

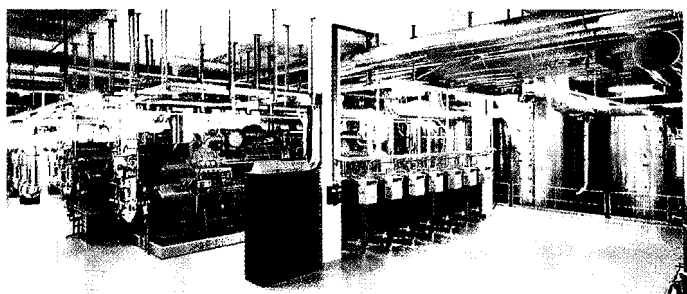
## Energieverbundsystem im LEGO-Fabrikationsgebäude in Willisau

Von Markus Dolder, Kriens,  
und Josef Felchlin, Emmenbrücke



Die LEGO Gruppe erwartet innerhalb der Spielzeugbranche ein erhöhtes Wachstum. Konkurrenzdruck und der Kampf um Marktanteile werden härter. Diese Situation verlangt grosse Flexibilität, um noch rascher auf veränderte Kundenbedürfnisse und Konkurrenzsituationen reagieren zu können. Das neue Fabrikations- und Lagergebäude in Willisau mit seinem zukunftsweisenden Konzept leistet

einen Beitrag, dass diesen Anforderungen Rechnung getragen werden. Das als Konzept vom dänischen Architektbüro Rudolf Lolk entworfene Gebäude hat einen modularen Aufbau. Es besteht aus sechs Modulen (ca. 58 x 58 m mit zwei Geschossen), die mit Zwischenbauten verbunden sind. In einer weiteren Ausbauphase ist geplant, zwei zusätzliche Module anzufügen.



**Bild 1** Die Energiezentrale als eigentliches Zentrum des Energieverbundsystems. Hinten rechts sind zwei Kältespeicher sichtbar. Vorne rechts ist alles vorbereitet für eine zusätzliche dritte Kältemaschine für die weiteren Ausbauphasen.

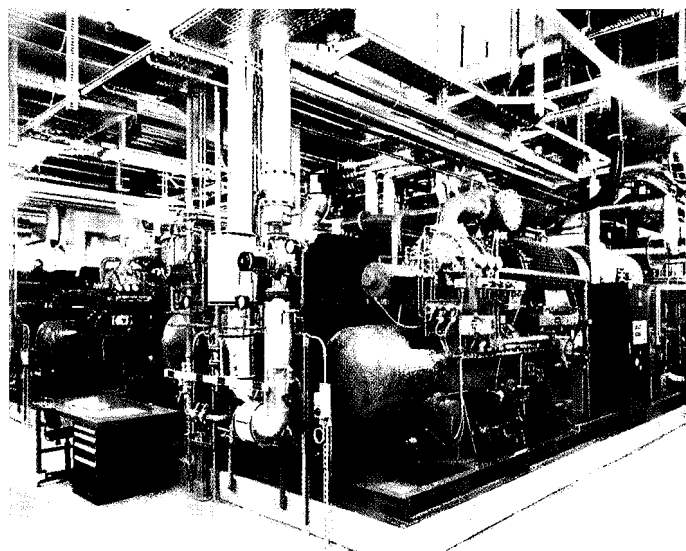
### Flexibilität ist gefordert

Die geforderte Flexibilität, die unterschiedlichen Nutzungen und Ausbauphasen sowie auch die Versorgungssicherheit haben einen entscheidenden Einfluss auf die Konzepte der Haustechnikanlagen. Die LEGO Produktion AG beauftragte das Ingenieurbüro Künzle + Partner AG Kriens-Luzern im Herbst 1990 mit dem Energiekonzept und der Planung der gesamten HLK-Anlagen. Der Auftrag umfasste die Projekt- und Ausführungsplanung inkl. Bauleitung der Heizungs-, Lüftungs-, Klima- und Kälteanlagen der Schalttafeln (HLK-Anlagen), der DDC-Regulierung und des Gebäudeleitsystems HLK. Bereits im Oktober 1993 wurden die ersten Module für die weltweite Produktion der DUPLO Produkte durch die LEGO Produktion AG bezogen. Die Realisierung dieses Bauwerkes mit einer Gesamtbau summe von 165 Millionen Franken war nur möglich durch eine straffe Gesamtprojektleitung und die gute Zusammenarbeit aller Beteiligten des Planungsteams.

