with food

(DEHP), butyl benzyl phthalate (BBP) and dibutyl phthalate (DBP) and maybe Diisobutyl phthalate (DIBP) may be added to the list of substances considered for inclusion in Annex II of RoHS which is currently in review). REACH also has a major impact, e.g. certain reprotoxic phthalates used as plasticiser are in focus for HCL as reproductive toxicant category 1B (e.g. intention submitted to ECHA for Dicyclohexylphthalate), and restriction and authorisation obligation (HBCDD, DEHP, BBP, DBP already included in Annex XIV REACH). For the end-of-life or waste stage, companies must be compliant with waste legislation but also product-specific legislation like the end-of-life-vehicles Directive.

REACH has a major impact on all sectors of the chemical industry. The registration title forces industry to gather data, assess hazard and risk, and to identify risk management measures. CLP entered into force in 2009 and many chemicals, raw materials or products used by DU, are classified as hazardous. Risk assessment and classification and labelling allow companies to make better informed choices towards using safer alternatives, but also determine which uses are considered as safe and are supported by registrants (so-called "identified uses") and which uses of chemical products may not be supported anymore, either completely or dependent on risk management measures in place or implementable. The information on hazard and risk is the basis for restriction and authorisation obligation under REACH and companies do well in watching their hazardous chemicals thoroughly regarding regulatory constraints in order to avoid supply chain interruptions due to restrictive measures entering into force. Beside REACH and CLP, further legislation may apply dependent on the company's activity sector looking at the whole life cycle of a product from manufacturing stage to end of life. Thus, the **regulatory watch of hazardous compounds** under REACH, CLP and further specific legislation is **anticipation** work for a company helping to prepare in time for future legal obligations. This anticipation work requires resources, a certain understanding on the regulatory procedures and knowledge of the possible consequences, which may be limited, but is needed to prepare compliance in time.

Generally under REACH, substitution is the aim for SVHC under authorisation obligation. The **decision** of a company, whether to **apply for authorisation or whether to substitute** as soon as possible, needs to be well-balanced. An authorisation application requires high investment (search for alternatives, substitution plan, risk assessment and socio-economic analysis, application fee) without any guarantee that an authorisation will be granted. For SME and downstream users it is rather recommended to get their uses covered by an authorisation of the supplier or to substitute the SVHC instead of applying for authorisation. A granted authorisation is always time-limited keeping manufacturers and downstream users under risk. Finding new solutions, investing in RDI, may also require substantial resources and inherits uncertainties. Thus, in any case companies facing this challenge are at risk. Nevertheless, the risk implicates the opportunity for innovation and the decision may be a key to future competitiveness.

Prioritising substitution may not only be policy-driven. In addition competitive factors, market demand, social awareness of the need for clean production, or voluntary toxic use reduction strategy may be involved in the development of substitutes for less impact on human health and the environment, also on a global perspective. Nevertheless, in contrast to innovating chemical industry, for SME formulators producing chemical mixtures mainly to be applied by professional users, legislation is a major driver. In chemical substitution, which may be a quite complex and a multi-criteria process, factors like market demand and social

awareness nevertheless need to be considered. The substitution process is therefore an **integrative task** involving the whole company including regulatory affairs, quality assurance, RDI department, financial and marketing experts, production site, management, EHS experts, and may also require external decision support like experts in environmental impact and life cycle assessment, market watch and patent specialists, consultants for managing organisational changes, and further.

6. Conclusions and further information

The substitution principle in chemicals legislation progressively forces companies to switch to safer alternatives and to find new sustainable solutions. This article provided an overview on the most important legislation and international agreements relevant for substitution of hazardous chemicals. Especially REACH and CLP force more and more companies to search for alternatives. "REACH 2020" means a further milestone in the implementation of the compulsory

	Received notifications to restrict	Pre-submission information sessions held	Received ¹ applications	Status of submissions of restricted ² applications
2012	6	1	0	n/a
2013 ³	5	0	2	Bis(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP)
Total	11	1	2	n/a

¹ Situation as of 13 October 2013

² An application is received in terms of Article 54(1) of REACH when ECHA has received the application fee.

substitution principle. The ECHA statistic²⁸ on application for authorisation of SVHC demonstrates that substitution indeed happens as the number of actual authorisation applications is much lower than the number of notifications and pre-submission information sessions, which can be seen as an indication of the number of companies being affected and considering an application:

