
Effiziente Energie- und Wassernutzung in der Cité des Sciences

Stellungnahme der Universität Luxemburg in Zusammenarbeit mit dem CRP Henri Tudor

Zusammenfassung: Bedingungen, Ziele und Kriterien	3
Kapitel 1 Behaglichkeit und Innenraumqualität	9
Kapitel 2 Energieeffizienz der Universitätsgebäude in Belval.....	25
Kapitel 3 Photovoltaik für den neuen Campus in Belval.....	28
Kapitel 4 Flächen und Baustoffe	30
Kapitel 5 Umgang mit Wasser in Belval.....	35

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

Thema	Anforderung	Kriterien*	Seiten
Zusammenfassung	Rahmen, Ziele		3
1) Behaglichkeit	Natürliche Methoden für thermische Behaglichkeit, Licht- und Luftqualität werden bevorzugt	Minimaler Einsatz von Bautechnik	9
	Akzeptable Temperaturspanne	20 – 26°C **	14
	Isolation: Durchschnittlicher Wärmedurchgangskoeffizient der Fassade	U = 0,2 – 0,23 W/m ² K	15
	Lüftung: Außenluftvolumenstrom	0,7 m ³ /m ² h	20
	Beleuchtung/Belichtung für Büros	400 lux	22
2) Energieverbrauch	Endenergie der Fernwärme – Grenzwert:	14 kWh/m ³ a*	26
	Elektrischer Stromverbrauch – Grenzwert:	6 kWh/m ³ a*	26
3) Photovoltaik	Gebäudeintegrierte Photovoltaikanlagen		28
4) Baustoffauswahl	Bewertung der Baustoffe mit der Ökobilanzmethode		31
5) Wasserhaushalt	Wassersparende Armaturen und Geräte		38
	Substitution von Trinkwasser durch Regenwasser für Toilettenspülung und Kühlung		38
	Grüne Dächer		40
	Vermeidung des Abpumpens von Grundwasser als Vorbeugung gegen Vernässung		41

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

** Dieser Wert soll nicht als ein Absolutwert betrachtet werden. Der künftige Betreiber akzeptiert, dass diese Temperatur im Sommer während 15 Stunden pro Jahr in den Bürozeiten überschritten werden kann.

Zusammenfassung:

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 formulieren¹. 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 anzubringen². In Luxemburg wurde diese Richtlinie jedoch bis heute nur für Wohngebäude³, 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 einsetzt⁴. 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 aus⁵. 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 Entwurfauswahlverfahren, sondern auch während der Planung und des Baus. Die Ansätze zur Umsetzung der beschriebenen Ziele werden in den fünf anhängenden Kapiteln erläutert. Ein integraler Planungsansatz zu Gebäudedesign und -technik ist eine Voraussetzung, um diese Ziele zu erreichen (sie wird auch schon in jetzigen Ausschreibungen in den Wettbewerben für Gebäude in Belval gefordert).

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 und des öffentlichen Forschungszentrums Henri Tudor konzeptualisiert (Liste der Mitglieder der Expertengruppe, der Beiträge und der E-Mailadressen für etwaige Fragen zu den verschiedenen Themenbereichen S. 8).

1. Behaglichkeit

Wo immer möglich, sollen natürliche Methoden für thermische Behaglichkeit, Licht- und Luftqualität gegenüber technischen Lösungen bevorzugt werden (siehe Kapitel 1, S. 9). Dieses Dokument wurde von einem unserer Fachberater und Experten im Rahmen einer Studie für das Umweltministerium verfasst. Dieser Teil der Stellungnahme gibt die für die thermische Behaglichkeit akzeptable Temperaturspannen an, und liefert Vorgaben für die Indikatoren der Energieeffizienz von Gebäuden, für die sommerliche Behaglichkeit sowie für die Beleuchtung/Belichtung und die Belüftung.

Die Raumtemperatur kann sich zwischen 20°C im Winter und 26°C im Sommer (zwischen 8 und 18 Uhr) befinden. Dies hat zur Folge, dass Kühlung bei integralem Planungsansatz nicht notwendig sein sollte, außer für besondere Bereiche mit starken internen Belastungen oder strengen internen klimatischen Anforderungen.

Die Beleuchtung/Belichtung der Büros soll 500 Lux nicht überschreiten am Arbeitsplatz, ein Zusatz für die Verschmutzung und die Alterung der Lampen ist nicht einzuberechnen. Neue Technologien wie z.B. die LED sind in Betracht zu ziehen.

Die Gebäudehülle soll ein möglichst gutes Klima bei niedrigem Energiebedarf bieten. Wärmeverteilverluste sollen minimal sein. Eine gute Wärmedämmung mit hoher Luftdichtheit 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/m²·K haben. Verteilungsverluste sind zu minimieren.

Insbesondere für Bürogebäude soll der Kühlungsbedarf gering gehalten werden, durch Baumaßnahmen (Sonnenschutz, Wärmeträgheit) und die Reduktion der internen Wärmelasten. Die lichtdurchlässigen Teile sind so zu konzipieren, dass sie optimal die Aspekte der Belichtung, der passiven solaren Gewinne in der Heizperiode und des Schutzes gegen Überhitzung im Sommer kombinieren. Technologien wie thermisch sehr gut gedämmte Fenster oder Wärmepumpen können als auf dem Markt etabliert und wirtschaftlich konkurrenzfähig betrachtet werden. Eine übermäßige Verglasung der Fassaden, wie z.B. Fenster, die bis auf den Boden reichen, ist zu vermeiden. Verglasung ≤ 30 Prozent der Fassade scheint zweckmäßig, Fenster die niedriger als 1 Meter über dem Boden ansetzen, erscheinen unzulässig. Eine Dachbepflanzung kann ebenfalls zur Wärmedämmung im Sommer beitragen.

2. 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 (Kapitel 2, S. 25). Die Berechnung der Energieeffizienz von Gebäuden sollte den Vorgaben der Direktive 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/m³a. Der Grenzwert für den elektrischen Stromverbrauch beträgt 6 kWh/m³a. Der Grenzwert für den Stromverbrauch setzt optimale Tageslichtnutzung und den Einsatz von Apparaten und Beleuchtung mit bester Energieeffizienz voraus. Zur Lichttechnik gilt, dass Wände und Böden auch unter dem Aspekt der Lichtreflexion geplant werden (dies gilt besonders auch für die Tiefgaragen).

Der Verbrauch von besonderen Geräten zur Forschung sollte nicht zur Berechnung dieses Grenzwertes einberechnet 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 der Apparate wie z.B. Kopierer, Küchengeräte, Telefone, Computer und EDV Server sollte schon in einer frühen Planungsphase betrachtet werden, damit er ständig kontrolliert und optimiert werden kann.

Man wird mit kritischem Auge die Kühlungsbedürfnisse und speziell ein höherer Stromverbrauch, die die Planung beeinflussen, betrachten müssen. Gegenfalls wird eine schriftliche Begründung nötig sein. Zurzeit werden in England Leitfaden zur Realisierung von nachhaltigen Laboren entwickelt⁶.

Eine Studie wird die Möglichkeit erforschen müssen, ob Kühlung von Sondernutzungsbereichen mit erneuerbaren Energien erreicht werden kann (z.B. solare Kühlung) und ob die Abwärme von Kälteerzeugungsmaschinen oder anderer Geräte genutzt werden kann. Die vor Ort produzierte Energie, z.B. durch Photovoltaikanlagen, kann vom berechneten Gesamtverbrauch zur Gebäudezertifizierung abgezogen werden.

3. Photovoltaikanlagen

Die Universität möchte überzeugend die Technologien zur Produktion erneuerbarer Energien unterstützen, insbesondere für die Photovoltaikanlagen, indem solche Anlagen in der Cité des Sciences installiert und benutzt werden sollen. Alle Dächer der Gebäude der Cité des Sciences sollen so entworfen werden, dass sie später mit Photovoltaikanlagen ausgestattet werden können (dies betrifft die zusätzlichen Nutzlasten, die Verankerung der Fundamente und den Durchgang der Kabel), sobald die finanzielle Unterstützung gewährt ist.

Es schließt extensive Dachbepflanzung nicht aus. Sie sind im Gegenteil wünschenswert. Ein punktuelleres Verfahren ist für die Realisierung von einem oder zwei Gebäuden mit photovoltaischen Solarpanelen an bestimmten Stellen der Fassade nötig. In Belval ist das Parksportzentrum das angemessenste Gebäude für die Eingliederung einer Photovoltaikanlage in der Fassade. Die Südseite ist ganz der Sonne ausgesetzt. Der Stromverbrauch des Gebäudes wird beachtlich, erst recht wenn ein Schwimmbad dort hinzugefügt wird. Auf der Hochofenterasse sind die Werkstätte, Hallen und Gewächshäuser für die Biologie am Angemessensten, wegen ihrer Stelle. Diese Pläne werden nur realisierbar sein, wenn der Staat die Mehrkosten finanziert; die Universität wird diese Möglichkeit im Herbst untersuchen.

Kapitel 3 (S. 28) beschreibt die Gründe, die die Integration von Photovoltaikanlagen belegen:

- entlang der Fassade;
- in der Fassade – im oberen Drittel der am Südlichsten orientierten Fassade;
- als Sonnenschutz der Fenster;
- auf oder im Dach (flach oder auf Gestell);
- als Verschattungselemente;
- als Kombination der oben genannten Lösungen.

4. 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 Lebenszyklusanalyse (Ökobilanz) wird zur Bewertung empfohlen.

Die Expertengruppe erwartet, dass die Wettbewerbsteilnehmer in ihren Entwurfanträgen die nötigen Daten zur Berechnung der Ökobilanz bereitstellen, damit diese in die Vorschläge für die Vorjury und die Jury einfließen kann. Kapitel 4 (S. 31 ff) gibt hierzu praktische Anweisungen und Tabellen.

5. Wassermanagement

Optimales Wassermanagement beinhaltet die Entwicklung von Konzepten zum Sparen von Trinkwasser durch den Einsatz von wassersparenden Armaturen und Apparaten und, wo möglich, durch den Ersatz von Trinkwasser durch Regenwasser (z.B. für die zentrale Kälteproduktion). 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 der Gebäudefundamente ist nicht angeraten. Bei der Gesamtplanung des Wassermanagements in Belval ist zu beachten, dass der Boden aufgrund von Altlasten an einigen Stellen versiegelt ist, und dass Arcelor Mittal Rechte auf Oberflächenwasser zur Kühlung bei der Stahlproduktion hat. Kapitel 5 (S. 36 ff) stellt eine Reihe von konkreten Maßnahmen mit Kostenabschätzung dar, die zum besseren Umgang mit Wasser in Belval beitragen können.