gungsseite dadurch erreicht werden, dass für jedes Modul eine eigene Versorgungszentrale geschaffen wurde, die das Gebäude mit Wärme für die Raumheizung, Lufterwärmung, Brauchwassererwärmung mit Kälte für die Prozesskühlung zur Produkteherstellung und Kühlung der Produktionsräume sowie mit Luft für die minimal erforderliche Aussenluftmenge und zum Abführen von Wärme aus den Produktionsräumen versorgt. In jede der fünf Versorgungszentralen sind drei Medien geführt:

- Niedertemperaturwärme 50/40 °C für die Raumheizung, Brauchwarmwasservorwärmung und Lufterwärmung.
- Mitteltemperaturwärme 65/55 °C für die Brauchwarmwassernachwärmung
- Kälte 6/12 °C für die Prozesskühlung und die Luftkühlung

Die gewählten Medientemperaturen erlauben eine Nutzung von Abwärme auf ihren jeweiligen Temperaturniveau. Neben anderen Voraussetzungen ist dadurch die Grundlage für ein effizientes Energieverbundsystem geschaffen.

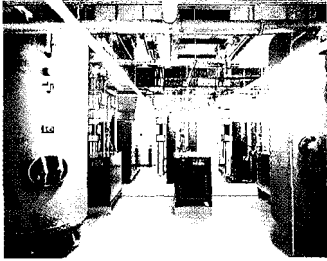


**Bild 2** Das Herz des Energieverbundsystems sind die Wärmepumpen/Kältemaschinen. Sie werden doppelt genutzt, um «Wärme und Kälte zu produzieren».

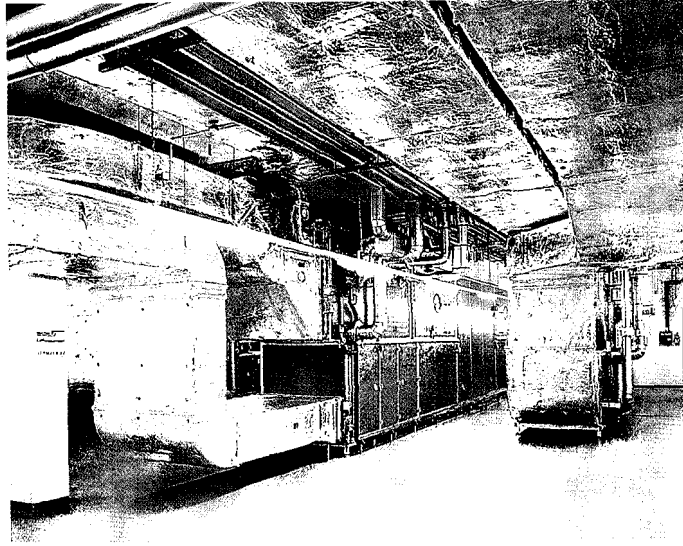
Die kompetente und entscheidungsfreudige Bauherrschaft legte zu Beginn mit einem Phasenplan der verschiedenen Ausbauphasen die Grundlage für die Auslegung der Haustechnikanlagen fest. Für die Wärme und Kälteversorgung musste also eine Infrastruktur geschaffen werden, die in der Lage ist, mit einem minimalen Energieaufwand und einer optimalen Betriebsweise, die unterschiedlichen Nutzungen und Phasen abzudecken. Dies konnte auf der Versor-

### Wärmeenergie wird verschoben

Das Ziel eines Energieverbundsystems ist es, Energie (im vorliegenden Falle Wärmeenergie) an Orten, wo ein Überschuss davon vorhanden ist, zu entziehen, um diese in anderen Gebäudeteilen, wo ein Energiebedarf besteht, zu nutzen. Je nach Lastverhältnissen und Wärmeenergiebedarf kann im vorliegenden Gebäude die Wärme



3



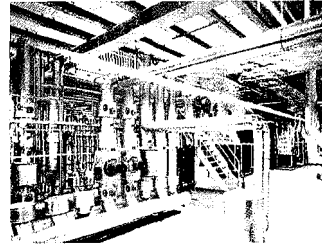
6

**Bild 3** In der Druckluftzentrale wird für die Produktion, Fertigung und Verpackung benötigte Druckluft zur Verfügung gestellt. Die durch die Kompressionsarbeit, Aufbereitung und Trocknung anfallende Wärme wird auf zwei unterschiedliche Temperaturniveaus genutzt. Erstens eine direkte Nutzung durch Ölkühlung mit einer Vorlauftemperatur von 65 °C. Zweitens bei Bedarf ein Wärmezug der anfallenden Wärme im Raum (Lufttrockner, Abwärme der Kompressoren) über das Kaltwasser-WRG-Netz (Energieverbund).



