

TECHNOLOGIEANALYSE:

Analyse der Technologien für die Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden



Dieser Bericht wurde im Rahmen des folgenden Projektes erstellt:

»Smart Energy – Network of Excellence, Nr. 5403«

Interreg IV Programm Italien – Österreich 2007 – 2013

Mit EU-Mitteln kofinanziertes Projekt,
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

Verfasser der Studie: CETA, 2013

Autor: F. Fulchir



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	3
1.1	Potenzieller Markt.....	4
1.2	Hindernisse.....	4
2	Stand der Technik.....	5
2.1	Gebäudehülle.....	5
2.1.1	Isoliermaterialien.....	5
2.1.2	Durchsichtige Elemente.....	7
2.1.3	Mehrschalige Fassaden.....	8
2.2	HVAC Systeme.....	8
2.2.1	Wärmepumpen.....	8
2.2.2	Systeme zur Wärmerückgewinnung.....	8
2.2.3	Solarheizsysteme.....	8
2.2.4	Solar Cooling Systeme.....	10
2.2.5	Fernwärme.....	10
2.3	Transversale Technologien.....	10
2.3.1	Materialien.....	10
2.3.2	Speicherung der thermischen Energie.....	11
3	Forschungstätigkeiten, technologische Entwicklung und Herausforderungen.....	12
3.1	Renovierung bestehender Gebäude.....	13
3.2	Neubauten.....	14
3.3	Vielversprechende Technologien.....	17
3.3.1	Materialien für die Wärmeisolierung.....	17
3.3.2	Durchsichtige Materialien.....	18
3.3.3	Mehrschalige Fassaden.....	19
3.3.4	RHC-Technologien.....	19
3.4	Transversale Technologien.....	20
3.4.1	Materialien.....	20
3.4.2	Wärmespeicher.....	20
3.4.3	ICT.....	21
4	Schlussfolgerungen.....	22
4.1	Herausforderungen für die Technologien für die Energieeffizienz von Gebäuden.....	23
	Bibliographie.....	24

1 Einleitung

Das Ziel dieser Studie ist es, die Technologien für die Verbesserung der Energieeffizienz in Gebäuden zu identifizieren und in eine Prioritätsskala zu setzen, und gleichzeitig die wichtigsten Schwerpunkte der technischen und wissenschaftlichen Forschung in diesem Bereich deutlich zu machen.

In Europa werden jedes Jahr Tausende von Gebäuden gebaut oder renoviert. Die Baubranche setzt sich aus zwei Hauptkategorien von Gebäuden zusammen: Wohn- und Nichtwohngebäude. Zu der zweiten Kategorie gehören sehr heterogene Gebäude, die in der Regel nach der Art der Tätigkeit, die in ihnen stattfindet, klassifiziert werden.

Nach den Prognosen der IEA (1), wird die EU-Bevölkerung bis 2050 voraussichtlich stabil bleiben, während man einen Anstieg der Wohnbereiche und der Bereiche die den Dienstleistungen gewidmet sind, erwarten.

Tabelle 1. Baubranche in der EU

	2009	2015	2030	2050
Bevölkerung (in Millionen)	500	506	516	512
Anzahl der Haushalte (in Millionen)	206	217	238	252
Wohngebiete (in Mio. m ²)	19.500	20.514	22.554	24.666
Gebiete für Dienstleistungen (in Mio. m ²)	7.250	7.767	9.250	10.112

Quelle: IEA. *Energy Technology Perspectives 2012. Pathways to a Clean Energy System.*

Innerhalb der EU sind die klimatischen Bedingungen, die Bauformen und die Vorlieben sehr unterschiedlich. In den Regionen mit hohen thermischen Anforderungen (lange Heiz- und kurzen Kühlperioden) konzentrieren sich zwei Drittel der Gebiete die den Dienstleistungen gewidmet sind (1).

Im europäischen Durchschnitt, stellen die Wohngebäude 75% der gesamten Gebäude dar, und davon sind 64% Einfamilienwohneinheiten und 36% Wohnungen (2). Die Gebäudetypen variieren stark je nach Alter, Größe und geographischer Lage.

In der von BPIE durchgeführten Analyse wurden die Wohngebäuden nach der Bauperiode klassifiziert (2)

	Süden	Norden und Westen	Mitte und Osten	Italien	Österreich
Gebäude vor 1960	37%	42%	35%	40%	33%
Gebäude 1961-1990	49%	39%	48%	52%	42%
Gebäude 1991-2010	14%	19%	17%	8%	23%

Quelle: BPIE. *Europe's building under the microscope. A country-by-country review of the energy performance of buildings.* 2011.

Insgesamt wurde ein Drittel der Gebäude in der EU vor 1960 gebaut und fast 84% sind mindestens 20 Jahre alt. Daraus folgt, dass die Wärmenachfrage aus dieser Art von Gebäuden erheblich durch die Verbesserung der Energieeffizienz (1) reduziert werden kann.

1.1 Potenzieller Markt

Obwohl ab 2020 alle neuen Gebäude den Anforderungen der nZEB entsprechen müssen, zeigen die IEA Projektionen, dass der daraus entstehende positive Effekt, durch die geringe vorgesehene Anzahl der neuen Gebäude, begrenzt sein wird. Im Gegensatz dazu, stellt die Verbesserung der Energieeffizienz der bestehenden Gebäude eine große Chance für die nachhaltige Entwicklung dar (1).

Der potentielle Markt ist in der folgenden Tabelle dargestellt, in Übereinstimmung mit dem BPIE Dokument (3).

Tabelle 2. Hauptwachstumsfaktoren des potentiellen Markts in der EU

Märkte	Größe des bestehenden Marktes	Erforderliche Wachstumsfaktoren
Isoliermaterialien (Mio €)	2.010	2÷3
Dreifach verglaste Fenster (m ²)	1.500.000	>10
Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung (Einheiten)	130.000	8÷10
Wärmepumpen (Einheiten)	185.000	2÷3
Pelletheizkessel (Einheiten)	43.000	2÷3
Thermische Solaranlagen (m ²)	3.700.000	2÷3

Quelle: CETA Verarbeitung von BPIE (3) Daten

1.2 Hindernisse

Das Haupttarget sind die bestehenden Gebäude, die viel Spielraum für die Verringerungen des Energieverbrauchs bieten. Es ist wichtig, sowohl auf dem Wohnbereich als auch auf die kommerziellen Gebäude einzugreifen (4).

Die Hindernisse die überwunden werden müssen, um die Energieeffizienz in der Baubranche zu verbessern sind: die hohen notwendigen Investitionskosten, der Mangel an Wissen und Informationen über die technischen Lösungen die zur Verfügung stehen und über die die für spezifische Situationen geeignet sind (4).

Das Dokument das als E2B Roadmap (5) bekannt ist, berichtet, dass „die Einführung neuer Produkte und neuer Technologien in der Baubranche ein sehr langsamer Prozess ist, aufgrund des Mangels an Informationen über die tatsächliche Energieeffizienz der Gebäude“.

Das Dokument BPIE (3) weist darauf hin, dass ein mögliches Hindernis darin liegen könnte, dass der „Markt nicht in der Lage ist, der steigenden Nachfrage an neuen Technologien gerecht zu werden“.

Darüber hinaus stellt die Umsetzung der EU-Richtlinien in den Rechtsordnungen der Mitgliedstaaten an sich ein nicht technologisches Hindernis dar.

