

## Stellungnahme der Universität Luxemburg zu “Effiziente Energie- und Wassernutzung in der Cité des Sciences“

---

### Übersicht

**Rahmenbedingungen:** Bau, Betrieb, Instandhaltung und Sanierung von Gebäuden beanspruchen in Europa über 50 Prozent des Verbrauchs an primärer Energie und liegen somit über dem Energieverbrauch für Transport oder industrielle Aktivitäten. Das Konzept der „2000-Watt- Gesellschaft“ stellt einen der konkretesten Ansätze dar, Ziele zum Energiekonsum, insbesondere auch für Gebäude, mit Rücksicht auf Bevölkerungswachstum, Klimawandel und der Knappheit natürlicher Ressourcen zu formulieren.<sup>1</sup> In diesem Zusammenhang schreibt die Europäische Richtlinie 2002/91/EG über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden den EU-Mitgliedstaaten vor, Mindestanforderungen an die Energieeffizienz aller Gebäude zu stellen und in öffentlichen Gebäuden einen Energiepass sichtbar anzubringen.<sup>2</sup> In Luxemburg wurde diese Richtlinie jedoch bis heute nur für Wohngebäude,<sup>3</sup> aber noch nicht für Bürogebäude und Unterrichtsgebäude umgesetzt. Wasser ist eine weitere natürliche Ressource, für die unsere Gesellschaft ihr Konsumverhalten verändern sollte. Die zunehmende Sorge um die Qualität der Trinkwasserreserven in Luxemburg gibt Anlass, Trinkwasserversorgung, Abwasserentsorgung und Regenwasserbewirtschaftung grundsätzlich anders zu gestalten.

**Ziel:** Die Universität und andere Forschungsinstitute in Luxemburg sehen ihre Rolle darin, nachhaltige Entwicklung durch Forschung und Lehre in der Gesellschaft zu verankern und Hilfe bei der Umsetzung zu leisten. Die Universität ist auch dem „International Sustainable Campus Network“ beigetreten, das sich international für die Entwicklung beispielhafter Lösungen im Campus Design einsetzt.<sup>4</sup> Diese Vorreiterrolle soll sich auch in der Konzeption zukünftiger Gebäude widerspiegeln. Der Aufbau der „Cité des Sciences“ in Belval bietet die seltene Chance, auf diesem Gebiet ein Vorzeigeprojekt von internationalem Interesse zu gestalten; und gute Planung zahlt sich aus.<sup>5</sup> In den laufenden Wettbewerben für die ersten Gebäude der Cité werden schon jetzt Energieeffizienz und ein integraler Planungsansatz zu Gebäudedesign und -technik verlangt. Diese Stellungnahme soll helfen, Ziele zur Energie- und Wassereffizienz konkreter zu formulieren und in den Vordergrund zu stellen - nicht nur in den Architekturausschreibungen und im Projektselektionsprozess, sondern auch während der Planung und des Baus. Die Ansätze zur Umsetzung der beschriebenen Ziele sowie Trade-offs werden zusätzlich in den fünf Anhängen erläutert. Ein integraler Planungsansatz zu Gebäudedesign und -technik ist eine Voraussetzung, um diese Ziele zu erreichen (der aber auch schon in jetzigen Ausschreibungen in den Wettbewerben für Gebäude in Belval gefordert wird). Die Stellungnahme dient somit als Grundlage zur Kommunikation über das Thema „Umweltverträgliches Bauen in Belval“ mit Bauunternehmern, Architekten, Investoren, Verwaltung und staatlichen Behörden sowie Politikern. Letztendlich sieht diese Stellungnahme auch vor, dass die Gebäudenutzer durch öffentliches Monitoring zu umweltgerechtem Verhalten angeregt werden.

Die Stellungnahme wurde in Zusammenarbeit von Experten der Universität Luxemburg, dem öffentlichen Forschungszentrum Henri Tudor und Agora erstellt (Liste der Mitglieder der Expertengruppe, der Beiträge und der E-Mail-Adressen für etwaige Fragen zu den verschiedenen Themenbereichen S. 6).

### Zusammenfassung der Anforderungen:

Tabelle 1. Zusammenfassung der Anforderungen an zukünftige Gebäude in der Cité des Sciences

Thema	Anforderung	Wert*	Seiten
Übersicht	Rahmen, Ziele und Zusammenfassung		1-7
A) Behaglichkeit	Natürliche Methoden für thermischen Komfort, Licht- und Luft-qualität werden bevorzugt	Minimaler Einsatz von Haustechnik	8-22
	Akzeptable Temperaturspanne	20-26 C°	13
	Isolation: Durchschnittlicher Wärmedurchgangskoeffizient der Fassade	$U = 0.2-0.23 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{K}$	14-15
	Belüftung: Außenluftvolumenstrom	$0.7 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{h}$	18
	Beleuchtung für Büros	400 lux	20
B) Energieverbrauch	Endenergie der Fernwärme – Grenzwert:	$14 \text{ kWh/ m}^3 \cdot \text{a}^*$	23-25
	Elektrischer Stromverbrauch – Grenzwert:	$6 \text{ kWh/ m}^3 \cdot \text{a}^*$	23
C) Photovoltaik	Gebäude-integrierte Photovoltaikanlagen		26-27
D) Wasserhaushalt	Wassersparende Armaturen und Geräte		28-34
	Substitution von Trinkwasser mit Regenwasser für Toilettenspülung und Kühlung		30
	Grüne Dächer		31
	Vermeidung des Abpumpens von Grundwasser als Vorbeugung gegen Vernässung		32
E) Baustoffauswahl	Bewertung der Baustoffe mit der Ökobilanzmethode		35-38

\*Zur Berechnung ist besonders das Normen- und Methoden-paket DIN 18599 empfohlen. Die Nutzung anderer in sich geschlossener Europäischer Normenpakete, die sich auf EN und CEN Normen beziehen und allen Anforderungen der Direktive EG/2002/91 nachkommen, ist nach Absprache auch akzeptabel. Die Bezugsgröße ist das Bruttogebäudevolumen.

A) Behaglichkeit: Grundlage dieser Stellungnahme ist eine Definition der Behaglichkeit in Gebäuden. Wo immer möglich, sollen natürliche Methoden für thermischen Komfort, Licht- und Luftqualität gegenüber technischen Lösungen bevorzugt werden (siehe Anhang A, S. 9). Diese Grundlage entstand durch die Mitarbeit einer unserer Experten an einer Studie für das Umweltministerium zur Umsetzung der EU-Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz in

Gebäuden. Dieser Teil der Stellungnahme beschreibt dem Nutzer akzeptable Temperaturspannen und liefert Vorgaben für übliche Indikatoren der Energieeffizienz von Gebäuden wie z.B. der Wärmedurchgangskoeffizient, sommerlicher Wärmeschutz, Belüftung und Beleuchtung. Die Raumtemperatur kann eine Spannweite von 20 C° im Winter bis zu 26C° im Sommer (zwischen 8 und 18 Uhr) haben. Dies hat zur Folge, dass Kühlung bei integralem Planungsansatz nicht notwendig sein sollte, außer für Sonderbereiche, in denen Temperaturschwankungen nicht zulässig sind oder in der Abwärme von Geräten kompensiert werden muss (für Serverräume ist eine Kühlung auf 26 C° angemessen). Der zur natürlichen Belüftung empfohlene Außenluftvolumenstrom entspricht bei Standardnutzung 0.7 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>·h. Die Beleuchtung von Büros sollte im Durchschnitt 400 lux betragen (LED-Technologien werden hierfür empfohlen). Die Gebäudehülle soll ein möglichst gutes Klima bei niedrigem Energiebedarf bieten. Wärmeverteilverluste sollen minimal sein. Eine gute Wärmedämmung der Gebäudehüllen mit hoher Luftdichte und minimierten Wärmebrücken trägt dazu bei. Flächenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten der Einzelbauteile (U-Werte) sollten für alle Materialien der Fassade einen Durchschnitt von 0.20-0.23 W/m<sup>2</sup>·K haben. Dieses Ziel beinhaltet auch implizit, dass eine übermäßige Verglasung der Fassaden, wie z.B. Fenster, die bis auf den Boden reichen, zu vermeiden ist. Verglasung von <= 30 Prozent der Fassade scheint zweckmäßig, Fenster die niedriger als 1 Meter über dem Boden ansetzen, erscheinen unzweckmäßig. Besonders bei Bürogebäuden ist es im Sommer wichtig, durch bauliche Maßnahmen (Beschattung, Speichermasse) und geringe Wärmelasten den Kühlungsbedarf gering zu halten. Die Option der Verschattung der oberen Bereiche der Fenster (Verglasung von Vorteil, um den Lichteinfall zu maximieren) wird für alle Fenster mit Ausnahme der Nord-Fassaden empfohlen. Einige Technologien wie thermisch gute Fenster und Wärmepumpen sind auf dem Markt eingeführt und konkurrenzfähig. Eine Dachbepflanzung trägt ebenfalls viel zur Isolation im Sommer bei.

B) Grenzwerte für den Energiebedarf: Basierend auf diesen Prinzipien sind Grenzwerte für den Gesamtenergiebedarf von Gebäuden, zusammengesetzt aus der Endenergie der Fernwärme und dem elektrischen Stromverbrauch festgesetzt (Anhang B, S. 23). Die Berechnung der Energieeffizienz von Gebäuden sollte den Vorgaben der Richtlinie 2002/91/EG folgen und sich dem entsprechend auf die Standardnutzung eines Gebäudes beziehen; diese umfasst mindestens Heizung, Warmwasserbereitung, Kühlung, Lüftung, Be- und Entfeuchtung und diverse andere Gebäudetechnik, wie z.B. Pumpen und Aufzüge.

Der Grenzwert für die Endenergie der Fernwärme beträgt 14 kWh/m<sup>3</sup>·a. Der Grenzwert für den elektrischen Stromverbrauch beträgt 6 kWh/m<sup>3</sup>·a. Der Grenzwert für den Stromverbrauch setzt optimale Tageslichtnutzung und den Einsatz von Apparaten und Beleuchtung mit bester Energieetikette voraus. Zur Lichttechnik gilt, dass Wände und Böden auch unter dem Aspekt der Lichtreflektion geplant werden (dies gilt besonders auch für die Tiefgaragen). Der Verbrauch von besonderen Geräten zur Forschung sollte nicht zur Berechnung dieses Grenzwertes hinzu gezählt werden. Auch andere Sonderbereiche wie z.B. Rechenzentren oder unterirdische Parkhäuser mit ständiger Beleuchtung sollten nicht in die Gesamtwertrechnung mit einbezogen, sondern einzeln betrachtet werden. Der Stromverbrauch aller Sonderbereiche und der Betriebseinrichtungen, wie z.B. Kopierer, Küchengeräte, Telefone, Computer und EDV Server sollte schon in einer frühen

Planungsphase aufgezeigt werden, damit er ständig kontrolliert und optimiert werden kann. Aussagen zum Bedarf an Kühlung oder besonders hohem Stromverbrauch, die in die Planung einfließen, sollten kritisch hinterfragt und schriftlich begründet werden. Anleitungen zur Gestaltung nachhaltiger Labore werden zur Zeit in England entwickelt.<sup>6</sup> Es sollte auch erörtert werden, ob Kühlung von Sondernutzungsbereichen mit erneuerbaren Energien erreicht werden kann (z.B. solar cooling) und ob die Abwärme von Kälteerzeugungsmaschinen oder anderer Geräte genutzt werden kann. Die am Gebäude produzierte Energie, z.B. durch Photovoltaikanlagen, kann vom berechneten Gesamtverbrauch zur Gebäudezertifizierung abgezogen werden.

C) Photovoltaikanlagen: Anhang C (S. 25) liefert Begründungen für die Integration von Photovoltaikanlagen in die Gebäudedächer und -fassaden oder in mobile Verschattungselemente an Fassaden. Zurzeit wird eine Studie erstellt, um die hierfür am besten geeigneten Bauplätze in der Cité des Sciences zu identifizieren.

D) Wasserbewirtschaftung: Das meiste Wasser in Dienstleistungsgebäuden wird zur Toilettenspülung genutzt. Optimales Wassermanagement beinhaltet die Entwicklung von Konzepten zum Sparen von Trinkwasser durch den Einsatz wassersparender Armaturen und Apparate und, wo möglich, durch Ersatz von Trinkwasser durch Regenwasser. Zur Verbesserung des Mikroklimas durch Evapotranspiration von Pflanzen und zur Vermeidung einer Überlastung der Kanalisation kann Dachbepflanzung eine positive Rolle spielen. Das Vermischen von Abwasser und Regenwasser soll vermieden werden. Das Abpumpen von Grundwasser zur Vermeidung der Vernässung von Gebäuden ist nicht angeraten. Bei der Gesamtplanung des Wasserhaushaltes in Belval ist zu beachten, dass der Boden aufgrund von Altlasten an einigen Stellen versiegelt ist und Arcelor Mittal Rechte auf Oberflächenwasser zur Kühlung bei der Stahlproduktion hat. Anhang D (S. 27) stellt eine Reihe von konkreten Maßnahmen mit Kostenabschätzung dar, die zum besseren Umgang mit Wasser in Belval beitragen können.

E) Baustoffauswahl: Es sollten nach Möglichkeit umweltschonende Baustoffe eingesetzt werden, die mit geringem Energieaufwand produziert und transportiert wurden. Auch Schadstoffgehalt, Langlebigkeit und Recyclingfähigkeit spielen hier eine Rolle. Analysen der Umweltverträglichkeit und des Energieaufwandes von verwendeten Bau- und Hilfsstoffen sollten den gesamten Gebäudelebenszyklus berücksichtigen. Konstruktions- und Fertigungstechniken sollten auch unter diesen Aspekten analysiert werden. Die Methode der Ökobilanz wird zur Bewertung empfohlen. Die Expertengruppe erwartet, dass die Wettbewerbsteilnehmer in ihren Projektanträgen Daten bereitstellen, damit die Ingenieurgruppe anschließend eine ökobilanzielle Betrachtung der Baustoffe durchführen kann, und diese Bewertung mit in die Préjury und Jury einfließen kann. Anhang E (S. 34) gibt hierzu praktische Anweisungen und Tabellen.