5

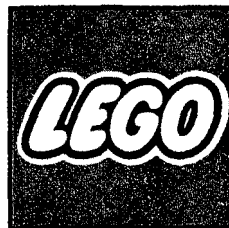
**Bild 5** Bei der grosszügigen lichtdurchfluteten Bauweise fügen sich die perfekt montierten Installationen sehr gut in das Gebäude ein. Die auf das Gesamtbauwerk abgestimmte Farbgebung schafft sehr viel Atmosphäre. In zweiter oberster Lage sind entlang der Modulwände die beiden hellblauen Regenwasserleitungen zu erkennen. Unter der Fussgänger- und Radfahrerbrücke sieht man die drei Medien (Nieder- und Mitteltemperaturwärme, Kaltwasser je mit Vor- und Rücklauf) halbkreisförmig verlegt, die in jede Versorgungszentrale geführt sind.



4

**Bild 4** Eine der vier Versorgungszentralen in den Zwischenbauten, die das Modul mit Wärme, Kälte, Luft und Wasser versorgen. Alle Versorgungszentralen sind gleich gross. Dadurch ist es möglich, bei Umnutzungen jede Nutzungsart (Lager, Verpackung, Produktion) zu versorgen. Vorne links sind bereits Verteileranschlüsse für die nächste Ausbauphase vorgesehen, um Kosten und Umbauzeiten geringzuhalten.

**Bild 6** Die Lüftungsanlagen sind auf das Energieverbundsystem abgestimmt. Wie auch die Wärme- und Kälteverteilungen sind sie wichtige Bestandteile des Gesamtkonzeptes. Jede Anlage ist zudem in sich optimiert und mit zeitgemässen, auf die Nutzung zugeschnittenen WRG-Systemen ausgerüstet (Rotierende; Aluplatten- oder Glasrohrwärmetauscher).



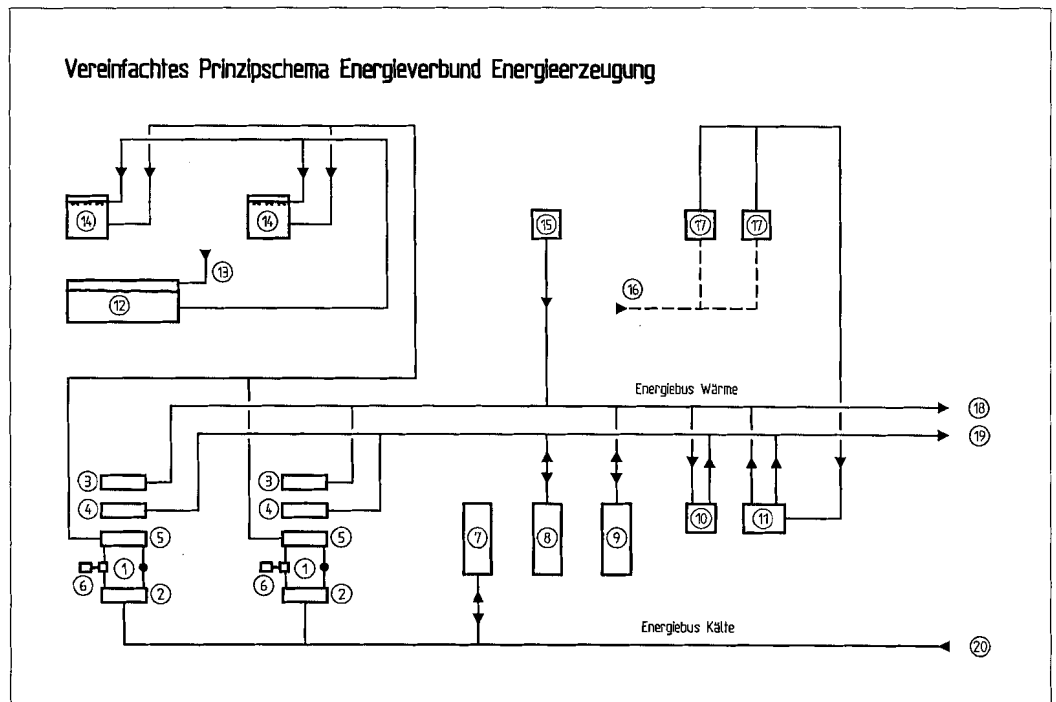
begründet ist die Idee: LEGO Produkte bestehen aus Elementen, die sich unbegrenzt zusammen- und wieder auseinanderbauen lassen. Die Grenzen bestimmt der spielende Mensch mit seinem Alter, seiner Phantasie und seinen Fähigkeiten.