Fazit: Diese Vorgaben wurden ausgewählt, weil sie neue, besonders gute technische Möglichkeiten darstellen, um höhere Ziele zu erreichen als die bisher in Luxemburg üblicherweise vorgegebenen. Dazu gehören auch ein integraler Planungsansatz zu Gebäudedesign und -technik. Die Baudichte auf dem Gelände sollte eine optimale Ausrichtung der Gebäude nicht ausschließen.

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 Kapitel 2, S. 25).

(b) Die Stellungnahme soll die Grundlage für die Auswertung des Energiekonzepts (zusammen mit der Ansicht des externen Büros), des Wassermanagements und der Baustoffauswahl der Vorjury bilden. Die Auswertung dieser drei Aspekte für jedes der Gebäude an die Jury sollte sehr klar kommuniziert werden (zum Beispiel durch Farbcodes). Die Kriterien zur Auswirkung auf die Umwelt werden in unterschiedlicher Weise bewertet: an erster Stelle kommt das Potential der Gebäudekonzeption, die Energieeffizienz und die optimale Behaglichkeit durch natürliche Mittel zu gewähren, wie z.B. durch natürliche Beleuchtung und Belüftung.

Die Baustoffwahl und die Vorschläge zu Wasserersparnismaßnahmen werden an zweiter Stelle betrachtet werden.

(c) Nach Auftragsvergabe sollten feste Zeitpunkte in der Planungs- und Bauphase definiert werden, zu denen Gesamtenergieberechnungen vorzulegen sind, die vom Bauherren und dem Hauptnutzer abzuzeichnen sind.

(d) Vorgesehen werden sollte auch ein ständiges Monitoring des Baus der Gebäude, sowie die Optimierung des Betriebssystems der Nutzungsprofile nach den Saisonzyklen 1-2, 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.

Endnoten:

¹ Der globale Durchschnitt des Energiekonsums pro Kopf betrug 17500 Kilowattstunden pro Jahr im Jahre 1995. Dies entspricht einer stetigen 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 Fossilenergieverbrauch bis zum Jahr 2150 auf 500 Watt/Person reduziert werden. Dies entspricht ungefähr einem Ausstoß von 1 Tonne CO₂ 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.novatlantia.ch/index.php?id=60&L=1>.

² Richtlinie 2002/91/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2002 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften. 4.1.2003. L 1/65.

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

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

⁵ Betriebskosten von energieeffizienten Gebäuden die den 'US EPA Energy Star' Normen entsprechen, sind bis zu 40% niedriger als die konventioneller Bürogebäude. Diese Resultate wurden erzielt durch einen integralen Planungsansatz, Gebäudeorientierung, Einsatz von energiesparenden Technologien, von erneuerbaren Energiesysteme, und lichtreflektierenden Materialien, durch die Optimierung des natürlichen Tageslichts und der natürlichen Belüftung, und durch minimalen Einsatz von Haustechnik. Die geschätzte Rendite des Harvard Anlagefonds für Grüne Gebäude wird auf 28% geschätzt (siehe <http://www.greencampus.harvard.edu/gclif/>). Steigende Öl- und Wasserpreise werden die Investition in Energie- und Wassersparmassnahmen in Zukunft noch rentabler machen.

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

Mitglieder der Expertengruppe

Name	Organisation	Beitrag	E-Mail
Julien Farlin	CRP Henri Tudor	Kapitel 5: Wasser	Julien.Farlin@tudor.lu
Manfred Greger	Universität Luxemburg	Kapitel 4: Baustoffe	Manfred.Greger@uni.lu
Paula Hild	CRP Henri Tudor	Kapitel 4: Baustoffe	Paula.Hild@tudor.lu
Ariane König (Verantwortliche)	Universität Luxemburg	Zusammenfassung und Koordinierung	Ariane.Koenig@uni.lu
Stefan Maas	Universität Luxemburg	Kapitel 2: Energie	Stefan.Maas@uni.lu
Frank Minette	CRP Henri Tudor	Kapitel 3: Photovoltaik	Frank.Minette@tudor.lu
Vanessa Pavan	Universität Luxemburg	Layout	Vanessa.Pavan@uni.lu
Jean-Jacques Scheuren	Universität Luxemburg	Kapitel 2: Energie	Jean-Jacques.Scheuren@uni.lu
Danielle Schoder	Universität Luxemburg	Koordinierung der französischen Übersetzung	Danielle.Schoder@uni.lu
Frank Scholzen	Universität Luxemburg	Kapitel 2: Energie	Frank.Scholzen@uni.lu
Paul Schosseler	CRP Henri Tudor	Kapitel 5: Wasser	Paul.Schosseler@tudor.lu
Bianca Schmitt	CRP Henri Tudor	Kapitel 4: Baustoffe	Bianca.Schmitt@tudor.lu
Stefanie Seiffert	CRP Henri Tudor	Kapitel 5: Wasser	Stefanie.Seiffert@tudor.lu
Susanne Siebentritt	Universität Luxemburg	Kapitel 3: Photovoltaik	Susanne.Siebentritt@uni.lu
Andreas Thewes	Universität Luxemburg	Kapitel 2: Energie	Andreas.Thewes@uni.lu
Danièle Waldmann	Universität Luxemburg	Kapitel 4: Baustoffe	Daniele.Waldmann@uni.lu

Behaglichkeit und Innenraumqualität der Nichtwohngebäude

Claude-Alain ROULET
Prof. Dr. EPFL, pensioniert

INHALT

1. Behaglichkeitskriterien und damit verbundene Anforderungen	10
2. Thermische Behaglichkeit	11
3. Passive Mittel um die thermische Behaglichkeit zu sichern	15
4. Luftqualität.....	19
5. Visuelle Behaglichkeit	22
6. Akustische Behaglichkeit.....	23
7. Standardnutzungsbedingungen	24

NOTIZ

Das Dokumentprojekt „Behaglichkeit und Innenraumqualität der Nichtwohngebäude“ wurde auf Anfrage von Herrn Jean Biver, Vize-Direktor der Umweltbehörde des Großherzogtums Luxemburg, verfasst. Dieses Kapitel wird der Universität Luxemburg zur Verfügung gestellt auf Wunsch von Prof.-Ing. J.J. SCHEUREN, der am Projekt teilgenommen hat.

Die EG-Richtlinie zum Energieprofil der Gebäude hat das Ziel, „die Verbesserung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden in der Gemeinschaft unter Berücksichtigung der jeweiligen äußeren klimatischen und lokalen Bedingungen sowie der Anforderungen an das Innenraumklima und der Kostenwirksamkeit zu unterstützen.“ (Richtlinie, Art. 1)

1. Behaglichkeitskriterien und damit verbundene Anforderungen

Prinzipien: Das Gebäude wird vor allem für seine Nutzer gebaut, es muss also bequem und gesund sein. Das Gebäude soll seine Nutzer von der Außenwelt schützen, ein angenehmes Innenklima und eine angenehme Innenluftqualität sichern, und Dienste wie Transport, Produkte und Kommunikationen leisten.

Die Maßnahmen, um eine gute Innenraumqualität zu sichern, können in zwei Gruppen sortiert werden: aktive und passive Maßnahmen.

Die passiven Maßnahmen sind architektonische und bauliche Maßnahmen, um natürlich das erzielte Ergebnis zu erreichen, praktisch ohne Zusatz von nichterneuerbarer Energie.

Die aktiven oder technologischen Maßnahmen ermöglichen es, das erzielte Ergebnis durch mechanische Aktionen zu erreichen, das heißt Energieverbrauch um die Defekte des Gebäudes zu kompensieren oder um die passiven Methoden zu ergänzen.

Beispiele passiver Methoden

Wärmedämmung schützt vor dem Außenklima. Wenn sie außerhalb der Struktur gesetzt wird, schützt sie diese vor schnelle Temperaturschwankungen, stabilisiert die Innentemperatur, favorisiert die Erschließung solarer Gewinne, ermöglicht die passive Kühlung und beseitigt Schimmel- und Kondensrisiken.

Die natürliche Lüftung wird im Allgemeinen von den Bewohnern besser aufgenommen, als die mechanische Lüftung. Sie ermöglicht deutlich höhere Flüsse als jene, die mechanische Lüftung erreichen kann, was den schnellen Abtransport großer Mengen an Verunreinigungen erleichtert und die Effizienz der passiven Kühlung deutlich verbessert.

Die passive Kühlung besteht darin, die Gebäudestruktur nachts abzukühlen, um das Überhitzen bei Hitzetagen zu vermeiden. Dazu benutzt man große Öffnungen die ganze Nacht, eine der Öffnungen muss dabei so hoch oben wie möglich sein. Die passive Sonnenheizung erschließt die Wärme der Sonnenstrahlung, die durch die Fenster oder manchmal durch *ad hoc* Einrichtungen ins Gebäude dringt, um zur Heizung der Räume beizutragen.

Die Einbaustelle der Öffnungen bestimmt die Belichtung und Lüftung. Zum Beispiel erlaubt es eine Öffnung ganz oben, die warme Luft abzutransportieren. Hohe Fenster belichten besser die hinteren Raumbereiche, als breites Fensterwerk.

Die akustische Dämmung und Absorption sichern eine angenehme akustische Umwelt in den Räumen, vermeiden unangenehme Interferenzen zwischen Nachbarn und reduzieren die Wirkung des Außenlärms.

Die Belichtung ist unseren Augen perfekt angepasst, und von den Nutzern gut aufgenommen und sogar begehrt. Bei gleicher Beleuchtungsstärke heizt sie weniger, als Beleuchtung.

Die Verteilung der Volumina muss dem Klima angepasst werden. Große Höhen sind in warmen Klimata angenehm, kleine Volumina jedoch leichter zu heizen. Die Verteilung der Räume in der Höhe favorisiert die Lüftung durch Schornsteineffekt, erhöht aber auch den Temperaturgradienten.

Beispiele aktiver Maßnahmen

Eine Lokal- oder Zentralheizung bleibt unentbehrlich in kalten Klimata um im Winter eine angenehme Temperatur zu sichern.

