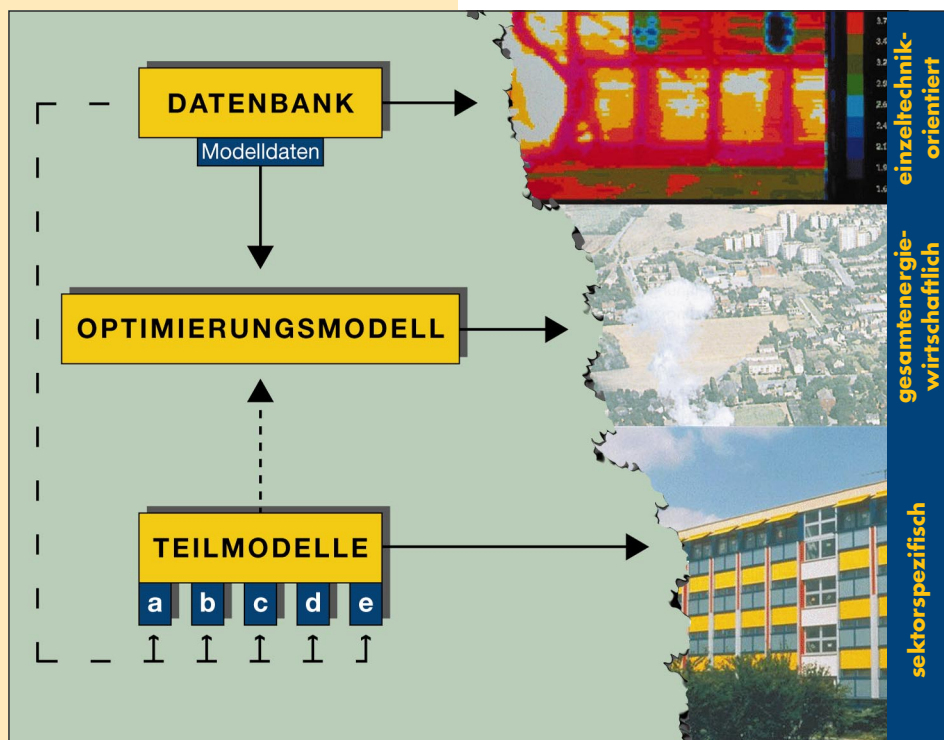


IKARUS – Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien

Das IKARUS-Instrumentarium dient dazu, in einer bisher noch nicht erreichten Informationstiefe Strategien zur Reduktion von Klimagasemissionen - insbesondere CO₂ -

in Hinblick auf ökologische, ökonomische und energietechnische Konsequenzen zu analysieren und vergleichend zu bewerten. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf der Transparenz der zugrundeliegenden Daten.



1 Das IKARUS-Instrumentarium zur Analyse und Bewertung von Klimagas-Reduktionsstrategien besteht aus mehreren Computermodellen und einer umfassenden Datenbank

Zur nachhaltigen Reduktion von energiebedingten Klimagasemissionen sind unterschiedliche Strategien denkbar. Die volkswirtschaftlichen Konsequenzen, die sich aus den verschiedenen Maßnahmen ergeben können, finden im Rahmen der Klimaschutzdiskussion zunehmend Beachtung. Deshalb ist es wichtig, den Entscheidungsträgern auf unterschiedlichen Handlungsebenen ein Instrumentarium an die Hand zu geben, das die vielseitigen Wechselwirkungen innerhalb des Energiesystems transparent macht und damit sinnvolle Gesamtstrategien und Einzellösungen schneller umsetzen hilft.

Das IKARUS-Instrumentarium besteht im wesentlichen aus mehreren Computermodellen und einer Datenbank. Seine Entwicklung erfolgte auf der Grundlage intensiver Fachdiskussionen und unter Beteiligung unterschiedlicher Institute. Das Datenmaterial wurde von etwa 50 Institutionen zusammengetragen und dient nicht nur als Basis für die Modellrechnungen, sondern stellt bereits für sich genommen eine wertvolle Informationsbasis dar, die in vielfältigen Zusammenhängen genutzt werden kann. Alle Komponenten sind auf Standard-PC lauffähig und besitzen eine nutzerfreundliche Bedienungs Oberfläche.