### Bedeutender Arbeitgeber

Im Zusammenhang bilden die LEGO Kunststoffsteine ein System, das nahezu unzählige Kombinationen zulässt. Schon zwei 8-Knopf-Steine gleicher Farbe ergeben 24 unterschiedliche Möglichkeiten. Bei sechs Steinen (gleicher Farbe) sind es bereits 102 981 500 Kombinationsmöglichkeiten. Genau darin

Nach der LEGO System A/S in Billund mit 3310 Angestellten sind die beiden Produktionsstandorte in der Schweiz und in den USA mit je rund 1000 Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen vergleichbar gross. Im Verlaufe der nächsten fünf bis sieben Jahre werden nun in Willisau zusätzlich etwa 500 neue Arbeitsplätze geschaffen.

- 1 Kältemaschine/Wärmepumpe
- 2 Verdampfer, 5/11 °C, 1525 kW
- 3 Enthitzer, 65/55 °C, 95 kW
- 4 Kondensator WRG, 50/40 °C, 1932 kW
- 5 Kondensator Rückkühlung, 29/35 °C, 1812 kW
- 6 Schraubenverdichter mit Elektroantrieb
- 7 Kältespeicher 5/11 °C
- 8 Wärmespeicher 50/40 °C
- 9 Wärmespeicher 65/55 °C
- 10 Nachspeisestation Mitteltempl./Niedertemp.
- 11 Mischstation Hochtemp. – Mitteltemp./Niedertemp.
- 12 Regenwassertank
- 13 Regenwasserleitung von Modul 1–6
- 14 geschlossene Verdunstungskühltürme
- 15 Abwärme von Druckluftkompressoren
- 16 Ölzuleitung
- 17 Low-Nox-Heizkessel
- 18 Fernleitung Mitteltemperatur
- 19 Fernleitung Niedertemperatur
- 20 Fernleitung Kaltwasser



an folgenden Stellen entzogen werden:

- Kühlen der Formen (Produktionsprozess der LEGO Teile)
- Wärmeentzug auf den Fabrikationshallen
- Wärmeentzug aus Technikräumen (Trafostation, Druckluftzeugung, EDV-Raum)

Eine Kühlung dieser Räume ist aus prozess- oder anlagentechnischen Gründen notwendig. Über den

Wärmepumpenprozess ist es nun möglich, diese Wärme zu nutzen.

Zusätzlich wird direkte Abwärme aus der Druckluftproduktion auf dem Mitteltemperaturniveau genutzt. Die Nutzung der Abwärme ist einer jahreszeitlichen Schwankung unterworfen. Im Sommer, wenn die Wärme nur teilweise gebraucht werden kann, muss der Überschuss abgeführt werden. Dazu wird der Kühleffekt durch Verdunstung in Kühltürmen zu

Hilfe genommen. Das Kühlwasser zwischen den Kältemaschinenkondensatoren und den Verdunstungskühlern zirkuliert in einem geschlossenen Kreislauf.

Das Wasser, das zur Verdunstungskühlung genutzt wird, ist gesammeltes Regenwasser von den ca. 20 000 m<sup>2</sup> grossen Dachflächen. Dieses wird in einen 1100 Kubikmeter grossen Tank geleitet, der gleichzeitig als Retentionsbecken dient. In Trockenperioden speist eine eigene Grundwasserfassung zusätzlich den Tank.