For questions around the two chemicals Regulations, companies are invited to direct their request to the **REACH&CLP Helpdesk Luxembourg**²⁸, a service provided by the Centre de Recherche Public Henri Tudor. Luxembourgish companies are invited to ask for support concerning implementation and procedural questions, but also case-specific issues around the regulatory situation of certain substances. Only recently in October, a discussion event, the so-called REACH&CLP Coffee, was organised jointly with the European Chemicals Agency (ECHA) on REACH Authorisation. Companies discussed their questions on Authorisation obligation directly with the experts of the Risk Management Implementation Unit of ECHA²⁹. The **Annual Conference**³⁰ organised by the REACH&CLP Helpdesk Luxembourg on 5th December 2013 informs about the SVHC Roadmap (European Commission), the impact of Authorisation on the mechanical sector (CETIM, Centre technique des industries mécaniques), and the specific situation of nanomaterial under REACH (Eurometaux).



Identification of substitution needs and prioritisation of substitution candidates is the first step in substitution. The regulatory fate of potential substances of concern can be anticipated by a regulatory screening allowing preparation of substitution in time. Regulatory watch of especially those chemicals playing a key role in the company business should be monitored thoroughly. For example, regulatory actions under REACH and CLP like harmonised

28_ www.reach.lu

29_ http://www.reach.lu/mmp/online/website/menu_vert/documentation/301/751_EN.html

30_ <http://www.tudor.lu/en/event/conference-annuelle-reach-clp-2013>

31_ <http://echa.europa.eu/web/guest/addressing-chemicals-of-concern/registry-of-intentions>

32_ <http://www.green-screenchemicals.org/>

classification and labelling, restriction or authorisation can be foreseen by monitoring the **registries of intention**³¹ provided on the ECHA Website. Here, Member States and ECHA notify their intention to propose these actions and the submitted proposals are listed. The regulatory procedures also include a public consultation on proposals where interested parties may submit their comments, e.g. consultation on potential candidates for substitution (biocides), consultation on SVHC identification and REACH Annex XIV recommendation, or a call for evidence in the preparatory phase of restriction proposals. All these consultations for chemicals and biocides are available via the ECHA Website section "chemicals of concern" and provide the opportunity for interaction of industry and chemical users in these regulatory steps.

Some tools are meanwhile available to support this substitution step, e.g. for hazard assessment tools like the GreenScreen® For Safer Chemicals³². The CRP Henri Tudor also develops **decision support tools** and methodologies for **regulatory and scientific analysis of chemicals**, especially dedicated to SMEs, on how to efficiently use publically available information sources in the innovation process, how to make the regulatory situation of a substance "transparent", and how to conduct a simplified hazard assessment and anticipate future regulatory constraints. Companies are invited to contact the Research Center regarding the implementation of such anticipation tasks and tools.

The **search for alternatives** may involve RDI activities to find new solutions and intensive search in publications and databases, and may require certain tools for market watch and patent search. Some **tools** for this step are available and also under development. The SUBSPORT portal offers a Case Story Database³³ to inspire and offer concrete help to companies by providing substitution examples as well as information on alternative substances and technologies from enterprises, published reports and other sources. The developers of the portal also offer trainings on the identification and assessment of alternatives. OECD established an ad hoc group on substitution in 2012, which is co-chaired by the US EPA and ECHA, and an inventory of the available tools and methods which can be used to characterise and compare alternatives is under development³⁴. Available tools are e.g. the Column Model for Chemical Substitutes Assessment³⁵ and the COSHH Essential³⁶ to assess risk levels.

For the authorisation of Annex XIV SVHC, a public consultation on the availability of alternative substances and technologies is launched in the procedure for granting an authorisation and this information will be published by ECHA³⁷. Regarding socio-economic analysis (SEA) required in the REACH authorisation process, the German REACH&CLP Helpdesk offered only recently an information session to introduce the SEA methods³⁸. CRP Henri Tudor develops and applies tools and methods for Environmental assessment including Life Cycle Assessment (LCA)³⁹, which may be used as part of a SEA and as a further decision support tool. The Centre also actively supports **RDI activities** by providing from the beginning information on the current and future regulatory framework as well as on the environmental impact generated by chemicals. The **Manufacturing Industry innovation programme**⁴⁰ works with industry actors for the development of new functional and intelligent materials, for analysis, testing and validation of materials, and eco-design and product life-cycle management. Together with Tudor's Advanced Materials and Structures (AMS) department, and by integration of normative and legislative constraints, safer and more effective materials may be developed.