Diese Information stellt die Anwendungsmöglichkeiten von IKARUS in den Vordergrund. Nach einer Einführung in das inhaltliche Konzept werden im folgenden die einzelnen Komponenten von IKARUS beschrieben und Beispiele aus verschiedenen Bereichen vorgestellt.

Das Konzept

Die Bereitstellung einer umfangreichen Datenbasis und flexibler Analyseinstrumente ermöglicht eine fundierte Bearbeitung von Fragestellungen auf gesamtenenergiewirtschaftlichem, sektorspezifischem oder einzeltechnikorientiertem Niveau.

Die Bundesrepublik Deutschland trägt derzeit zu den weltweiten energiebedingten CO₂-Emissionen zu etwa 5% bei. Sie gehört zu den industriell führenden Ländern, die sowohl aufgrund ihrer Energieintensität als auch wegen ihres wissenschaftlichen und industriellen Know-hows besonders gefordert sind, Lösungen zur Vermeidung negativer Folgen der Energienutzung zu entwickeln und anzubieten. IKARUS ist eingebettet in internationale Zielsetzungen, wie sie z. B. durch die Klimarahmen-Konvention der Vereinten Nationen vorgegeben ist.

Wo setzt IKARUS an?

Die vom Deutschen Bundestag 1987 eingesetzte Enquete-Kommission "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre" hat eine umfangreiche Bestandsaufnahme zum Wissen über die Wirkung klimarelevanter Gase geliefert und konkrete Handlungsempfehlungen für ihre nachhaltige Reduktion erarbeitet. Die zweite, 1991 eingesetzte Enquete-Kommission konnte daran erfolgreich anknüpfen. Während der Arbeit beider Kommissionen wurde deutlich, daß eine allgemein anerkannte und in hinreichend einheitlicher Struktur vorliegende Datengrundlage zum Energiesystem der Bundesrepublik Deutschland fehlte, auf deren Basis in sich konsistente CO₂-Reduktionsstrategien formuliert und gegeneinander abgewogen werden können. An diesem Punkt setzt das Anfang der 90er Jahre vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) initiierte IKARUS-Projekt an.

Was ist das Ziel von IKARUS?

IKARUS verfolgt zwei Ziele:

- die Bereitstellung einer Datenbank mit technischen, wirtschaftlichen und klimarelevanten Daten zum bundesdeutschen Energiesystem als umfassende Informationsquelle für ein breites Anwenderspektrum,
 - die Erarbeitung von darauf aufbauenden, flexiblen und nutzerfreundlichen Computermodellen zur Ermittlung von CO₂-Reduktionsstrategien.
- Ein tieferes Verständnis der Funktions- und

Reaktionsweise des stark vernetzten Energiesystems soll dazu beitragen, der notwendigen Diskussion um koordinierte Gesamtstrategien neue Impulse zu geben und die Umsetzung sinnvoller Einzelmaßnahmen zu beschleunigen.

Dies betrifft alle Handlungsebenen wie Politik, Wissenschaft, Industrie, Verbände, Planung und Verwaltung.

Was sind die Inhalte von IKARUS?

Modelle können wichtige Erkenntnisse vor allem zu den Wechselwirkungen innerhalb des stark vernetzten Energiesystems liefern. So können etwa die Einflüsse von exogenen Faktoren (z. B. höhere Energiepreise, CO₂-Reduktionsvorgaben, Kapazitätsgrenzen einzelner Energieträger, Reinvestitionszyklen oder neue Technologieentwicklungen) auf das Energiesystem untersucht oder alternative energiepolitische Minderungsstrategien bewertet werden. Die zur Bestimmung alternativer Minderungsstrategien wesentlichen Größen sind der Technikmix bei der Energienutzung und -wandlung (welche Energietechniken werden zu welchem Zeitpunkt und mit welchen Kapazitäten optimal eingesetzt?), die Kosten (welche genauen Kosten entstehen durch die eingesetzten Techniken?) und die verschiedenen Treibhausgasemissionen (welche Emissionen entstehen in welcher Höhe?). Für das Instrumentarium wurden davon ausgehend - aus der Situation des Jahres 1990 - folgende Randbedingungen gesetzt:

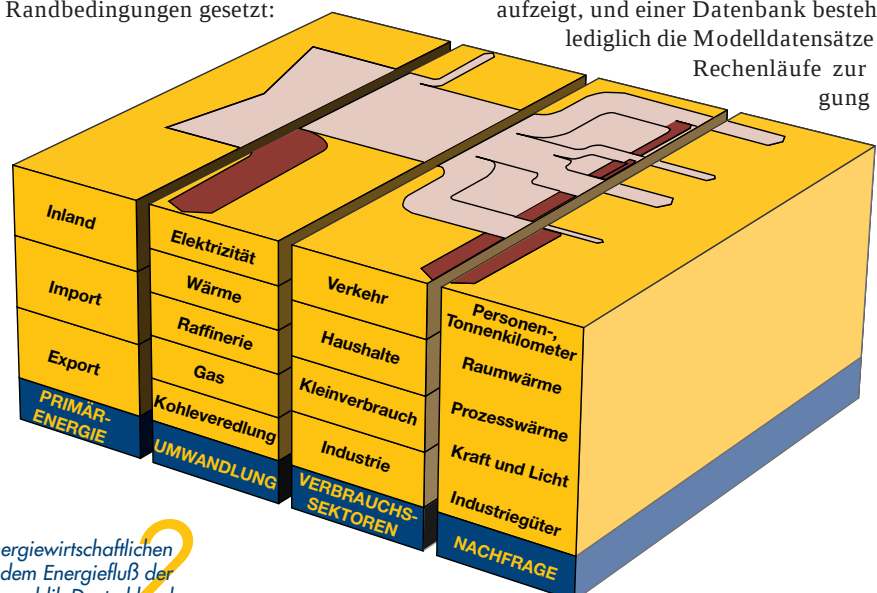
■ Untersuchungsgegenstand ist das Energiesystem der jetzigen Bundesrepublik Deutschland mit dem Basisjahr 1989 (inzwischen werden die Daten für ein neues Basisjahr 1995 erhoben). Weitere Analysejahre sind 2005 und 2020. Bis einschließlich 2005 ist das Instrumentarium teilweise getrennt für die alten und neuen Bundesländer nutzbar.

■ Das Instrumentarium besteht in erster Linie aus Technikbeschreibungen von der Nutzenergie- bzw. Energiedienstleistungsebene bis hin zur Primärenergieebene und bildet damit die Energieflüsse und Energieumwandlungsschritte der Bundesrepublik Deutschland bedarfsorientiert ab ②. Wirtschaftliche Einflußgrößen wie Kapitalverfügbarkeit und -kosten, Entwicklung von Rohstoff- und Güterpreisen, Außenhandel mit Energieträgern, Reinvestitionszyklen und verfügbare Kapazitäten (z. B. Leistungsgrenzen für den bestehenden Kraftwerkspark) können über die Rahmenbedingungen für Szenarien berücksichtigt werden.

■ Neben CO₂ werden folgende, das Klima unmittelbar oder auch mittelbar beeinflussende Emissionen betrachtet: Methan (CH₄), Distickstoffoxid (N₂O), Kohlenmonoxid (CO), Stickoxide (NO_x), Schwefeldioxid (SO₂), Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW), Nicht-Methan-Kohlenwasserstoff (NMKW) und stratosphärischer Wasserdampf (Flugverkehr).

Woraus setzt sich IKARUS zusammen?

Das Instrumentarium ist entsprechend der Komplexität der Aufgabenstellung und der technologischen Vielfalt der Energieanwendungen im Laufe der Entwicklungszeit gewachsen. Ursprünglich sollte IKARUS aus einem Optimierungsmodell, das entsprechend der Ausgangsparameter die jeweils kostengünstigste CO₂-Minderungsstrategie aufzeigt, und einer Datenbank bestehen, die lediglich die Modelldatensätze für die Rechenläufe zur Verfügung stellt.