Außerdem zeigt die Baubranche eine gewisse Trägheit bei der Verwendung von herkömmlichen Materialien, für die es ein konsolidiertes Angebot, mit niedrigen Preisen gibt, und sie wird gleichzeitig durch eine gewisse Skepsis gegenüber innovativen umweltverträglichen Lösungen gekennzeichnet. Die Renitenz, in diese Richtung zu investieren wird daher als ein zusätzliches Hindernis angesehen (4).

2 Stand der Technik

In der Baubranche werden viele Technologien und viele Materialien angewendet, sowohl für die Realisierung der Gebäudehüllen als auch für die technologischen Komponenten, wie z.B. die thermosanitären Anlagen, die Beleuchtung, die Stromversorgung der Haushaltsgeräte und der elektronischen Geräte im Allgemeinen.

Vom Gesichtspunkt des Energieverbrauchs sind Gebäude komplexe Systeme, in denen das Zusammenwirken der verschiedenen Technologien den Gesamtenergiebedarf beeinflusst (1).

Jedes Gebäude kann in vier Systeme unterteilt werden: Struktur, Gebäudehülle, mechanische Komponenten und Innenausstattung.

Die Gebäudehülle hat die Funktion das Gebäude gegen die atmosphärischen Einwirkungen zu schützen (6) und es gibt viele innovative Lösungen zur Verbesserung ihrer Leistung, beispielsweise die Orientierung (4).

2.1 Gebäudehülle

2.1.1 Isoliermaterialien

Die Isoliermaterialien für die Bauindustrie die heutzutage auf europäischer Ebene verwendet werden sind zahlreich, aber die am meisten verwendeten sind Mineralwolle, expandiertes Polystyrol und andere Kunststoffschäume, wie Harnstoff-Formaldehyd-Schaum. Es gibt auch verschiedene, wenn auch nicht so häufig verwendete, biologische und natürliche Materialien, wie Kork, Holzfasern, Schilf oder Stroh, sowie auch mehrerer Produkte aus recycelten Materialien die derzeit entwickelt werden. Die potentiellen Umweltauswirkungen, die von diesen Materialien ausgehen sind im allgemeinen geringer als die der herkömmlichen Materialien mit einem hohen industriellen Fertigungsgrad.

In diesem Dokument werden die Isoliermaterialien für die Baubranche in drei Kategorien unterteilt: 1. Herkömmliche Isoliermaterialien; 2. Ökoeffiziente Materialien; 3. Innovative Materialien.

Herkömmliche Isoliermaterialien

Diese Kategorie beinhaltet Mineralstoffe und Kunststoffe.

Tabelle 3. Herkömmliche Materialien

Material	Format	λ	ρ	c	GWP	CO ₂
		W/mK	kg/m ³	J/kg K	storage	CO ₂
					kg CO ₂ eq.	kg CO ₂ eq.
Calciumsilikat	Granulat, Paneele, Platten	0,043	115	850-1000	0	n.a.
	Loses körniges Material	0,1	490÷900	900	0	n.a.
Bimsstein	Mischmaterial	0,16÷0,2	800÷900	900	0	n.a.
	Granulat	0,047÷0,06	80÷130	900	0	n.a.
Blähperlit	Paneele	0,05÷0,06	600÷1400	1400	0	n.a.
	Loses körniges Material	0,05÷0,07	80÷100	1000	0	n.a.
Vermiculit	Mischmaterial	0,08÷0,09	380÷600	800	0	n.a.

Steinwolle	Paneele	0,04÷0,045	40÷95	800÷900	0	19,3
	Filzmatten	0,035÷0,04	30÷50	800÷900	0	19,3
Glaswolle	Paneele	0,045÷0,05	40÷95	800	0	19,6
	Filzmatten	0,035÷0,04	30÷50	800	0	19,6
Schaumglas	Paneele	0,038÷0,05	105÷165	840	0	24,4
Polyesterfasern	Paneele, Platten	0,054	20	1700	0	n.a.
Polyurethanschaum	Paneele	0,020÷0,030	40÷50	1600	0	17,0
Extrudiertes Polyester HFC	Paneele	0,030÷0,040	20÷50	1500	0	365,1
Extrudiertes Polyester CO ₂	Paneele	0,032÷0,040	20÷50	1500	0	15,9
EPS expandiertes Polystyrol	Paneele	0,035÷0,040	15÷30	1500	0	12,4

Quelle: CETA Datenverarbeitung (7)

Ökoeffiziente Materialien

Zu dieser Kategorie gehören Materialien die Rohstoffe aus pflanzlichem oder tierischem Ursprung verwenden. Zu den am weitesten verbreiteten gehören die aus pflanzlichen Fasern, dank der höheren Verfügbarkeit und der Erneuerbarkeit des Rohmaterials in einer kurzen Zeit.

Tabelle 4. Ökoeffiziente Materialien

Material	Format	λ	ρ	c	GWP storage	CO ₂
		W/m K	kg/m ³	J/kg K	kg CO ₂ eq.	kg CO ₂ eq.
Blähton	Loses körniges Material	0,090÷0,130	320÷450	900	0	5,7
	Paneele, Platten	0,160÷0,310	600÷1.200	900	0	24,8
Paneele aus gemeinem Schilf	Paneele, Platten	0,045÷0,056	130÷190	1.000	-31,6	1,5
Paneele aus Stroh	Ballen	0,040÷0,050	100	600	-20,3	1,6
Paneele aus Kork	Expandierte Platten	0,035÷0,040	120	1.900	-15,7	3,5
	Komprimierte Platten	0,039÷0,050	200	1.900	-18,8	4,1
Holzfaser	Starre Platten	0,038÷0,052	150÷300	2.100	-27,4	14,5
Kokosfasern	Paneele	0,043÷0,047	50÷150	1.500	-15,3	19,2
Schafswolle	Paneele	0,037÷0,044	30÷80	1.700	-4,8	6,4
Cellulose-Faser	Flocken	0,037÷0,041	25÷65	1.900	-6,3	5,1
Cellulose-Faser	Paneele	0,040	60÷90	2.000	-5,1	1,9
Kenaf-Faser	Paneele	0,039÷0,045	20÷80	1.700	-	-
Baumwollfaser	Flocken, Paneele	0,040	20÷30	1.500	-	-

Quelle: CETA Datenverarbeitung (7)

Innovative Materialien. Der Stand der Technik umfasst Vakuumisulationspaneele (VIPs), gasgefüllte Isolationsbauplatten (GFPs), reflektierende Isoliermaterialien und Aerogele. Neben diesen müssen auch die Phasenwechselmaterialien (PCMs) zitiert werden (8).

Tabelle 5. Innovative Materialien

Material	Format	λ	ρ	c	GWP storage	CO ₂
		W/m K	kg/m ³	J/kg K	kg CO ₂ eq.	kg CO ₂ eq.
VIPs	Paneele	0,004÷0,008	-	-	-2,1	70,7
GFPs	Paneele	0,040	-	-	-	-
Aerogel	Gefüllte Paneele	0,013	-	-	-	-
PCMs	Paneele	-	-	-	-	-
Reflektierende Isoliermaterialien	Blätter	-	-	-	-	-

Quelle: CETA Datenverarbeitung

Die neuesten Trends gehen Richtung PCMs. Die Anwendungen umfassen auch die Verwendung von mikroverkapselte Phasenwechselmaterialien in Wandverbundsystemen, die in der Lage sind, die Wärmeträgheit des Gebäudes zu verbessern.

2.1.2 Durchsichtige Elemente

Fenster und andere durchsichtige Elemente bestimmen den Eintritt der Sonnenstrahlung in die Gebäude, ermöglichen die natürliche Beleuchtung und Belüftung und die Wärmeströme zwischen Innen und Außen.