## Umweltfreundliche Kälteerzeugung mit gutem Wirkungsgrad

Am auffälligsten in der Energiezentrale sind die beiden York-Wärmepumpen/Kältemaschinen, das Herz des Energieverbundsystems. Um den variierenden Lastverhältnissen Rechnung zu tragen und auch im Teillastbetrieb mit guten Wirkungsgraden zu fahren, sind für die Kompressionsarbeit Schraubenverdichter eingesetzt. Als Kältemittel wurde Ammoniak gewählt. Dieses wird seit über hundert Jahren erfolgreich für diese Anwendung eingesetzt und erlebt zurzeit eine Art Renaissance. Ammoniak hat hervorragende thermodynamische Eigenschaften, kein Ozonabbaupotential, kein Treibhauspotential und ist biologisch abbaubar.

Die York-Aggregate werden doppelt genutzt, sowohl für die Wärme- als auch für die Kälteproduktion. Auf der Verflüssigerseite sind drei Wärmetauscher hinterein-

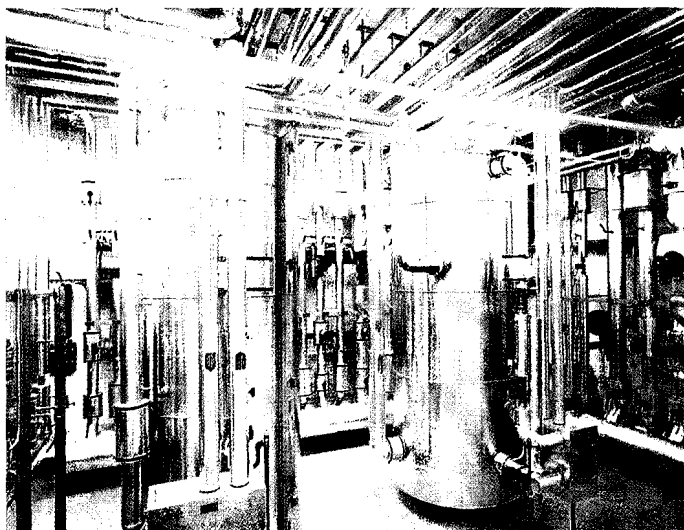
ander geschaltet. Zuerst durchströmt das Heissgas den Enthitzer, dann den Wärmerückgewinnungskondensator und zuletzt den Kondensator zur Abführung der Wärme an den Verdunstungskühler. Der Ölkühler der Kältemaschine ist ebenfalls in die Abwärmenutzung eingebunden.

## Lüftungsanlagen für Energiegewinnung

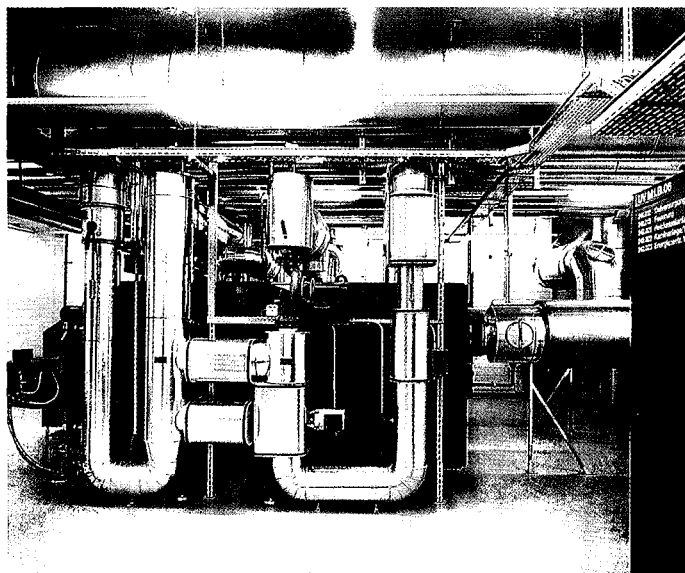
Die Lüftungsanlagen sind wichtige Bestandteile des Energieverbundsystems. Wie auch die Wärme- und Kältegewinnung sind sie auf das Gesamtkonzept abgestimmt.

Die Lüftungsgeräte sind in den Zwischenbauten plaziert. Durch mächtige Rohre wird die Zuluft in die Fabrikations- und Lagerräume geführt.