Diese Komponenten bilden immer noch den Kern des IKARUS-Instrumentariums. Zusätzlich sind aufgrund des Bedarfs weitere Simulationsmodelle (Teilmodelle) entwickelt worden, mit denen detaillierte sektorspezifische Fragestellungen beantwortet werden können. Darüber hinaus wurde die Datenbank zu einem eigenständigen Informationsinstrument ausgeweitet, dessen Datenbestand in seiner Detaillierung weit über die Modelldatensätze hinausgeht. Eine direkte Koppelung von Modellen und Datenbank wurde zugunsten einer flexibleren Handhabung aufgegeben; jede Komponente ist - bis auf das Teilmodell Industrie - für sich allein betreibbar.

Wem nutzt IKARUS?

Durch den modularen Aufbau ist das IKARUS-Instrumentarium sehr flexibel einsetzbar. Je nach Anwendungsfall stehen dem Nutzer unterschiedliche Komponenten zur Auswahl. Das Optimierungsmodell liefert Ergebnisse zu gesamtenenergiewirtschaftlichen Fragestellungen, die vor allem die Wechselwirkungen innerhalb des Energiesystems einbeziehen. Die einzelnen Teilmodelle ermöglichen sektorspezifische Betrachtungen (z. B. Verkehr), die auch wiederum neue Ausgangsparameter für die gesamtenenergiewirtschaftliche Betrachtung im Optimierungsmodell liefern können. Regionale und lokale Fragestellungen sind mit den Modellen nur bedingt abbildbar; dies setzt insbesondere voraus, daß zusätzliche Datensätze

(z. B. regionale Daten) eigenständig erhoben und angepaßt werden. IKARUS wurde in erster Linie als nationales Strategieinstrument entwickelt. Mit der Ausweitung des Instrumentariums sind die Anwendungsmöglichkeiten von IKARUS jedoch breiter geworden, zumal alle wesentlichen Komponenten auch einzeln eingesetzt werden können. Für individuelle Detailplanungen ist IKARUS aber nur bedingt geeignet ③.

Was ist neu an IKARUS?

Außergewöhnlich ist, daß die den Modellen zugrundeliegenden Strukturen und die umfangreiche Datenbasis unter Beteiligung unterschiedlicher wissenschaftlicher Institute ⑦ und intensiver Diskussionsprozesse entstanden ist, wodurch von vornherein ein breiter Konsens erreicht werden konnte. Um auch außerhalb des Entwicklungsteams eine weit gefächerte Anwendung des Instrumentariums zu ermöglichen, wurde auf folgende Kriterien besonderes Augenmerk gelegt:

- Lauffähigkeit des Instrumentariums auf der PC-Ebene, um eine breit gestreute Anwendung zu ermöglichen,
- nutzerfreundliche Bedienungsoberfläche aller Komponenten,
- Nachvollziehbarkeit der einzelnen Rechenschritte in den Modellen sowie eine ausführliche und nutzerfreundliche Ergebnisdarstellung,
- weitestgehende Transparenz der zugrundeliegenden Daten für den Nutzer sowie die
- wiederholte Präsentation der Arbeitsergebnisse in Workshops mit potentiellen Zielgruppen aus der Praxis (z. B. Politische Parteien, Verbände, Firmen)

GLOSSAR

Modell

Ein Modell ist immer nur eine Abstraktion des Realsystems, aber niemals die einzig mögliche. Die Ergebnisse, die ein Modell liefert, sind somit direkt abhängig von der Qualität der zugrundeliegenden Daten und der sinnvollen Vereinfachung der zu beschreibenden Wirklichkeit.

Simulationsmodell

Modell zur Abbildung direkter Reaktionen eines Systems auf Veränderungen äußerer Bedingungen ohne Berücksichtigung möglicher Rückwirkungen auf das System selbst.

Optimierungsmodell

Modell zur Abbildung von Reaktionen eines Systems auf Veränderungen äußerer Bedingungen unter Berücksichtigung der Rückwirkungen auf das System nach Maßgabe eines bestimmten Zielkriteriums (z. B. minimale Kosten) und sonstiger gegebener Rahmenbedingungen. Der hierfür notwendige Optimierungsalgorithmus schränkt die Möglichkeiten einer detaillierten Abbildung des jeweiligen Realsystems ein. Optimierungsmodellen wird der Vorzug gegeben, wenn die komplexen Rückwirkungen auf das System in bezug auf das Untersuchungsziel wichtiger sind als Abbildungsdetails.