CRP Henri Tudor will introduce the topic of substitution in an event next year. The **Substitution Event** will be dedicated to Luxembourgish companies but also to the Greater Region including downstream users of chemical products like formulators and RDI actors. It will aim in offering information, support and solutions, and to provide a forum for networking and exchange with potential RDI partners around chemical substitution.

www.tudor.lu

Abbreviations

BPR = Biocidal Products Regulation

PPR = Plant protection Products Regulation

CMR = carcinogenic, mutagenic, toxic to reproduction

CLP = Regulation (EC) No 1272/2008 on classification, labelling and packaging of substances and mixtures

ECHA = European Chemicals Agency

EDC = Endocrine Disrupting Chemicals

EHS = Environmental Health and Safety

HCL = Harmonised Classification and Labelling

LCA = Life Cycle Assessment

PBT/vPvB = persistent, bioaccumulative, toxic / very persistent, very bioaccumulative

REACH = Regulation (EC) No 1907/2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals

RMM = Risk Management Measures

RDI = Research, Development and Innovation

SEA = socio-economic Analysis

SME = Small and Medium sized Enterprises

SUBSPORT = Substitution Support Portal

SVHC = Substance of Very High Concern

33_ <http://www.subsport.eu/case-stories-database>

34_ http://newsletter.echa.europa.eu/home/-newsletter/entry/3_13_promoting_substitution (accessed 11th Nov 2013)

35_ <http://www.dguv.de/ifa/Praxishilfen/GHS-Spaltenmodell-zur-Substitutionspr%C3%BCfung/index-2.jsp>

36_ <http://www.hse.gov.uk/coshh/essentials/index.htm>

37_ <http://echa.europa.eu/web/guest/addressing-chemicals-of-concern/authorisation/applications-for-authorisation>

38_ <http://www.reach-clp-biozid-helpdesk.de/de/Veranstaltungen/Ank%C3%BCndigungen/131105.html>

39_ www.tudor.lu/en/product/environmental-evaluation-and-ecodesign

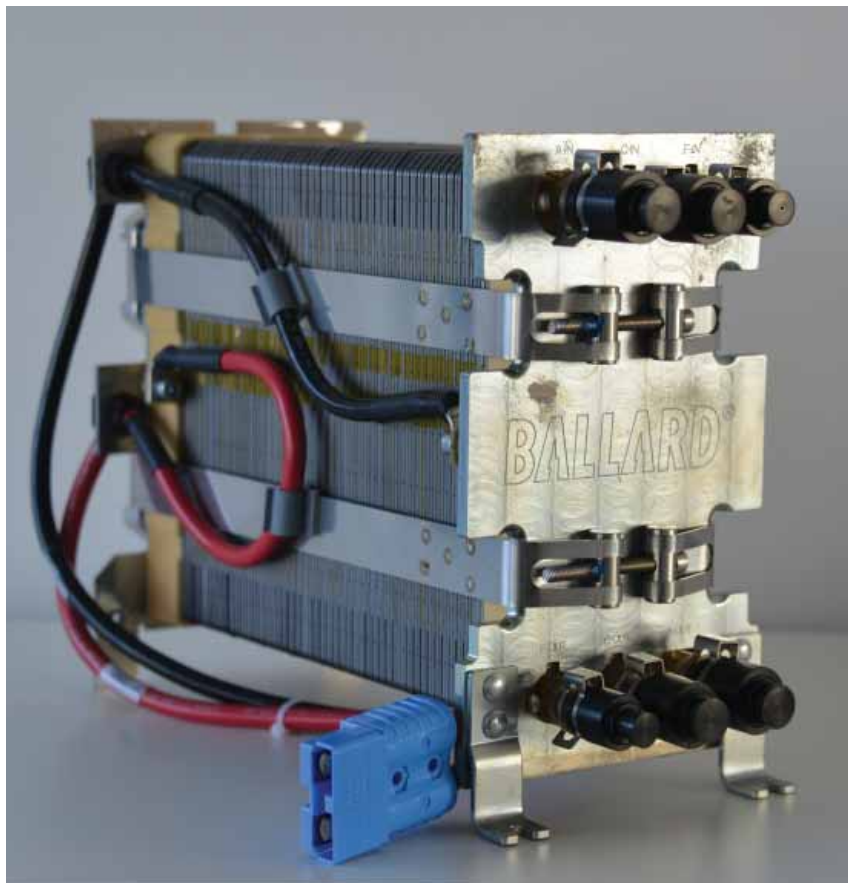
40_ <http://www.tudor.lu/en/manufacturing-industry>