Die Aktionen die dessen Leistungen verbessern können sind:

- Erhöhung der Durchdringung der Sonnenstrahlung während der Heizperiode;
- Minimierung der Durchdringung der Sonnenstrahlung während der Kühlperiode;
- Verringerung der Wärmeströme während der Öffnungen;
- Verbesserung der natürlichen Beleuchtung;
- Verbesserung der Effizienz der Luftströmungen im Sommer.

Tabelle 6. Konventionelle Technologien

Typ	Stärke	U_g	g	GWP storage	CO ₂
	(mm)	(W/m ² K)		kg CO ₂ eq.	kg CO ₂ eq.
Einfachglas	6	5,8	0,87	0	14,40
Doppelglas	4/12 _{air} /4	2,9	0,77	0	24,89
	4/20 _{air} /4	2,8	0,77	0	24,91
Dreifachglas	4/8 _{air} /4/8 _{air} /4	1,7	0,68	0	41,10
Doppelglas mit geringen Emissionen, Argon, $\epsilon=0,1$	4/16 _{Argon} /4	1,3	0,64	0	24,95
Doppelglas mit geringen Emissionen, Argon, $\epsilon=0,05$	4/16 _{Argon} /4	1,2	0,60	0	-
Doppelglas mit geringen Emissionen, Argon, $\epsilon=0,04$	4/16 _{Argon} /4	1,1	0,56	0	-
Doppelglas mit geringen Emissionen, Krypton, $\epsilon=0,1$	4/16 _{Krypton} /4	1,1	0,56	0	27,93

Dreifachglas, Argon	4/12 _{Argon} /4/12 _{Argon} /4	0,74	0,52	0	50,20
Dreifachglas, Krypton	4/12 _{Krypton} /4/12 _{Krypton} /4	0,60	0,61	0	52,17

Quelle: CETA Datenverarbeitung

Die wichtigsten Elemente sind: transparente Isolationsmaterialien (TIM), elektrochrome Materialien, photochrome Materialien, thermochrome Materialien, Holographisch-optische Elemente (HOE), prismatische Platten, lasergeschnittene Platten.

2.1.3 Mehrschalige Fassaden

Nach Wiggins und Harris (9) machen die Fassaden zwischen 15 und 40% der Gesamtkosten für den Bau von Gebäuden aus. Die mehrschaligen Fassaden (MSFs) bestehen aus zwei Platten die durch einen Hohlraum getrennt sind, durch den die Luft strömt. Die MSFs können auf natürliche Weise oder mechanisch belüftet werden (10).

Die dynamischen Fassaden, kombiniert mit intelligenten Systemen, wurden erst kürzlich eingeführt und am Lawrence Berkeley National Laboratory weiterentwickelt, für eine optimale Leistung im Winter und im Sommer.

2.2 HVAC Systeme

Die Systeme der Heizung, Lüftung und Klimatechnik (HVAC) beinhalten verschiedene Geräte zur Kontrolle der Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftbewegung und Luftreinigung (11).

Zu den HVAC Systemen gehören: Gasheizkessel, Elektroheizkessel (11), Biomasseheizkessel (12) und Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (CHP) (12). Die CHP Anlagen erlauben es sowohl thermische Energie, als auch Strom zu erzeugen, mit einer Erhöhung der Effizienz der Energieumwandlung des Kraftstoffs (11).

2.2.1 Wärmepumpen

Sie basieren auf der Technologie von Kühlschränken, in denen die Wärme von einem wärmeren Körper auf einen kälteren übertragen wird, unter Verwendung von elektrischer oder thermischer Energie (11). Diese Technologie weist gute Leistung in Bezug auf die CO₂-Emissionen auf, aber sie ist immer noch ziemlich kostspielig.

Für den Wärmeaustausch können Wärmepumpen den Untergrund, die Luft oder das Wasser nutzen.

2.2.2 Systeme zur Wärmerückgewinnung

Es handelt sich um Systeme die in der Lage sind, Energie aus der Luft zu gewinnen. Ein zentralisiertes System erlaubt es, die Luft im Winter vorzuwärmen und sie im Sommer vorzukühlen.

2.2.3 Solarheizsysteme

Diese Systeme können zum Erwärmen von Brauchwasser oder zur kontextuellen Beheizung angewendet werden. Sie bestehen aus drei Elementen: die Solarkollektoren, die thermische Solaranlage und das System zur Wärmespeicherung (11).

2.2.3.1 Solarkollektoren

Es sind die Komponenten, die es ermöglichen die Energie aus der Sonnenstrahlung zu erfassen und diese in Wärme umzuwandeln.

Tabelle 7. Auf dem Markt erhältliche Solarkollektoren

Kollektortyp	Absorptionselement	Konzentrationsverhältnis	Temperatur (°C)
Unglasierte Flachkollektoren	Flach	1	30÷60
Unglasierte Kollektoren	Flach	1	15÷30
Glasierte Flachkollektoren	Flach	1	30÷80
Vakuurröhrenkollektoren	Flach	1	50÷200
Parabolkollektoren	Röhrenförmig	1-5	60÷240

Quelle: CETA Verarbeitung von Kalagirou Daten (13)

Fassadenintegrierte Kollektoren. Insgesamt erhalten sie weniger Sonnenstrahlung, aber diese ist auf das gesamte Kalenderjahr verteilt (14).

Davidson et al. (15) haben die **halbtransparente Systeme mit integrierten Photovoltaik-Anlagen (STBIPV/T)** entwickelt.

2.2.3.2 Thermische Solaranlagen

Sie sind dazu gedacht, die Hitze auf eine Flüssigkeit zu übertragen, die gespeichert oder direkt oder indirekt verwendet werden kann. Die Flüssigkeit kann mit einem passiven oder mit einem Zwangssystem befördert werden.

Systeme mit Integriertem Kollektor-Speicher (ICS) (passiv) – ICS-Systeme verwenden heißes Wasser als Flüssigkeit (13).

Systeme mit direkter Zirkulation (aktiv) Als Trägerflüssigkeit wird Trinkwasser verwendet, das in den Kollektor erwärmt wird und in dem Tank für die spätere Verwendung gespeichert wird. Die Kollektoren können oberhalb oder unterhalb des Speichertanks installiert werden.

Indirekte Systeme (Aktiv) Die Flüssigkeit zirkuliert in geschlossenen Kollektoren bis zu einem Wärmetauscher, wo die Wärme auf das Trinkwasser übertragen wird. Als Flüssigkeit werden im allgemeinen wässrige Lösungen von Ethylenglycol oder Siliconöle und Kühlöle verwendet.

Der Solarkreislauf besteht aus den Röhren, der Flüssigkeit, der Pumpe und dem Wärmetauscher sowie aus den Vorrichtungen für die Steuerung, die Verwaltung und die Sicherheit der Anlage (14).

2.2.3.3 Systeme für die Wärmeakkumulation

Die Speicherung von heißem Wasser ist von wesentlicher Bedeutung, wenn die Verwendung in Bezug auf den Moment der Produktion verzögert ist. Eine Beschreibung dieser technologischen Komponenten finden Sie in dem spezifischen Unterabschnitt.

2.2.4 Solar Cooling Systeme

Die Verwendung von überschüssiger Wärme zur Kühlung im Sommer ist eine wichtige Gelegenheit.

Die beiden wichtigsten Technologien, in diesem Sinne, sind (16): geschlossene Prozesse und offene Prozesse.

- **Geschlossene Prozesse.** In dieser technischen Lösung kommt das Kühlmittel nicht in Kontakt mit der äußeren Umgebung (14).
- **Offene Zyklen.** Die Luft wird durch den direkten Kontakt mit dem Kühlmittel gekühlt.