Basisjahr, Analysejahre

Quasi-statische Optimierungsmodelle erfordern die Festlegung von diskreten Zeitschritten (Stützjahre), für die das Modell zu Aussagen gelangt. Bei IKARUS werden als Basisjahr 1989 und als Analysejahre 2005 und 2020 gewählt (ein Update mit Basisjahr 1995 ist in Arbeit).

Aggregierte Daten

Aus Einzelinformationen verdichtete und typisierte Daten, die generalisierende Aussagen ermöglichen.

Anwendungsspektrum der verschiedenen IKARUS-Komponenten

	EINSATZZWECK	POTENTIELLE ANWENDER	EINSATZBEREICHE			ANWENDUNGSBEISPIELE
			Einzeltechnikanalysen sektor. Detailanalysen national			
Optimierungsmodell	Analyse nationaler Klimagas-Reduktionsstrategien	Ministerien, Verbände, große Unternehmen, wiss. Einrichtungen	●	●		z. B. Auswirkungen einer zielorientierten CO ₂ -Reduktionsstrategie
Makroökon. Modell (MIS)	Analyse volkswirtschaftlicher Auswirkungen von Klimagas-Reduktionsstrategien	wie Optimierungsmodell	●	●		z. B. Beschäftigungseffekte als Folge einer CO ₂ -Steuer auf den Energiemix
Technik-Kettenmodell	Vergleich von Techniken unter Berücksichtigung vor- oder nachgelagerter Technikketten	wie Optimierungsmodell		●	●	z. B. Emissionsvergleich von Einsatztechniken mit gleicher Versorgungsaufgabe unter Berücksichtigung der vorgelagerten Emissionen
Teilmodell Industrie	Branchenspezifische Analyse von Energieverbrauch und Emissionen	Ministerien, Industrieverbände, Unternehmen, wiss. Einrichtungen	●	●	●	z. B. Auswirkungen verbesserter Industrieöfen auf den Energieverbrauch betroffener Branchen
Teilmodell Raumwärme	Analyse von Klimagas-Minderungsstrategien zur Raumwärme- und Warmwasserbereitung im Haushaltssektor	Ministerien, Verbände, Unternehmen, wiss. Einrichtungen, Ingenieur- u. Architekturbüros	●	●	●	z. B. Analyse der Auswirkungen einer verschärften Wärmeschutzverordnung (national, Gebäudeensembles, Einzelgebäude)
Teilmodell Verkehr	Analyse von Klimagas-Minderungsstrategien für den Personen- und Güterverkehr	Ministerien, Verbände, Automobilbranche, wiss. Einrichtungen	●	●	●	z. B. Auswirkungen einer Verlagerung des Gütertransports von der Straße auf die Schiene
Datenbank	Umfangreiches Informationssystem zur Bewertung von Techniken im Energiesektor; Datenpool für Modelle	Ministerien, Verbände, Unternehmen, wiss. Einrichtungen, Ingenieur- und Planungsbüros		●	●	z. B. Technikvergleich solare Nahwärme versus BHKW-Einsatz

Das Instrumentarium

Das IKARUS-Instrumentarium ist modular aufgebaut. Alle Komponenten sind von der Grundstruktur aufeinander abgestimmt. Jede Einzelkomponente stellt ein vollwertiges Produkt dar, das jeweils Ergebnisse auf unterschiedlichen Anwendungsebenen liefert.

Das IKARUS-Instrumentarium besteht aus strukturell aufeinander bezogenen Einzelkomponenten: mehrere Computermodelle unterschiedlicher Art, eine Datenbank mit umfassender Datensammlung und weitere Einzeltools. Die Datenbank und die einzelnen Modelle, welche eigene Datenbasen besitzen, sind unabhängig voneinander einsetzbar **4**.