Die mechanische Lüftung ersetzt die natürliche Lüftung, oder ergänzt sie in großen oder stark besetzten Räumen. Sie ermöglicht auch, die Wärme aus der abtransportierten Luft zurückzugewinnen.

Die aktive Kühlung ermöglicht, die Räumlichkeiten in denen die thermische Last zu hoch ist, abzukühlen. Dazu installiert man entweder ausstrahlende Wände (z.B. Kühldecken) oder eine Klimaanlage.

Die Beleuchtung ist wohlbekannt und bleibt notwendig, um nachts zu sehen!

Die Vor- und Nachteile der passiven und aktiven Maßnahmen sind in der Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Vor- und Nachteile der passiven und aktiven Maßnahmen

	Passive Maßnahmen	Aktive Maßnahmen
Vorteile	Billig Verbrauchen wenig Energie Fallen nicht aus	Sind den Bedürfnissen angepasst Bekannte Methoden Flexibilität Korrigieren Fehler
Nachteile	Benötigen Fantasie Sind nicht immer angemessen Verzeihen keine Fehler	Teuer Energiefressend Ausfälle möglich Erlauben Fehler

Da die passiven Maßnahmen vorzuziehen sind, aber nicht immer angenehme Bedingungen sichern können, besteht die Strategie darin, so weit wie möglich mit den passiven Maßnahmen zu gehen. Die Unzulänglichkeiten werden mit aktiven Installationen ausgeglichen, und letztere werden demzufolge kleiner. Diese Strategie erlaubt es oft, mehr Auswahl für die Arten und Einbaustellen der aktiven Installationen zu haben.

2. Thermische Behaglichkeit

Thermische Behaglichkeit in klimatisierten Räumlichkeiten: die thermische Behaglichkeit hängt von folgenden Faktoren ab:

- Nutzerbedingte Faktoren: Aktivität, Bekleidung.
- Gebäudebedingte Faktoren: Lufttemperatur, Temperatur der umgebenden Flächen, relative Luftgeschwindigkeit und -turbulenzgrad, Wasserdampfdruck oder relative Feuchtigkeit.

Die mittlere Strahlungstemperatur an einem Ort in einem Raum mit mehreren Flächen auf unterschiedlichen Temperaturen ist die homogene Temperatur, die ein imaginärer Raum hätte, in dem die empfangene Strahlung die gleiche wäre, wie im eigentlichen Raum. Eine Annäherung dieser Temperatur ist die mittlere Temperatur dieser Flächen, mit dem Wert der Flächen gewichtet.

Die operative Temperatur ist der gewichtete Mittelwert der Lufttemperatur T_a und der Strahlungstemperatur T_r :

$$T_{op} = a T_a + (1 - a) T_r \quad \text{mit} \quad a = 0,5 + 0,25v,$$

wo v die relative Luftgeschwindigkeit ist.

Im Innenraum überschreitet die Luftgeschwindigkeit selten 0,1 m/s und die operative Temperatur ist folglich der arithmetische Mittelwert der Lufttemperatur T_a und der Strahlungstemperatur T_r .

In einem klimatisierten Umfeld werden die optimalen Behaglichkeitsbedingungen (für die statistisch nur 5 % der Nutzer unzufrieden wären) von der Norm EN ISO 7730 vorgegeben. Diese Bedingungen reduzieren sich auf Abbildung 1, wenn die relative Feuchtigkeit 35 % bis 65 % beträgt und solange es keinen Durchzug gibt.

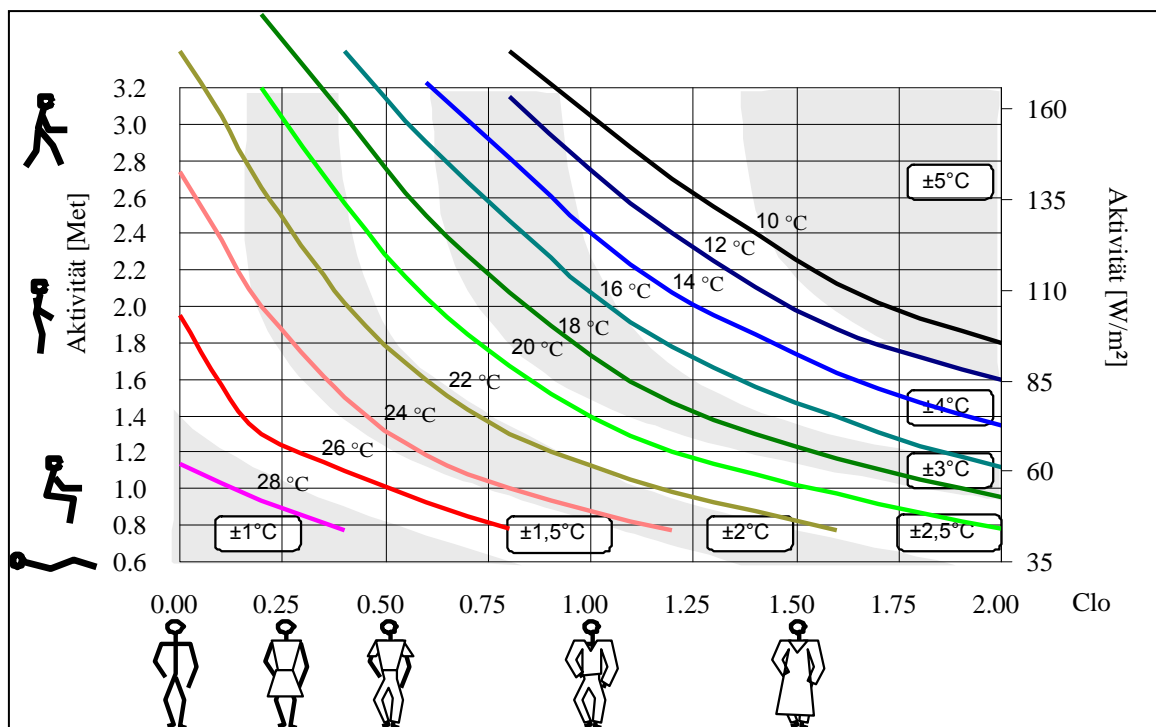


Abbildung 1: Ideale operative Temperatur in Abhängigkeit von der Bekleidung und des Metabolismus nach EN ISO 7730. Diese Abbildung gibt die ideale operative Temperatur in Abhängigkeit von der Aktivität und der Bekleidung an, und zwar für eine niedrige Luftgeschwindigkeit (unter 0,1 m/s) und eine normale relative Feuchtigkeit (35 bis 65 %). Die schattierten Bereiche geben die akzeptable Abweichung von der idealen Temperatur an, das heißt die Bereiche in denen es nur 10 % Unzufriedene mit der thermischen Behaglichkeit gäbe.

Die Metabolismusrate ist eine Leistung, sie wird also in Watt ausgedrückt. Man benutzt auch den met, der einer sitzenden Bürotätigkeit entspricht (ca. 100 Watt).

Tabelle 2: Mittlere Metabolismusrate für verschiedene Aktivitäten (ISO, 1993)

Aktivität	Wärmeausstrahlung		
	met	W/m ² †	W/Pers*
Liegend, inaktiv, Schlaf	0,8	46	83
Sitzend, inaktiv	1,0	58	104
Sesshafte Beschäftigung (Büro, Lesen, Studium)	1,2	70	126
Stehend, inaktiv	1,2	70	126
Leichte Aktivität, stehend (Laden, Werkbank, Labor)	1,6	93	167
Stehende Arbeit (Putzen, Werkstatt)	2,0	116	209
Gehen (4 km/h)	2,8	162	292
Intensive Arbeit (schwere Mechanik)	3,0	174	313
Gehen (5 km/h)	3,4	197	354
Lauf (10 km/h)	8,0	464	834

† auf die Körperfläche bezogen.

* für eine Person mit 1,8 m² Körperfläche (z.B. Größe 1,7 m, Masse 69 kg).

Die Bekleidung stellt einen Wärmewiderstand zwischen der Hautfläche und der Umgebung dar. Dieser wird in m²K/W oder in clo (für clothing) ausgedrückt. 1 clo entspricht dem Wärmewiderstand eines Anzugs mit Sakko, oder einem Wärmewiderstand von 0,155 m²K/W. Einige Beispiele werden in der Tabelle 3 angegeben.

Tabelle 3: clo-Werte für einige Bekleidungen (ISO, 1993)

Bekleidung	clo	m ² K/W
Nackt, stehend	0,0	0,0
Kurze Hose, Badeanzug	0,1	0,015
Tropische Kleidung: Unterhose, kurzärmeliges Hemd mit offenem Kragen, kurze Hose, leichte Socken und Sandalen	0,3	0,045
Sommerkleidung: Unterhose, kurzärmeliges Hemd mit offenem Kragen, lange leichte Hose oder Rock, leichte Socken und Schuhe	0,5	0,08
Leichte Arbeitskleidung: leichte Unterwäsche, kurzärmeliges Hemd mit offenem Kragen, Arbeitshose, Socken und Schuhe	0,7	0,11
Winterkleidung für Innen: Unterwäsche, langärmeliges Hemd, Pullover, Hose oder Rock, Socken und Schuhe	1,0	0,15
Stadtkleidung: langärmelige und langbeinige Unterwäsche, langärmeliges Hemd, Hose und Strickweste oder Rock, Jacke, dicke Socken und Schuhe	1,5	0,23
Gefütterte Winterkleidung	3,0	0,45

Die Kriterien nach EN ISO 7730 sind in folgendem Bereich benutzbar: kontrolliertes Innenklima (Heizung oder Kühlung); Metabolismus zwischen 46 und 230 W/m² (0,8 bis 4 met); Bekleidung zwischen 0 und 2 clo oder Wärmewiderstand der Kleider zwischen 0 und 0,310 m²K/W; Lufttemperatur zwischen 10 und 30°C; mittlere Strahlungstemperatur zwischen 10 und 40°C; relative Luftgeschwindigkeit unter 1 m/s; partielle Wasserdampfdruck zwischen 0 und 2700 Pa.

Pauschale operative Temperaturen

Wenn man übliche Aktivitäten und Bekleidungen berücksichtigt, kann man thermische Behaglichkeitsbedingungen für manche typischen klimatisierten Räume angeben. Die Tabelle 4 gibt ein paar Beispiele.

