

Konzeptpapier zum

Verbundvorhaben „Heizen und Kühlen mit Niedrigexergie (LowEx)“

des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi),
koordiniert durch den Projektträger Jülich (PTJ).

1 Problemstellung

Der Energieeinsatz zum *Heizen und Kühlen von Gebäuden* nimmt mit 40 % einen sehr bedeutenden Anteil des Gesamtenergieverbrauchs ein. Die getroffenen Maßnahmen zur *Reduzierung des Heizenergieverbrauchs* sind in erster Linie durch *verbesserte Gebäudedämmungen* und *effizientere Anlagentechniken* bewirkt worden. Die verbesserte Dämmung der Gebäudeumfassungen führt aber zumindest in der Übergangszeit zu *höherem Kühlbedarf von klimatisierten Bauten*, da bei inneren Kühllasten der Wärmestrom nach außen durch die starren Dämmsysteme stark verringert wird. Zudem ist der Komfortanspruch der Raumnutzer gestiegen, sodass die für die Heizung prognostizierte Energieeinsparung nicht identisch mit der Energieeinsparung für den Gebäudebestand sein kann. Generell sollten die nachfolgenden Prämissen im Vordergrund stehen:

- I. Die notwendige *Schonung der Energieressourcen*, die zwischenzeitlich auch schon in beachtlichem Umfang im Bewusstsein der Menschen verankert ist, bezieht sich grundsätzlich auf den sparsamen Einsatz von Primärenergie, die in Form der *fossilen Energieträger* unwiederbringlich ist. ***Diese Einsatzbeschränkung ist als harte Limitierung zu verstehen!***
- II. Der Einsatz von nachhaltigen Energien unterliegt diesem Sparsamkeitsprinzip nicht a priori, gleichwohl ist die Erfassung und das nutzungsgerechte Aufbereiten dieser Energie nicht aufwandslos erreichbar, wodurch wiederum Beschränkungen auftreten werden. ***Es handelt sich hierbei um eine weiche Limitierung!*** Die Begrenzung des Energieeinsatzes ist von der zeitlichen und örtlichen Verfügbarkeit der nachhaltigen Energie und der Intelligenz ihrer Nutzung abhängig. Im Grenzfall darf nachhaltige Energie, die keiner weiteren Primärenergie zur Nutzung bedarf und die Umwelt nicht belastet, verschwendet werden. Dies gilt nur dann, wenn I. erfüllt ist

- III. Energieeinsparungen ziehen grundsätzlich keine Komforteinbußen nach sich. Dies wird oftmals fälschlicherweise angenommen, da dies aus einer trivialen Kausalkette folgt: Beispielsweise bewirken niedrigere Raumtemperaturen weniger Brennstoffeinsatz. Demgegenüber erfordern niedrige Heizmedientemperaturen große Heizflächen mit hoher Strahlungswirkung und Erhöhen die Behaglichkeit. **Intelligente Energieeinsparungen wirken größtenteils behaglichkeitsverbessernd.** Es sollte stets die Komforterrhöhung angestrebt werden, denn Behaglichkeitsminderungen sind nur bei einer kleinen Klientel und dort auch nicht dauerhaft etablierbar.
- IV. Umfassende Betrachtungen, die den Primärenergieaufwand im Lebenszyklus der Gebäude und Anlagen einschließen, sind bekannt aber nicht unstrittig, da sie den derzeitigen Erkenntnisstand notwendigerweise extrapolieren. Die Unkenntnis über später vorhandene Technologien – beispielsweise bei der Anlagenwartung oder gar beim Gebäuderecycling – führt sehr oft zu fehlerhaften, zumindest jedoch zu nicht verifizierbaren Aussagen. **Durchsetzbare Zielvorgaben müssen überschaubar und leicht verständlich sein!** Wohlwissend, dass die Summe von Teiloptima nicht notwendigerweise zum Gesamtoptimum führt, wird vorgeschlagen als Maßstab für den *betrieblichen Aufwand die Exergie des eingesetzten Energiestromes* zu verwenden. Trivial gesagt, stellt die Exergie die technische Arbeitsfähigkeit der Energie dar, die beispielsweise zur Umwandlung in mechanische Energie oder weiter in elektrische Energie nutzbar wäre. **Für das Heizen und Kühlen von Gebäuden sollten generell Energieströme geringer Exergie eingesetzt werden!** Dies sind alle Ressourcen mit Temperaturen nahe der Umgebungstemperatur. Die *Exergie der Wärme* stellt den Anteil der Wärme mit der Temperatur T_Q dar, der in einer Wärmekraftmaschine in Nutzarbeit überführt werden kann, wenn die Abwärme bei Umgebungstemperatur T_a abgegeben wird und die Maschine reversibel nach dem CARNOT-Prozess arbeitet. Die Exergie des Wärmestroms \dot{Q}_Q

$$\dot{E}_Q = \left(1 - \frac{T_a}{T_Q}\right) \cdot \dot{Q}_Q$$

ist somit für die exergetische Bewertung der Wärmequelle bzw. -senke geeignet. Wärmequellen über der Umgebungstemperatur T_a und Wärmesenken unter T_a haben ein exergetisches Potenzial. Wärme bei Umgebungstemperatur besitzt keine Exergie.