Being environmentally friendly and highly efficient energy conversion units, fuel cells harbour great potential to penetrate the markets in the near future. The Luxembourg-based planning and consulting company Siegel Schleimer Ingénieurs-conseils s.à.r.l is specialised in setting up and implementing this innovative technology. A first fuel cell based micro-combined heat and power (μ CHP) unit was successfully brought into operation in an existing school building in the commune of Sanem.



INTELLIGENT ENERGY USE THROUGH FUEL CELL TECHNOLOGY_

Michèle Weber



1_ Low-temperature polymer-electrolyte-membrane (PEM) fuel cell stack (1.0 kW_{el} / 1.7 kW_{th}).

In 2013, most households still receive heat and power separately and current technologies make inefficient use of fuel supply, with a large amount of primary energy released as “waste” heat into the environment. Combined heat and power (CHP), or cogeneration, systems are power stations for the generation of heat and power. Small-scale CHP units have recently been developed for installation in a small house or business unit. Instead of burning fuel directly in a gas boiler to generate heat, fuel cell based μ CHP units simultaneously generate heat and electricity by “cold burning” of hydrogen and oxygen. Thus, the production of energy on the spot, just where it is needed, becomes possible.

The development of fuel cell based heating systems could represent an improvement in energy efficiency along with considerable potential for energy saving. The technology is currently being tested in field trials worldwide.

Pioneers in fuel cell technology

Siegel Schleimer Ingénieurs-conseils s.à.r.l in Luxembourg is an independent planning and consulting company specialised in setting up innovative fuel cell based μ CHP units, besides offering other solutions in the areas of building services, energy efficiency and simulation technology. Christian Siegel, CEO and co-founder of the company explains its goal: “We aim to systematically plan and implement such systems with the target of no longer burning primary energy without producing electrical power.” The electrical engineer specialised in energy technology holds a diploma from the University of Karlsruhe and previously worked in research and development at the Centre for Fuel Cell Technology in Duisburg (Zentrum für BrennstoffzellenTechnik, ZBT) alongside his employment in the heating industry. Together with co-founder Markus Schleimer, a building technology engineer with expertise in planning and consulting, Mr Siegel works with national and international partners, builders and architects to deliver individualised solutions from project design through to final implementation.

Award-winning fuel cell based heating system

In late 2011, Siegel Schleimer Ingénieurs-conseils s.à.r.l successfully brought the first fuel cell based μ CHP unit into operation in Luxembourg, together with the town of Sanem. In this field trial, heat and power is efficiently supplied to a small school building in Ehlerange using a Gamma 1.0 system from German company Baxi Innotech GmbH. Mr Siegel explains how it works: “The fuel cell is fed with hydrogen that is extracted from a natural gas or biogas source, and oxygen from the air. A controlled chemical reaction generates electricity, heat and water.” With an excellent current-to-heat performance ratio of 1.0 kW_{el} / 1.7 kW_{th}, longer full load running times of around 5,000-6,000 hours per annum can easily be achieved.

The Gamma 1.0 system has a relatively short start-up time of around one hour. The amount of energy generated de-

depends on how much electricity is needed at the time. Depending on the demand, the system can be modulated in the range of 300 to 1,000 W of electrical power. An auxiliary gas boiler was additionally integrated to cover high heat demands during peak hours. According to Mr Siegel, the excellent modulation performance and short start times are the main benefits of fuel cell based μ CHP units, apart from its silent operation, an energy efficiency above 90% and greatest possible potential for CO₂ savings.

The main goal of the field trial is to evaluate the technology and ultimately make it accessible for citizens. Siegel Schleimer Ingénieurs-conseils s.à.r.l. delivered solutions from the very start of the project to its final realisation. This included a feasibility study, engineering, hydraulic implementation, supervision during technical installations with selected partners, start of operations and monitoring of significant parameters of the fuel cell based μ CHP unit.