Datenbank

Die Datenbank ist in die Bereiche Technikdaten, Rahmendaten und Modelldaten unterteilt.

■ **Technikdaten:** Die Technikdaten stellen den Hauptteil der Datenbank dar und beinhalten technische, wirtschaftliche und umweltbezogene Daten zu Einzeltechniken (z. B. Gaskraftwerk, Wärmepumpe). Ihr Detaillierungsgrad geht weit über den Bedarf des Optimierungsmodells hinaus **5**. Die Einzeldaten sind jeweils für die bereits genannten Analysejahre 1995, 2005 und 2020 dargestellt. Bei den Technikbeschreibungen handelt es sich nicht um einen Produktkatalog, sondern um typisierte, repräsentative Techniken, deren Eigenschaften aber z. T. auf Herstellerangaben zurückgehen. Die einzelnen Daten sind durch Literaturangaben belegt und, soweit nötig, zusätzlich kommentiert.

Die drei Säulen des IKARUS-Projektes. Der Nutzer profitiert bereits von der umfangreichen Datensammlung, die Grundlage für die verschiedenen Modellrechnungen ist

Die Technikdatenbank ist entsprechend dem Optimierungsmodell in die einzelnen Stufen Primärenergie, Umwandlung und Anwendung und die Sektoren Haushalte, Kleinverbraucher, Industrie, Verkehr, Verkehr gegliedert. Zusätzlich wurde der Bereich Querschnittstechniken gebildet, der sektorübergreifende Techniken beschreibt (z. B. Lichttechnik, elektrische Antriebe). Die Technikdaten sind ausgehend von den inhaltlichen Anforderungen des jeweiligen Teilbereichs unterschiedlich strukturiert **6**.

■ **Rahmendaten:** Die Rahmendaten informieren über die volkswirtschaftlichen Randbedingungen, die sowohl den Ist-Zustand (im Basisjahr 1989 - ein Update mit Basisjahr 1995 ist in Arbeit) als auch die zu erwartenden Entwicklungen der Analysejahre 2005 und 2020 wiedergeben, u. a. demographische Angaben, Strukturdaten, Energiebilanzen, Preise von importierten Energieträgern.

■ **Modelldaten:** Die Modelldaten, die eine vergleichsweise kleine Untermenge des gesamten Datenbestandes darstellen, sind die Ausgangsdaten für das Optimierungsmodell. Inhaltlich bauen sie vor allem auf den Technikdaten auf. Eine umkehrbare Zuordnung der Modelldaten zu den Technikdaten ist nur zum Teil möglich, da diese unterschiedliche Aggregationsniveaus aufweisen, d. h. eine Modell-Technik stellt oft ein Aggregat (Technik-Mix) aus gewichteten Einzeltechniken dar. In der Datenbasis der Teilmodelle ist aber nachvollziehbar abgelegt, wie die Einzeltechniken zu Aggregaten verdichtet werden.

Einsatzbereiche der Datenbank:

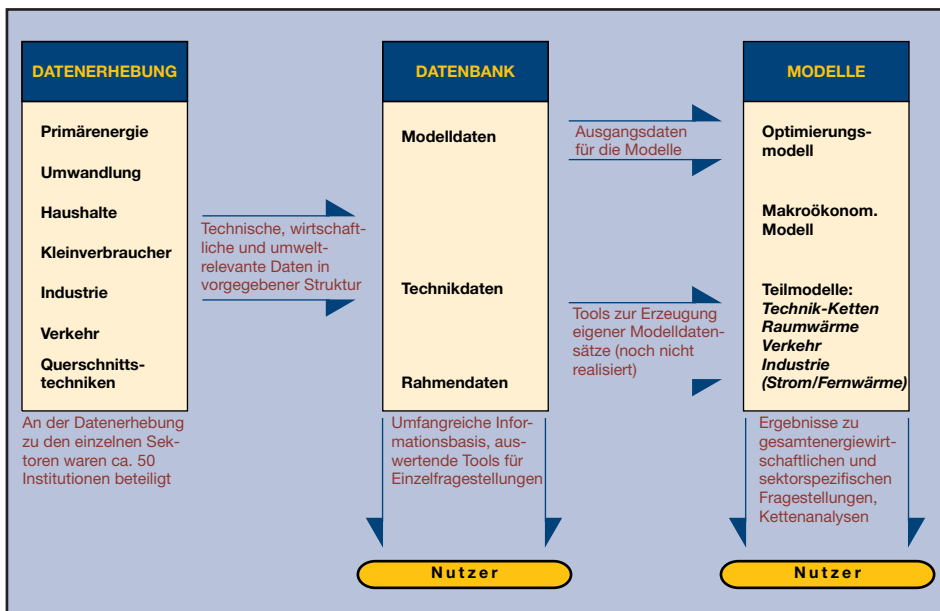
Eine große Zahl von Einzelinformationen ermöglicht die Abschätzung der Wirtschaftlichkeit, der energetischen Effizienz sowie der Emissionen unterschiedlichster Techniken. Damit stellt die Datenbank ein in diesem Umfang noch nicht vorhandenes Informationskompilium zum bundesdeutschen Energiesystem zur Verfügung. Für ihre Nutzung wurde ein menügeführtes Retrievalsystem (Suche) mit einer graphischen Oberfläche entwickelt, das ein Navigieren durch den Datenbestand erlaubt. Eine Stichwortsuche erleichtert das Auffinden des jeweils gesuchten Technikbereichs. Ferner besteht die Möglichkeit des Technikvergleichs. Bei den Querschnittstechniken werden viele Merkmale in Form dynamisch erzeugter Kennlinien dargestellt. Im Sektor Raumwärme wird das Retrieval durch ein Tool ergänzt, das dem Nutzer erlaubt, den Energiebedarf, die Emissionen sowie die Wirtschaftlichkeit des nahezu beliebig kombinierbaren Gesamtsystems Gebäude (inkl. Auswahl verschiedener bauphysikalischer Standards und Nutzungsbedingungen) mit Heizsystem, Warmwassersystem und raumluftechnischer Anlage individuell zu ermitteln. Die Datenbank ist z. B. für folgende Zwecke einsetzbar:

- detaillierte Informationsbasis in vielfältigen Zusammenhängen (z. B. Energiepolitik, Energiekonzepte, Planung),
- Technikvergleiche in der Vorplanungsphase für die Auswahl von Gerätetypen sowie deren Dimensionierung oder für Analyse zwecke,
- Hintergrundinformation und Hilfestellung für die Gestaltung der Nutzereingaben in den Modellen oder für die Deutung der Modellergebnisse,
- Selektion von Eingangsdaten für eigene Simulationsprogramme.

■ **Datenbanksystem:** Aufgrund der Komplexität und des großen Umfangs der Datenbank wurde als EDV-Plattform das im professionellen Bereich weit verbreitete relationale Datenbankmanagementsystem Oracle für Windows eingesetzt.

Optimierungsmodell

Das Optimierungsmodell bildet das Energiesystem der Bundesrepublik Deutschland in Form vernetzter Prozesse ab. Solche Prozesse sind z. B. die Gewinnung oder der Import von Primärenergie, die Umwandlung in Sekundärenergie (z. B. Stromerzeugung) und deren Verteilung sowie schließlich die Nutzung beim Endverbraucher für die Nachfrage nach Energiedienstleistungen (z. B. Transport von Gütern und Personen, Industrieproduktion). Dabei werden die Vielzahl der Optionen für verschiedene Techniken, die zugehörigen spezifischen Emissionen, die individuellen Kosten sowie die möglichen Vernetzungen der Energieflüsse erfaßt. Neben ökonomischen und technischen Daten werden relevante energiepolitische Rahmenbedingungen (z. B. Umfang der inländischen Steinkohleförderung)