2.2.5 Fernwärme

Es handelt sich um Systeme die in der Lage sind, die in einem Wärmekraftwerk erzeugte Wärme in den Haushalten entlang eines Vertriebsnetzes zu verwenden. Als Brennstoff können Biomasse, Erdwärme oder die aus industriellen Verfahren zurückgewonnen Wärme verwendet werden (17). Diese Systeme ermöglichen es, das Potential des Kraftstoffs mit einer hohen Effizienz zu nutzen, sie erfordern jedoch Wartung und Überwachung (12).

2.3 Transversale Technologien

Dieser Begriff bezieht sich auf die Kombination der verschiedenen, in diesem Bericht beschriebenen, Technologien um die Energieeffizienz zu maximieren. Die technischen Schlüssellösungen sind: die Materialien, die Speicherung der thermischen Energie und die ICT.

2.3.1 Materialien

Die Europäische Kommission hat in den Materialien den wichtigsten Spielraum für die Verbesserungen der Energieeffizienz identifiziert, da jedes Jahr 2 Milliarden Tonnen davon verwendet wurden (18).

2.3.2 Speicherung der thermischen Energie

Wärme kann als Energie innerhalb der Materialien gespeichert werden, darunter fühlbare Wärme, latente Wärme, thermochemische Wärme und eine Kombination von all diesen (19).

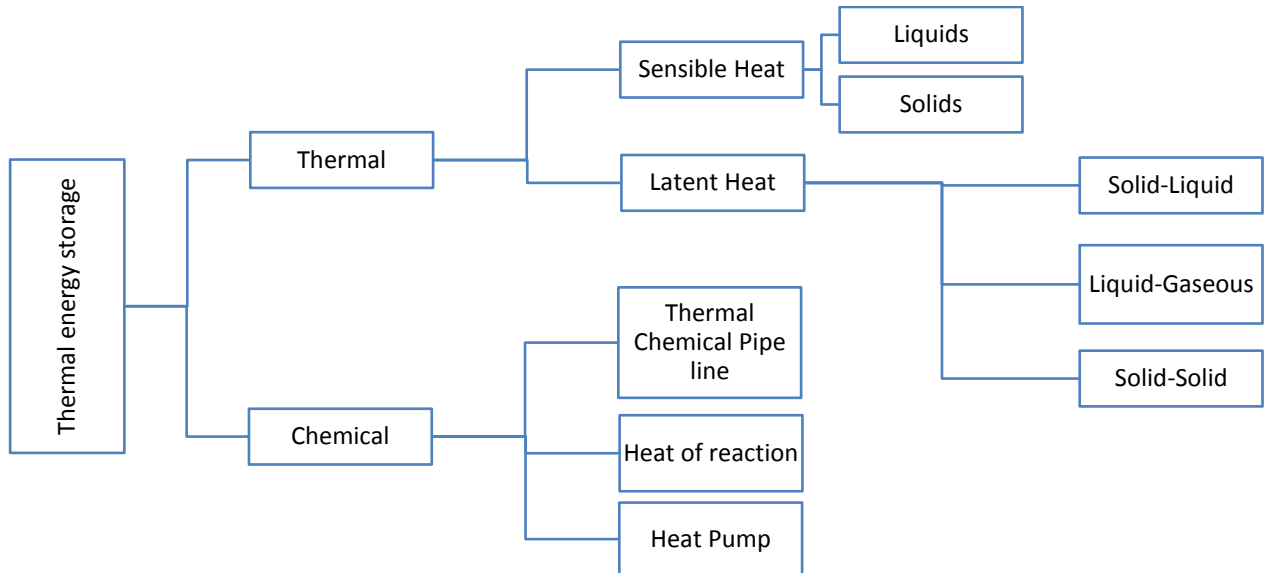


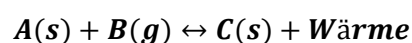
Abbildung 1. Verschiedene Arten von Wärmespeicherung

Speicherung von fühlbarer Wärme. In diesen Systemen wird die thermische Energie in Feststoffen oder in Flüssigkeiten gespeichert, und die speicherbare Wärmemenge hängt von der Art des Materials ab (19). Im Bereich von 0-100 ° C ist Wasser die optimale Flüssigkeit, auch in Anbetracht der geringen Kosten. Das heiße Wasser wird in isolierten Tanks gelagert. In den Tanks wird das Wasser nach Temperaturen geschichtet.

Die saisonale Wärmespeicherung spielt eine wichtige Rolle beim Ausgleich des Wärmebedarfs und der Verfügbarkeit von erneuerbaren Energiequellen (12).

Speicherung von latenter Wärme (PCM). Diese Systeme basieren auf der Absorption oder der Freigabe von Wärme die mit der Phasenänderung eines Materials verbunden sind (20). Die Phasenänderung kann Fest-Fest, Fest-Flüssig, Flüssig-Gasförmig sein. (21). Die Materialien, die normalerweise für die Speicherung von latenter Wärme verwendet werden, können 5-14 mal mehr thermische Energie pro Volumeneinheit speichern, als die Materialien für die Speicherung der fühlbaren Wärme (20).

Thermochemische Akkumulation. Die Akkumulation von latenter und fühlbarer Wärme leidet unter der Langzeitspeicherung (22). Im Gegensatz erreicht die Akkumulation in reversiblen chemischen Reaktionen eine Dichte die 3-12 mal höher ist (23). Ein typische reversible Reaktion der Akkumulation ist folgende:



3 Forschungstätigkeiten, technologische Entwicklung und Herausforderungen

Der Einfluss der Baubranche auf den Energieverbrauch und der weite Spielraum zur Verbesserung der Energieeffizienz von bestehenden Gebäuden fördern die Forschung und die technologische Entwicklung in diesen Bereichen (4).

Die mehrjährige Roadmap und die langfristige Strategie (5), identifizieren folgende Herausforderungen:

- Definition von effizienten Lösungen für die bestehenden Gebäude, durch die Integration verschiedener Technologien;
- Transformation von Industriegebäuden;
- Markttransformation;
- Wachsendes Interesse der Verbraucher.

Tabelle 8. Herausforderungen für Forschung und technologische Entwicklung im Bereich der Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden

Anwendungsbereiche		Transversale Technologien
Renovierungen	<ul style="list-style-type: none"> - Anlagen - Gebäudehüllen - Lösungen für denkmalgeschützte Gebäude - Systematische Vorgehensweise 	<ul style="list-style-type: none"> - Technologische Aspekte - Anlagen zur Herstellung von Energie - Speichersysteme - Qualität der Innenräume - Gestaltung neuer Lösungen - Gebäudehüllen und -Komponente - Industrialisierung und Individualisierung - Automatisierung und Kontrolle - Lyfe cycle analysis (LCA) - Energy Management Systems - Marken und Standardisierung - Wahl der Materialien - Energie-Audits
Neubauten	<ul style="list-style-type: none"> - Anlagen - Systematische Vorgehensweise 	
Bezirke und Gemeinden	<ul style="list-style-type: none"> - Interaktion zwischen den Gebäuden, dem Stromnetz, der Netze zur Wärmeverteilung - Anlagen zur Herstellung von Energie - Design - Anlagen zur Nutzung von Energie - Speichersysteme - Renovierungen 	

Quelle: CETA Verarbeitung von PPP Daten (5)

3.1 Renovierung bestehender Gebäude

Die Hauptinterventionsbereiche sind:

- Gebäudehüllen;
- Anpassung der Lösungen an die historischen Gebäude;
- Systeme und Anlagen für die Produktion von Energie;
- Systematische Vorgehensweise.