Da in fast allen Fällen die Nutzbarmachung einer Wärmequelle bzw. Wärmesenke zusätzlicher Energie – vielfach in der Form von elektrischem Strom – bedarf - sei es zur Förderung der Wärmeträgermedien oder sei es zusätzlich zur Anhebung des Temperaturniveaus für die Wärmezufuhr oder -abfuhr - muss eine umfassende Analyse diese Energie mit in Betracht ziehen.

2 Aufgabenstellung

Eine grundsätzliche Klassifizierung von Systemen und Verfahren, die im Rahmen des Konzeptes untersucht werden sollen, kann anhand von Bild 1 erfolgen.

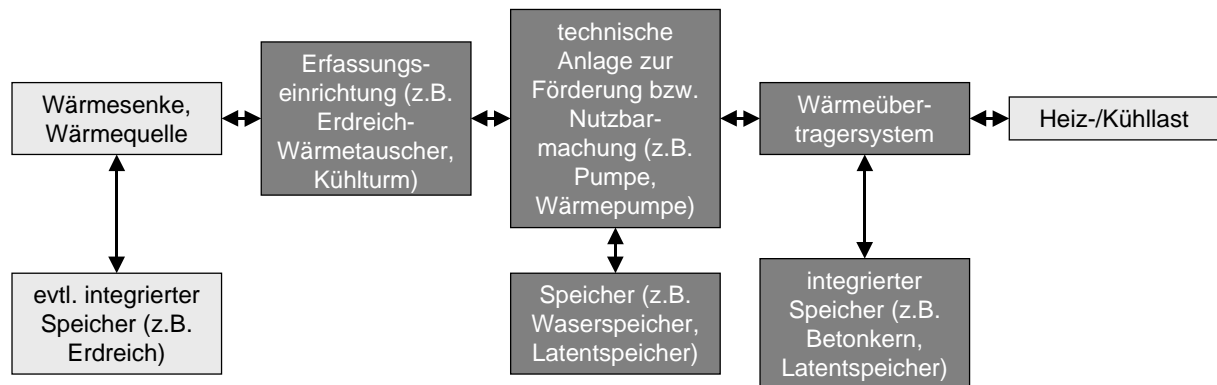


Bild 1: Komponenten zur Nutzbarmachung von Energiequellen und –senken niedrigen Exergiepotentials; dabei sind technische Einrichtungen dunkel (weisser Text) markiert

Demnach geht es im Geltungsbereich des Förderkonzeptes um alle Systeme, die in ihrem Zusammenwirken die Nutzung von Energiequellen und –senken mit niedrigem Exergiepotential ermöglichen. Die Reduktion der Heiz- und Kühllasten durch bautechnische Maßnahmen in der Gebäudehülle ist dabei ebensowenig Gegenstand wie die Verwendung sonstiger energietechnischer Anlagen wie z.B. Heizkessel oder Blockheizkraftwerke. Die Heiz-/Kühllast wird vielmehr als ‚gegeben‘ angenommen, wobei sich aus der Zielstellung, mit niedrigen Temperaturdifferenzen zu arbeiten, automatisch eine Anforderung an energetisch optimierte Fassaden bzw. Gebäude ergibt; hier sind auch die Schnittstellen für andere Förderkonzepte zu sehen, bei denen die energetische Optimierung von Fassaden und die Optimierung hinsichtlich passiver Gewinne im Zentrum steht. Generell sind sowohl Systeme mit flüssigem Wärmeträger (Wasser, Sole), gasförmigem Wärmeträger (Luft), als auch hybride System denkbar (Wasser/Sole-Luft).