**Fazit:** Diese Vorgaben wurden ausgewählt, da sich hier besonders gute, neue technische Möglichkeiten bieten, um höhere Ziele zu erreichen als die bisher in Luxemburg üblicherweise vorgegebenen. Dazu gehören auch ein integraler Planungsansatz zu Gebäudedesign und -technik, und dass die Baudichte eine optimale Ausrichtung der Gebäude nicht ausschließen sollte.

#### **Vorschläge zur Umsetzung dieser Ziele:**

- (a) Diese Stellungnahme soll den Teilnehmern an Architekturwettbewerben zusammen mit allen anderen offiziellen Informationen übermittelt werden - mit einem klaren Hinweis, dass diese Ziele auch in der Auswertung der Vorschläge eine große Rolle spielen werden (siehe auch Anhang B, S. 24).
- (b) Die Stellungnahme soll die Grundlage für die Auswertung des Energiekonzepts (zusammen mit der Simulation des Schweizer Büros Baseler), des Wasserhaushalts und der Baustoffauswahl der Préjury bilden. Die Auswertung dieser drei Aspekte für jedes der Gebäude an die Jury sollte sehr klar kommuniziert werden (zum Beispiel durch Farbcodes).
- (c) Als Anforderungen des Hauptnutzers der Gebäude sollte der Rektor der Universität diese Stellungnahme noch einmal persönlich an alle Mitglieder der Jury nahe legen. Auch sollte der Jury ein Energieexperte angehören, der gegebenenfalls Erklärungen geben kann. In der Gesamtbeurteilung sind die folgenden Faktoren wie folgt gewichtet: Umweltverträglichkeit: Energie>Wasser>Baustoffe (1/3); Gestaltung, funktionale Anforderung, städtebauliche Einbindung (1/3) und Wirtschaftlichkeit (1/3).
- (d) Nach Auftragsvergabe sollten Zeitpunkte in der Planungs- und Bauphase definiert werden, zu denen Gesamtenergieberechnungen vorzulegen sind, die vom Bauherren und dem Hauptnutzer abzuzeichnen sind.
- (e) Vorgesehen werden sollte auch ein Monitoring der Gebäudeleistung sowie die Optimierung des Betriebssystems auf die Nutzungsprofile nach 1-2 Saisonzyklen und die Arbeit mit einem Experten, um Haustechnik und Nutzerverhalten zu optimieren. Ein Hauptmonitor zum Energie- und Wasserkonsum könnte an einem öffentlichen zentralen Platz zur Bewusstseinsbildung der Nutzer beitragen. Ein Hauptkriterium bei der Anschaffung neuer Geräte sollte Energieeffizienz sein. Die Gemeinschaft der Nutzer sollte Zusatzinformationen (Newsletter und Vorlesungen) und einen Leitfaden zum individuellen Energie- und Wassersparen erhalten.

### Mitglieder der Experten Gruppe

Name	Organisation	Beitrag	e-mail
Yves Biwer	Agora	Laufende Studie zur Wassergestaltung	Yves.Biwer@agora.lu
Manfred Greger	Universität Luxembourg	Anhang E: Baustoffe	<a href="mailto:Manfred.Greger@uni.lu">Manfred.Greger@uni.lu</a>
Paula Hild	CRP Henri Tudor	Anhang E: Baustoffe	<a href="mailto:Paula.Hild@tudor.lu">Paula.Hild@tudor.lu</a>
Ariane König (Vorsitz)	Universität Luxembourg	Übersicht	Ariane.Koenig@uni.lu
Stefan Maas	Universität Luxembourg	Anhang B: Grenzwerte für Energieverbrauch	Stefan.Maas@uni.lu
Frank Minette	CRP Henri Tudor	Laufende Studie zu Photovoltaikanlagen	Frank.Minette@tudor.lu
Michael Scheuern	Universität Luxembourg	Laufende Studie zu Energieverbrauch im Serverraum	Michael.Scheuern@uni.lu
Jean-Jacques Scheuren	Universität Luxembourg	Anhang B: Grenzwerte für Energieverbrauch	Jean-Jacques.Scheuren@uni.lu
Paul Schosseler	CRP Henri Tudor	Anhang D: Wasser	Paul.Schosseler@tudor.lu
Bianca Schmitt	CRP Henri Tudor	Anhang E: Baustoffe	Bianca.Schmitt@tudor.lu
Stefanie Seiffert	CRP Henri Tudor	Anhang D: Wasser	Stefanie.Seiffert@tudor.lu
Susanne Siebentritt	Universität Luxembourg	Anhang C: Photovoltaik	Susanne.Siebentritt@uni.lu
Andreas Thewes	Universität Luxembourg	Anhang B: Grenzwerte für Energieverbrauch	Andreas.Thewes@uni.lu
Danièle Waldmann	Universität Luxembourg	Anhang E: Baustoffe	<a href="mailto:Daniele.Waldmann@uni.lu">Daniele.Waldmann@uni.lu</a>

**Endnotes:**

<sup>1</sup> Der globale Durchschnitt des Energiekonsums pro Kopf beträgt 17500 Kilowattstunden pro Jahr. Dies entspricht einer kontinuierlichen Leistung von 2000 Watt. In Westeuropa liegt der heutige Durchschnitt bei 6000 Watt, in den USA bei über 12000 Watt. Um den weltweiten Klimawandel aufzuhalten muss der fossile Energieverbrauch bis zum Jahr 2150 auf 500 Watt/Person reduziert werden. Dies entspricht ungefähr einem Ausstoß an 4 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Person pro Jahr. Ein mittelfristiges Ziel besteht darin bis zum Jahr 2050 eine 2000 Watt Gesellschaft zu erreichen. Letzte Forschungsergebnisse unterstützen, dass diese Vision machbar ist, vorausgesetzt, dass Effizienz- und Substitutionspotentiale intelligent ausgenutzt werden. E. Jochem (Editor) et al. 2004: Steps towards a sustainable development. A White Book for R&D of Energy-Efficient-Technologies; CEPE/ETH Zurich and Novatlantis, Zurich <http://www.novatlantis.ch/index.php?id=60&L=1>

<sup>2</sup> Europäische Richtlinie 2002/91/EG über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften 4.1.2003. L 1/65.

<sup>3</sup> Règlement Grand-Ducal du 30 Novembre 2007 publié dans le Mémorial A le 14 Décembre 2007 concernant la performance énergétique des bâtiments d'habitation.

<sup>4</sup> Siehe auch <http://www.international-sustainable-campus-network.org/>

<sup>5</sup> Betriebskosten von Energie-effizienten Gebäuden die dem US EPA Energy Star Massnahmen entsprechen waren bis zu 40% niedriger als konventionelle Bürogebäude. Diese Resultate wurden erzielt durch einen integralen Planungsansatz, Gebäudeorientierung, Einsatz von energiesparenden Technologien, erneuerbarer Energiesysteme, und Licht-reflektierende Materialien, Optimierung natürlichen Tageslichtes und Ventilation, und minimaler Einsatz von Haustechnik. Die geschätzte Rendite des Harvard Anlagefonds für Grüne Gebäude wird auf 28% geschätzt (siehe <http://www.greencampus.harvard.edu/gclf/>). Steigende Öl- und Wasserpreise werden die Investition in Energie- und Wassermassnahmen in Zukunft noch rentabler machen.

<sup>6</sup> Siehe <http://www.heepi.org.uk/benchmarking/Lab%20benchmarking%20paper%20v4%2027.7.07.doc>

**Confort**  
**et**  
**qualité de l'environnement intérieur**  
**des bâtiments non résidentiels**

**Claude-Alain ROULET**

**Prof. Dr. EPFL retraité**

**NOTE**

Le projet de document « Confort, qualité de l'environnement intérieure et bilan énergétique des bâtiments non résidentiels » a été élaboré à la demande de M. Jean Biver, Directeur adjoint à l'Administration de l'environnement du Grand Duché du Luxembourg. Ce chapitre est mis à disposition de l'Université du Luxembourg à la demande du Prof.-ing. J.J. SCHEUREN qui a participé au projet.

*La directive européenne sur les performances énergétiques du bâtiment a pour objectif "de promouvoir l'amélioration de la performance énergétique des bâtiments dans la Communauté, compte tenu des conditions climatiques extérieures et des particularités locales, ainsi que des exigences en matière de climat intérieur et du rapport coût-efficacité." (Directive, art. 1)*



## 1 Critères de confort et exigences y relatives

### Principes

Le bâtiment est construit avant tout pour ses usagers, et doit donc être confortable et sain. Le bâtiment doit protéger les occupants de l'environnement extérieur, assurer un climat et une qualité d'air agréables à l'intérieur, et fournir des services tels que le transport, des produits et des communications.

Les mesures permettant d'assurer une bonne qualité de l'environnement intérieur peuvent être classées en deux groupes: les mesures passives et des mesures actives.

- Les mesures passives sont des mesures architecturales et constructives qui permettent d'atteindre naturellement le but poursuivi pratiquement sans apport d'énergie non renouvelable.
- Les mesures actives ou technologiques permettent d'atteindre le but poursuivi par des actions mécaniques, en consommant de l'énergie pour compenser les défauts du bâtiment ou compléter les mesures passives.

### Exemples de mesures passives

L'isolation thermique protège du climat extérieur. Si elle est placée à l'extérieur de la structure, elle la protège des variations rapides de température, stabilise la température intérieure, favorise l'utilisation des gains solaires, permet le refroidissement passif et supprime les risques de moisissure et de condensation.

La ventilation naturelle est généralement mieux acceptée par les habitants que la ventilation mécanique. Elle permet des débits nettement supérieurs à ceux que la ventilation mécanique peut atteindre, ce qui facilite l'évacuation rapide de grandes quantités de polluants et améliore nettement l'efficacité du refroidissement passif.

Le refroidissement passif consiste à refroidir la structure du bâtiment la nuit pour éviter les surchauffes les jours de canicule. Pour cela, on utilise de grandes ouvertures pendant toute la nuit, une des ouvertures étant située le plus haut possible.

Le chauffage solaire passif consiste à utiliser la chaleur du rayonnement solaire entrant dans le bâtiment par les fenêtres, ou parfois par des dispositifs ad hoc, pour contribuer au chauffage des locaux.

L'emplacement des ouvertures détermine l'éclairage et la ventilation naturels. Par exemple une ouverture tout en haut permet d'évacuer l'air chaud. Des fenêtres hautes éclairent mieux le fond des pièces que des vitrages larges.

L'isolation et l'absorption acoustiques assurent une ambiance acoustique agréable dans les locaux, évitent les interférences désagréables entre voisins et réduisent l'impact des bruits extérieurs.

L'éclairage naturel est parfaitement adapté à nos yeux, bien accepté, voire recherché par les occupants. A éclairage égal, il chauffe moins que l'éclairage artificiel.

La distribution des volumes " doit être adaptée au climat. Les grandes hauteurs sont confortables en climat chaud, alors que les petits volumes sont plus faciles à chauffer. La distribution des pièces en hauteur favorise la ventilation par effet de cheminée, mais augmente aussi le gradient de température.

### Quelques exemples de mesures actives

Le chauffage local ou central reste indispensable dans les climats froids pour assurer une température confortable en hiver.

La ventilation mécanique supplée à la ventilation naturelle ou la complète dans les locaux de grande dimension ou à fort taux d'occupation. Elle permet aussi de récupérer la chaleur dans l'air extrait.

Le rafraîchissement actif permet de refroidir les locaux dans lesquels la charge thermique est trop élevée. Pour cela, on installe soit des parois radiantes (par exemple des plafonds froids) ou l'air conditionné.

L'éclairage artificiel est bien connu et reste indispensable pour voir la nuit !

Les avantages et inconvénients des mesures passives ou des mesures actives sont résumés dans le Tableau 1

*Tableau 1: Avantages et inconvénients des mesures passives et actives*

	Mesures passives	Mesures actives
Avantages	Bon marché Consomment peu d'énergie Ne tombent pas en panne	Sont adaptés aux besoins Méthodes connues Souplesse Corrige les erreurs
Inconvénients	Nécessitent de l'imagination Ne sont pas toujours adaptées Ne pardonnent pas d'erreur	Chères Énergivores Des pannes sont possibles Permettent des erreurs

Les mesures passives étant préférables mais ne pouvant pas toujours garantir des conditions confortables, la stratégie à adopter consiste à aller aussi loin que raisonnablement possible avec les mesures passives, et de pallier les insuffisances résiduelles par des installations actives dont les dimensions seront alors réduites. Cette stratégie permet souvent d'avoir plus de choix quant aux types et aux emplacements des installations actives.

## 2 Confort thermique

### Confort thermique dans des locaux conditionnés

Le confort thermique dépend des facteurs suivants:

Les facteurs liés à l'individu :

- Son activité.
- Son habillement.

Les facteurs liés au bâtiment:

- Températures de l'air et des surfaces environnantes
- Vitesse relative de l'air et le degré de turbulence
- Pression de vapeur d'eau ou humidité relative

La température radiante moyenne en un endroit d'une pièce qui a plusieurs surfaces à différentes températures est la température homogène qu'aurait une pièce imaginaire dans laquelle le rayonnement reçu à cet endroit est le même que dans la pièce réelle. Une approximation de

cette température est la moyenne des températures des surfaces pondérée par les aires de ces surfaces.

La température opérative est la moyenne pondérée de la température de l'air  $T_a$  et de la température radiante  $T_r$ :

$$T_{op} = a T_a + (1 - a) T_r \quad \text{où} \quad a = 0.5 + 0.25v \quad (0.1)$$

$v$  étant la vitesse relative de l'air.

Dans l'environnement intérieur, la vitesse de l'air dépasse rarement 0,1 m/s et la température opérative est dès lors la moyenne arithmétique de la température de l'air  $T_a$  et de la température radiante  $T_r$ .