In den folgenden Tabellen sind die Details bezüglich einiger Interventionsbereiche angegeben.

Tabelle 9. Erforderliche Investitionen in der Forschung und in der technologischen Entwicklung für Gebäudehüllen, in Übereinstimmung mit dem Risø Bericht (24)

Erforderliche Investitionen	Eigenschaften
Isoliersysteme	<ul style="list-style-type: none"> - Langlebige Produkte - Dünne Materialien - Hochleistungsmaterialien - Materialien mit geringer Wärmeleitfähigkeit - spezifische Produkte - Respekt für die Ästhetik - Einfache Installation
Innovative Fenster (Verwendung von Materialien mit geringer Wärmeleitfähigkeit, Fenster mit integrierten Solarzellen)	<ul style="list-style-type: none"> - Durchsichtige Materialien mit geringer Wärmeleitfähigkeit - Materialien für Rahmen mit niedriger Wärmeleitfähigkeit - Innovative Beschichtungen zur Verbesserung der Sonneneinstrahlung
Wärmespeichermaterialien	<ul style="list-style-type: none"> - Kostensenkung - Spezifische Produkte - Zuverlässigkeit und Sicherheit
Recyclingmaterialien	
Materialien mit niedrigem Kohlenstoff-Fußabdruck	

Quelle: CETA Verarbeitung der Daten des Risø-Berichts (24)

Tabelle 10. Erforderliche Investitionen in der Forschung und in der technologischen Entwicklung für Gebäudehüllen von bestehenden Gebäuden, in Übereinstimmung mit dem Risø Bericht (24)

Investitionen	Eigenschaften
Wärmepumpen	<ul style="list-style-type: none"> - Effizienzsteigerung - geringere Größen - Einfache Installation
Systeme und Materialien für die Wärmespeicherung	<ul style="list-style-type: none"> - Effizienzsteigerung - geringere Größen - Einfache Installation
Beleuchtung	<ul style="list-style-type: none"> - Kostensenkung - geeignete Produkte
Innovation in den Quellen für Heizung und Kühlung	<ul style="list-style-type: none"> - Mikro-KWK auf Basis von Brennstoffzellen - Stirling-Kreisprozess, Braiton-Kreisprozess
Intelligente Systeme	<ul style="list-style-type: none"> - automatisierte Diagnose - Innovative Sensoren - Integrierte Kontrollnetzwerke

Quelle: CETA Verarbeitung der Daten des Risø-Berichts (24)

3.2 Neubauten

Die Anwendung von innovativen Technologien beim Bau von neuen Gebäuden ist eine der vielversprechendsten Herausforderungen.

Design. In dieser Phase werden mehr als 80% der Ziele bezüglich der Energieeffizienz von Gebäuden bestimmt (25).

Herausforderungen in der Designphase	
Integriertes Design	<ul style="list-style-type: none"> - BIM-Gebäudedatenmodellierung - Leistungssimulation - Modellierung und Simulation - LCA-Bewertung - Innovation im Bereich der Information
Ökodesign	<ul style="list-style-type: none"> - Ansatz von der Wiege bis zum Grab - Rückgewinnung von Materialien - Dauerhaftigkeit und Möglichkeit der Rückgewinnung von Materialien - Multikriterielle Optimierung - Zuverlässige Materialien und Softwares

Quelle: CETA Verarbeitung der Daten des EeB PPP (25)

Tragwerk. Die Zementproduktion ist für 5% der weltweiten CO₂-Emissionen verantwortlich (26) und somit ist die Wahl der Baustoffe von wesentlicher Bedeutung, um die Umweltauswirkungen der Branche zu verbessern.

Herausforderungen im Tragwerk	
Zement und Beton mit niedrigem Kohlenstoff Fußabdruck (CO ₂ -Emissionen)	<ul style="list-style-type: none"> - Entwicklung von Composite-Zementen mit geringen Mengen an Verunreinigungen - Einarbeitung in den Zement von beträchtlichen Mengen an anorganischen Industrieprodukten
Verwendung von Holz, dort wo diese Ressource weit verbreitet ist	<ul style="list-style-type: none"> - Bau von individuellen Gebäuden - Bau von mehrgeschossigen Gebäuden
Innovative Materialien mit niedrigem Kohlenstoff Fußabdruck (CO ₂ -Emissionen)	<ul style="list-style-type: none"> - Verwendung von rückgewonnenen Materialien - Verwendung von innovativen Materialien
Lokale Beschaffung von Materialien	<ul style="list-style-type: none"> - Bevorzugung von Materialien die in der Nähe des Standorts hergestellt werden

Quelle: CETA Verarbeitung von den Daten des EeB PPP (25)

Gebäudehüllen. Der Einsatz von innovativen Materialien erlaubt es, die Energieeffizienz und Umweltverträglichkeit zu verbessern und gleichzeitig die Kosten zu senken.

Herausforderungen in den Gebäudehüllen	
Innovative Materialien und Verwendung von vorgefertigten Materialien	<ul style="list-style-type: none"> - Bessere Isolierung - Reflektierende Materialien - Materialien für schaltbare Verglasungen (intelligente Fenster)
Gebäudehüllen, die Energie produzieren	<ul style="list-style-type: none"> - Fassadenintegrierte thermische Solaranlagen - Integrierte Photovoltaikanlagen
Materialien mit geringem Energieinput	<ul style="list-style-type: none"> - Ökoeffiziente Materialien - Recyclingmaterialien
Intelligente Gebäudehüllen	<ul style="list-style-type: none"> - Gebäudehüllen die sich an die klimatischen Bedingungen anpassen - Verbesserung des Verhaltens in der Energienutzung - Multikriterielle Optimierung
Optimierung der Einschränkungen im Design	<ul style="list-style-type: none"> - Leistungseinschränkungen - Umwelteinschränkungen - Methoden zur Bewertung der Gesamtenergieeffizienz - Individualisierung und Standardisierung

Quelle: CETA Verarbeitung der Daten von EeB PPP (25)

Energieanlagen.

Herausforderungen in den Energiesystemen und -anlagen	
Optimierung der Nutzung erneuerbarer Energiequellen	<ul style="list-style-type: none"> - Kostensenkung - Leistungsverbesserung
Heizungsanlagen	<ul style="list-style-type: none"> - Steigerung der Leistung von Wärmepumpen, einschließlich der geothermischen - Verbesserung der Belüftung und der Wärmerückgewinnung - Nutzung von Biomasse-KWK-Anlagen
Speichersysteme	<ul style="list-style-type: none"> - Wärmespeicher - Stromspeicher
Beleuchtungslösungen	<ul style="list-style-type: none"> - Neue Technologien (LED, OLED) - Intelligentes Management des natürlichen Tageslichts
Building Management Systems (BEM)	<ul style="list-style-type: none"> - Management von Energieströmen - Integration der Leistung der Gebäudehüllen und der Anlagen durch BEMS - Verbreitung der smart meters

Quelle: CETA Verarbeitung der Daten von EeB PPP (25)

Baublauf.

Herausforderungen im Bauablauf	
Fertigbau	<ul style="list-style-type: none"> - Gebäudehülle - Strukturelemente - Verbesserung der Prozesse
Verbesserung der Prozesse	<ul style="list-style-type: none"> - Effizienzsteigerung - Innovative und automatisierte Prozesse - Verbesserung der Verfahren
Spezifische Instrumente	<ul style="list-style-type: none"> - BIM - Methoden der Selbstbewertung
Anwenderschulung	<ul style="list-style-type: none"> - Qualifizierte Anwender

Quelle: CETA Verarbeitung der Daten von EeB PPP (25)

Überwachung und Verwaltung während der Lebensdauer des Gebäudes.