Um Wärmequellen oder Wärmesenken niedrigen Exergiepotentials zur Raumheizung bzw. Raumkühlung nutzen zu können, sind fünf (oder sechs, s.u. Kommentar unter Punkt D) Hauptaufgaben zu lösen:

A. Entwicklung von Systemen zur Erfassung der Energieströme von Energiequellen oder -senken niedrigen Exergiepotentials

Die Besonderheit gegenüber herkömmlichen Systemen besteht darin, dass *die Grädigkeit besonders klein gehalten werden muss*. Es sind *kleine Spreizungen* des Wärmeträgers und

große Flächen zu realisieren. Die Konstruktionen müssen für die Energieaufnahme aus dem Erdreich, dem Wasser und der atmosphärischen Luft geeignet sein. Zugleich müssen Hilfsenergien, wie z.B. die elektrische Energie eines Ventilators in einem Kühlturm niedrig sein, um dem Grundgedanken der Gesamt-Energie-Effizienz nicht zuwider zu laufen.

B. Entwicklung von Einrichtungen zum Transport bzw. der Transformation der Wärme zwischen Erfassungseinrichtung und raumseitigen Wärmeübertragungssystemen

Um eine hohe Effizienz des Gesamtsystems zu erzielen (z.B. hohe Arbeitszahl), müssen alle Einrichtungen, die den *Transport der Wärme zwischen Quelle/Senke und raumseitigen Wärmeübertragungssystemen* bewirken, eine hohe Effizienz aufweisen. Neben Komponenten zur reinen Förderung eines Wärmeträgermediums (flüssig, gasförmig) können im Zusammenhang mit der Erschließung von Wärmesenken und –quellen niedrigen Exergiepotenzials auch *Wärmepumpen* (im Prinzip sowohl elektrisch als auch thermisch angetrieben) von Bedeutung sein, entweder für die Deckung von Heizlasten oder die Abfuhr von Kühllasten. Hier gilt wiederum, dass eine hohe Exergieeffizienz essentiell ist. Auch die Nutzung des am Gebäude anliegenden Windes oder des thermischen Auftriebs zur Luftförderung ist als Lösungsansatz denkbar.

C. Entwicklung von innovativen Wärmeübertragungssystemen im Gebäude zur Nutzung der Energie mit niedrigem Exergiepotenzial

Grundsätzlich sind *große thermisch aktive Flächen* im Gebäude zu realisieren, um mit *geringsten Temperaturdifferenzen* zwischen der Raumtemperatur und der Wärmeträger-temperatur arbeiten zu können. Sie werden als *Oberflächensysteme* – beispielsweise als Raumumfassungen – gestaltet, wobei die Wärmeübertragung an den Raum durch *Strahlung und Konvektion* näherungsweise zu gleichen Teilen erfolgt. Je nach *Dicke der Aktivierungsschicht* ist das Trägheitsverhalten unterschiedlich. Bei realisierten Varianten ist der Bereich von "tapezierten" Aktivsystemen bis zur "Betonkernaktivierung" gespannt. Demgegenüber sind auch *Wärmeübertragerflächen in Schächten* (Schrankform oder Säulenform), die *rein konvektiv* die Wärme an die zirkulierende Raumluft übergeben, vorhanden. Die Unterschiede zwischen beiden Systemen liegen nicht im energetischen sondern im wärmephysiologischen Bereich, wobei rein konvektive Varianten ungünstiger sind.

D. Entwicklung von thermisch aktiven Fassaden für Gebäude zur flexiblen Lastkompensation mit Energie niedrigen Exergiepotenzials

Neuartig sind *thermisch aktive Fassaden*, deren Aufgabe es vornehmlich ist, die *äußeren Lasten* zu *minimieren*. Während die bisher angewandten Systeme die "von außen einge-drungenen Lasten (Kälte- oder Wärmeströme)" im Raum kompensieren, sollen die thermisch aktiven Fassaden die *äußere Störgröße bereits in der Fassadenkonstruktion "abfangen"* und die

Raumlast mindern. Der energetische Vorteil besteht darin, dass *Energie niedrigen Exergiepotenzials* einsetzbar ist.