Dans un environnement conditionné, les conditions de confort thermique optimales (pour lesquelles statistiquement seulement 5% des occupants seraient insatisfaits) sont données dans la norme EN ISO 7730. Ces conditions se résument à la Figure 1, si l'humidité relative est comprise entre 35% et 65% et tant qu'il n'y a pas de courant d'air.

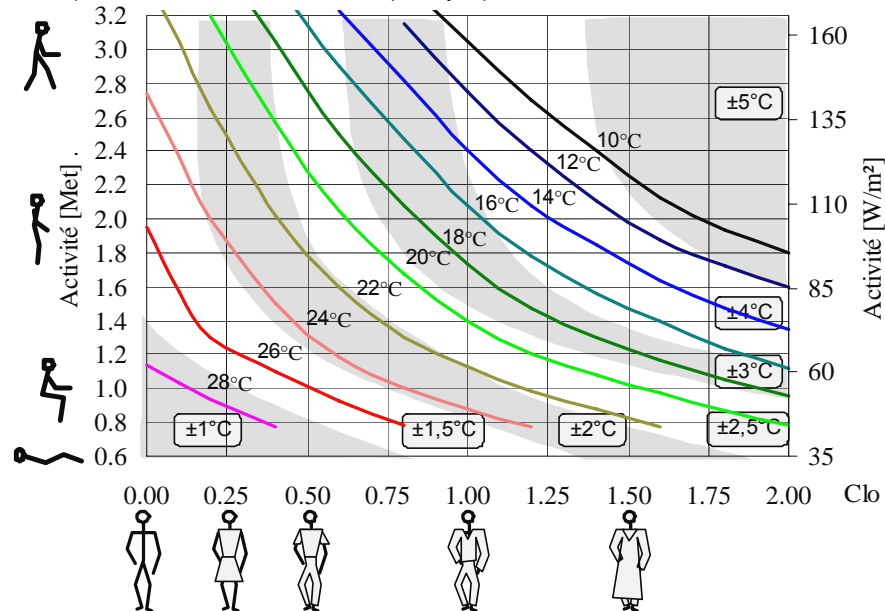


Figure 1: Température opérative idéale en fonction de l'habillement et du métabolisme d'après EN ISO 7730. Cette figure donne la température opérative idéale en fonction de l'activité et de l'habillement, et ce pour une vitesse de l'air basse (moins de 0,1 m/s) et une humidité relative normale (35 à 65%). Les parties ombrées donnent l'écart acceptable autour de la température idéale, à savoir les domaines où il n'y aurait que 10% d'insatisfaits du confort thermique.

Le taux de métabolisme est une puissance, et s'exprime donc en watt. On utilise aussi le met, qui correspond à une activité assise de bureau (environ 100 watt).

Tableau 2: Taux de métabolisme moyen correspondant à diverses activités (ISO, 1993)

Activité	Dégagement de chaleur		
	met	W/m <sup>2†</sup>	W/pers*
Couché, inactif, sommeil	0,8	46	83
Assis inactif	1,0	58	104
Activité sédentaire (bureau, lecture, études)	1,2	70	126
Debout, inactif	1,2	70	126
Activité légère, debout (magasin, établi, laboratoire)	1,6	93	167
Travail debout (ménage, atelier)	2,0	116	209
Marche (4 km/h)	2,8	162	292
Travail intensif (mécanique lourde)	3,0	174	313
Marche (5 km/h)	3,4	197	354
Course (10 km/h)	8,0	464	834

† par rapport à la surface du corps.

\* valable pour une personne de 1,8 m<sup>2</sup> de surface corporelle (par ex. taille 1.7 m, poids 69 kg)

L'habillement représente une résistance thermique entre la surface de la peau et l'environnement. Elle s'exprime en m<sup>2</sup>K/W ou en *clo* (pour clothing). 1 *clo* correspond à la résistance thermique du complet – veston, ou à une résistance thermique de 0.155 m<sup>2</sup>K/W. Quelques exemples sont donnés dans le Tableau 3.

Tableau 3: Valeurs en *clo* pour quelques habillements (ISO, 1993)

Tenue vestimentaire	clo	m <sup>2</sup> K/W
Nu, debout	0,0	0,0
Shorts, costume de bain	0,1	0,015
Tenue tropicale : slip, chemise courte à col ouvert, shorts, chaussettes légères et sandales	0,3	0,045
Tenue d'été : slip, chemise courte à col ouvert, pantalons longs légers ou jupe chaussettes légères et chaussures	0,5	0,08
Tenue de travail légère : sous-vêtements légers, chemise courte à col ouvert, pantalons de travail, chaussettes et chaussures	0,7	0,11
Tenue d'intérieur pour l'hiver : sous-vêtements, chemise à manches longues, pull-over, pantalons ou robe, chaussettes et chaussures	1,0	0,15
Tenue de ville : sous-vêtements à manches et jambes longues, chemise à manches longues, pantalons et gilet ou robe, veste, chaussettes épaisses et chaussures	1,5	0,23
Tenue d'hiver fourrée	3,0	0,45

#### Les critères selon EN ISO 7730 sont utilisables dans le domaine suivant :

- climat intérieur contrôlé (chauffage ou refroidissement)
- métabolisme de 46 à 230 W/m<sup>2</sup> (0.8 à 4 met);
- habillement de 0 à 2 *clo* ou résistance thermique des habits de 0 à 0.310 m<sup>2</sup>K/W ;
- température de l'air de 10 à 30 °C;
- température radiante moyenne de 10 à 40 °C;
- vitesse relative de l'air inférieure à 1 m/s;
- pression partielle de vapeur d'eau de 0 à 2700 Pa.

#### Températures opératives forfaitaires

En tenant compte de l'activité et de l'habillement usuels, on peut donner des conditions de confort thermique pour certains locaux conditionnées typiques. Le Tableau 4 donne quelques exemples.

Tableau 4: Températures opératives forfaitaires pour les espaces de bureau conditionnés (prEN 13779).

	Habillement (clo)		Activité (met)	Température en	
	Eté	Hiver		Eté	Hiver
Valeurs typiques	0,5 – 0,7	0,8- 1,0	1,0 -1,4	23-26	19-24
Valeurs de dimensionnement	0,5	1,0	1,2	26	21

#### Facteurs d'inconfort supplémentaires

La Figure 1 s'applique à des locaux pratiquement isothermes et sans courants d'air. En présence de gradients de température ou de courants d'air, le pourcentage d'insatisfaits augmente. Pour éviter ceci il convient d'éviter que:

- L'asymétrie de température radiante, à savoir la différence de température radiante moyenne vue par les deux faces d'une surface ne devrait pas dépasser
  - 2 K dans le sens vertical, le plafond étant plus chaud que le plancher
  - 12 K dans le sens vertical, le plafond étant plus froid que le plancher
  - 10 K dans le sens horizontal, au voisinage d'une paroi froide
  - 20 K dans le sens horizontal, au voisinage d'une paroi chaude
- L'écart de température de l'air entre la tête et les chevilles ne devrait pas dépasser 3 K (il peut être négatif)
- La température du sol (sols chauffants) devrait être comprise entre 20 et 27 °C
- L'exposition directe à la lumière du soleil devrait être évitée (surchauffe)
- La vitesse de l'air devrait être telle que le pourcentage de plaintes pour courants d'air ne dépasse pas 15%, ce qui représente une vitesse maximale de 0,13 m/s à 20°C, 0,15 m/s à 22°C et 0,2 m/s à 26 °C.

#### Confort thermique dans les locaux non conditionnés

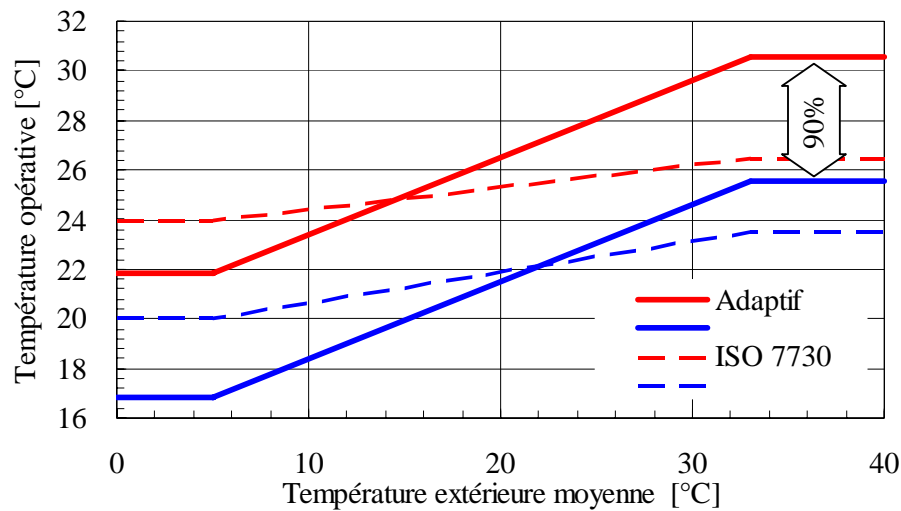
La température opérative idéale dans les bâtiments non conditionnés et à ventilation naturelle ne suit pas le modèle prEN ISO 7730, mais dépend plutôt de la température extérieure (Figure 2) :

$$\theta_{op} = 17.8 + 0.31\theta_e$$

(0.2)

où  $\theta_{op}$  est la température opérative idéale et  $\theta_e$  la température extérieure en moyenne mensuelle. L'intervalle d'acceptation pour 90% des occupants est  $\pm 2.5$  K. Il s'élève à  $\pm 3.5$  K pour 80%.

Figure 2 : Modèle de confort adaptatif de (de Dear and Brager, 2002); et selon ISO 7730 pour 1,2 met.



Ce modèle de confort adaptatif permet des économies d'énergie importantes, spécialement en été, car la température acceptée en absence de refroidissement artificiel est supérieure à celle généralement exigée dans les locaux conditionnés.

### 3 Moyens passifs d'assurer le confort thermique

#### Isolation thermique

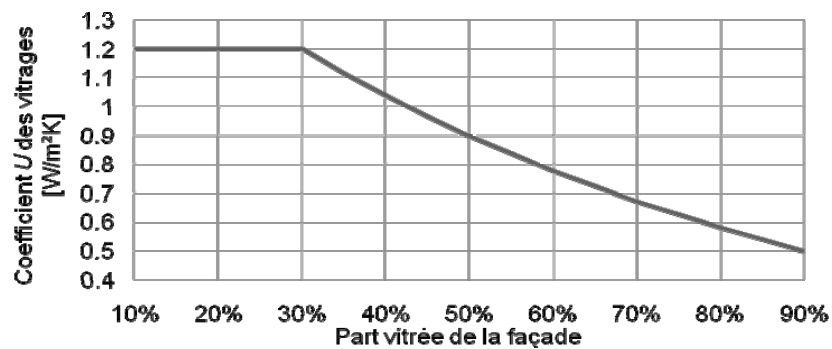
L'isolation thermique est essentielle au confort thermique, été comme hiver.

Le coefficient de transmission thermique  $U$  des parois opaques doit être égal ou inférieur à  $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ , ce qui correspond à 20 cm d'épaisseur d'isolant environ.

Pour le confort d'été des combles occupés, cette isolation doit être renforcée dans les toitures légères:  
 $U < 0,15 \text{ W/m}^2$ .

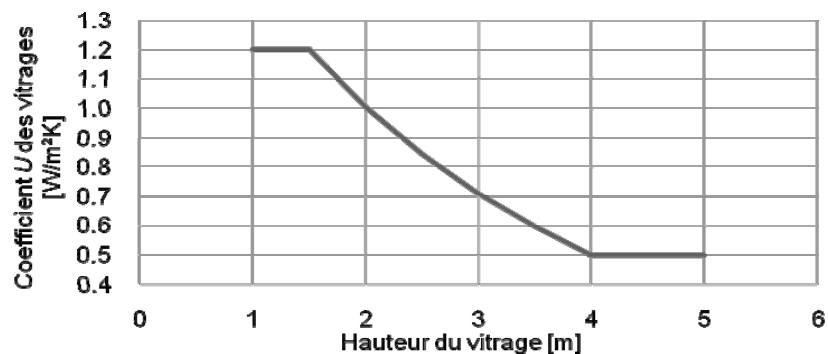
Les vitrages des locaux chauffés ou conditionnés ont un coefficient de transmission thermique  $U$  égal ou inférieur à  $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ , cadre inclus. Cette limite diminue avec la part vitrée de l'enveloppe (Figure 3).

Figure 3: Coefficient de transmission thermique  $U$  en fonction de la part vitrée des façades



Pour réduire les courants d'air, le coefficient de transmission thermique  $U$  maximum des vitrages (cadre inclus) diminue aussi avec leur hauteur (Figure 4).

Figure 4: Coefficient de transmission thermique  $U$  en fonction de la hauteur des vitrages



Une isolation optimale, permettant de minimiser la consommation d'énergie totale pendant une durée de vie de bâtiment de 50 ans ou plus correspond à une épaisseur d'isolant supérieure à 20 cm ( $U < 0,15 \text{ W/m}^2$ ) et des vitrages à hautes performance ( $U < 0,6 \text{ W/m}^2$ ).

L'isolation doit entourer entièrement et sans discontinuité importante l'espace occupé. Cette exigence est plus facile à satisfaire si la structure du bâtiment est à l'intérieur de l'enveloppe isolante.

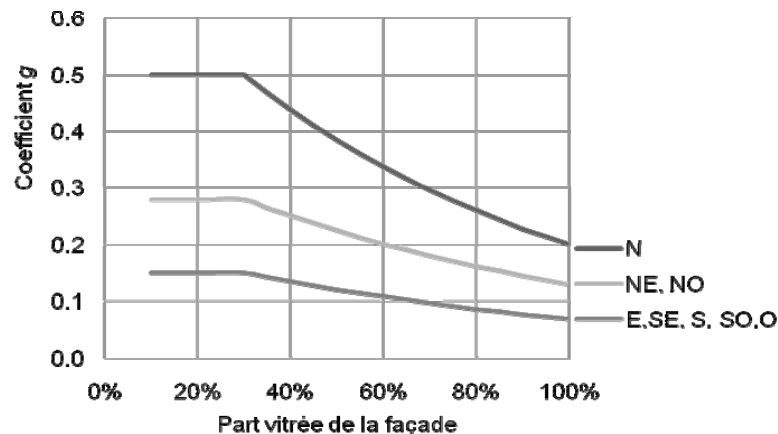
#### Rayonnement solaire

La quantité de rayonnement solaire entrant dans le bâtiment (notamment par les vitrages) doit être adaptée aux besoins en éclairage et en chaleur. Pour améliorer l'éclairage naturel, on utilisera exclusivement des vitrages clairs, dont la transmission lumineuse dépasse 60%.