"We are very pleased with the results so far," comments Mr Siegel. "The field trial has been running since October 2011 and we have had practically no downtime." The initial plan was to install the fuel cell based μ CHP unit for two years but the trial period may be extended. The success of this project is further underlined by a number of recent awards. In April 2012, the commune of Sanem received the European award "Climate Star 2012". The project also received the national "Prix spécial Nova Naturstroum 2012".

Research-oriented engineering company

Fuel cell technology is still very much a pioneering domain. According to Mr. Siegel, it will take quite a few years for μ CHP units to become commercially available and his company aims to be an active player in the maturation of this technology. "We are an engineering and research company," emphasises Mr Siegel. "We can provide support during the implementation of field tests and be a partner in R&D projects". The company is involved in the European research project "ene.field", which aims to deploy and monitor around 1,000 new installations of residential fuel cell CHPs across member states.

Moreover, the company uses numerical simulation calculation, multiphysical modelling and scientific argumentation

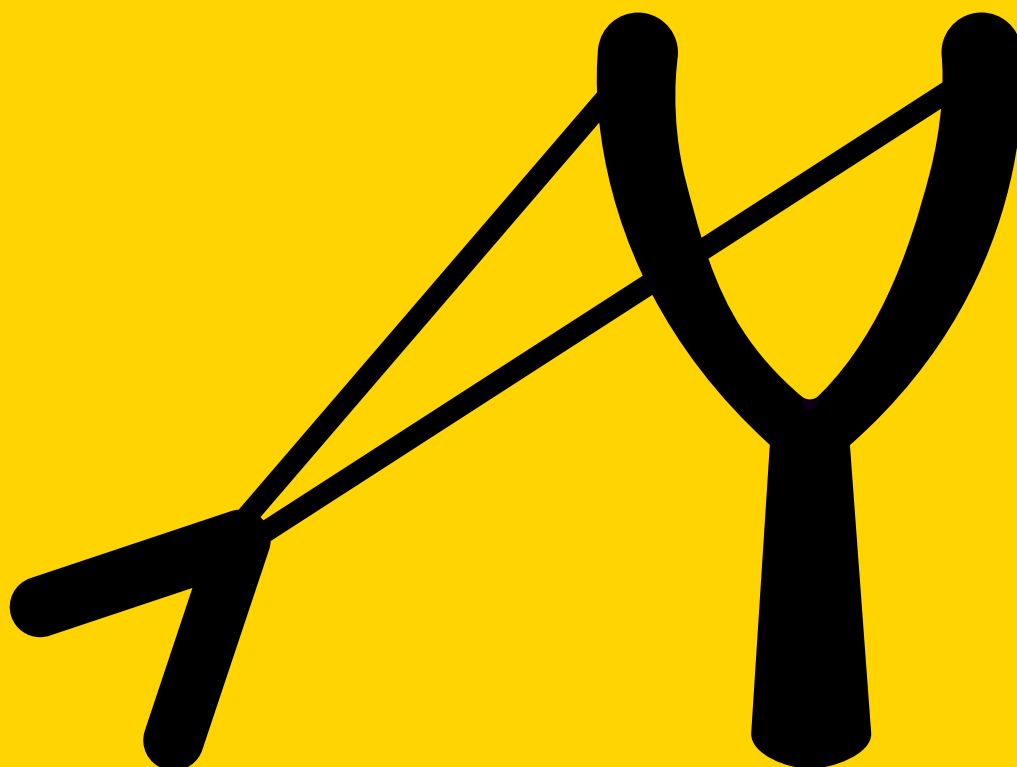


to help decide for or against a possible building service concept. Mr Siegel's research at the ZBT was in the area of computational fluid dynamics in fuel cells. This work was funded by a "Bourse Formation Recherche" grant from the National Research Fund. Mr Siegel has published his findings in a number of reputed scientific journals and is currently compiling his doctoral thesis for submission.

www.siegelschleimer.lu

2_ Fuel cell powered μ CHP unit installed in Ehlerange, town Sanem.