Tabelle 4: Pauschale operative Temperaturen für klimatisierte Büroräume (prEN 13779)

	Bekleidung (clo)		Aktivität (met)	Temperaturen im	
	Sommer	Winter		Sommer	Winter
Typische Werte	0,5 – 0,7	0,8 – 1,0	1,0 – 1,4	23 – 26	19 – 24
Bemessungswert	0,5	1,0	1,2	26	21

Zusätzliche Unbequemlichkeitsfaktoren

Die Abbildung 1 ist nur für praktisch isotherme, durchzugsfreie Räumlichkeiten. Bei Temperaturgradienten oder Durchzug steigt der Prozentsatz Unzufriedene. Um dies zu vermeiden sollte man folgende Punkte vermeiden.

Die Asymmetrie der Strahlungstemperatur, das heißt der Unterschied in der mittleren Strahlungstemperatur, die die beiden Seiten einer Fläche sehen, sollte folgende Werte nicht überschreiten:

- 2 K in senkrechter Richtung, wenn die Decke wärmer ist, als der Boden;
- 12 K in senkrechter Richtung, wenn die Decke kälter ist, als der Boden;
- 10 K in waagerechter Richtung, in der Nähe einer kalten Wand;
- 20 K in waagerechter Richtung, in der Nähe einer warmen Wand.

Den Lufttemperaturunterschied zwischen Kopf und Knöchel sollte 3 K nicht überschreiten (er kann negativ sein).

Die Bodentemperatur (Fußbodenheizung) sollte zwischen 20 und 27°C liegen.

Die direkte Aussetzung dem Sonnenlicht sollte vermieden werden (Überhitzung).

Die Luftgeschwindigkeit sollte so sein, dass der Prozentsatz an Beschwerden wegen Durchzugs 15 % nicht überschreitet, was eine Höchstgeschwindigkeit von 0,13 m/s bei 20°C, 0,15 m/s bei 22°C und 0,2 m/s bei 26 °C bedeutet.

Thermische Behaglichkeit in nichtklimatisierten Räumlichkeiten

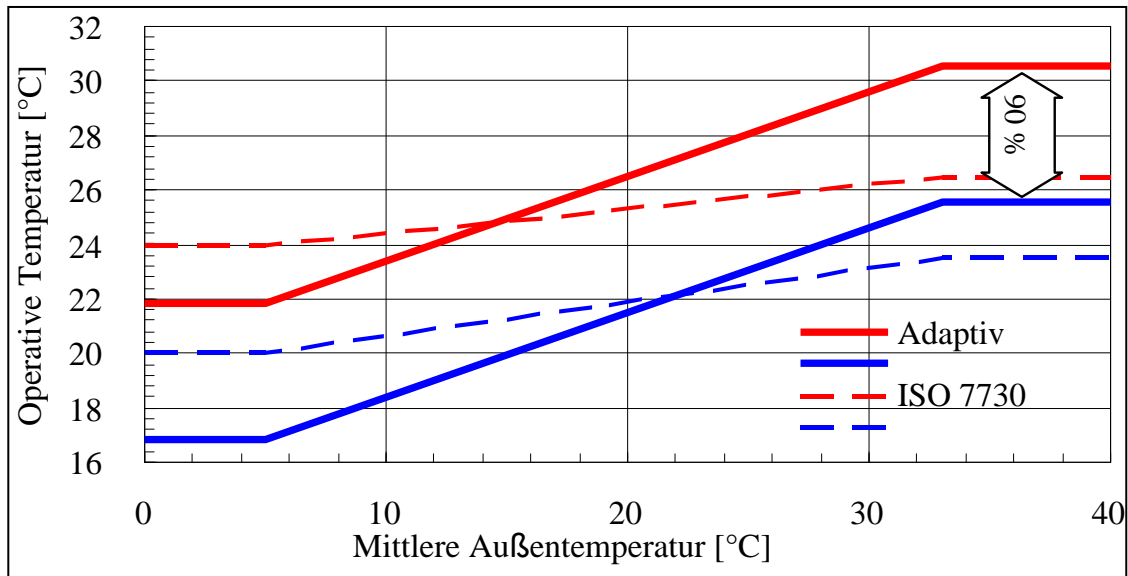
Die ideale operative Temperatur in nichtklimatisierten Gebäuden mit natürlicher Belüftung folgt nicht dem Modell prEN ISO 7730, sondern hängt eher von der Außentemperatur ab (Abbildung 2).

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

wo θ_{op} die ideale operative Temperatur ist und θ_e die monatliche mittlere Außentemperatur. Das Akzeptanzintervall für 90 % der Nutzer ist $\pm 2,5$ K. Es geht bis $\pm 3,5$ K für 80 %.

Dieses adaptive Behaglichkeitsmodell ermöglicht wesentliche Energieersparnisse, vor allem im Sommer, denn die akzeptierte Temperatur ohne künstliche Kühlung ist höher als jene, die im Allgemeinen in klimatisierten Räumlichkeiten verlangt wird.

Abbildung 2: Adaptives Behaglichkeitsmodell aus (de Dear and Brager, 2002); und nach ISO 7730 für 1,2 met



3. Passive Mittel um die thermische Behaglichkeit zu sichern

Wärmedämmung

Die Wärmedämmung ist für die thermische Behaglichkeit wesentlich, im Sommer wie im Winter. Der Wärmeübertragungskoeffizient U der lichtundurchlässigen Wände soll kleiner oder gleich $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ sein, was in etwa 20 cm Dämmstärke entspricht. Für die sommerliche Behaglichkeit von besetzten Dachgeschossen soll diese Dämmung unter leichten Bedachungen verstärkt werden:

$$U < 0,15 \text{ W/m}^2.$$

Das Fensterwerk der geheizten oder gekühlten Räumlichkeiten hat einen Wärmeübertragungskoeffizienten U kleiner oder gleich $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$, einschließlich des Rahmens. Diese Grenze sinkt mit dem verglasten Anteil der Hülle (siehe Abbildung 3).

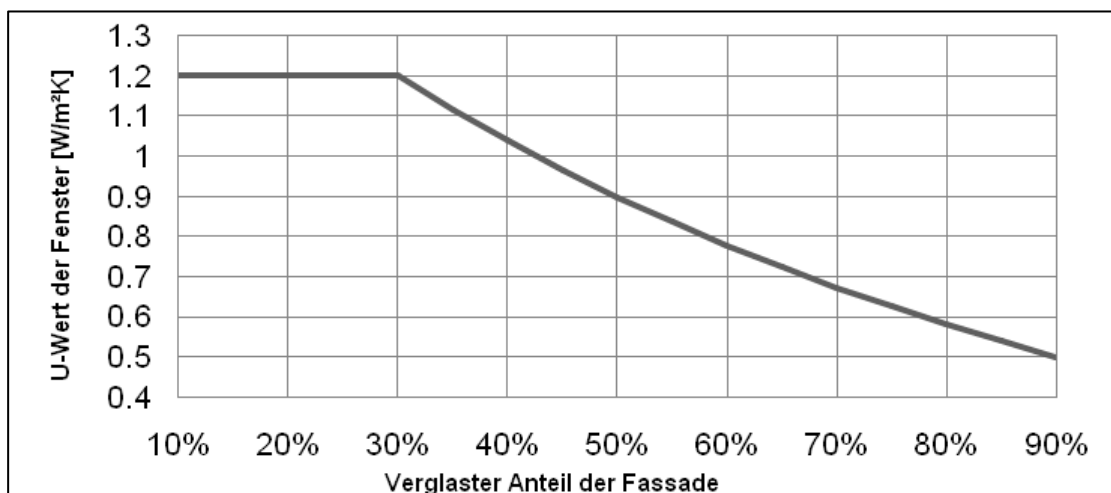
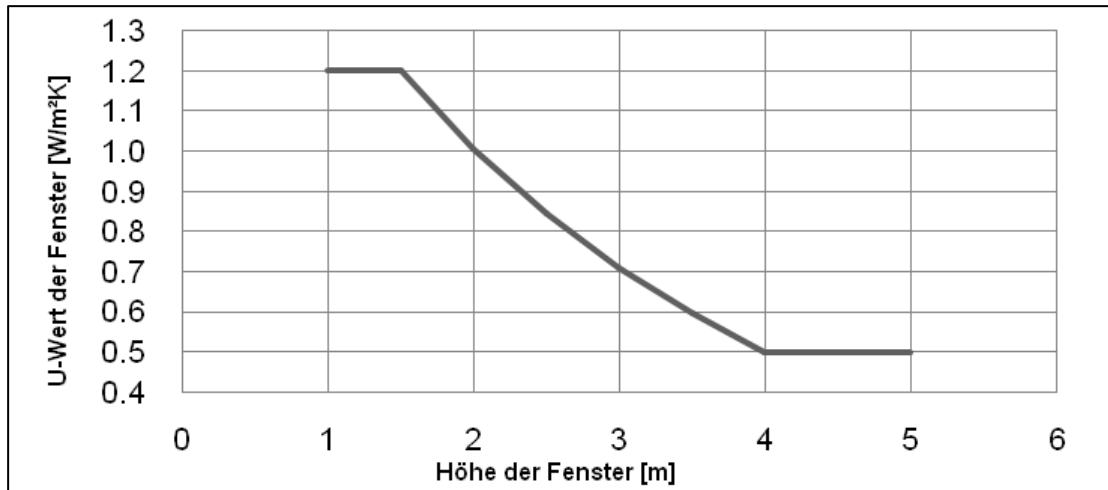


Abbildung 3: Wärmeübertragungskoeffizient U in Abhängigkeit vom verglasten Anteil der Fassaden

Um den Durchzug zu reduzieren, muss der maximale Wärmeübertragungskoeffizient U des Fensterwerks (einschließlich des Rahmens) ebenfalls mit seiner Höhe sinken (Abbildung 4).

Abbildung 4: Wärmeübertragungskoeffizient U in Abhängigkeit von der Höhe der Fenster



Eine optimale Dämmung, die den gesamten Energieverbrauch über eine Gebäudelebensdauer von 50 oder mehr Jahren minimiert, entspricht einer Dämmstärke von über 20 cm ($U < 0,15 \text{ W/m}^2$) und Hochleistungsfenstern ($U < 0,6 \text{ W/m}^2$).