Le rayonnement solaire entrant dans le bâtiment doit être contrôlé par des protections solaires efficaces et mobiles.

Le facteur de transmission énergétique global  $g$  du rayonnement solaire est le rapport de la densité de flux thermique traversant un élément de construction transparent (y compris la transmission secondaire de chaleur) au rayonnement solaire incident global. La norme EN 410 définit une méthode de calcul de la valeur  $g$  pour les fenêtres. Ce facteur ne doit pas dépasser les valeurs de la Figure 5 lorsque les protections solaires sont déployées.

Figure 5: Valeurs limite du facteur de transmission énergétique global  $g$  du rayonnement solaire en fonction de la part vitrée de la façade pour les orientations principales.



#### Inertie thermique

L'inertie thermique d'un bâtiment ou d'une pièce de ce bâtiment est sa capacité à amortir les variations de température intérieure.

Cette inertie augmente avec:

- la capacité d'accumulation de chaleur des matériaux en contact avec l'ambiance intérieure, qui augmente avec la masse spécifique du matériau;
- la surface des matériaux lourds en contact avec l'ambiance intérieure;
- l'isolation thermique du bâtiment.

La capacité thermique intérieure effective,  $C$ , est la quantité de chaleur nécessaire pour chauffer le bâtiment de 1 degré dans un temps imparti, par exemple 24 heures.

Figure 6: Exemples de capacité thermique, en Wh par mètre carré de surface de référence et par degré de variation de température.

Construction lourde, entièrement en béton ou pierre bruts	150
Dalles (sol et plafond en béton, paroi de brique crépies brutes	120
Idem, sol recouvert de moquette	100
Idem, sol recouvert de moquette et faux plafond	70
Sol recouvert de moquette et faux plafond, parois en Placoplatre	30
Construction entièrement en bois massif	50
Construction en planches de bois	25

La constante de temps,  $\tau$  caractérise l'inertie thermique intérieure. C'est le rapport de la capacité thermique de cet espace à son coefficient de déperdition thermique :

$$\tau = \frac{C}{H} \quad (\text{s}) \quad (0.3)$$

où  $H$  est le coefficient de déperdition thermique du bâtiment, qui est la puissance à fournir pour maintenir un degré de différence de température entre l'intérieur et l'extérieur.

Une constante de temps de 100 heures ou plus, calculée avec un débit d'air minimum hygiénique contribue à assurer un confort thermique stable, notamment en été.

### Confort hivernal, chauffage solaire passif

Le rayonnement solaire entrant par les fenêtres et le cas échéant par d'autres éléments de captage spéciaux est transformé en chaleur à l'intérieur du bâtiment, et contribue ainsi au chauffage des locaux. Pour qu'il soit efficace et confortable, il convient de suivre les directives ci-dessous.

Limiter les besoins de chauffage au minimum par une isolation thermique soignée

Répartir les zones chauffées et les zones tampon de manière adéquate en plan et en coupe,: les premières au soleil, les secondes en retrait.

Aménager de grandes surfaces de captage, orientées entre le sud-est le sud-ouest. L'orientation du bâtiment doit tenir compte de ces besoins. Les surfaces de captage sont avant tout les fenêtres et portes vitrées, mais aussi les vérandas et les parois opaques à isolation transparente.

Munir toutes les surfaces de captage de dispositifs de contrôle efficaces du rayonnement solaire (protections solaires). Des protections solaires intérieures peuvent être utiles en hiver pour réduire l'éblouissement tout en profitant de la chaleur solaire.

L'inertie thermique du bâtiment doit être élevée, pour limiter les surchauffes en période ensoleillée, et restituer la chaleur accumulée pendant la nuit. Le bâtiment est donc massif et l'isolation est posée à l'extérieur de la structure. La constante de temps du bâtiment devrait dépasser une centaine d'heures.

Dimensionner l'installation de chauffage selon EN 12831, sans exagérer la réserve de puissance.

Enfin, le chauffage d'appoint ne doit fonctionner que quand il est nécessaire. Il faut donc une régulation thermique adéquate, qui tienne compte des gains solaires et des caractéristiques du système de chauffage. C'est notamment le cas s'il y a un thermostat dans chaque pièce. Des systèmes de contrôle prévisionnels peuvent pallier les défauts des chauffages à grande inertie, comme le chauffage par le sol.



### Confort estival, refroidissement passif

Le bâtiment doit être construit de manière à satisfaire les exigences de confort sans refroidissement artificiel, en admettant que les protections solaires prévues sont correctement utilisées, et tant que la charge thermique interne spécifique reste inférieure à  $7 \text{ W/m}^2$  en moyenne journalière (sur 24 h) dans les locaux de travail, et  $5 \text{ W/m}^2$  dans les locaux d'habitation.

Le refroidissement passif consiste à mettre à profit tout phénomène abaissant la température intérieure et ne consommant pas d'énergie. Il permet d'assurer un excellent confort estival tout en évitant l'installation de coûteux systèmes de conditionnement d'air. Pour qu'il soit efficace et confortable, il convient de suivre les directives ci-dessous.

Le bâtiment doit avoir une inertie thermique élevée.

Des ouvertures de ventilation naturelles (notamment fenêtres) assez grandes, protégées des intempéries, pouvant rester ouvertes la nuit sont pratiquées dans l'enveloppe. Au moins une de ces ouvertures doit être placée tout en haut de la zone à rafraîchir, pour évacuer l'air chaud.

Limiter les gains de chaleur à l'intérieur, donc:

- isolation thermique soignée
- installer et utiliser des protections solaires efficaces en été, donc extérieures
- installer un équipement (machines, éclairage, etc.) à faible consommation d'énergie
- déclencher les appareils inutilisés.
- Généraliser l'éclairage naturel, contrôlé par des dispositifs (notamment des protections solaires mobiles) rejetant la lumière en excès à l'extérieur du bâtiment.

Aérer fortement la nuit, et au minimum hygiénique le jour.

## 4 Qualité d'air

### Objectifs

Les trois conditions principales à remplir pour assurer une bonne qualité de l'air intérieur tout en limitant la consommation d'énergie sont :

- Limiter l'intensité des sources de polluants
- Contrôler les débits d'air
- Contrôler le parcours de l'air pour éliminer les polluants près des sources et apporter l'air neuf là où il est le plus utile.

### Gestion des sources de polluants

Une gestion adéquate des sources de pollution de l'air requiert:

- de ne pas introduire de sources de polluants dans le bâtiment;
- d'éliminer les polluants résiduels près des sources;
- d'aérer fortement pendant et immédiatement après toute activité polluante;
- d'aérer de manière contrôlée pour maintenir les polluants inévitables au-dessous de la limite acceptable.

### Contrôle des débits

Le débit d'air doit suffire à évacuer les polluants émis dans les locaux sans toutefois être exagéré.

En régime permanent, le débit d'air pur nécessaire pour maintenir la concentration d'un polluant donné en dessous d'une certaine limite est donné par la relation ci-dessous :

$$\text{Débit d'air extérieur} = \frac{\text{Débit de la source de pollution}}{\text{Concentration limite nette}} \quad (0.4)$$

Les polluants principaux présents dans le local considéré sont envisagés, et le débit le plus grand est appliqué.

Si les occupants, non fumeurs, sont la seule source de pollution, le débit est compris entre 20 m<sup>3</sup>/h (exigences minimales) et 40 m<sup>3</sup>/h (hautes exigences).

En tenant compte des charges polluantes usuelles dans certains locaux typiques et des concentrations couramment admises, on peut choisir l'un des débits d'air forfaitaires donnés dans le Tableau 5. Ces débits sont valables tant que la pollution réelle correspond aux hypothèses de calcul.

Tableau 5: Débits d'air forfaitaires en litre par seconde et mètre carré de plancher pour des locaux administratifs, en fonction de la charge polluante (CEN CR 1752.)

Classe de qualité	Occupants seuls	Matériaux peu polluants	Matériaux polluants	
Haute	1	2	3	l/(s·m <sup>2</sup> )
Moyenne	0.7	1.4	2.1	

L'air extérieur nécessaire doit être apporté par l'ouverture manuelle des fenêtres, au travers d'ouvertures de ventilation contrôlées ou par une installation de ventilation mécanique. Les fuites de l'enveloppe ne conviennent pas à assurer une aération efficace.

Dans le but de contrôler les débits d'air, l'enveloppe du bâtiment, qui entoure le volume chauffé, doit être aussi étanche à l'air que possible (les ouvertures de ventilation étant fermées).

La perméabilité spécifique de l'enveloppe, est le débit d'air sous conditions normales et 4 Pa de pression différentielle, rapporté à l'aire de l'enveloppe

$$v_{a,4} = \frac{\dot{V}_4}{A_e} = \frac{\text{Débit d'air sous 4 Pa}}{\text{Aire de l'enveloppe}} \quad (0.5)$$

où :

$\dot{V}_4$  débit d'air sous 4 Pa de pression différentielle, en m<sup>3</sup>/h  
 $A_e$  aire de l'enveloppe entourant le volume chauffé, mesuré à l'extérieur, en m<sup>2</sup>

Le Tableau 6 donne les valeurs limite et les valeurs cible données par la norme suisse SIA 180 pour la perméabilité à l'air des enveloppes des bâtiments. Les bâtiments équipés de ventilation mécanique à double flux doivent respecter les valeurs cibles.

Tableau 6: Valeurs limite recommandées pour la perméabilité à l'air des enveloppes des bâtiments. (SIA 180 :1999)

Catégorie	$v_{a,4,max}$ (m <sup>3</sup> /h·m <sup>2</sup> )	
	valeur limite	valeur cible
Bâtiments neufs	0,75	0.5
Bâtiments rénovés	1,5	1

### Efficacité de la ventilation

Il est important que l'air frais soit amené aussi près que possible du nez des occupants, et que les polluants soient éliminés rapidement, ou, en d'autres termes, que l'air ne prenne pas trop d'âge.

L'âge de l'air en un endroit est le temps qu'il a fallu, en moyenne, à une molécule d'air pour arriver à cet endroit, depuis qu'elle est entrée dans le bâtiment.

L'âge de l'air moyen de la pièce est la moyenne des âges locaux, pondérée par le volume. Le temps nécessaire pour changer l'air,  $\tau_r$ , est égal au double de cet âge moyen.

La constante de temps nominale de la pièce est l'inverse du taux de renouvellement d'air) :

$$\tau_n = \frac{V}{\dot{V}} \quad (0.6)$$

Le rendement de ventilation mesure l'efficacité avec laquelle l'air est renouvelé dans la pièce. Il est le rapport de la constante de temps nominale au temps de renouvellement d'air :

$$\eta_V = \frac{\tau_n}{\tau_r} = \frac{\tau_n}{2\tau} \quad (0.7)$$

Les installations de ventilation mécaniques doivent être conçues pour que le rendement de ventilation ne soit pas inférieur à 50%. La ventilation "en piston" et la ventilation atteignant le mélange total satisfont cette exigence.

### Ventilation naturelle

La ventilation naturelle est le moyen "passif" d'assurer l'aération des bâtiments.

Elle consiste à contrôler le débit d'air mu par les forces naturelles (vent, différences de température) par des ouvertures ou des canaux de ventilation installés à cet effet. Des ouvertures pratiquées pour d'autres raisons (portes, fenêtres) servent aussi à la ventilation naturelle.

Les avantages de la ventilation naturelle sont les suivants :

- Elle est généralement bien acceptée par les occupants qui la comprennent et la contrôlent facilement.
- L'investissement nécessaire est très faible, voire nul.
- L'énergie nécessaire au transport de l'air est gratuite.
- Elle permet des débits importants, notamment pour le refroidissement estival des bâtiments par ventilation nocturne
- Elle ne tombe pas en panne.

Elle a néanmoins quelques inconvénients :

- N'est pas utilisable en zone bruyante ou polluée.
- N'est pas utilisable dans les locaux dont le rapport profondeur/hauteur dépasse 2,5 (bureaux paysagers).
- Ne permet pas la récupération de chaleur sur l'air extrait.
- Assure un débit variable qui, sans contrôle adéquat, n'est pas nécessairement en relation avec les besoins.

La ventilation naturelle peut être complétée par une installation de ventilation mécanique qui pallie certains de ces inconvénients pendant certaines périodes. On peut par exemple appliquer une ventilation naturelle en saison tempérée et une ventilation mécanique avec récupération de chaleur en saison de chauffage ou de refroidissement. On peut aussi ventiler mécaniquement certains des locaux du bâtiment seulement.

Un bâtiment à ventilation naturelle doit être conçu comme tel, et doit être équipé des ouvertures de ventilation nécessaires. Ces ouvertures doivent être suffisantes et correctement placées. Lorsque ces ouvertures sont fermées, l'enveloppe doit être suffisamment étanche à l'air pour satisfaire les valeurs limite du Tableau 6.

## 5 Confort visuel

### Exigences

Les conditions d'éclairage nécessaires pour assurer la satisfaction des usagers dépendent de l'utilisation des locaux. La caractéristique la plus importante quantifiant la qualité de l'éclairage est l'éclairement et sa répartition. Les valeurs du Tableau 7 sont recommandées pour l'éclairage artificiel des locaux.