E. Entwicklung von Systemen zur Speicherung der Energie mit niedrigem Exergiepotenzial

Die *vorhandenen nachhaltigen Energien* sind in sehr vielen Fällen nur *zeitbegrenzt verfügbar* (z. B. kühle Nachtluft, Solareintrag am Tage), sodass ihre Nutzbarkeit durch *Zwischenspeicherung* mitunter enorm vergrößerbar ist. Generell kann die Speicherung im *raumbegrenzenden Bauteil* erfolgen (z. B. Betonkernaktivierung, Putze mit Materialien, die im Nutztemperaturbereich einen Phasenwandel erfahren (PCM)). Je nach Beladungsart unterscheidet man zwischen *aktiver* oder *passiver* Speicherung. Die *aktive Variante* bringt mittels eines *Zusatzsystems* (z. B. über ein Rohrregister) zeitgesteuert die verfügbare Energie in den Baukörper oder entzieht sie ihm, während das *Passivsystem* in der Regel ohne Zusatzsystem arbeitet und alle Wärmeströme zur Be- und Entladung über die Bauteiloberfläche erfolgen. Im letzteren Fall kann die Beladung nur indirekt gesteuert werden, beispielsweise durch nächtliche Raumlüftung. Außerdem sind auch *zentrale Wärmespeicher* von Interesse, wobei die Speicherung von *Energien niedrigen Exergiepotenzials* besonders optimierte Speicherformen erfordern. Weiterhin sind die *Raumsysteme* auf den Speicherbetrieb abzustimmen. Als *Zentralspeicher* sind die *Nutzung des Erdreichs*, der *Fundamentplatte* als auch *separate Speicher* beispielsweise im Keller oder im Erdreich angeordnet denkbar, wobei die Fundamentplatte mit PCMs angereichert und die separaten Speicherkörper ganz mit PCMs befüllt sein könnten.

F. Erarbeitung von theoretischen Grundlagen zur Nutzung von Energie niedrigen Exergiepotenzials

Die Bearbeitung der vorgenannten Teilaufgaben A bis E erfordert eine Reihe von wissenschaftlichen Untersuchungen und technologischen Entwicklungen, die aufgaben- und vielfach auch produktspezifisch zu lösen sind. Übergeordnet gibt es aber auch Forschungsbereiche, die allgemeingültig für die Anwendung von *Energie niedrigen Exergiepotenzials* gelten und für alle genannten Teilaufgaben nutzbringend sind. Dies gilt beispielsweise für technische Lösungen, die mit der Kapillarrohrtechnik und/oder dem Einsatz von Materialien mit Phasenwandel verbunden sind.

G. Systemintegration und Betriebsführung

Die Optimierung der Nutzung von Wärmequellen und –senken *niedrigen Exergiepotenzials* erfordert ein optimales Zusammenwirken aller beteiligten System-Komponenten und eine intelligente und robuste Betriebsführung, um die Aktivierung der entsprechenden technischen Komponenten zur richtigen Zeit sicher zu stellen. Dabei können auch adaptive Prozesse von Bedeutung sein, insbesondere wenn es um die effiziente Einbeziehung von Speichern geht. Hierfür sind geeignete Algorithmen und Betriebsführungskonzepte zu entwickeln und eine

entsprechende Umsetzung in Hardware-Regler, die die Charakteristika der beteiligten Teilkomponenten kennen, zu vollziehen. Obwohl – wie oben dargestellt – die Heiz- und Kühllasten und deren Minimierung nicht Thema dieses Konzeptes sind, ist dennoch das Nutzerverhalten mit im Entwurf geeigneter Betriebsführungen zu berücksichtigen. Nicht zuletzt sind in diesem Aufgabenbereich auch Fragen der Inbetriebnahme und Qualitätssicherung hinsichtlich der Gesamtsysteme zu bearbeiten.

Insgesamt ergibt sich demnach eine Gliederung des Gesamthemas entsprechend Bild 2.

Gesamthema				
Verbundkonzept „Heizen und Kühlen mit Niedrigexergie (LowEx)“				
F. Grundlagen				
Erarbeitung von theoretischen Grundlagen zur Nutzung von Energie niedrigen Exergiepotenzials				
A. Quellen/Senken	B. Transport/Transformation	C. Raumseitige Wärmeübertrager	D. Aktive Fassaden	E. Speicher
Entwicklung von Systemen zur Erfassung der Energieströme von Energiequellen oder-senken niedrigen Exergiepotenzials	Entwicklung von Einrichtungen zum Transport bzw. der Transformation der Wärme zwischen Erfassungseinrichtung und raumseitigen Wärmeübertragungssystemen	Entwicklung von innovativen Wärmeübertragungssystemen im Gebäude zur Nutzung der Energie mit niedrigem Exergiepotenzial	Entwicklung von thermisch aktiven Fassaden für Gebäude zur flexiblen Lastkompensation mit Energie niedrigen Exergiepotenzials	Entwicklung von Systemen zur Speicherung der Energie mit niedrigem Exergiepotenzial
G. Systemintegration und Betriebsführung				
Erarbeiten von Konzepten zur Systemintegration und Betriebsführung von Systemen zum Heizen und Kühlen mit Niedrigexergie				

Bild 2 Gliederung des Gesamthemas in inhaltlich zusammengehörige Themenfelder und übergreifende Querschnittsaktivitäten

Stand: Januar 2004