Die Dämmung muss den gesamten besetzten Raum komplett und ohne wichtige Diskontinuitäten umhüllen. Diese Anforderung ist einfacher zu bewerkstelligen, wenn die Gebäudestruktur innerhalb der Isolierung ist.

Sonnenstrahlung

Die Menge an Sonnenstrahlung, die ins Gebäude eindringt (unter anderem durch das Fensterwerk), soll den Belichtungs- und Wärmebedürfnissen angepasst sein. Um die Belichtung zu verbessern, wird man ausschließlich klare Verglasungen verwenden, deren Lichtdurchlässigkeit über 60 % beträgt.

Die ins Gebäude eindringende Sonnenstrahlung soll durch effiziente und mobile Sonnenschutzanlagen kontrolliert werden.

Der globale energetische Durchlässigkeitsfaktor g der Sonnenstrahlung ist das Verhältnis der Wärmeflussdichte durch ein lichtdurchlässiges Bauelement (einschließlich der sekundären Wärmeübertragung) zur globalen einfallenden Sonnenstrahlung. Die Norm EN 410 definiert eine Berechnungsmethode des g -Werts für die Fenster. Dieser Faktor soll die Werte der Abbildung 5 nicht überschreiten, wenn der Sonnenschutz ausgefahren ist.

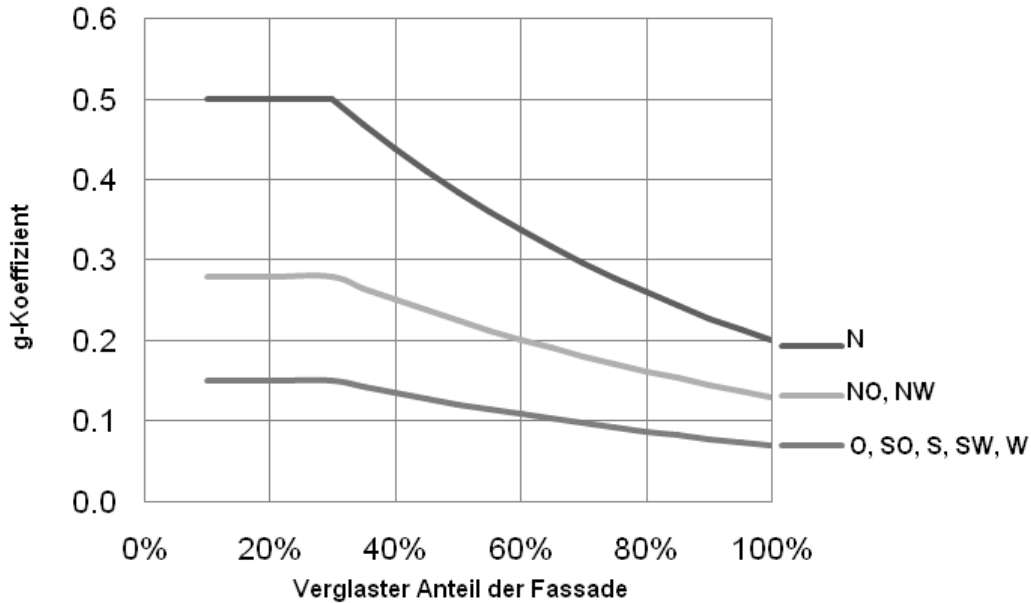


Abbildung 5: Grenzwerte des globalen energetischen Durchlässigkeitsfaktor g der Sonnenstrahlung in Abhängigkeit vom verglasten Anteil der Fassade für die Hauptorientierungen

Wärmeträgheit

Die Wärmeträgheit eines Gebäudes oder eines Raumes dieses Gebäudes ist seine Fähigkeit, innere Temperaturschwankungen zu dämpfen. Diese Trägheit steigt: mit der Wärmespeicherkapazität der mit dem Inneren in Kontakt stehenden Materialien, welche mit der spezifischen Masse der Materialien steigt; mit der Fläche der schweren Materialien, die mit dem Äußeren in Kontakt sind; mit der Wärmedämmung des Gebäudes.

Die effektive innere Wärmekapazität, C , ist die Wärmemenge, die nötig ist, um das Gebäude um 1 Grad in einer festgesetzten Zeit, zum Beispiel 24 Stunden, zu erhöhen.

Abbildung 6: Beispiele der Wärmekapazität, in Wh pro Quadratmeter Referenzfläche und pro Grad Temperaturschwankung

Schwerbau, komplett in rohem Beton oder Gestein	150
Böden (Betonboden und -decke, Wand in rohem verputzten Backstein)	120
Das gleiche, Boden mit Teppich bedeckt	100
Das gleiche, Boden mit Teppich bedeckt und Zwischendecke	70
Boden mit Teppich bedeckt und Zwischendecke, Wände in Gipsplatte	30
Bau komplett in Massivholz	50
Bau in Holzbrettern	25

Die Zeitkonstante τ charakterisiert die innere Wärmeträgheit. Sie ist das Verhältnis der Wärmekapazität dieses Raums zu seinem Wärmeverlustkoeffizient.

$\tau = \frac{C}{H}$ (s). H ist der Wärmeverlustkoeffizient des Gebäudes, das heißt die zu erbringende Leistung, um einen Grad Temperaturunterschied zwischen Innen und Außen zu erhalten. Eine Zeitkonstante von 100 Stunden oder mehr, mit dem hygienischen minimalen Luftstrom berechnet, trägt dazu bei, eine stabile thermische Behaglichkeit unter anderem im Sommer zu sichern.

Winterliche Behaglichkeit, passive Solarheizung

Die Sonnenstrahlung die durch die Fenster und gegebenenfalls durch andere spezielle Erfassungselemente hineingeht, wird im Gebäude in Wärme umgewandelt, und trägt so zur Heizung der Räumlichkeiten bei. Damit sie effizient und bequem ist, sollten die nachstehenden Richtlinien befolgt werden.

- Heizbedürfnisse durch eine sorgfältige Wärmedämmung auf ein Minimum begrenzen.
- Die beheizten Zonen und die Pufferzonen im Schnitt und im Grundriss angemessen verteilen, die ersten an der Sonne, die anderen weiter zurück.
- Große Erfassungsflächen einrichten, die zwischen Südosten und Südwesten orientiert sind. Die Orientierung des Gebäudes soll diese Bedürfnisse berücksichtigen. Die Erfassungsflächen sind vor Allem die Fenster und Glastüren, aber auch die Wintergärten und die lichtundurchlässigen Wände mit durchsichtiger Dämmung.
- Alle Erfassungsflächen mit effizienten Sonnenstrahlungskontrollvorrichtungen ausstatten (Sonnenschutz). Sonnenschutzanlagen drinnen können im Winter nützlich sein, um die Blendung zu reduzieren und trotzdem von der Sonnenwärme zu profitieren.
- Die Wärmeträgheit des Gebäudes soll hoch sein, um Überhitzungen im Sommer zu begrenzen, und die gespeicherte Wärme nachts wieder abzugeben. Das Gebäude ist also massiv und die Dämmung wird außerhalb der Struktur gesetzt. Die Zeitkonstante des Gebäudes sollte einhundert Stunden überschreiten.
- Die Heizungsanlage nach EN 12831 bemessen, ohne die Leistungsreserve zu übertreiben.
- Die Zusatzheizung soll nur bei Bedarf laufen. Es muss also eine angemessene Wärmeregulierung geben, die die Sonnengewinne und die Eigenschaften der Heizungsanlage berücksichtigt. Das ist insbesondere der Fall, wenn es in jedem Raum ein Thermostat gibt. Vorausschauende Kontrollsysteme können die Unzulänglichkeiten der Heizungen mit großer Trägheit wie Bodenheizung kompensieren.

Sommerliche Behaglichkeit, passive Kühlung

Das Gebäude soll so gebaut werden, dass die Behaglichkeitsanforderungen ohne künstliche Kühlung erfüllt werden, vorausgesetzt, dass der geplante Sonnenschutz korrekt benutzt wird, und solange die spezifische interne Wärmelast unter 7 W/m^2 im täglichen Mittel (über 24 Stunden) in den Arbeitsräumen, und 5 W/m^2 in den Wohnräumen beträgt.

Die passive Kühlung besteht darin, dass man jedes Phänomen erschließt, das die Innentemperatur senkt und keine Energie verbraucht. Sie ermöglicht eine hervorragende sommerliche Behaglichkeit, und erspart gleichzeitig den Einbau teurer Klimaanlage.

Damit sie effizient und bequem ist, sollte man die nachstehenden Richtlinien befolgen.

Das Gebäude soll eine hohe Wärmeträgheit besitzen.

Natürliche Belüftungsöffnungen (insbesondere Fenster), die groß genug und vom Wetter geschützt sind, und nachts offen bleiben können, werden in der Hülle angebracht. Mindestens eine dieser Öffnungen soll ganz oben der zu kühlenden Zone platziert werden, um die warme Luft abzutransportieren.



Die Wärmegewinne innen begrenzen, das heißt:

- sorgfältige Wärmedämmung; einen im Sommer effizienten, das heißt äußeren Sonnenschutz installieren und benutzen;
- Ausrüstung (Maschinen, Beleuchtung, usw.) mit niedrigem Energieverbrauch installieren; unbenutzte Geräte ausschalten.

Belichtung verallgemeinern, die durch Anlagen kontrolliert wird (insbesondere durch beweglichen Sonnenschutz), die das Exzesslicht außerhalb des Gebäudes zurückwirft.

Nachts stark lüften, tagsüber auf dem hygienischen Minimum.

4. Luftqualität

Ziele

Die drei Hauptanforderungen, die zu erfüllen sind, um eine gute Luftqualität zu sichern, und gleichzeitig den Energieverbrauch zu begrenzen, sind:

- die Intensität der Verunreinigungsquellen begrenzen;
- die Lüftungsraten kontrollieren;
- die Wege der Luft kontrollieren, um die Verunreinigungen in der Nähe der Quellen zu beseitigen, und um die Frischluft dorthin zu befördern, wo sie am nützlichsten ist.

Verwaltung der Verunreinigungsquellen

Eine angemessene Verwaltung der Verunreinigungsquellen erfordert: keine Verunreinigungsquellen ins Gebäude einzuführen; Restverunreinigungen in der Nähe der Quellen beseitigen; während und direkt nach jeglicher verunreinigender Aktivität stark lüften; kontrolliert lüften, um unvermeidliche Verunreinigungen unter der akzeptablen Grenze zu halten.