Herausforderungen in der Verwaltung	
Leistungsüberwachung	<ul style="list-style-type: none"> - Sensoren mit geringen Kosten und geringem Wartungsaufwand für das Eindringen von Luft, die Wärmeleitung, und die Solarwärmegewinnung - Systeme zur Überwachung der Energieeffizienz - Dynamische Simulationsmodelle

Quelle: CETA Verarbeitung der Daten von EeB PPP (25)

Ende der Lebensdauer.

Herausforderungen beim Ende der Lebensdauer der Gebäude	
Dekonstruktion	<ul style="list-style-type: none"> - Einsatz von Recyclingmaterialien - Wirtschaftlich nachhaltige technologische Lösungen für die Verwertung der Materialien - Systeme des selektiven Abbruchs
Instrumente für die Wahl Abriss / Rückbau / Wiederherstellung	<ul style="list-style-type: none"> - Anwendung des LCA-Ansatzes

Quelle: CETA Verarbeitung der Daten von EeB PPP (25)

3.3 Vielversprechende Technologien

3.3.1 Materialien für die Wärmeisolierung

Die traditionellen Materialien haben eine Leistung von 0,03 W/mK - 0,1 W/mK in Bezug auf die Leitfähigkeit.

Hochleistungsmaterialien sollten folgenden Eigenschaften aufweisen:

- Wärmeleitfähigkeit: < 0,004 W/mK;
- Wärmeleitfähigkeit nach 100 Jahren: < 0,005 W/mK;
- Nicht wesentlich von Perforationen betroffen sein;
- Möglichkeit vor Ort geschnitten und angepasst zu werden;
- Beständigkeit gegen Witterungsbedingungen und Alterung;
- Beständigkeit gegenüber dem Wachstum von biologischen Agenzien;
- Wasserbeständigkeit;
- Wettbewerbsfähige Kosten im Vergleich zu herkömmlichen Materialien;
- Geringe Umweltauswirkungen.

3.3.1.1 Nanotechnologien

Einige Beispiele sind:

- Vacuum insulation materials (VIM).
- Gas insulation materials (GIM).
- Nano insulation materials (NIM).
- Dynamic insulation materials (DIM).

3.3.1.2 Isoliermaterialien biologischen Ursprungs

Einige Beispiele sind:

- Erneuerbare Materialien biologischen Ursprungs, wie Schafswolle, Holzfasern, Hanf;
- Durch Nanotechnologien erzeugte Fasern;
- Entwicklung von Polymeren und Kunststoffen biologischen Ursprungs;
- Einsatz von Naturfasern die mit Kunststoffen biologischen Ursprungs verklebt sind.

3.3.1.3 Materialien mit geringem CO₂-Fußabdruck

Die Materialien sollten nach dem LCA-Ansatz bewertet werden und können so entworfen werden, dass die zu ihrer Herstellung erforderliche Energie minimiert wird, mit Förderung der Verwendung von Recycling-Materialien, erneuerbare Materialien und Materialien biologischen Ursprungs.

3.3.1.4 Phasenwechselmaterialien (PCMs)

Die Verwendung von Phasenwechselmaterialien (PCMs) optimiert den Stromverbrauch. Die Forschungsschwerpunkte stehen im Zusammenhang mit:

- Der Suche nach neuen Baulösungen (z.B. Kombination von verschiedenen Materialien);
- Der Verbesserung der thermischen Trägheit mit der Verwendung von Zusatzstoffen.

3.3.2 Durchsichtige Materialien

Die Hauptrichtungen auf die sich Forschung und technologische Entwicklung orientiert haben, sind: 1. Entwicklung von Fenstern mit hohen Leistungen, 2. Verringerung des CO₂-Fußabdrucks der Materialien.

3.3.2.1 Innovative Hochleistungsmaterialien

Einige Beispiel sind:

- Elektrochrome Materialien.
- Kontrollierte photochrome Materialien
- Gaschrome Materialien.
- Thermochrome Materialien.
- Gläser mit anpassbaren Flüssigkristallen.
- Holographisch-optische Elemente (HOE)
- Prismatische Platten
- Lasergeschnittene Platten

3.3.2.2 Verringerung des CO₂ Fußabdrucks

Die Hauptstrategien, die eine Reduzierung der Energiekosten für die Herstellung von Materialien ermöglichen, sind:

- Einsatz von alternativen Kraftstoffen zu den fossilen Brennstoffen;
- Stärkere Verwendung von Recycling-Materialien;
- Einführung von neuen Technologien zur Produktion von Energie.

3.3.3 Mehrschalige Fassaden

Die Forschungsschwerpunkte sind:

- Verbrauchs-Optimierung;
- Entwicklung von integrierten intelligenten Vorrichtungen;
- Entwicklung von neuen Materialien, die sich an den biologischen und natürlichen Mechanismen inspirieren;
- Entwicklung von neuen Materialien mit niedrigem CO₂ Fußabdruck.

3.3.4 RHC-Technologien

Die Heiz- und Kühlsystemen (HVAC) werden gegenwärtig optimiert, zur Aufwertung der Wärmepumpen und zur besseren Nutzung der Sonneneinstrahlung.

3.3.4.1 Wärmepumpen

Stromversorgung. Die Bemühungen zielen ab, auf (23):

- Effizienzsteigerung;
- Verwendung natürlicher Kühlmittel;
- Verwendung einer geringen Menge an Kühlmitteln: 25-40 g/kW;
- Notwendigkeit eines geringen Energieinputs;
- Verbesserung der Flexibilität und der Modularität;
- Vermeidung des Abtauens;
- Verbesserung des Geräuschmanagements;
- Verbesserung der saisonalen Effizienz;
- Verbesserung der Integration mit verschiedenen Wärmequellen;
- Integration von intelligenten Kontrollsystemen;
- Verringerung der Dimensionen;
- Kostensenkung;
- Minimierung des Wartungsaufwands.

Wärmeversorgung. Die Bemühungen zielen ab, auf (23):

- Entwicklung neuer Materialien (Flüssigkeiten);

- Entwicklung von neuen Komponenten;
- Entwicklung von intelligenten Kontrollsystemen;
- Entwicklung von Wärmepumpen mit fortgeschrittenen Zyklus und Kontrollstrategien.

Adsorption. Die Bemühungen zielen ab, auf (23):

- Entwicklung von absorbierende Materialien für Fenster;
- Entwicklung von absorbierenden Komponenten für die Wärmepumpen.

3.3.4.2 Solarthermie

Das als RHC strategic research and agenda (27) bekannte Dokument identifiziert die folgenden Schwerpunktbereiche für Forschung und technologische Entwicklung:

- Verbesserung der Solarkollektoren;
- Steigerung der Leistungsfähigkeit der thermischen Solaranlagen.

3.4 Transversale Technologien

Zu diesem Thema verweisen wir auf die Beschreibung der einzelnen integrierten Technologien der transversalen Systeme.

3.4.1 Materialien

Nach den Angaben der European Technology Platform (28) und der “Materials Roadmap Enabling Low Carbon Energy Technologies” (29) wurden folgende Bereiche identifiziert:

- Innovative Hochleistungsprodukte.
- Innovative Prozesse mit niedrigen Kohlenstoff-Fußabdruck.
- Innovative Produkte mit niedrigen Kohlenstoff-Fußabdruck.
- Einsatz von Recyclingmaterialien.