Catapult your ideas to success



NATIONAL AGENCY
FOR INNOVATION AND RESEARCH

LUXINNOVATION



**MAKING
INNOVATION
HAPPEN**

➤ SUPPORT FOR INNOVATIVE START-UPS ➤ ACCESS TO NATIONAL AND EUROPEAN FUNDING
➤ INNOVATION MANAGEMENT, CREATIVITY AND DESIGN ➤ TECHNOLOGY TRANSFER AND PARTNER SEARCH
➤ INTELLECTUAL PROPERTY AND VALORISATION OF RESEARCH RESULTS ➤ LUXEMBOURG CLUSTER INITIATIVE
➤ PROMOTION OF RESEARCH AND INNOVATION "MADE IN LUXEMBOURG"

WWW.LUXINNOVATION.LU



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



Université du Luxembourg 2003 – 2013

Publié dans le cadre des manifestations du 10ème anniversaire de l'Université du Luxembourg, l'ouvrage «Université du Luxembourg 2003 – 2013» réunit sur 272 pages des contributions de personnages issus du monde académique et politique, d'acteurs du monde professionnel, d'étudiants et de diplômés s'interrogeant sur le passé, le présent et l'avenir de cette jeune institution.

Le livre «Université du Luxembourg 2003 – 2013» se veut à la fois multiperspectif, profond et utile. Utile, parce qu'il aide à comprendre le sens à donner aujourd'hui à l'institution universitaire, les objectifs que l'Université s'est fixée, ainsi que son évolution. Profond, car il lie l'analyse historique aux réalisations et à une mise en perspective. Et enfin multiperspectif, car il jette sur l'Université des regards multiples, internes avec ceux des responsables, des professeurs et des étudiants, mais aussi de personnes externes.

Ces réflexions ont également déterminé la structure du livre qui se présente en huit parties:

Un premier chapitre présente le paysage universitaire actuel. Plusieurs concepts se dessinent dans l'évolution récente de la gouvernance universitaire, de la «multiversity» à l'«entrepreneurial university» en passant par la «global university». Des auteurs experts dans l'analyse de l'enseignement supérieur situent le cadre international dans lequel la jeune Université du Luxembourg évolue et mesurent les défis qui lui sont posés pour être compétitive.

Les deux chapitres suivants sont destinés à éclairer le moment fondateur de l'Université du Luxembourg, en retraçant le contexte académique antérieur, les établissements supérieurs d'antan, les débats de société qui préludent au vote de la loi de 2003, et la philosophie qui a déterminé celle-ci.