Kontrolle der Lüftungsraten

Die Lüftungsrate soll genügen, um in den Räumlichkeiten ausgestoßenen Verunreinigungen abzutransportieren, ohne jedoch übertrieben zu werden. Im eingeschwungenen Zustand wird der nötige Frischluftfluss, um die Konzentration eines gegebenen Schadstoffs unter einer gegebenen Grenze zu halten, durch folgende Formel errechnet:

$$\text{Frischluftfluss} = \frac{\text{Fluss der Verunreinigungsquelle}}{\text{Nettogrenzkonzentration}} .$$

Die wichtigsten vorhandenen Verunreinigungen im Raum werden berücksichtigt, und die höchste Lüftungsrate wird angewandt. Wenn die Nutzer, Nichtraucher, die einzige Verunreinigungsquelle darstellen, dann liegt der Durchfluss zwischen 20 m³/h (Mindestanforderungen) und 40 m³/h (hohe Anforderungen).

Mit Berücksichtigung der üblichen Verunreinigungslasten in manchen typischen Räumlichkeiten und der anerkannten Konzentrationen, kann man eine der pauschalen Lüftungsraten der Tabelle 5 auswählen. Diese Lüftungsraten gelten, solange die eigentliche Verunreinigung den Rechenhypothesen entspricht.

Tabelle 5: Pauschale Lüftungsraten in Liter pro Sekunde und pro Bodenquadratmeter für Verwaltungsräume, in Abhängigkeit von der Verunreinigungslast (CEN CR 1752)

Qualitätsklasse	Nutzer alleine	Wenig verunreinigende Materialien	Verunreinigende Materialien	
Hoch	1	2	3	L/(s·m ²)
Mittel	0,7	1,4	2,1	

Die nötige Außenluft soll durch die manuelle Öffnung der Fenster, durch kontrollierte Lüftungsöffnungen oder durch eine mechanische Lüftungsanlage hergebracht werden. Die Lecks der Hülle reichen nicht aus, um eine effiziente Lüftung zu sichern.

Um die Luftflüsse zu kontrollieren, soll die Gebäudehülle, die das beheizte Volumen umschließt, so luftdicht sein, wie möglich (bei geschlossenen Belüftungsöffnungen).

Die spezifische Luftdurchlässigkeit der Hülle ist der Luftfluss unter Normalbedingungen und 4 Pa Differenzialdruck, auf die Fläche der Hülle bezogen:

$$v_{a,4} = \frac{\dot{V}_4}{A_e} = \frac{\text{Luftfluss unter 4 Pa}}{\text{Fläche der Hülle}} \quad \text{mit:}$$

\dot{V}_4 Luftfluss unter 4 Pa Differenzialdruck, in m³/h

A_e Fläche der Hülle um das beheizte Volumen, außerhalb gemessen, in m².

Die Tabelle 6 gibt die Grenzwerte und die Zielwerte an, die von der schweizerischen Norm SIA 180 für die Luftdurchlässigkeit der Gebäudehüllen vorgegeben werden. Die Gebäude, die mit Zu- und Abluftanlagen ausgestattet sind, sollen die Zielwerte einhalten.

Tabelle 6: Empfohlene Grenzwerte für die Luftdurchlässigkeit der Gebäudehüllen (SIA 180: 1999)

Kategorie	$v_{a,4,max}$ (m ³ /h·m ²)	
	Grenzwert	Zielwert
Neubauten	0,75	0,5
Sanierte Gebäude	1,5	1

Effizienz der Lüftung

Es ist wichtig, dass die Frischluft so nah wie möglich an die Nase der Nutzer gebracht wird, und dass die Verunreinigungen schnell beseitigt werden, oder in anderen Worten, dass die Luft nicht zu alt wird.

Das Alter der Luft an einem Ort ist die mittlere Zeit, die ein Luftmolekül seit seinem Eindringen ins Gebäude gebraucht hat, um dort anzukommen.

Das mittlere Alter der Luft eines Raums ist das Mittel der lokalen Alter, mit dem Volumen gewichtet. Die nötige Zeit, um die Luft zu wechseln, τ_n , ist gleich dem Doppelten dieses mittleren Alters.

Die nominale Zeitkonstante des Raums ist der Kehrwert der Lüfterneuerungsrate:

$$\tau_n = \frac{V}{\dot{V}}$$

Der Lüftungswirkungsgrad η_V misst die Effizienz, mit der die Luft im Raum erneuert wird. Er ist das Verhältnis der nominalen Zeitkonstante zur Erneuerungszeit der Luft:

$$\eta_V = \frac{\tau_n}{\tau_r} = \frac{\tau_n}{2\bar{\tau}}$$

Mechanische Lüftungsanlagen sollen so entworfen werden, dass der Lüftungswirkungsgrad nicht unter 50 % liegt. Die Kolbenlüftung und die Lüftung, die eine totale Mischung erreicht, erfüllen diese Anforderung.

Natürliche Lüftung

Die natürliche Lüftung ist das „passive“ Mittel, die Lüftung der Gebäude zu sichern. Sie besteht darin, den durch natürliche Kräfte (Wind, Temperaturunterschiede) erzeugten Luftfluss durch zu diesem Zweck eingebaute Lüftungsöffnungen oder -kanäle zu kontrollieren. Öffnungen, die aus anderen Gründen angebracht werden (Türen, Fenster), dienen auch der natürlichen Lüftung.

Die Vorteile der natürlichen Lüftung sind: sie wird von den Nutzern, die sie leicht verstehen und kontrollieren, in der Regel gut akzeptiert; die nötige Investition ist gering oder gar null; die Energie zum Lufttransport ist umsonst; sie ermöglicht hohe Durchflüsse, besonders für die sommerliche Abkühlung der Gebäude durch Nachtlüftung; sie fällt nicht aus.

Sie hat jedoch in paar Nachteile: sie ist in lauten oder verunreinigten Zonen nicht benutzbar; sie ist in Räumen, deren Verhältnis Tiefe/Höhe 2,5 überschreitet (Großraumbüros), nicht benutzbar; sie ermöglicht keine Wärmerückgewinnung von der Abluft; sie erzeugt einen variablen Durchfluss, der ohne angemessene Kontrolle nicht unbedingt den Bedürfnissen entspricht.

Die natürliche Lüftung kann durch eine mechanische Lüftungsanlage ergänzt werden, die einige dieser Nachteile in manchen Perioden kompensiert. Man kann beispielsweise eine natürliche Lüftung in der temperierten Jahreszeit, und eine mechanische Lüftung mit Wärmerückgewinnung in der Heiz- oder Kühlperiode anwenden. Man kann auch nur manche Räume des Gebäudes mechanisch lüften. Ein Gebäude mit natürlicher Lüftung muss als solches konzipiert werden, und muss mit den nötigen Öffnungen ausgestattet werden. Diese Öffnungen müssen ausreichen, und korrekt platziert werden. Wenn diese Öffnungen geschlossen sind, muss die Hülle genügend luftdicht sein, um die Grenzwerte der Tabelle 6 zu erfüllen.

5. Visuelle Behaglichkeit

Anforderungen

Die nötigen Beleuchtungs-/Belichtungsbedingungen, um die Zufriedenheit der Nutzer zu sichern, hängen von der Nutzung der Räumlichkeiten ab. Das wichtigste Charakteristikum, das die Qualität der Beleuchtung/Belichtung quantifiziert, ist die Beleuchtungsstärke und ihre Verteilung. Die Werte der Tabelle 7 werden für die Beleuchtung der Räumlichkeiten empfohlen.

Tabelle 7: Empfohlene Beleuchtungsstärken

Art der Räumlichkeit und der Aktivität	Erforderte Beleuchtungsstärke (lux)		
	Min.	Mittel	Max.
Verkehr, Flure, Theater, Konzertsäle	50	100	200
Werkstätte, Montierhallen, Lagerräume	200	300	400
Schulen, Büros, übliche Arbeitstätigkeiten, Lesen, Schreiben, Bildschirmarbeit, usw.	300	400	500
Feinarbeit, Zeichnen, Musterzeichnungen, technische Arbeiten, usw.	500	750	1000
Präzisionswerkstätte, Feinmechanik, Farbkontrolle, visuelle Qualitätskontrolle, usw.	1000	bis	5000

Für zahlreiche Anwendungen ist es wichtig, dass das Licht die Farben ordentlich wiedergibt. Dazu muss das Lichtspektrum alle Farben enthalten, vorzugsweise gleichmäßig verteilt. Sonnenlicht, mit seiner Farbtemperatur von 6000 K, ist weiß und gibt alle Farben gut wieder.

Die Leuchtdichte L , das heißt die Lichtstärke pro Quadratmeter der gesehenen Fläche, soll im Blickfeld nicht zu stark schwanken. Der Leuchtdichtekontrast soll folgende Werte nicht überschreiten:

- 3 im Ergorama, Feld mit 60° Öffnung, das für die Arbeit benutzt wird;
- 10 im Panorama, Feld mit 120° Öffnung, in dem nur die Bewegungen wahrgenommen werden.

Belichtung

Die Belichtung ist spektral perfekt unseren Augen angepasst, und flimmert nicht. Sie nimmt keine Energie auf, und heizt bei gleicher Beleuchtungsstärke weniger, als jede im Handel verfügbare Beleuchtungsquelle. Dies ist in klimatisierten Räumen interessant, wo jede zusätzliche Wärmequelle die Kühlanlage belastet. Der einzige Nachteil ist, dass sie nicht auf Befehl verfügbar ist, dass sie auch stark schwankt, und also Einstellsysteme benötigt, um die Blendung zu vermeiden (mobiler Sonnenschutz).

Folgende Prinzipien ermöglichen es, eine gute Belichtung zu sichern:

- Klare Verglasungen benutzen, und feste Schatten vermeiden. Getönte oder spiegelnde Verglasungen und fester Sonnenschutz reduzieren die Lichtdurchlässigkeit ständig, selbst wenn man das Licht am meisten braucht.

- Kontrollanlagen vorsehen (Rollos, Fensterläden, Verglasungen mit variabler Lichtdurchlässigkeit, usw.), um die Belichtung den Bedürfnissen anzupassen.