Über Quellluftauslässe strömt die Luft mit leichter Untertemperatur aus und gelangt in Form eines Frischluftsees zu den Personen. Überall, wo sich im Raum Wärmequellen befinden (Menschen, Maschinen), entsteht ein Konvektionsluftstrom. Die erwärmte Luft steigt zur Decke und wird durch Abluftöffnungen abgesaugt. Durch dieses Lüftungssystem verringert sich der Energiebedarf bei der Kühlung, und es hat gegenüber anderen Systemen einen besseren Lüftungswirkungsgrad. Aus der warmen Abluft kann nun Energie entzogen werden. Entweder direkt über die im Gerät eingebaute Wärmerückgewinnung oder zusätzlich bei Bedarf über Wärmeentzug mittels Luftkühler und Nutzung über



**Bild 7** Das Brauchwarmwasser wird zweistufig erwärmt, um die Abwärme je nach ihrem Temperaturniveau zu nutzen. Jeder Wasserkreislauf (Heizung, Kälte, Trinkwasser) wurde nach bestimmten Abgleichstrategien ausgemessen und die erforderliche Durchflussmenge genau eingestellt. In der Folge ergibt sich ein gutes Regelverhalten und Energieeinsparung von einigen Prozenten. Um Wartung und Unterhalt zu erleichtern sind Leitungen und Apparate nach einem sich einfach zu merkenden Konzept beschriftet.



**Bild 8** Heizkesselzentrale mit den Ygnis-Energiespar-Low-Nox-Kesseln. Die Heizkessel sind in das Energieverbundsystem integriert. Nach dem Endausbau dienen sie nur noch als Notheizung. Durch die konsequente Abwärmenutzung können beim Vollausbau jährlich ca. 300 000 Liter Erdöl substituiert werden.

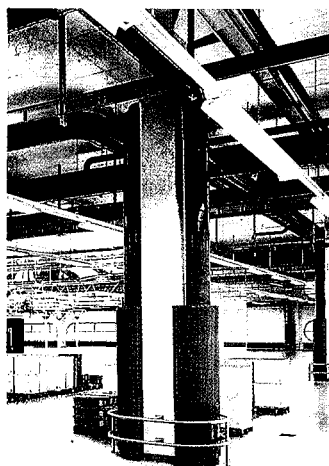
das Energieverbundsystem. Im Modul 1 (Infrastrukturgebäude) sorgen kleinere Lüftungsanlagen für gute Luft, unter anderem in der Cafeteria, der Küche und den Büros. Die Anlagen sind so geschaltet, dass beim Öffnen der Bürofenster der entsprechende Luftstrang automatisch angeschaltet wird.

### Kleine Module regulieren grosse Module

Den Kopf des Energieverbundes bildet eine Landis & Gyr-Regulierung in DDC-Technik (Digital Direct Control). Ausgewählte Messstellen fragen den Anlagezustand ab und ermöglichen es so, über einfache hydraulische Schaltungen und einfache Regelfunktionen in einem Teil des Gebäudes Wärme zu entziehen und an andere Gebäudeteile, wo diese Wärme genutzt werden kann, abzugeben. Gesamthaft ergibt sich ein recht komplexes vernetztes System. Es wurde jedoch darauf geachtet, dass die einzelnen Systeme autonom funktionsfähig und nur wenige Schnittstellen vorhanden sind. Dies wurde erreicht durch einen modularen Aufbau der Systeme und eine jederzeit verfügbaren Handbedienebene.

Auch die Schalttafeln und Elektroschemas sind modular aufgebaut. Bei einem späteren Ausbau oder Umbau, der durch eine Umnutzung nötig wird, können die erforderlichen Schalttafelteile ähnlich wie bei den LEGO Steinen modular angebaut werden.

Ein durchgedachtes und konsequent bis ins letzte Detail durchgedachtes Beschäftigungs- und Bezeichnungssystem ermöglicht dem Betriebspersonal eine rationelle Wartung aller Anlagen und Systeme. Die Grundlagen und Voraussetzungen dazu mussten schon sehr früh in der Planungsphase geschaffen werden.



**Bild 9** Produktionsgeschoss mit Fertigungsanlagen. Im Vordergrund sind die mit einem Rammschutz gesicherten Quellluftauslässe zu sehen.