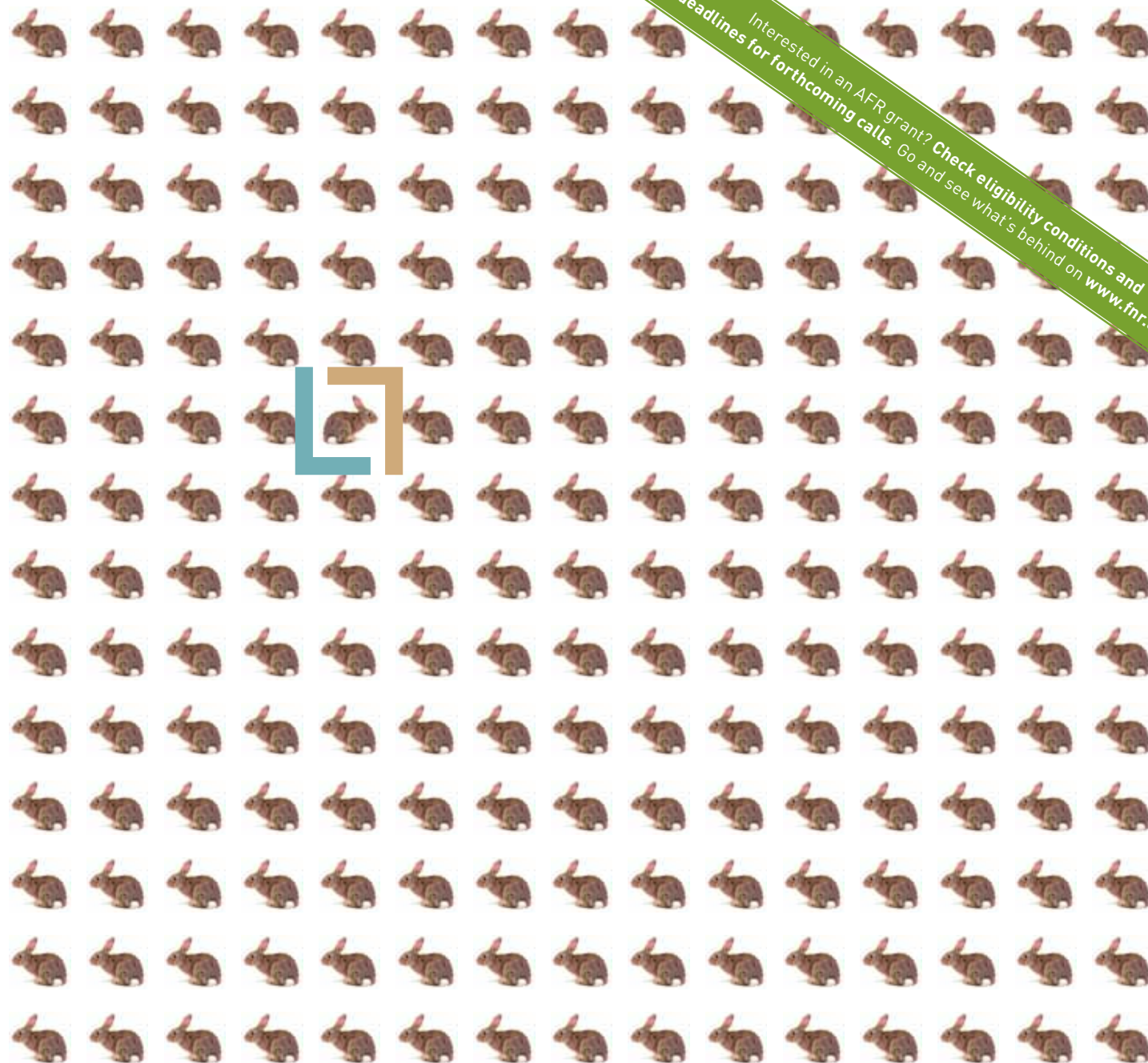
Le chapitre «Réalizations» jette ensuite un regard critique sur les dix premières années, au niveau universitaire global, mais aussi dans la perspective des trois facultés et des deux centres interdisciplinaires. Par ailleurs, les douze unités de recherche de l'Université ont été invitées à présenter chacune un de leurs grands projets, afin d'illustrer de manière concrète le programme de recherche universitaire.

Cette présentation par unités sera complétée par des thématiques transversales: le multilinguisme, l'espace universitaire, la politique en faveur de l'égalité des chances, le regard de la presse. Des témoignages du monde étudiant et du monde professionnel complètent cette analyse. Le volume se termine par une mise en perspective du projet «Université», avec un second moment fondateur, le moment «Belval».

L'ouvrage «L'Université du Luxembourg 2003-2013» est édité sous la direction du professeur Michel Margue (Université du Luxembourg) en collaboration avec Manon Jungen.

ISBN 978-99959-680-6-9; 45 €

Interested in an AFR grant? Check eligibility conditions and deadlines for forthcoming calls. Go and see what's behind on www.fnr.lu/afr



PhD and Postdoc Grants for Public-Private Partnerships See what's behind.

Through its **AFR Grant Scheme**, the National Research Fund Luxembourg (FNR) supports **PhD and Postdoc researchers** in Luxembourg and abroad. Next to offering grants for research projects carried out in public research institutions, AFR strongly encourages research projects performed **as public-private partnerships (PPP) with Luxembourg-based companies**. The salary of the PhD or Postdoc researcher who will work on a research project as a member of the company's staff will be paid through the AFR-PPP grant scheme, whereas the full costs of the research will be borne by the company. In order to benefit of the **financial support** for PPP under AFR, an innovative research project needs to be developed jointly by the PhD/Postdoc candidate, the private company and a public research institution in Luxembourg or abroad.

AFR contributes to the development of human resources in Luxembourg research, translated in the long term by an increased number of qualified researchers pursuing a research career beyond their period of AFR funding.

Interested in hosting an AFR fellow during his or her PhD or Postdoc training? Go and see what's behind on www.fnr.lu/afr or send an email to afr@fnr.lu

AFR
FUNDING SCHEME
FOR PHDS AND POSTDOCS
(AIDES À LA FORMATION-RECHERCHE)



 Fonds National de la
Recherche Luxembourg
INVESTIGATING FUTURE CHALLENGES