- Die hellstmöglichen Farben für die Wände, die Decke, den Boden und die Möbel benutzen.
- Hohe Fenster vorsehen. Bei gleicher Fläche belichtet ein hohes und schmales Fenster besser als ein breites niedriges Fenster. Der obere Teil der Fenster bringt mehr Licht nach hinten in den Raum als der untere.
- Blendung vermeiden, indem die Öffnungen in Zusammenhang mit den Arbeitsplätzen platziert werden, oder umgekehrt. Die Öffnungen, vor allem die zenitalen, sollten sich außerhalb des Ergoramas (Blickfeld mit 30° halber Öffnung) befinden.

Beleuchtung

Die Beleuchtung ist unentbehrlich, wenn die Belichtung fehlt. Sie heizt jedoch und verbraucht Energie, und sollte demzufolge nur bei Bedarf benutzt werden, und ohne Übertreibung.

Man passe also die Quellen den Bedürfnissen an, um mit dem niedrigstmöglichen Energieverbrauch die nötige Beleuchtung zu sichern. Mit der Absicht muss man einerseits hocheffiziente Quellen benutzen, und sie andererseits so anbringen, dass die nötige Beleuchtung nur dort gesichert ist, wo sie nötig ist.

6. Akustische Behaglichkeit

Lärmschutz

Der Lärmpegel sollte die Grenzen der Tabelle 8 nicht überschreiten.

Tabelle 8: Störender Lärmpegel (dB A)

In den Schlafzimmern	40
Für Denkarbeit	60
Für Handarbeit	80

Die inneren Lärmquellen und die Schalldämmung des Gebäudes sollen so angepasst werden, dass der summierte Effekt der inneren und äußeren Quellen die Werte der Tabelle 8 nicht überschreitet.

Der Lärmpegel an den Ohren der Nutzer infolge der mechanischen Lüftung oder anderer Anlagen des Gebäudes muss um 10 dB niedriger sein, als die Werte der Tabelle 8.

Innere Akustik der Räumlichkeiten

Die innere Akustik eines Saals ist charakterisiert durch die Art, in der die Schallwellen sich dort fortpflanzen, und insbesondere durch seine Nachhall- oder Echozeit. Diese ist die Zeit nach Verlöschen der Quelle, nach jener der Schallpegel um 60 dB gesunken ist.

Diese Zeit hängt vom Volumen des Saals ab, von den absorbierenden Flächen (Wände, Boden, Decke, Möbel) und von ihrem Schallabsorptionskoeffizient. Die optimale Nachhallzeit hängt von der Benutzung und vom Volumen des Saals ab. Für Büro- oder Arbeitstätigkeiten beträgt die optimale Nachhallzeit:

- 0,5 s für kleine Räumlichkeiten
- 0,75 s für Räumlichkeiten von etwa 1000 m³
- 1 s für die Räumlichkeiten von 5000 m³ und mehr.



7. Standardnutzungsbedingungen

Standardbedingungen: Mittelwerte

Diese Werte werden für die Berechnungen benutzt, die den gesamten Verbrauch des Gebäudes erzielen, in den Standardbedingungen und mit der monatlichen Methode für die Heizbedürfnisse.

		Innentemperatur °C		Metabolische Wärme kWh/ m ²	Spezifische Lüftungsrate m ³ / (h·m ²)	Jährliches Warmwas- serbedürfnis kWh /m ²	Strom für die Ausrüstung kWh/ m ²
		Winter	Sommer				
C	Verwaltung	20	26	9	0,7	4	17
D	Schulen	20	26	10	0,7	16	11
E	Krankenhäuser	20	26	16	1,0	24	53
F	Hotels	20	27	8	0,7	38	2
F2	Restaurants	20	27	22	1,2	9	4
F3	Selbstbedienung	20	27	22	1,2	15	5
G	Sportanlagen	18	26	11	0,7	62	31
G	Hallenbäder	28	28	11	0,7	50	0
H1	Möbelladen	20	26	13	0,7	1	7
H2	Lebensmittelladen	20	26	14	0,7	3	2
H3	Baumarkt, Gartenhandel	20	26	15	0,7	1	4
H4	Supermarkt	20	26	16	0,7	3	17
H5	Einkaufszentrum	20	26	17	0,7	2	3
H6	Juwelierladen	20	26	18	0,7	3	8
I	Lagerräume	18	28	2	0,3	0	12
I1-3	Versammlungsorte	20	27	18	1,0	12	35
I4	Industrie	18	26	8	0,7	0	3

Kapitel 2 Energieeffizienz der Universitätsgebäude in Belval

Leitlinien für die Realisierung energetisch hocheffizienter Bauten

Stefan Maas
Jean-Jacques Scheuren
Frank Scholzen
Andreas Thewes

Die EU Richtlinie 2002/91/EG fordert bei öffentlichen Gebäuden das Anbringen an einer gut sichtbaren Stelle eines höchstens zehn Jahre alten Ausweises über die Gesamtenergieeffizienz¹. Darüber hinaus werden für neue Gebäude detaillierte Berechnungen zum Gesamtenergieverbrauch verbindlich verlangt, wobei die Mitgliedstaaten die Berechnungsmethode und die Grenzwerte festlegen müssen. Diese Richtlinie ist für Nicht-Wohngebäude in Luxemburg noch nicht ins nationale Recht umgesetzt worden, obwohl es für den 4.1.2006 der Fall sein sollen hätte.

Grenzwerte und Berechnungsmethoden für den Energieverbrauch von Gebäuden:

Die Universität Luxemburg (UL) fördert entschlossen die nachhaltige Entwicklung 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.



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

Die Universität setzt folgende Summenwerte für die Heizung, das Warmwasser, die Beleuchtung, die Belüftung, die Be- und Entfeuchtung fest:

Endenergie der Fernwärme	14 kWh/(m³a)
Elektrischer Stromverbrauch	6 kWh/(m³a)

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 europäischen Normenpaketen und Berechnungsmethoden beruhen, die die Anforderungen der Direktive 2002/91/EG erfüllen, können, nach Absprache, auch verwendet werden. Die Kombination dieser Grenzwerte und Berechnungsmethoden wurde anhand der Kompatibilität mit den deutschen und schweizerischen (auf EN und CEN basierenden) Normen und Berechnungsmethoden getestet. Von diesen Werten können leicht die Gesamtprimärenergie und die entsprechenden CO₂ Emissionen abgeleitet werden, die zur Gebäudezertifizierung oft verlangt werden.

Hierbei sei auch bemerkt, dass der Grenzwert für den Gesamtstromverbrauch nicht für Sonderbereiche wie z.B. das Rechenzentrum, die unterirdischen Parkhäuser mit ständiger Beleuchtung oder die Forschungslaboratorien 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 einbezogen 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 der geplanten) Gebäudehülle, der installierten Haustechnik, den Witterungsbedingungen und dem realem Nutzerverhalten.

Die Universität ihrerseits erklärt sich dafür verantwortlich, die Nutzer der Gebäude darauf zu sensibilisieren, dass höhere Bequemlichkeitsansprüche an Klimatisierung, Beleuchtung und Informatik einen sehr hohen Energieverbrauch nach sich ziehen. Universitätsinterne Kommunikationsmaßnahmen durch die Zelle für nachhaltige Entwicklung 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.

Die vorliegende Stellungnahme mit den Anforderungen der Universität ist Teil der offiziellen Dokumentation des Architekturwettbewerbs. Diese Kriterien gelten aus Sicht der Universität als wichtig für die Qualität des Entwurfs.

Ein Beispiel für ein Referenzgebäude aus Sicht der Universität ist z.B. das 1999 in Betrieb genommene Gebäude der Fachhochschule Bonn-Rhein-Sieg. Es wurden nur 4 % der Gesamtsumme 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, adiabatische Kühlung für den Hörsaalbereich, bedarfsgerechte Heizungsregelung, Erdwärmetauscher, Abwärmenutzung von Kühlanlagen, Dach- und Fassadenbegrünung, Regenwassernutzung sowie Photovoltaikanlagen.

Unabhängige Energieexperten der Vorjury werden alle Entwürfe in Hinblick auf die Energieeffizienz analysieren und z.B. in ein rot-gelb-grünes Bewertungsschema einteilen, das für die Jury direkt auf dem Entwurf sichtbar sein werden muss. Ein schlechtes Gebäudekonzept zieht eine aufwändige und teure Haustechnik zur Kompensation nach sich, wenn es denn überhaupt korrigierbar 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 nach einer auf einem äquivalenten Normenpaket basierenden Methode) vorzulegen ist.

Anfangs wird diese mit vielen angenommenen Werten arbeiten müssen, weil wichtige Details noch unklar sein werden, die sich aber nach und nach klären werden. 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 empfindlichen 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, das 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.

Kapitel 3 Photovoltaik für den neuen Campus in Belval

Susanne Siebentritt
Frank Minette

Richtlinien für die Architekten / Ingenieure:

Die Universität möchte überzeugend die Technologien zur Produktion erneuerbarer Energien unterstützen, insbesondere für die Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen), indem solche Anlagen in der Cité des Sciences installiert und benutzt werden sollen. Alle Dächer der Gebäude der Cité des Sciences sollen so entworfen werden, dass sie später mit PV ausgestattet werden können (dies betrifft die zusätzlichen Nutzlasten, die Verankerung der Fundamente und den Durchgang der Kabel), sobald die finanzielle Unterstützung gewährt ist.

Es schließt extensive Dachbepflanzung nicht aus. Sie sind im Gegenteil wünschenswert. Ein punktuelleres Verfahren ist für die Realisierung von einem oder zwei Gebäuden mit PV an bestimmten Stellen der Fassade nötig. In Belval ist das Parksportzentrum das angemessenste Gebäude für die Eingliederung einer PV-Anlage in der Fassade. Die Südseite ist ganz der Sonne ausgesetzt. Der Stromverbrauch des Gebäudes wird beachtlich, erst recht wenn ein Schwimmbad dort hinzugefügt wird. Auf der Hochofenterrasse sind die Werkstätte, Hallen und Gewächshäuser für die Biologie die Angemessensten, wegen ihrer Stelle. Diese Pläne werden nur realisierbar sein, wenn der Staat die Mehrkosten finanziert; die Universität wird diese Möglichkeit im Herbst untersuchen.