Tableau 7: Éclairements recommandés

Type de locaux et d'activité	Éclairement requis (lux)		
	Min.	Moyenne	Max.
Circulation, corridors, théâtres, salle de concert	50	100	200
Ateliers, halles de montage, magasins	200	300	400
Écoles, bureaux, travaux courants, lecture, écriture, travail sur écran, etc.	300	400	500
Travaux délicats, dessin, tracés, travaux techniques, etc.	500	750	1000
Ateliers de précision, mécanique fine, contrôle des couleurs, contrôle visuel de qualité, etc.	1000	à	5000

Pour de nombreuses applications, il est important que la lumière rende bien les couleurs. Pour cela, il faut que le spectre de la lumière contienne toutes les couleurs, de préférence également distribuées. La lumière solaire, avec sa température de couleur de 6000 K, est blanche et rend bien toutes les couleurs.

La luminance  $L$ , à savoir l'intensité lumineuse par mètre carré de surface vue, ne doit pas trop varier dans le champ visuel. Le contraste de luminance ne doit pas dépasser:

- 3 dans l'ergorama, champ de 60° d'ouverture, qui est utilisée pour le travail
- 10 dans le panorama, champ de 120° d'ouverture dans lequel seuls les mouvements sont détectés.

### Éclairage naturel

L'éclairage naturel est parfaitement adapté à nos yeux au point de vue spectral et ne papillote pas. Il n'absorbe aucune énergie, et chauffe moins, à éclairage égal, que toute source disponible commercialement pour l'éclairage des locaux. Ceci est intéressant dans les locaux climatisés où toute source supplémentaire de chaleur charge l'installation de réfrigération. Le seul inconvénient est qu'il n'est pas disponible sur commande, et qu'il est très variable, donc nécessite des systèmes de réglage pour éviter l'éblouissement (protections solaires mobiles).

Les principes suivants permettent d'assurer un bon éclairage naturel:

- Utiliser des vitrages clairs et éviter les ombrages fixes. Les verres teintés ou réfléchissants et les pare-soleil fixes réduisent la transmission de lumière en permanence, même quand on en a le plus besoin.
- Prévoir des dispositifs de contrôle (stores, volets, vitrages à transmission variable, etc.) pour ajuster l'éclairage naturel aux besoins.
- Utiliser les teintes les plus claires possibles pour les parois, le plafond, le sol et le mobilier.
- Prévoir des fenêtres hautes. À surface égale, une fenêtre haute et étroite éclaire mieux qu'une fenêtre large et basse. Le haut des fenêtres apporte plus de lumière en fond de pièce que le bas.
- Éviter l'éblouissement, en disposant les ouvertures en fonction des places de travail ou réciproquement. Les ouvertures, surtout les zénithales, devraient se trouver en dehors de l'ergorama (champ de vision de 30° de demi-ouverture).

## Éclairage artificiel

L'éclairage artificiel est indispensable quand l'éclairage naturel fait défaut. Toutefois, il chauffe et consomme de l'énergie, et ne devrait donc être utilisé qu'en cas de besoin et sans excès.

Il convient donc d'adapter les sources aux besoins de façon à garantir l'éclairage nécessaire tout en consommant le moins d'énergie possible. Dans ce but, il faut d'une part utiliser des sources à hautes performances, et d'autre part les disposer de façon à assurer l'éclairage nécessaire seulement là où il est nécessaire.

## 6 Confort acoustique

Protection contre le bruit

Le niveau de bruit ne devrait pas dépasser les limites du Tableau 8

*Tableau 8: Niveau de bruit perturbateur (dB A)*

Dans les chambres à coucher	40
Pour le travail intellectuel	60
Pour le travail manuel	80

Les sources de bruit internes et l'isolation phonique du bâtiment doivent être adaptés de manière que l'effet cumulé des sources internes et externes ne dépasse pas les valeurs du Tableau 8.

Le niveau de bruit au niveau des oreilles des occupants dû à la ventilation mécanique ou d'autres installations du bâtiment doit être inférieur de 10 dB aux valeurs du Tableau 8.

Acoustique interne des locaux

L'acoustique interne d'une salle est caractérisée par la manière dont les ondes sonores s'y propagent et notamment par son temps de réverbération ou durée d'écho, qui est le temps nécessaire pour que le niveau sonore baisse de 60 dB après l'extinction de la source.

Ce temps dépend du volume de la salle, des surfaces absorbantes (parois, sol, plafond, mobilier) et de leur coefficient d'absorption du son. Le temps de réverbération optimal dépend de l'utilisation et du volume de la salle.

Pour les activités de bureau ou de travail, le temps de réverbération optimal est

- 0,5 s pour les locaux de dimension modestes
- 0,75 s pour les locaux de 1000 m<sup>3</sup> environ
- 1 s pour les locaux de 5'000 m<sup>3</sup> et plus.

## 7 Conditions standard d'utilisation

### Conditions standard: valeurs moyennes

Ces valeurs sont utilisées pour les calculs visant à obtenir la consommation du bâtiment dans des conditions standard et en utilisant la méthode mensuelle pour els besoins de chauffage..

		Température intérieure °C		Chaleur métabolique kWh/m <sup>2</sup>	Débit d'air spécifique m <sup>3</sup> / (h·m <sup>2</sup> )	Besoin annuel d'eau chaude kWh/m <sup>2</sup>	Électricité pour l'équipement kWh/m <sup>2</sup>
		hiver	été				
C	Administration	20	26	9	0.7	4	17
D	Ecoles	20	26	10	0.7	16	11
E	Hôpitaux	20	26	16	1.0	24	53
F	Hôtellerie	20	27	8	0.7	38	2
F2	Restauration	20	27	22	1.2	9	4
F3	Self-service	20	27	22	1.2	15	5
G	Installations sportives	18	26	11	0.7	62	31
G	Piscines couvertes	28	28	11	0.7	50	0
H1	Marchand de meubles	20	26	13	0.7	1	7
H2	Alimentation	20	26	14	0.7	3	2
H3	Bricolage, jardin	20	26	15	0.7	1	4
H4	Supermarché	20	26	16	0.7	3	17
H5	Grand magasin	20	26	17	0.7	2	3
H6	Bijouterie	20	26	18	0.7	3	8
I	Dépôts	18	28	2	0.3	0	12
I1-3	Lieux de rassemblement	20	27	18	1.0	12	35
I4	Industrie	18	26	8	0.7	0	3

## Anhang B Energieeffiziente Universitätsgebäude in Belval

### Leitlinien für die Umsetzung einer energiesparenden Bauweise

Stefan Maas, Jean-Jacques Scheuren, Andreas Thewes

Die EU Richtlinie 2002/91/EG fordert bei großen öffentlichen Gebäuden das Anbringen eines höchstens zehn Jahre alten Ausweises über die Gesamtenergieeffizienz an einer gut sichtbaren Stelle.<sup>1</sup> Weiterhin werden für neue Gebäude dort detaillierte Vorausberechnungen zum Gesamtenergieverbrauch verbindlich verlangt, wobei die jeweiligen Nationalstaaten die Berechnungsmethodik und die Grenzwerte festlegen müssen. Obwohl seit 04.01.2006 verbindlich, ist diese Richtlinie für Nicht-Wohngebäude in Luxemburg noch nicht umgesetzt.

**Grenzwerte und Berechnungsmethoden für den Energieverbrauch von Gebäuden:** Die Universität von Luxemburg (UL) bekennt sich klar zur Nachhaltigkeit und hält es daher für gerechtfertigt, eigene Grenzwerte für Ihre zukünftigen Gebäude zu definieren, wobei Statistiken von real erzielten Energieverbrauchswerten als Grundlage für ehrgeizige aber machbare Werte dienen. Die Universität gibt bewusst *Grenzwerte* an, die zunächst recht großzügig erscheinen mit der Erwartung, dass diese Grenzen im Endeffekt auch eingehalten werden.

*Die Universität setzt folgende Summenwerte für Warmwasser + Heizen + Kühlen + Lüften + Be-/Entfeuchten + Beleuchten fest:*

<b>Endenergie der Fernwärme</b>	<b>14 kWh/(m<sup>3</sup>a)</b>
<b>Elektrischer Stromverbrauch</b>	<b>6 kWh/(m<sup>3</sup>a)</b>

*Die Berechnungsmethodik* nach DIN 18599 liefert sehr detaillierte Ergebnisse und kann daher für alle Universitätsgebäude verwendet werden, wobei als Bezugsgröße abweichend zur Norm hier das *Bruttogebäudevolumen* zu verwenden ist. Andere Berechnungsmethoden, die auf in-sich geschlossenen neuen Europäischen Normenpaketen und Berechnungsmethoden beruhen, die die Anforderungen der Richtlinie 2002/91/EG erfüllen, können, nach Absprache, auch verwendet werden. Die Kombination dieser Grenzwerte und Berechnungsmethoden wurde anhand von der Kompatibilität mit Deutschen und Schweizer (auf EN und CEN basierenden) Normen und Berechnungsmethoden getestet. Von diesen Größen können leicht die Gesamtprimärenergie und die entsprechenden CO<sub>2</sub> Emissionen abgeleitet werden, die ggf. zur Gebäudezertifizierung oft notwendig sind. Hierbei sei auch bemerkt, dass der Grenzwert für den Gesamtstromverbrauch nicht für Sonderbereiche wie z.B. Rechenzentren, unterirdische Parkhäuser mit ständiger Beleuchtung oder Forschungslabors mit Apparaten mit hohem Stromverbrauch gilt. Der Stromverbrauch dieser Sonderbereiche und der Betriebseinrichtungen, wie z.B. Kopierer, Küchengeräte, Telefone, Computer und EDV Server, muss einzeln betrachtet werden und sollte schon in einer frühen Planungsphase aufgezeigt werden, damit er ständig kontrolliert und optimiert werden kann (siehe auch unten den Absatz zu ‚Monitoring‘).

Die wirkliche Energieeffizienz von Gebäuden hängt von vielen Faktoren ab, wie z.B. der tatsächlich ausgeführten (oft ungleich geplanten) Gebäudehülle, der installierten Haustechnik,

<sup>1</sup> Richtlinie 2002/91/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2002 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden.

den Witterungsbedingungen und dem realen Nutzerverhalten. Die Universität ihrerseits erklärt sich dafür verantwortlich, die Nutzer der Gebäude dahingehend zu sensibilisieren, dass hohe Komfortansprüche an Klimatisierung, Beleuchtung und Informatik einen sehr hohen Energieverbrauch nach sich ziehen. Universitätsinterne Kommunikationsmaßnahmen durch die Nachhaltigkeitsgruppe sind hierzu geplant, so dass ein gutes Nutzerverhalten erzielt werden soll. Leider können Energieverbrauchswerte normalerweise frühestens ein Jahr nach der Inbetriebnahme gemessen werden und oft sind Planungsvorgaben in der Praxis schwerer zu erreichen als antizipiert. Die Universität schlägt daher zusätzliche Maßnahmen vor, um das Erreichen der Universitätsgrenzwerte zu sichern.

**Auswertungsprozess im Architekturwettbewerb:** Es wird vorausgesetzt, dass diese Stellungnahme mit den Anforderungen der Universität den Unterlagen für die Architekturwettbewerbe hinzugefügt wird.

*Die Wettbewerbsteilnehmer sollten in ihren Bewerbungsunterlagen Referenzobjekte ausweisen, die unter ihrer Leitung gebaut wurden, und die nachweislich ähnlich niedrige Grenzwerte real einhalten. Diese Liste an Referenzprojekten ist aus Sicht der Universität mit das wichtigste Kriterium für die Endauswahl. Ein Beispiel für ein solches Referenzgebäude aus Sicht der Universität ist z.B. das 1999 in Betrieb genommene Gebäude der Fachhochschule Bonn-Rhein-Sieg. Es wurden nur 4% der Bausumme als Mehrkosten für ökologische Zwecke eingesetzt; die Endenergiewerte dieses Gebäudes liegen nachweislich unterhalb der o.g. Grenzwerte. Verwirklicht wurde dort ein erhöhter Wärmeschutz, effektive Tageslichtnutzung, transparente Dämmsysteme, ein passives Nachtkühlungskonzept für den Seminarbereich, adiabate Kühlung für den Hörsaalbereich, bedarfsgerechte Heizungsregelung, Erdwärmetauscher, Abwärmenutzung von Kühlanlagen, Dach- und Fassadenbegrünung, Regenwassernutzung sowie Photovoltaikanlagen.*

*Für die Erstauswertung sollte die Préjury einige unabhängige Energieexperten enthalten, die aufgrund ihrer Erfahrung alle Entwürfe im Hinblick auf die Energieeffizienz analysieren und z.B. in ein rot-gelb-grünes Bewertungsschema einteilen, was für die Jury direkt auf dem Entwurf sichtbar sein muss. Ein schlechtes Gebäudekonzept zieht eine aufwendige und teure Haustechnik zur Kompensation nach sich, wenn es denn überhaupt korrigierbar ist.*

*Für die Endauswertung sollte in der Jury ebenfalls ein Energieexperte teilnehmen, der gegebenenfalls Erklärungen abgeben kann. Diese Energieexperten sollten erfahren und unabhängig sein, am besten aus dem Ausland. Die genannte Erfahrung ist deshalb so wichtig, weil zu diesem Zeitpunkt noch keinerlei Berechnungen vorliegen, aber trotzdem anhand einiger Schlüsselgrößen wie z. B. Kompaktheit und Fensteranteil eine erste sehr wichtige Abschätzung für die Entscheidungsträger der Jury nötig ist.*

**Überprüfung während der Planungs- und Bauphase:** Es sollten nach Auftragsvergabe mehrere Haltepunkte innerhalb der Planungs- und Bauphase definiert sein, an denen die Gesamtenergieeffizienzberechnung nach DIN 18599 (oder nach Absprache mit einem äquivalenten Europäischen Normenpaket) vorzulegen ist. Anfangs wird diese mit vielen angenehmen Werten arbeiten müssen, weil wichtige Details noch unklar sind, die sich aber nach und nach klären. Solche Haltepunkte könnten z.B. sein: zwei Monate nach Auftragserteilung, Beginn der Bauphase, Fertigstellung Rohbau, Fertigstellung des Gebäudes und Ende der Inbetriebnahme. Die Berechnung wird zur Prüfung dem Bauherrn zugestellt, der sich vier Wochen zur Freigabe vorbehält. Die Universität von Luxemburg will selbst unabhängige Berechnungen hierzu durchführen und auf die sensitiven Punkte aufmerksam machen.