### Modernste Computersysteme sparen Energie- und Instandhaltungskosten

Eine weitere Unterstützung für die rationelle Bedienung aller Anlagen gibt das Gebäudeleitsystem. Auf Monitoren sind die Zustände auf einen Blick ersichtlich. Auf Protokolldruckern erscheinen aktuelle Meldungen der Anlagen oder Warthinweise. Die Bedienung erfolgt auf einer gewohnten Benützeroberfläche mit Fenstertechnik (OS2). Für Auswertungen und Optimierungen steht dem Betreiber ein ausgeklügeltes Messkonzept zur Verfügung. Mit dessen Hilfe ist es der LEGO Produktion AG möglich, die Energieflüsse im Gebäude zu kontrollieren und Energiebilanzen zu erstellen. Dadurch kann eine Aussage gemacht werden, wo wieviel Energie verbraucht, umgewandelt oder produziert wird.

Die Überwachung und Darstellung der Wirkungsgrade, Laufzeiten

und Betriebsweisen der Aggregate und Anlagen spart Energie- und Instandhaltungskosten. Über eine eigens für dieses Objekt geschaffene Schnittstelle werden die anfallenden Daten in ein Tabellenkalkulationsprogramm übernommen. Damit ist eine für den Anlagebetreiber sehr aussagekräftige Darstellung in Diagrammen und Grafiken möglich, und die Bedienung erfolgt wiederum auf einer vertrauten Benützeroberfläche.

### Kurze Installationszeit

Installationsbeginn im Rohbau war der 1. Februar 1992. Am 1. Oktober hatte die LEGO Produktion AG ein fixfertiges und beheiztes Modul bezogen. Die letzten Gebäudeteile wurden am 1. Februar 1993 ebenfalls termingerecht an die Bauherrschaft übergeben. Die Realisierung dieses Vorhabens war nur möglich durch die straffe, jedoch sehr unkomplizierte Führung des Generalunternehmens Alfred Müller AG

### Bauherr und Planungsfirmen

Bauherrschaft:	LEGO Produktion AG Sihlbruggstrasse 3 6340 Baar
Energiekonzept, Heizung, Lüftung, Klima, Kälte, Gebäudeleitsystem:	Künzle + Partner AG berat. Ing. HTL SWKI Arsenalstrasse 40 6010 Kriens-Luzern

### Installationsunternehmungen

Heizung/Kälte:	Arbeitsgemeinschaft unter Federführung von: Sulzer Infra (Schweiz) AG, Filiale Luzern
Lüftung/Klima:	Arbeitsgemeinschaft unter Federführung von: Sulzer Infra (Schweiz) AG, Filiale Luzern
Dämmungen:	Arbeitsgemeinschaft unter Federführung von: Schneider Dämmtechnik AG, Winterthur

### Anlagekomponenten

Kältemaschine:	York Schweiz AG Grindelstrasse 19 8303 Bassersdorf
Rückkühler:	Gohl, vertreten durch: Franzi AG Segelhalde 42 5405 Baden-Dättwil
Heizkessel:	Ygnis AG Wohlhuserstrasse 31/33 6017 Ruswil
Lüftungsgeräte:	ABB Fläkt Airnorm AG Reusseggstrasse 11 6002 Luzern 7-Air, Gebr. Meyer AG Baselstrasse 19 6000 Luzern 7
Regel- und Leitsysteme:	Landis & Gyr Building Control (Schweiz) AG Sennweidstrasse 47 6312 Steinhausen

# **DIE AKTUELLE REPORTAGE**

## **Technische Daten**

### **Kälteanlagen**

(Daten pro Aggregat)

Kälteleistung 1525 kW

Abwärmeleistung 1932 kW

(50 °C)

Enthitzer (65 °C) 95 kW

### **Heizungsanlage**

Kesselleistung  
(1 Einheit) 1350 kW

### **Speicherinhalte**

Kaltwasser  
5 °C 2 × 26 500 Liter

Niedertemperatur  
50 °C 2 × 22 000 Liter

Mitteltemperatur  
65 °C 1 × 22 000 Liter

und die entscheidungsfreudige Bauherrschaft. Dadurch wurden gute Rahmenbedingungen und eine ausgezeichnete Atmosphäre geschaffen. Ein weiteres Plus für die Realisierung des Energieverbundsystems war die Tatsache, dass die HLK-Anlagen in der Planung, wie auch später nach der Vergabe in der Ausführung aus einer Hand kamen. Dadurch ergaben sich keine Schnittstellenprobleme und kurze Entscheidungswege. Die Anlagen Heizung, Lüftung, Klima, Kälte, Regulierung und Leitsysteme konnten somit optimal aufeinander abgestimmt werden.