Integration der PV entweder:

- in der Fassade – im oberen Drittel der am Südlichsten orientierten Fassade;
- als Sonnenschutz der Fenster;
- als integrierter Sicht- oder Sonnenschutz in den Fenstern (waagrecht oder senkrecht);
- auf oder im Dach (flach oder auf Gestell);
- als Kombination der oben genannten Lösungen.

Bemerkung: Unechte Solarzellen (Dummies) sowie gefärbte Zellen können benutzt werden, um den architektonischen Aspekt und die Ästhetik zu erhalten.

Da die neuen Gebäude Standards setzen sollen, ist es unabdingbar, dass sie mit 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. Solarzellen können ebenfalls entweder auf Gestellen aufgestellt oder ins Dach integriert werden.

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 Jahren². 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-

² Die Energierückzahlzeit beschreibt die benötigte Benutzungszeit, damit eine Energieproduktionsanlage die für ihre Produktion verbrauchte Energie regeneriert hat.

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. das Werk des Architekten Dr.-Ing. Ingo B. Hagemann zur BIPV³. Andere Beispiele auf 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 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 nötigen 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 werden folgende Maßnahmen gefordert:

- In allen künftigen Ausschreibungen muss die Integration von PV-Anlagen ins Gebäude vorgeschrieben werden. Entwürfen, die größere Flächen für PV vorsehen, ist der Vorrang zu geben.
- Bei der Betrachtung der zusätzlichen Kosten durch die PV-Anlage darf nicht nur der Preis der Anlage herangezogen werden, sondern der Vergleich des Gebäudepreises mit und ohne integrierte PV-Anlage. Die Universität Luxemburg wird die Frage der finanziellen Mittel, die zur Deckung der mit der PV verbundenen Mehrkosten nötig sind, nach der Einschätzung dieser klären.

³ Ingo B. Hagemann „Gebäudeintegrierte Photovoltaik“, ISBN 3-481-01776-6, www.gipv.com

Kapitel 4 Flächen und Baustoffe

Manfred Geger
Paula Hild
Bianca Schmitt
Danièle Waldmann

Grundsätzlich sollen in diesem Bauprojekt umweltfreundliche Baustoffe eingesetzt werden. Die in den Zusammenfassungstabellen für Flächen und Baustoffe verlangten Parameter gelten als Referenz für die Auswertung der im Projekt verwendeten Baustoffe. Die Auswertung wird auf der Methode der Ökobilanz beruhen, und demzufolge die Auswirkungen der Baustoffe auf die Umwelt von der Herstellung bis zum Ende des Lebenszyklus.

Um die Auswirkungen auf die Umwelt in der Bauphase zu reduzieren, wird vorgeschlagen, folgende Leitgedanken so früh wie möglich in die Konzeption eines Gebäudes zu integrieren:

- Eine lange Lebensdauer des Gebäudes erzielen;
- Auf die Nachhaltigkeit der Bauelemente und -stoffe achten;
- Verbundstoffe als Bauelemente oder -stoffe vermeiden, da schwer zu recyceln oder zu trennen sind;
- Regionale Baustoffe bevorzugen um lange Transportwege zu vermeiden;
- Nachhaltige, recycelte oder reichlich verfügbare Rohstoffe in Betracht ziehen;
- Umweltfreundliche Baustoffe, dessen Auswirkungen auf die Umwelt bei der Herstellung reduziert worden sind, bevorzugen;
- Bauelemente und -stoffe in Betracht ziehen, die wenige Schadstoffe und giftige Substanzen enthalten.

Als zusätzliches Nachschlagewerk kann diesbezüglich auch der Leitfaden für nachhaltiges Bauen und Renovieren www.crtib.lu/Leitfaden genutzt werden.

Zusammenfassungstabellen der Flächen und Baustoffe

Allgemeine Parameter	Einheit	Wert
Bruttogesamtvolumen (beheizt und unbeheizt)	m ³	
Aushubvolumen	m ³	
Bruttogesamtfläche (alle Etagen)	m ²	
Fläche der Außenplatten	m ²	
Fläche der Trennplatten zwischen dem beheizten und dem unbeheizten Volumen	m ²	
Fläche der Platten im beheizten Volumen	m ²	
Fläche der Außenwände	m ²	
Fläche der Trennwände zwischen dem beheizten und dem unbeheizten Volumen	m ²	
Fläche der Wände im beheizten Volumen	m ²	
Dachfläche	m ²	
Länge der Säulen	m	

Beschreibung der Fenster			
Typus	Stoff des Rahmens	Fläche [m ²]	U-Wert (Verglasung und Rahmen) [W/m ² K]
1			
2			
3			

Tabelle nach Bedarf erweiterbar.

Parameter der Außenplatten			
U-Wert in W/m^2K :			
I.1 Skizze:			
I.2 Skizze:			

• Parameter der Trennplatten zwischen dem beheizten und dem unbeheizten Volumen			
U-Wert in W/m^2K :			
II.1 Skizze:			
II.2 Skizze:			

Parameter der Platten im beheizten Volumen			
U-Wert in W/m^2K :			
III.1 Skizze:			
III.2 Skizze:			

Tabelle nach Bedarf erweiterbar.



• Parameter der Außenwände			
U-Wert in W/m^2K :			
IV.1 Skizze:			
IV.2 Skizze:			

• Parameter der Trennwände zwischen dem beheizten und dem unbeheizten Volumen			
U-Wert in W/m^2K :			
V.1 Skizze:			
V.2 Skizze:			

• Parameter der Wände im beheizten Volumen			
VI.1 Skizze:			
VI.2 Skizze:			

Tabelle nach Bedarf erweiterbar.



• Parameter der Dächer			
U-Wert in W/m^2K :			
VII.1 Skizze:			
Schicht	Baustoff	Dichte [kg/m^3]	Dicke [m]
VII.2 Skizze:			
Schicht	Baustoff	Dichte [kg/m^3]	Dicke [m]

Tabelle nach Bedarf erweiterbar.

• Parameter der Säulen			
VIII.1 Skizze:			
Schicht	Baustoff	Dichte [kg/m^3]	Dicke [m]
VIII.2 Skizze:			
Schicht	Baustoff	Dichte [kg/m^3]	Dicke [m]



Kapitel 5 Umgang mit Wasser in Belval

Paul Schosseler
Stefanie Seiffert

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 Umweltauswirkungen** verbunden. Zum einen entsteht bei der Trinkwasseraufbereitung, -verteilung und Abwasserbehandlung ein hoher Energiebedarf, zum anderen erfolgt die Klärschlammbe-seitigung immer häufiger durch Verbrennung. Diese Praxis erlaubt es zwar, in den Wasser-kreislauf 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 Mini-mierung 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 Was-serververbrauch 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 in 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 Atlasten 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 Nutzerverhalten 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)⁴:

- Wasserlose Urinale (insbesondere rentabel bei hohen Nutzerfrequenzen).

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

- Regenwassernutzung für die Bewässerung von Grünanlagen⁵, Toilettenspülung oder Kühlung/Klimatisierung;
- „Low Flush“ Toiletten mit stark reduziertem Wasserverbrauch (2/4 L), Trenntoiletten und Vakuumtoiletten;

Grauwasseraufbereitung und -nutzung, bspw. für Toilettenspülung⁶.

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). 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 Sanitäranlagen 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 aus⁷. Es sollte also verhindert werden, dass geringe Wassermengen (bspw. aus vorgeschalteten

⁴ Informationen zu besonders umweltfreundlichen Geräten findet sich bspw. unter www.oekotopten.lu.

⁵ 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 unter <http://tinyurl.com/mrtokh>).

⁶ 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.

⁷ 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.

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 Urinalspülung, 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 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 Abwassermen-

ge 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 Rückhaltefunktion 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 Fehlschlüsse 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) entnommen werden.

<p>Factsheet: Wasserkreislauf im Gebäude</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 bei der Investition:	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): 15000 – 20000 Euro - dezentrale Anlage (Einfamilienhaushalt): 3000 – 5000 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:	www.crte.lu/mmp/online/website/content/water/76/203/index_DE.html 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:	www.crte.lu/mmp/online/website/content/water/76/128/index_DE.html - Links zu Wassersparttechnologien (wasserlose Urinale und Wasserspararmaturen) - Leitfaden für wasserlose Urinale - Herstellerverzeichnis und Preisliste für Separationstoiletten und besonders wassersparende WCs

<p>Factsheet: Wasserkreislauf außerhalb des Gebäudes</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 Dippbach</p>	
Sinnvolle Maßnahmen (Umsetzung abhängig von Gesamtkonzept):	<p>Gründächer und Grünflächen</p> <p>Regenwassernutzung in öffentlichen Gebäuden</p> <p>Offene Retention und Ableitung des Regenwassers</p>
Anwendungen:	Öffentliche Gebäude und private Siedlungen
Mehrkosten bei der Investition:	<p>Gründächer extensiv: 20 und 40 €/m², intensiv – Richtwert liegt hier bei etwa 90 €/m² (stark abhängig von Bepflanzung). Zum Vergleich: Herstellungskosten für ein herkömmliches Flachdach: 10 bis 20 €/m²</p> <p>Vorteile Gründach: Lebensdauer zum Teil doppelt so groß, Wärme- und Lärmdämmung durch Gründach</p> <p>Offene Retention und Ableitung: kann ganz auf eine unterirdische Regenwasserachse verzichtet werden, so sind keine Mehrkosten, resp. sogar Einsparungen zu erwarten</p>
Vorgaben und Empfehlungen:	<p>Keine Drainage von Grundwasser (schwarze, weiße Wannen). Falls Drainage unumgänglich Abgabe des Grundwassers in die offene Regenwasserableitung</p> <p>Baumaterialien, welche keine Schadstoffe an Regenwasser abgeben (Schutz der natürlichen Gewässer) oder zu Verfärbungen bei Regenwassernutzung führen (bspw. Bitumendächer)</p>
Beispiele:	<p>Ausstellung OAI – CRTE/CRP Henri Tudor an der Ökofoire 2007: Nachhaltiger Umgang mit Regenwasser/La gestion durable des eaux de pluie</p> <p>www.aliai.lu/rt/rt20073/rt20073g.pdf</p>
Dokumentation:	<p>Leitfaden zum Umgang mit Regenwasser in Siedlungsgebieten Luxemburgs www.eau.public.lu/actualites/2008/03/journee_eau/Leitfaden_pdf.pdf</p> <p>Leitfaden für nachhaltiges Bauen und Renovieren www.crtib.lu/leitfaden</p>