**Monitoring:** Um nach der Inbetriebnahme sämtlicher Universitätsgebäude den Energiefluss in allen Gebäuden zu kontrollieren, gehört ein gut abgestimmtes Monitoringkonzept mit zu den wichtigen Aufgaben der Gebäudeplanung und -leittechnik, die eine getrennte Verbrauchserfassung der unterschiedlichen Zonen, Bereiche und Labore zulassen muss. Es sollen künftig die Verbrauchsdaten der einzelnen Labore, Gruppen und Fakultäten universitätsintern publiziert und abgerechnet werden, um somit Transparenz, Bewusstsein und Verantwortung zu schaffen. Zudem erhöht die Eigenverantwortlichkeit des Nutzers zusammen mit einer gewissen Einflussmöglichkeit auf das Raumklima die Chance auf individuelle Zufriedenheit. Darüber hinaus kann damit auch nach Jahren umgehend erkannt werden, wenn irgendwo Probleme auftreten oder Verbesserungen hinsichtlich der Betriebsweise getroffen werden müssen.

---

## Anhang C Photovoltaik für den neuen Campus auf Belval

Überarbeiteter Entwurf von Susanne Siebentritt, 18. April 08

Da die neuen Gebäude Standards setzen sollen, ist es unabdingbar, dass sie mit Photovoltaikanlagen (PV) ausgestattet werden und dass die PV-Anlagen an den Gebäuden **gebäudeintegriert** sind (building integrated PV – BIPV). Dies bedeutet, dass funktionale Teile des Gebäudes wie die Außenhaut oder Verschattungselemente durch PV-Module ersetzt werden, anstatt am Ende auf das Dach des fertigen Gebäudes eine PV-Anlage zu setzen.

Warum sollte PV ins Gebäude integriert werden?

- **Ökologie:** die direkte Umwandlung von Sonnenlicht in elektrische Energie ist erneuerbar und nachhaltig. Energierückzahlzeiten heutiger Solarmodule liegen unter zwei Jahren. Die Energieerzeugung erfolgt ohne bewegliche Teile, d.h. ohne Wartungsaufwand und Lärmbelastung. Diese Betrachtung gilt natürlich auch für nachträglich auf das Dach des Gebäudes aufgeständerte PV-Anlagen. Wenn jedoch PV einen wesentlichen Teil zur Elektrizitätsversorgung beitragen soll, müssen große Flächen dafür genutzt werden. Daher muss auf jeden Fall so viel wie möglich bereits baulich genutzte Fläche für PV verwendet werden. Nach Abschätzungen der International Energy Agency (IEA) können in Deutschland 30%, in den Niederlanden 33% des Elektrizitätsbedarfs durch Nutzung von PV an vorhandenen Dächern und Fassaden gedeckt werden. Wenn die Universitätsgebäude ökologische Vorreiter sein sollen, müssen sie so viel wie möglich ihrer Fläche für PV zur Verfügung stellen. Das sind ohne Frage die Dächer, jedoch bieten nach Süden gerichtete Fassaden immer noch 65% des Energieertrags ideal ausgerichteter Flächen. Deshalb sind die Fassaden auf jeden Fall einzubeziehen.
- **Ästhetik:** BIPV muss von Anfang an in das Design des Gebäudes einbezogen werden. Dabei werden ästhetisch ansprechende Lösungen gefunden. Es gibt wunderbare Beispiele von gelungenen PV-Fassaden (s. z.B. auf [www.epia.org](http://www.epia.org) unter media - pictures – dort gibt es auch weniger gelungene Beispiele). Beim nachträglichen Aufstellen einer PV-Anlage auf dem Dach kann es zu Einsprüchen der Architekten kommen, deshalb muss bereits in der Ausschreibung die Integration von BIPV gefordert werden.
- **Technik:** wird das PV-System von Anfang an mit geplant, ist auch die technische Lösung einfacher. Platz für Wechselrichter und Blitzschutz sowie die benötigten Durchführungen werden vorgesehen. Die Außenhaut des Gebäudes muss nicht nachträglich durchbrochen werden.
- **Ökonomie:** da die integrierte PV-Anlage Teile des Gebäudes ersetzt, die sonst anderweitig bereitgestellt werden müssen, wie etwa die Dachabdeckung oder die Fassade, ist eine integrierte Lösung kostengünstiger. Funktionen, die sonst von der Außenhaut des Gebäudes übernommen werden, wie Witterungs- und Sonnenschutz, Temperatur- und Lärmdämmung, werden vom PV-System übernommen.

**Daher sind die folgenden Maßnahmen gefordert:**

- In allen künftigen Ausschreibungen muss die Integration von PV-Anlagen ins Gebäude vorgeschrieben werden. Ein Mindestanteil von PV an der nutzbaren Fläche von 50% (?) soll festgelegt werden. Entwürfen, die grössere Flächen für PV vorsehen, ist der Vorrang zu geben. Da die Bestimmung der nutzbaren Fläche natürlich unter anderem von der Abschattung abhängt, müssten die Ausschreibungen von Süden nach Norden durchgeführt werden. Eine Studie, welche Gebäude von den Abschattungen am wenigsten betroffen sind, wird zur Zeit durchgeführt.
- Bei der Betrachtung der zusätzlichen Kosten durch die PV-Anlage darf nicht der Preis der Anlage herangezogen werden, sondern der Vergleich des Gebäudepreises mit und ohne **integrierte** PV-Anlage. Außerdem muss die Kostenerstattung durch das Einspeisegesetz (derzeit 37¢/kWh für Anlagen bis 1MW) berücksichtigt werden.

## Anhang D Umgang mit Wasser in Belval

Paul Schosseler und Stefanie Seiffert, Centre Henri Tudor

### 1 Einleitung

Der urbane Wasserkreislauf mit seinen Komponenten Trinkwasserversorgung, Abwasserentsorgung sowie Regenwasserbewirtschaftung findet in Planung, Bau und Betrieb von Gebäuden oft sehr wenig Beachtung. Es wird davon ausgegangen, dass sauberes Trinkwasser übers Netz uneingeschränkt zur Verfügung steht und Abwasser zusammen mit Regenwasser über zentrale Infrastrukturen entsorgt wird. Die Engpässe in der Trinkwasserversorgung der letzten Jahre, bedingt durch Klimaschwankungen, sowie die zunehmende Sorge um die Qualität der Trinkwasserreserven in Luxemburg bedingen jedoch ein Umdenken im Umgang mit der wertvollen Ressource. Die Abwasserentsorgung über die Kanalisation und die Behandlung in Kläranlagen sind mit hohen Kosten verbunden, welche im Rahmen der Umsetzung der europäischen Wasserrahmenrichtlinie auf den Wasserbenutzer und Verursacher der Verschmutzung zurückfallen. Der Schutz der zum großen Teil sehr empfindlichen Gewässer und Grundwasserleiter Luxemburgs bedingt demnach einen hohen technischen und finanziellen Aufwand.

Schließlich ist die Siedlungswasserwirtschaft mit nicht unerheblichen **sekundären Umweltimpakten** verbunden. Zum Einen entsteht bei der Trinkwasseraufbereitung, -verteilung und Abwasserbehandlung ein hoher Energiebedarf, zum Anderen erfolgt die Klärschlambeseitigung immer häufiger durch Verbrennung. Diese Praxis erlaubt es zwar, in den Wasserkreislauf eingetragene chemische Spurenstoffe, wie bspw. Medikamentenrückstände, zu eliminieren. Wertvolle Nährstoffe wie Stickstoff, Phosphor und Kalium gehen jedoch verloren.

Aus diesen Erwägungen heraus macht es Sinn, die gängige Praxis der **Wasserbewirtschaftung** auch **in Dienstleistungsgebäuden** zu überdenken und neue Entwicklungen in die Planung einfließen zu lassen. Gebäude haben eine sehr lange Nutzungsphase und grundlegende Änderungen an bestehenden Installationen sind nachträglich praktisch unmöglich. Vor diesem Hintergrund sollte in der Planungsphase verstärktes Augenmerk auch auf die Minimierung der Betriebskosten beim Wasser gelegt werden, so wie es beim Energieverbrauch schon üblich ist.

Im Gegensatz zu einem privaten Haushalt spielt Wäsche waschen und Duschen beim Wasserverbrauch eines Dienstleistungsgebäudes nur eine geringe Rolle. Das meiste Wasser wird zur Toilettenspülung, also zum Abtransport von Fäkalien benutzt. Hier besteht **großes Einsparpotential (bis zu 50%)** durch technische Maßnahmen bzw. die Möglichkeit, Trinkwasser durch Regenwasser zu ersetzen.

Abgesehen vom verantwortungsvollen Umgang mit Wasser im Gebäude selbst kann auch der urbane Wasserkreislauf mit Maßnahmen einer **naturnahen Regenwasserbewirtschaftung** positiv beeinflusst werden. Die diversen Maßnahmen einer nachhaltigen Wasserbewirtschaftung in und um Dienstleistungsgebäude herum werden im folgenden aufgezeigt, inklusive innovativer ökologischer Sanitärtechnik.

## 2 **Wasserbewirtschaftung auf Belval – Randbedingungen**

Im folgenden werden einige Randbedingungen erläutert, welche einen direkten Einfluss auf die Konzepte zum Umgang mit Wasser und insbesondere Regenwasser in den Neubaugebieten auf Belval haben, dies sowohl für private wie auch öffentliche Bauträger. Angesichts des Vorzeigecharakters des Projekts Belval sollten alle Möglichkeiten zum nachhaltigen Umgang mit Wasser ausgeschöpft werden.

- Ein Teil des Oberflächenabflusses wird von Arcelor Mittal in Kühlweihern aufgefangen und für die Stahlproduktion genutzt. Diese industrielle Nutzung muss sicher gestellt sein und bestimmt somit die weiteren Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen
- Zusätzlich sind minimale und maximale Mengen für den Wasserabfluss vom Gelände festgelegt, bedingt durch die Renaturierung des Dipbachs und die Erschließung der Baugebiete Sommet und Nonnewissen.
- Hochofenterrasse und Square Mile werden wegen Altlasten vollständig versiegelt. Aber auch auf den nicht bebauten Flächen im Westen sind die Möglichkeiten zur Versickerung wegen lehmigen Böden minimal.

Aus diesen Einschränkungen lässt sich ableiten, dass für die Regenwasserbewirtschaftung (inklusive Nutzung) ein Gesamtkonzept erarbeitet werden muss, welches den Bedürfnissen aller Akteure Rechnung trägt. Der bestehende Erschließungsplan von AGORA setzt den Akzent bei der Bewirtschaftung jetzt schon auf offene Retention (z.B. Wassertreppe). Detaillierte hydraulische Berechnungen müssen Aufschluss darüber geben, welche zusätzlichen Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung sinnvoll und möglich sind.

## 3 **Wasserkreislauf im Gebäude**

### **Grundlagen**

In Gebäuden kann der Trinkwasserverbrauch entweder durch **technische Maßnahmen** zum Wassersparen reduziert werden (auf das Benutzerverhalten wird hier nicht eingegangen) oder durch **Substitution** von Trinkwasser mit Brauchwasser geringerer Qualität für die entsprechenden Anwendungen (Toilettenspülung, Bewässerung, Kühlung etc.). Eine Reduktion des Trinkwasserverbrauchs bzw. eine Kreislaufführung von verschiedenen Wasserströmen im Gebäude hat auch eine Reduktion der Abwassermenge zur Folge. Mit steigenden Kosten für die Wasserdienstleistungen können solche Lösungen auch aus finanziellen Gründen durchaus attraktiv sein. Auch im Hinblick auf einen eventuell notwendigen, kostspieligen Ausbau der Kläranlage SIVÉC sollten Abwassermengen und –frachten im Neubaugebiet auf ein Minimum reduziert werden.

### **Reduktion Wasserverbrauch**

Technische Maßnahmen zur Reduktion des Wasserverbrauchs, welche heute schon routinemäßig zum Einsatz kommen und ohne größere Abänderungen an Trink- und Abwassernetz installiert werden können, sind:

- Wassersparende Armaturen (Durchflussbegrenzer an Wasserhähnen und Duschen)
- Toiletten-Spülkästen mit geringem Spülvolumen, zwei Spültasten (max. 3/6 Liter) oder Spülstoptasten
- Wassersparende Geräte (Spülmaschine für Küche)<sup>2</sup>
- Wasserlose Urinale (insbesondere rentabel bei hohen Benutzerfrequenzen)

2 Informationen zu besonders umweltfreundlichen Geräten findet sich bspw. unter [www.oekotopen.lu](http://www.oekotopen.lu)

Weitergehende Maßnahmen, bei welchen größere Änderungen der Sanitäreinrichtungen und Rohrleitungen schon bei der Planung erforderlich sind, beinhalten:

- Regenwassernutzung für die Bewässerung von Grünanlagen<sup>3</sup>, Toilettenspülung oder Kühlung/Klimatisierung
- „Low Flush“ Toiletten mit stark reduziertem Wasserverbrauch (2/4 L), Trenntoiletten und Vakuumtoiletten
- Grauwasseraufbereitung und -nutzung, bspw. für Toilettenspülung<sup>4</sup>

Eine ausführlichere Beschreibung der einfachen und weitergehenden technischen Maßnahmen findet sich im Anhang 1 oder direkt im Leitfaden für nachhaltiges Bauen ([www.crtib.lu/leitfaden](http://www.crtib.lu/leitfaden)). Im Folgenden soll nur auf zwei zentral wichtige Punkte hingewiesen werden: die Hygiene und der Energieverbrauch.

Weder die Reduktion des Trinkwasserverbrauchs noch die Substitution durch Brauchwasser darf zu hygienischen Problemen bei der Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung führen. Die **Dimensionierung der Netze** muss dem geringeren Wasservolumen angepasst sein, um zu lange Standzeiten im Trinkwassernetz oder Ablagerungen in der Kanalisation zu verhindern. Bei extrem wassersparenden Sanitäreinrichtungen sind daher spezielle Systeme zur **hydraulischen Beschleunigung** des Abwasserstroms mit einzuplanen.