3.4.2 Wärmespeicher

Laut dem RHC-Bericht (23) betreffen die Investitionen folgende Aspekte:

3.4.2.1 Sensible Wärmespeicher

- Tanks mit flexiblen Volumen (23).
- Reduzierung der Wärmeverluste (siehe Materialforschung).
- Neue TES-Systeme mit hoher Leitfähigkeit.
- Optimierung der hydraulischen Aspekten in Systemen mit Wasserspeicher.
- Neue Analysemethoden für TES-Materialien.
- Water pit energy storage.

3.4.2.2 Latentwärmespeicher

- Optimierung der Speicher mit Phasenwechsel.
- Integration von PCMs auf Ebene der Zargen, Entwässerungssysteme und Wände.
- Flüssigkeiten, die die Wärmeübertragung und -speicherung kombinieren.
- Softwares und Algorithmen, die das Verhalten von PCMs regeln.

3.4.2.3 Thermochemische Speicher

- Entwicklung innovativer Materialien für die Speicherung.
- Prozessoptimierung.
- Entwicklung innovativer Materialien zum Containment der Speicher.

3.4.3 ICT

Basierend auf REEB¹ sind folgende Bereiche strategisch:

- Integriertes Design und Produktionsmanagement
- integrierte intelligente Steuerung
- Benutzerbewusstsein und Entscheidungsunterstützung
- Energy management & trading
- Integration von Technologien

¹ <http://www.ict-reeb.eu>

4 Schlussfolgerungen

Die folgende Tabelle fasst die vielversprechendsten Technologien und die derzeitigen Herausforderungen zusammen, um die CO₂-Emissionen zu reduzieren indem man auf die Energieeffizienz der Gebäude eingreift.

Tabelle 11. Die vielversprechendsten Technologien zur Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden

Gebäudehüllen (Neubauten und Restrukturierungen)	<ul style="list-style-type: none"> - Innovative Technologien für die Isolierung (Dach, Wände, Fenster) - Innovative Materialien und Elemente für transparente Flächen - Einsatz von Recyclingmaterialien - Einsatz von Materialien natürlichen Ursprungs - Wärmespeichermaterialien
Heizung und Kühlung mit erneuerbaren Energien (RHC Renewable heating and cooling) für Neubauten und Restrukturierungen	<ul style="list-style-type: none"> - Effiziente Wärmepumpen - Materialien und Technologien für die Wärmespeicherung - Innovative thermische Solaranlagen - Kühlung mit Stirling, Brayton-Kreisprozessen und mit der Verwendung von Technologien, die auf Akustik, Elektromagnetismus und thermoelektrischen Systemen basieren
Transversale Technologien	<ul style="list-style-type: none"> - Werkstoffinnovation - Wärmespeicherung - ICT

Quelle: CETA Datenverarbeitung

Im Folgenden werden die Eigenschaften der Technologien beschrieben, die mit den Gebäudehüllen und den RHC Technologien in Zusammenhang stehen.

4.1 Herausforderungen für die Technologien für die Energieeffizienz von Gebäuden

Tabelle 12. Prioritäten in der Forschung und technologischen Entwicklung für die Energieeffizienz von Gebäuden

Gebäudehüllen	
Innovative Technologien für opake Elemente	<ul style="list-style-type: none"> - Vakuum- Dämmstoffe (Vacuum insulation materials, VIM) - Gas-Dämmstoffe (Gas insulation materials, GIM) - Nano insulation materials (NIM) - Dämmstoffe mit Aerogelen
Verringerung des Energieinputs von opaken Elementen	<ul style="list-style-type: none"> - Materialien biologischen Ursprungs - Verbesserung der Produktionsprozesse - Erhöhung der Verwendung von Recycling-Materialien
Transparente Materialien und innovative Elemente	<ul style="list-style-type: none"> - Hochleistungsmaterialien - Intelligente Oberflächen
Verringerung des Energieinputs von transparenten Elementen	<ul style="list-style-type: none"> - Einsatz von erneuerbaren Alternativen zu fossilen Brennstoffen - Erhöhen der Verwendung von Recycling-Materialien - Verbesserung der Technologien zur Energieproduktion
Merschalige Fassaden	<ul style="list-style-type: none"> - Integrierte Lösungen - Intelligente Fassaden und Materialien - Materialien und Vorrichtungen die sich an biologischen Systemen inspirieren - Materialien mit niedrigem Kohlenstoff-Fußabdruck

Quelle: CETA Datenverarbeitung

Tabelle 13. Prioritäten in der Forschung und technologischen Entwicklung für die RHC Technologien

RHC Technologien	
Wärmepumpen mit Stromversorgung	<ul style="list-style-type: none"> - Steigerung der Effizienz von Wärmetauschern - Steigerung der Effizienz der Kompressoren - Steigerung der Effizienz und Zuverlässigkeit der Komponenten - Integration von Wärmepumpen mit anderen RHC Technologien - Integration von smart meters und smart controls - Entwicklung von Kühlmitteln mit geringer Umweltauswirkung - Entwicklung innovativer Systeme mit Kühlzyklen
Wärmepumpen angetrieben durch thermische Energie	<ul style="list-style-type: none"> - Entwicklung neuer Arbeitsflüssigkeiten - Entwicklung von Kompakt-Wärmetauschern - Entwicklung von Wärmepumpen mit innovativen Zyklen - Anwendungen mit unterschiedlichen Quellen von Wärmeenergie - Entwicklung neuer Absorptionssysteme für Wärmepumpen - Entwicklung neuer Feststoffe für die Absorption - Entwicklung neuer Komponenten
Thermische Solarkollektoren	<ul style="list-style-type: none"> - Entwicklung von transparenten Abdeckmaterialien mit hoher optischer Übertragung - Beschichtungen die in der Lage sind die Stagnationstemperaturen zu

	<p>reduzieren</p> <ul style="list-style-type: none">- Innovative Dämpfungsmaterialien mit niedrigem Kohlenstoff-Fußabdruck- Isoliermaterialien mit hoher Temperaturbeständigkeit- Hochleistungsmaterialien für Reflektoren- Verbesserung im Design der Kollektoren
Thermische Solarsysteme	<ul style="list-style-type: none">- Entwicklung von kompakten Systemen- Entwicklung von Hybridsystemen mit Wärmepumpen und Pelletskesseln- Erhöhung der thermischen Leistung- Verbesserung der hydraulischen Aspekte um den Wärmeverlust zu reduzieren- Neue Kontrollsysteme zur Verbesserung der Verwaltung der Wärmeflüsse- Entwicklung innovativer Tanks für die Speicherung