Um den Urinablauf bei wasserlosen Urinalen zu optimieren und somit Verstopfungen der Rohrleitungen zu verhindern, sollten Form, Durchmesser und Neigung der Abflussrohre korrekt gewählt sein. Beim Kontakt von Urin mit kalkhaltigem Wasser fällt Urinstein aus<sup>5</sup>. Es sollte also verhindert werden, dass geringe Wassermengen (bspw. aus vorgeschaltetem Waschbecken) durch die Abflussrohre geleitet werden. Ein ausreichendes Gefälle der Leitungen und kurze Fließstrecken des Urins bis zum nächsten gespülten Sammelrohr (vorgeschaltete Toilettenspülung) sind hingegen empfehlenswert. Informationen und Erfahrungswerte hierzu vermitteln die Hersteller von wasserlosen Urinalen.

Wie schon eingangs erwähnt, ist Trinkwassersparen auch gleichzusetzen mit **Energiesparen** (weniger Aufbereitung und Reinigung). Im Gebäude wird das kalte Leitungswasser außerdem um 15-20 Grad auf Raumtemperatur aufgewärmt, bspw. in den Spülkästen, und entzieht dem Gebäude so Energie. Kurze Durchlaufzeiten und kleine Speichervolumen verringern diesen Effekt. Werden im Gebäude zusätzlich große Mengen Warmwasser verbraucht, so kann eine Wärmerückgewinnung aus dem Abwasser interessant werden.

### **Substitution durch Brauchwasser**

Bei Regenwassernutzung und Grauwasseraufbereitung muss zusätzlich Energie, bspw. für das Pumpen im sekundären Wasserkreislauf aufgebracht werden. Um hier den Energieverbrauch zu minimieren, sollten die **Förderstrecken möglichst gering** sein (bspw. zentrale Anordnung der Toiletten, welche mit Regenwasser gespeist werden). Auch sollten die Pumpen korrekt dimensioniert und der Druck im zweiten Netz dem Bedarf angepasst sein. Dieser muss für eine Toilettenspülung weniger hoch sein als für eine Urinalenspülung, so dass die Kombination einer Regenwassernutzung mit wasserlosen Urinalen aus energetischen Gründen durchaus Sinn macht.

Bei sekundären Wasserkreisläufen mit Regenwasser oder Brauchwasser ist auf eine **strikte Trennung der Kreisläufe** und eine entsprechende **Kennzeichnung** der sekundären

<sup>3</sup> Die Planung der Grünanlagen sollte durch die entsprechende Wahl der Pflanzenarten und des Bewuchses so vorgenommen werden, dass auch im Sommer kaum künstliche Bewässerung notwendig ist. Mehr Informationen hierzu beim Umweltministerium (Broschüre „[Landschaftsgerechte und oekologische Wohnbaugelände](#)“)

<sup>4</sup> Grauwasser fällt in Bürogebäuden in geringen Mengen an, wenn nicht grössere Gemeinschaftsduschen oder eine Küche vorgesehen sind. Im Gegensatz zu Regenwasser wird Grauwasser regelmässig produziert, so dass keine grossen Lagervolumen notwendig sind. Grauwasser kann in kompakten oder naturnahen Kleinkläranlagen einfach gereinigt werden, da es nicht mit Fäkalien belastet ist.

<sup>5</sup> Auch bei unverdünntem Urin gibt es Ausfällungen wegen pH-Verschiebungen beim Abbau des Harnstoffs. Wird der Urin mit geringen Mengen kalkhaltigem Wasser vermischt, kommt es jedoch zu stärkeren und härteren Ablagerungen. Bei hohen Spülvolumen gibt es Ausfällungen, aber die werden direkt weggespült und verstopfen die Leitung nicht.

Kreisläufe zu achten (siehe auch DIN1988). Um hygienische Probleme zu vermeiden, sollte auf Installation durch spezialisierte Firmen und eine regelmäßige Wartung der Installationen geachtet werden. Dies gilt übrigens auch für Komponenten der Trinkwasseraufbereitung im Gebäude wie Wasserfilter, Ionentauscher, etc. .

Um Verfärbungen zu vermeiden, sollte bei der Regenwassernutzung auch auf **saubere Sammelflächen** geachtet werden (nur Dachflächen) sowie auf **Baumaterialien**, welche keine Stoffe ans Regenwasser abgeben. Auf eine Kombination von Regenwassernutzung und Gründach sollte aus diesem Grund verzichtet werden, auch wenn sie gesundheitlich völlig unbedenklich ist.

#### 4 **Wasserkreislauf außerhalb des Gebäudes**

##### **Grundlagen**

Durch die Errichtung eines Gebäudes und die damit einhergehende **Versiegelung** von Flächen durch Dächer, Geh- und Zufahrtswege wird der natürliche Kreislauf des Regenwassers massiv gestört. Das anfallende Regenwasser kann nicht mehr versickern oder verdunsten, sondern wird schnell in die Mischkanalisation abgeleitet. Die Vermischung von Regenwasser und Abwasser in der **Mischkanalisation** führt zu starken Schwankungen der Abwassermenge und zur Verdünnung, was einen negativen Einfluss auf die Effizienz der Reinigungsprozesse auf der Kläranlage hat.

Zudem müssen Regenüberläufe zur hydraulischen Entlastung der Kanalnetze vorgesehen werden. Bei starkem Regen kommt es also zum Abschlag von unbehandeltem Mischwasser aus dem Kanal ins Gewässer. Um dies möglichst zu vermeiden und die empfindlichen Gewässer in Luxemburg zu schützen, werden **Regenrückhaltebecken** gebaut. Bau und Betrieb sind mit hohen Kosten verbunden.

Aus ökologischen Gründen ist ein Umdenken im Umgang mit Regenwasser in Luxemburg erforderlich. Der natürliche Regenwasserkreislauf sollte insbesondere bei Neubauten erhalten bleiben (Zustand der „grünen Wiese“). Mit anderen Worten: der Regentropfen, der aufs Dach, den Fußweg oder die Strasse fällt, soll wenn möglich an der Oberfläche zurückgehalten und von Boden, Pflanzen oder Bach direkt wieder aufgenommen werden, anstatt in einem Betonschacht zu verschwinden. Das überschüssige Regenwasser soll nicht mit Abwasser vermischt, sondern dem nächsten Gewässer zugeführt werden.

Die Wasserwirtschaftsverwaltung hat einen Leitfaden für den nachhaltigen Umgang mit Regenwasser in den Siedlungsgebieten Luxemburgs erarbeiten lassen, welcher die verschiedenen Maßnahmen einer naturnahen Regenwasserbewirtschaftung im Detail beschreibt und konkrete Hinweise zur Planung und praktischen Umsetzung gibt. In den folgenden Abschnitten werden die wichtigsten Empfehlungen für die **Gebäude- und Grundstücksebene** zusammengefasst.

Bei einer **naturnahen Regenwasserbewirtschaftung** gilt der Grundsatz „Vermeiden vor Versickern vor Zurückhalten vor Ableiten“. Für die Bewirtschaftung ergeben sich folgende Prioritäten: es soll möglichst wenig Regenwasser überhaupt zum Abfluss kommen (z.B. Verdunstung durch Gründächer und Grünanlagen). Der dann noch entstehende Abfluss soll nach Möglichkeit versickert werden (z.B. durch wasserdurchlässig befestigte Flächen). Wo dies nicht oder nur unvollständig möglich ist, muss das Regenwasser verzögert und getrennt vom Abwasser abgeleitet werden (Zwischenspeicherung z.B. durch Mulden, Teiche, Zisternen). Die verzögerte Ableitung ist auch ein Beitrag zum Hochwasserschutz.

Die verschiedenen Maßnahmen sind nicht nur isoliert zu betrachten, sondern können und sollen kombiniert werden. Einige Maßnahmen erfüllen auch gleichzeitig mehrere Funktionen. So speichert eine Mulde Regenwasser, versickert es gezielt und trägt zur Reinigung bei, weil das Wasser die belebte Bodenzone passiert. Die Regenwassernutzung kann auch bedingt eine Retentionsfunktion erfüllen, wird aber in erster Linie im Zusammenhang mit Trinkwassersubstitution als sinnvoll erachtet (siehe oben).

### **Zu beachtende bauliche Maßnahmen**

Wie bereits dargestellt, unterliegt die Regenwasserbewirtschaftung in Belval verschiedenen Randbedingungen. Versickerung ist nicht möglich, eine offene Retention und Ableitung ist im Masterplan bereits vorgesehen und eine Nutzung zu industriellen Zwecken ist vorhanden. Welche zusätzlichen Maßnahmen sowohl im privaten wie öffentlichen Bereich sinnvoll und möglich sind, muss eine detaillierte hydraulische Studie ergeben, welche den bestehenden Anforderungen Rechnung trägt. Folgende Maßnahmen werden jedoch als sinnvoll erachtet:

1. Besonders in den dicht bebauten Flächen von Hochofenterrasse und Square Mile sollte möglichst mit viel Grünflächen und Gründächern gearbeitet werden, um ein angenehmes Mikroklima zu schaffen (Evapotranspiration der Pflanzen). Die Ableitung von überschüssigem Regenwasser von der privaten oder öffentlichen Grundstücksebene soll möglichst an der Oberfläche erfolgen. Dies hat nicht nur einen urbanistischen Wert, sondern erlaubt auch die visuelle Kontrolle auf Fehllanschlüsse aus dem Abwassersystem (Bsp. Toilettenspülung) an die Regenwasserableitung.
2. Die Drainage von Grundwasser sollte bei allen Gebäuden vermieden werden. Hierbei wird das Wasser zur Vorbeugung gegen Vernässung gepumpt und der Grundwasserspiegel so künstlich lokal abgesenkt. Neben dem massiven Eingriff in den natürlichen Wasserhaushalt kostet das Pumpen Energie. Durch entsprechende Bauformen („weisse oder schwarze Wanne“) sollte vollständig auf Drainagen verzichtet werden. Wenn unumgänglich, muss das drainierte Wasser entweder - falls vorhanden - in den Regenwasserkanal geleitet werden, oder sonst in oberflächliche Mulden und Ableitungen.
3. Inwieweit zusätzliche Regenwassernutzung zwecks Einsparung von Trinkwasser möglich ist, muss aus dem Gesamtkonzept hervorgehen. Aus ökonomischen Gründen sollte die industrielle Regenwassernutzung vorrangig sein. Regenwasser zwecks Nutzung in Gebäuden sollte nur auf sauberen, glatten Dachflächen gesammelt werden.
4. Die Wahl der Baumaterialien kann einen entscheidenden Einfluss auf die Qualität des ablaufenden Regenwassers haben. Saurer Regen ist aggressiv und löst Metalle aus Dachdeckungen heraus. Ein Kupferdach bspw. stellt eine hohe Belastung für den Wasserkreislauf dar, da Kupfer im Gewässer toxisch wirkt. Informationen zu umweltverträglichen Baumaterialien können dem Leitfaden zum Umgang mit Regenwasser oder aber dem vorhin erwähnten Leitfaden für nachhaltiges Bauen ([www.crtib.lu/leitfaden](http://www.crtib.lu/leitfaden)) entnommen werden.



<p><b>Factsheet: Wasserkreislauf im Gebäude</b></p> <p>Reduktion Wasserverbrauch durch technische Maßnahmen oder Substitution mit Brauchwasser</p>	
Einfache Maßnahmen:	Wassersparende Armaturen (Wasserhähne, Duschen, Spartoiletten), wassersparende Geräte, wasserlose Urinale
Weitergehende Maßnahmen:	Regenwassernutzung für Bewässerung, Toilettenspülung, Kühlung; „Low Flush“, Trenn- und Vakuumtoiletten, Grauwassernutzung
Anwendungen:	Wassersparende Armaturen: ohne Einschränkung Regenwassernutzung Toilettenspülung, wasserlose Urinale: bevorzugt bei großen Dienstleistungsgebäuden (Büros, Schulen) Grauwasseraufbereitung: Gebäude, in denen viel Grauwasser anfällt (Kantine, Sportkomplex mit Duschen)
Mehrkosten beim Invest:	Wassersparende Wasserhähne, Toiletten, Duschen: keine (Stand der Technik) Wasserlose Urinale: keine (Einsparung von elektronischen Spülmechanismen, keine Wasserversorgung notwendig) „Low Flush“ Toiletten: gering, je nach Ausführung Trenntoiletten: 100-200 Euro / Einheit, je nach Ausführung Regenwassernutzung: - zentrale Anlage (ca. 30 Toiletten): 15'000 - 20'000 Euro - dezentrale Anlage (Einfamilienhaushalt): 3'000 – 5'000 Euro
Vorgaben und Empfehlungen:	Aufgepasst bei Leitungsverlegung (kurze Förderstrecken Brauchwasser) und Wahl der Rohrdurchmesser (Verstopfungen) Strikte Trennung der Wasserkreisläufe (Trinkwasserschutz) Zentrale Anlagen bei Regenwassernutzung besser als kleine dezentrale (Dimensionierung, Wartung, aber aufgepasst auf Förderstrecken) Wahl von geeigneten Materialien für Auffangflächen von Regenwasser Schulung von Reinigungs- und Wartungspersonal
Beispiele:	<a href="http://www.crte.lu/mmp/online/website/content/water/76/203/index_DE.html">www.crte.lu/mmp/online/website/content/water/76/203/index_DE.html</a> Analyse der Situation der Regenwassernutzung in Luxemburg, Bewertung der ökologischen und ökonomischen Effizienz im Fallbeispiel „Nonnewisen“ (Marc Jacoby, Diplomarbeit, 2004) Wasserlose Urinale: Schule „Albert Wingert“ in Schifflange, Kinokomplex „Utopolis“ Luxemburg-Kirchberg, Atert-Lycée Redange
Dokumentation:	<a href="http://www.crte.lu/mmp/online/website/content/water/76/128/index_DE.html">www.crte.lu/mmp/online/website/content/water/76/128/index_DE.html</a> - Links zu Wassersparttechnologien (wasserlose Urinale und Wasserspararmaturen) - Leitfaden für wasserlose Urinale - Herstellerverzeichnis und Preisliste für Separationstoiletten und besonders wassersparende WCs ANHANG 1

<p><b>Factsheet: Wasserkreislauf außerhalb des Gebäudes</b></p> <p>Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung: Verdunstung, (Versickerung), offene Retention und Ableitung</p> <p>Gesamtkonzept muss Bedürfnissen aller Akteure Rechnung tragen, insbesondere der industriellen Nutzung und den Anforderungen an Qualität und Menge des Ablaufs des Diphach</p>	
Sinnvolle Maßnahmen (Umsetzung abhängig von Gesamtkonzept):	Gründächer und Grünflächen Regenwassernutzung in öffentlichen Gebäuden Offene Retention und Ableitung des Regenwassers
Anwendungen:	Öffentliche Gebäude und private Siedlungen
Mehrkosten beim Invest:	Gründächer extensiv: 20 und 40 €/m <sup>2</sup> , intensiv - Richtwert liegt hier bei etwa 90 €/m <sup>2</sup> (stark abhängig von Bepflanzung). Zum Vergleich: Herstellungskosten für ein herkömmliches Flachdach: 10 bis 20 €/m <sup>2</sup> Vorteile Gründach: Lebensdauer zum Teil doppelt so groß, Wärme- und Lärmdämmung durch Gründach Offene Retention und Ableitung: kann ganz auf eine unterirdische Regenwasserachse verzichtet werden, so sind keine Mehrkosten, resp. sogar Einsparungen zu erwarten
Vorgaben und Empfehlungen:	Keine Drainage von Grundwasser (schwarze, weisse Wannen). Falls Drainage unumgänglich Abgabe des Grundwassers in die offene Regenwasserableitung Baumaterialien, welche keine Schadstoffe an Regenwasser abgeben (Schutz der natürlichen Gewässer) oder zu Verfärbungen bei Regenwassernutzung führen (bspw. Bitumendächer)
Beispiele:	Ausstellung OAI – CRTE/CRP Henri Tudor an der Oekofoire 2007: Nachhaltiger Umgang mit Regenwasser La gestion durable des eaux de pluie <a href="http://www.aliai.lu/rt/rt20073/rt20073g.pdf">www.aliai.lu/rt/rt20073/rt20073g.pdf</a>
Dokumentation:	Leitfaden zum Umgang mit Regenwasser in Siedlungsgebieten Luxemburgs <a href="http://www.eau.public.lu/actualites/2008/3/journee_eau/Leitfaden_pdf.pdf">www.eau.public.lu/actualites/2008/3/journee_eau/Leitfaden_pdf.pdf</a> Leitfaden für nachhaltiges Bauen und Renovieren <a href="http://www.crtib.lu/leitfaden">www.crtib.lu/leitfaden</a> ANHANG 1

## Anhang E Baustoffe

Manfred Geger, Paula Hild, Bianca Schmitt, Danièle Waldmann

Steht die Auswahl von Baustoffen zur Debatte, wird man oft mit der Frage konfrontiert, welcher Baustoff sei denn besser oder umweltfreundlicher. Hier gilt es anzumerken, dass ein reiner Baustoffvergleich alleine als nicht zielführend zu erachten ist. Erst die Zuordnung einer Funktion oder Anwendung des Baustoffs als einzelner oder im Zusammenwirken mit anderen Baustoffen erlaubt vergleichende Aussagen.

Ein Ziel des Bauvorhabens ist es, die Umweltauswirkungen über den gesamten Gebäudelebenszyklus zu verringern, dies bedeutet die Planungs-, Bau-, Nutzungs- und Rückbauphasen mitzuberücksichtigen und zu optimieren. Im Hinblick auf die Umweltauswirkungen werden bereits in der Planungsphase die wichtigsten Entscheidungen über den Ressourcen- und Betriebsmittelverbrauch eines Gebäudes getroffen. Während der Bauphase kann wiederum ein gutes Management bedeutende Umweltauswirkungen verhindern. Wohingegen während der Nutzungsphase, in der Regel die längste Lebensphase eines Gebäudes, vor allem der Energie- und Wasserverbrauch maßgebend für die Umweltauswirkungen sind. Des Weiteren können Schadstoffemissionen, die von Baustoffen ausgehen, negative Auswirkungen auf die Gesundheit der Gebäudenutzer haben. Beim Rückbau schließlich steht das Abfallmanagement im Vordergrund.

Im Rahmen dieses Bauvorhabens soll die Methode Ökobilanz als Hilfsmittel zur Entscheidungsfindung bei der Beurteilung der Baustoffe genutzt werden, hierfür werden drei verschiedene Betrachtungsebenen unterschieden: **1. die Baustoffebene, 2. die Bauteilebene, 3. die Gebäudeebene.** Werden zum Vergleich von Baustoffen und Bauelementen Informationen herangezogen, die auf der Methode der Ökobilanz<sup>6</sup> beruhen, können diese objektiv verglichen werden, Bedingung hierfür ist der Bezug auf eine spezielle Funktion.<sup>7</sup> Neben den grundsätzlichen Anforderungen, die bei der Auswahl der Baumaterialien berücksichtigt werden sollen, werden im Rahmen dieses Bauvorhabens zusätzliche Anforderungen an das Gebäude gestellt bzw. ausführliche Informationen erbeten.

### 1 Die Baustoffebene

Grundsätzlich sollen in dem Gebäude umweltfreundliche Baustoffe eingesetzt werden. Nachfolgende Punkte geben einen Überblick über die allgemeinen Kriterien, die unter dem Begriff „umweltfreundlich“ verstanden werden und bei der Projektbeurteilung von Bedeutung sind. Als zusätzliches Nachschlagewerk kann diesbezüglich auch der Leitfaden für nachhaltiges Bauen und Renovieren [www.crtib.lu/Leitfaden](http://www.crtib.lu/Leitfaden) genutzt werden.

Grundlegende Kriterien für eine umweltfreundliche Auswahl von Baustoffen sind:

- Baustoffe sollen einen geringen Energieaufwand zur Herstellung benötigen.

<sup>6</sup> Ökobilanz Synonyme: Life Cycle Assessment, Lebensweganalyse. Im Rahmen einer Ökobilanz wird der gesamte Lebensweg oder -zyklus eines Baustoffes betrachtet.

<sup>7</sup> In der Norm DIN EN ISO 14040:2006 ist die Vorgehensweise im Rahmen einer Ökobilanz schrittweise festgelegt:

1. Ziel und Untersuchungsrahmen werden definiert und deutlich beschrieben,
2. eine Sachbilanz aller relevanten Mittel und Stoffe wird erstellt,
3. es erfolgt eine Wirkungsabschätzung auf der Grundlage der Sachbilanz, und abschließend wird eine Auswertung der Ergebnisse durchgeführt.

- Baustoffe, bzw. Elemente nutzen, die wenige negative Auswirkungen auf die Umwelt (z.B. geringes Treibhauspotential, Versauerungspotential, Eutrophierungspotential, Photooxidantienpotential) mit sich bringen.
- Regionale Baustoffe bevorzugen und auf lange Transportwege und emissionsintensive Transportmittel, sowie Leerfahrten verzichten.
- Auf Baustoffe, die Schadstoffe und toxische Substanzen enthalten, weitgehend verzichten.
- Recyclingstoffe bevorzugen und auf Recyclingfähigkeit der eingesetzten Materialien achten.
- Langlebige Baustoffe und Konstruktionen wählen.
- Wartungsintensive Konstruktionen bzw. Bauelemente vermeiden.
- Verbundstoffe vermeiden, da sie ein Recycling erschweren oder verhindern, bzw. darauf achten, dass sich die Stoffe beim Rückbau einfach trennen lassen.

Ansatz ist, die in dem Gebäude eingesetzten Baustoffe mit Materialien im Rahmen der gleichen Nutzung zu vergleichen. Dabei kann der Baustoff auch aus mehreren Einzelbaustoffen zusammengesetzt sein (wie z. B. Stahlbeton). Bei der Nutzung von Angaben zu den Umweltauswirkungen ist darauf zu achten, dass sich die Angaben nicht auf ein bestimmtes Produkt eines spezifischen Herstellers beziehen, sondern verallgemeinerten Angaben verschiedener Hersteller entsprechen. Dabei sollen für die gewählten Baustoffe der Primärenergieaufwand und z.B. das Treibhauspotential, Versauerungspotential, Eutrophierungspotential, Photooxidantienpotential betrachtet werden. Bitte geben Sie in einer Tabelle (Sie können Tabelle 2 nutzen) die gewählten Baustoffe, gerne mit Begründung der Auswahl, an. Diese Tabelle kann als Basis für die weiterführenden Betrachtungen auf Bauteil- oder Gebäudeebene genutzt werden.

## **2 Die Bauteilebene**

In dieser Betrachtungsebene bezieht sich der Vergleich nicht auf einzelne Baustoffe oder Materialien im Verbund sondern auf Konstruktionselemente wie den Aufbau einer Wand oder einer Decke bei gleichen technischen Charakteristika wie beispielsweise den Wärmedurchlasskoeffizienten.

Hierfür werden ausführliche Informationen zu den typischen Wand- und Deckenaufbauten des Gebäudes benötigt (ohne Tür- und Fensterelemente). Die Vergleichbare Einheit soll am Ende ein Quadratmeter Wand bzw. Decke sein. Die im Anhang 1 aufgeführten Tabellen zeigen, welche minimalen Informationen vorliegen müssen. Zur Orientierung ist in beiden Fällen ein Beispiel angegeben.

## **3 Die Gebäudeebene: die wetterfeste Gebäudehülle**

Im Rahmen der Betrachtung von ganzen Gebäuden kann die Bilanzierung von Bauteilen als ein Zwischenschritt dargestellt werden. Das gesamte Gebäude wird aus verschiedenen Bauelementen zu einem Ganzen zusammengesetzt, es erfolgt eine Addition der Umweltauswirkungen.

Diese Betrachtungsebene ist in diesem Fall von Interesse, um die Gebäudehülle zu bewerten. Damit die Umweltauswirkungen bilanziert werden können, die durch die in der Gebäudehülle verbauten Baustoffe und Bauelemente entstehen, werden die in der nachstehenden Tabelle aufgeführten Informationen benötigt.

Tabelle 1: Materialblatt für die Gebäudeebene

<b>Projekttitel</b>		
<b>Bruttofläche</b>		<b>m2</b>
<b>Bruttovolumen</b>		<b>m3</b>
<b>Fensterfläche</b>		<b>m2</b>
<b>Bauelement (Bezeichnung der Deckenkonstruktion)</b>	<b>Fläche in m2</b>	
Deckenkonstruktion 1		
Deckenkonstruktion 2		
Deckenkonstruktion...		
<b>Gesamt</b>		<b>m2</b>

Bei Betrachtung der anzugebenden Informationen wird deutlich, dass die Tabellen aufeinander aufbauen. In einem ersten Schritt sind alle Baumaterialien anzugeben, die in den Decken- und Wandkonstruktionen verwandt werden. In einem zweiten Schritt werden die Baumaterialien einer einheitlichen Funktion zugeführt und als Bauelemente (Decken- und Wandkonstruktionen) verglichen. In einem dritten und letzten Schritt werden dann die Bauelemente (Wandkonstruktionen) im Hinblick auf die Gebäudehülle auf der Gebäudeebene bilanziert.

Tabelle 2: Materialblatt für die Bauteilebene: Wandkonstruktion

<b>Titel</b>			
<b>U-Wert</b>		<b>W/(m2K)</b>	
<b>Materialbezeichnung</b>	<b>Rohdichte in kg/m3</b>	<b>Schichtdicke in m</b>	<b>Vergleichseinheit kg/m2</b>
<b>Beispiel</b>	<b>Massivbauweise</b>		
<b>U-Wert</b>	<b>0,15</b>	<b>W/(m2K)</b>	
<b>Materialbezeichnung</b>	<b>Rohdichte in kg/m3</b>	<b>Schichtdicke in m</b>	<b>Vergleichseinheit kg/m2</b>
Innenputz	1200	0,015	<b>18,0</b>
Betonblock	1400	0,240	<b>336,0</b>
Styropor	15	0,240	<b>3,6</b>
Außenputz	200	0,015	<b>3,0</b>

Tabelle 3: Materialblatt für die Bauteilebene: Deckenkonstruktion

Titel									
Schichten	Benennung der Unterschichten	Materialbezeichnung	verbaute Menge		ggfs. Dichte in kg/m <sup>3</sup>	ggfs. Gewicht in kg/Einheit	ggfs. Schichtdicke in m	Vergleichseinheit kg/m <sup>2</sup>	
Bodenbelag / oberste Schicht	Schicht 1	Material 1		Einheit					
	Schicht...	Material...		Einheit					
Bodenaufbau	Schicht 1	Material 1		Einheit					
	Schicht...	Material...		Einheit					
Rahmenkonstruktion	Schicht 1	Material 1		Einheit					
	Schicht...	Material...		Einheit					
<b>Beispiel:</b>	<b>Ortbetondecke</b>								
Bodenbelag / oberste Schicht	Schutzschicht	Quarzsand	2,650	kg/dm <sup>3</sup>	0,00265	-	0,008	2,12 x 10 <sup>-5</sup>	
Bodenaufbau	Beton	Beton C30/37	0,280	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	2380	-	-	666,40	
	Bewehrung	Armierungsstahl B500S	36,50	kg/m <sup>2</sup>	-	-	-	36,50	
	Schalung	Massivholz	0,340	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	600	-	0,220	44,88	
	Schallschutz	Schafwolle		0,5	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	50	-	0,100	2,50
		Filz		0,5	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	50	-	0,030	0,75
	Massivholz Lattung		-	kg/m <sup>2</sup>	-	-	-	3,71	
Rahmenkonstruktion	Beton	Normalbeton	0,05	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	2380	-		119,00	
	Bewehrung	Armierungsstahl B500S	8,80	kg/m <sup>2</sup>	-	-		8,80	
	Schalung	Massivholz	0,380	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	600	-	0,220	50,16	