Quelle: CETA Datenverarbeitung

Bibliographie

1. **IEA.** *Energy Technology Perspectives 2012. Pathways to a Clean Energy System.* 2012.
2. **BPIE. Buildings Performance Institute Europe.** *Europe's building under the microscope. A country-by-country review of the energy performance of buildings.* 2011. ISBN: 9789491143014.
3. **BPIE.** *Principles for Nearly Zero-Energy Buildings. Paving the way for effective implementation of policy requirements.* s.l. : BPIE, 2011. ISBN: 9789491143021.
4. **JRC.** *2011 Technology Map of the European Strategic Energy Technology Plan (Set-Plan).* s.l. : European Commission, 2011.
5. **Energy-Efficient buildings PPP.** *Multi-annual roadmap and longer term strategy.* 2010. 978-92-79-15228-3.
6. **Rush, Richard D.** *The Building systems integration handbook.* s.l. : Wiley, 1986.
7. **Nuzzo, Elisa and Tomasinsig, Elisa.** *Edifici ecoefficienti.* Trieste : AREA Science Park, 2009.
8. **Jelle, Biorn Petter, Gustavsen, Arild and Baetens, rUBEN.** *the High performance Thermal Building Insulation Materials and Solutions of Tomorrow.* s.l. : ASHRAE, 2010.
9. **Wiggins, M. and Harris, J.** *Intelligent skins.* Oxford : Architectural Press, 2002.
10. **Saelens, Dirk, Roels, Staf and Hens, Hugo.** Strategies to improve the energy performance of multiple-skin facades. *Building and Environment.* 2008, 43.
11. **JRC.** *Best available technologies for the heat and cooling market in the European Union.* 2012. ISBN 978-92-79-25608-0.
12. **Yangang Xing, Neil Hewitt, Philip Griffiths.** Zero carbon buildings refurbishment-A Hierarchical pathway. 2011, 15.
13. **Kalogirou, Soteris A.** Solar thermal collectors and applications. *Progress in Energy and Combustion Science.* 2004, Vol. 30, 3.
14. **The German Solar Energy Society.** *Planning and Installing Solar Thermal Systems.* Berlin : James & James, 2005. ISBN: 1-84407-125-1.
15. **Davidsson, Henrik, Perers, Bengt and Karlsson, Bjorn.** Performance of a multifunctional PV/T hybrid solar window. *Solar Energy.* 2010, 82.
16. **IEA.** *Technology Roadmap. Energy-efficient Buildings: Heating and Cooling Equipment.* 2011.
17. —. *Enjergy Technology Initiatives.* 2010.
18. **European Commission staff working document.** *Materials Roadmap enabling Low Carbon Energy Technologies.* Brussels : s.n., 2011.
19. **Sharma, Atul, et al., et al.** Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renewable & Sustainable Energy reviews.* 2009, 13.
20. **Sharma, Atul, Tyagi, V. V. and Buddhi, D.** Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renewable & Sustainable Energy Reviews.* 2009, 13.
21. **Pillai, K. K. and Brinkworth, B. J.** The storage of low grade thermal energy using phase change materials. *Applied Energy.* 1976, Vol. 2, 3.
22. **Zondag, H. A., et al., et al.** *First studies in reactor concepts of thermochemical storage.* Petten : ECN Energy Research Centre of the Neterlands.

23. **RHC Renewable Heating & Cooling.** *Strategic research Priorities for Cross-cutting Technology.* Brussels : Secretariat of the RHC-Platform, 2012.
24. **Birte Holst Jorgensen.** *Key Energy Technologies for Europe.* s.l. : Riso National Laboratory, 2005.
25. **Energy efficient Buildings PPPbeyond 2013.** *Research & Innovation Roadmap.* 2012.
26. **WBSCD and IEA.** *Cement Technology Roadmap 2009: carbon emissions reductions up to 2050.* 2009.
27. **European Technology Platform on RHC.** *Strategic Research and Innovation Agenda for Renewable Heating and Cooling.* Brussels : Secretariat of the RHC-Platform, 2013.
28. **European Technology Platform.** *Strategic research priorities for Cross-cutting Technology.* Brussels : s.n., 2012.
29. **European Commission staff working document SEC(2011).** *Materials Roadmap Enabling Low Carbon Energy Technologies.* s.l. : EU, 2011.
30. **European Commission.** *European Commission. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on energy performance of buildings.* 2010.
31. **FIEC-European Construction Industry Federation.** <http://www.fiec.org>. [Online]
32. **European Commission.** *Energy Efficiency Plan 2011 COM(2011) 109 final.* 2011.
33. **European Council.** *European Council Conclusions 4/2/2011 EUCO 2/1/11 REV1.* Bruxelles : s.n., 2011.
34. **European Commission,.** *Financial Support for Energy efficiency in Buildings.* Brussels : s.n., 2012.
35. **Europe, Enerdata. Supported by Intelligent Energy.** *Energy Efficiency Trends in Buildings in the EU.* 2012.
36. **Euroconstruct.** *European Construction: Market Trends until 2013.* 2010.
37. **IEA.** *Energy Efficiency Requirements in Building Codes, Energy Efficiency policies for new buildings.* 2008.
38. **Tenpierik, Martin and Hasselaar, Evert.** Reflective multi-foil insulations for buildings: A review. *Energy and Buildings.* 2013, Vol. 56.
39. **Pillai, K. K. and Brinkworth, B. J.** The storage of low grade thermal energy using phase change materials. *Applied Energy.* 1976, Vol. 2.
40. http://ec.europa.eu/research/energy/eu/research/efficiency/index_en.htm.
<http://ec.europa.eu/research/energy>. [Online] January 2012.
41. **WIPO.** www.wipo.int/portal/index.html.en. www.wipo.int. [Online] 2013.
<http://www.wipo.int/portal/index.html.en>.
42. **EPO.** www.epo.org/searching/subscription/gpi.html. www.epo.org. [Online]
<http://www.epo.org/searching/subscription/gpi.html>.
43. **Science Direct.** www.sciencedirect.com/. [Online] 2013. <http://www.sciencedirect.com/>.
44. **E2B.** *Energy-Efficient buildings PPP. Multi-annual roadmap and longer term strategy.* 2010. 978-92-79-15228-3.
45. **Pérez, Juan and Zarli, Alain.** *REEB-The European strategic research roadmap to ICT enabled Energy_Efficiency in Buildings and constructions.* 2010.
46. **Rowley, Natalie and Mortimer, Roger.** New electrochromic materials. *Science progress.* 2002, 85.
47. **Bribian, Ignacio, Capilla, Antonio and Uson, Alfonso.** Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. *Building and Environment.* 2011, 46.

48. **AEE-Institute for Sustainable Technologies.** *Thermal use of solar energy.* Gleisdorf : ADA, 2009.
49. *Solar heating systems with evacuated tubular solar collectors.* **Furbo, Lin and.** Portoroz : s.n., 1998.
50. **Lopez, Perla Berenice.** *Solar Thermal Collector in Facades.* Delft : Building Technology Department, 2011.
51. **Muller, H.F.O.** Application of holographic optical elements in buildings for various purposes like daylighting, solar shading and photovoltaic power generation. *Renewable Energy.* 1994, Vol. 5.
52. **U.S. Department of Energy .** *Buildings R&D Breakthroughs.* 2012. PNNL-21292.
53. **Chen, Allan.** A Dawning Day for Energy-Efficient Electrochromic Windows. *Science@Berkeley Lab.* [Online] 2007. <http://www.lbl.gov/Science-Articles/Archive/sabl/2007/Jan/electro-windows.html>.
54. **Cronin, J. P., et al., et al.** Electrochromic Glazing. *Materials Research.* 1999, Vol. 2, 1.
55. **CORDIS.** [Online] <http://cordis.europa.eu>.
56. *Zero Energy Buildings: A critical Look at the Definition.* **Torcellini, P., Pless, S. and Deru, M.** 2006. NREL/CP- 550-39833.
57. **SEC 2011.** *277 Impact assessment.* s.l. : European Commission, 2011.
58. **Baetens.** Aerogel insulation for building applications: A state-of-the-art review. 2011, Vol. Energy and Buildings 43.
59. **SciVerse.** <http://www.hub.sciverse.com>. [Online]
60. **World Intellectual Property Organisation.** patentscope.wipo.int. <http://patentscope.wipo.int>. [Online]
61. **Audenaert, A., De Cleyn, S. H. and Vankerckhove, B.** Economic analysis of passive houses and low-energy houses compared with standard houses. *Energy Policy.* 2008, 36.
62. **Zach, J., et al., et al.** Development of Thermal Insulating Materials on Natural Base for Thermal Insulation Systems. *Procedia Engineering.* 2013, 57.