MODELLRELEVANTE MERKMALE FÜR ALLE TEILBEREICHE (ANZAHL: 24)	
Merkmale	Dimension
Leistungsgröße (netto)	z.B. kW, t ₀₂ /a
Leistungsgröße (brutto)	z.B. kW, t ₀₂ /a
Außerbetriebnahmezeitraum	a
Frühestmögliche Inbetriebnahme	-
Gesamtwirkungsgrad	-
Bauzeit	a
Ökonomische Lebensdauer	a
Auslastung	-
Herstell- und Bauherrenkosten	DM
Sonstige Kosten der Bauzeit	DM
Summe der fixen Kosten	DM/a
Summe der variablen Kosten	DM/a
Außerbetriebnahmekosten	DM
Beseitigungskosten	DM
CO ₂ -Emissionen	kg/a
CO ₂ -Emissionen	kg/a

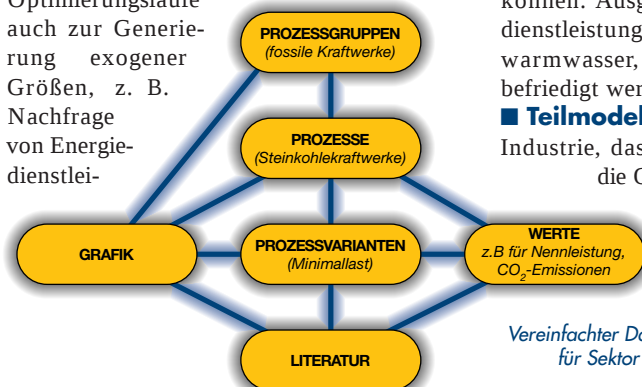
berücksichtigt. Das Energiesystem wird vom optimierenden Modell so gestaltet, daß die Nachfrage nach Energiedienstleistungen erfüllt wird. Die Nachfragen sind quasi die "treibenden Kräfte" im Modell. Mit dem mathematischen Verfahren der Linearen Programmierung wird die Befriedigung des zukünftigen Energiebedarfs im Modell in der Form ermittelt, daß die gesetzten energie- und umweltpolitischen Ziele mit volkswirtschaftlich minimierten Kosten erreicht werden. Dabei werden Art und Menge der zu verwendenden Energieträger sowie Typ und Kapazität der Energietechniken bestimmt. Außerdem ermittelt das Modell die entstehenden Gesamtkosten.

■ Eingriffsmöglichkeiten des Nutzers:

Für jedes Analysejahr wird dem Modellnutzer ein konsistenter Referenzdatensatz angeboten, der im Rahmen des IKARUS-Projektes erarbeitet wurde. Dieser beinhaltet z. B. die Datenbeschreibungen von ca. 2000 Energiewandlungstechniken, die Nachfragen nach Energiedienstleistungen, die Importenergie-trägerpreise etc. Alle Daten können vom Nutzer über eine benutzerfreundliche Oberfläche geändert werden. Sämtliche Änderungen, die gegenüber dem Referenzdatensatz durchgeführt werden, werden automatisch protokolliert.

■ Makroökonomische Analyse:

Anhand des Makroökonomischen Modells (MIS) werden die Optimierungsergebnisse hinsichtlich volkswirtschaftlicher Widerspruchsfreiheit bewertet. Die Anbindung von Optimierungsmodell und MIS erfolgt nicht automatisch über einen Algorithmus, sondern über eine Handlungsanweisung, damit die Ergebnisse nachvollzogen werden können. Das MIS-Modell dient im Vorfeld der Optimierungsläufe auch zur Generierung exogener Größen, z. B. Nachfrage von Energiedienstlei-



5 Übergreifend für alle Sektoren sind 24 Merkmale modellrelevant. Die Techniken der Datenbank enthalten weitere umfangreiche Merkmale zur Beschreibung der einzelnen Techniken, hier beispielhaft angedeutet für die kostenrelevanten Daten in der Prozeßgruppe "Photovoltaik" im Sektor Primärenergie

WEITERE MERKMALE IN DEN TECHNIKDATEN, z.B. kostenrelevante Daten für die Prozeßgruppe „Photovoltaik“	
Merkmale	Dimension
Investitionen für Planung	DM
Investitionen für Infrastruktur	DM
Investitionen für Montage	DM
Investitionen für Verkabelung	DM
Sonstige Investitionsausgaben	DM
Investitionen bezogen auf die Leistung	DM/kW
Versicherung während der Bauzeit	DM
Steuern während der Bauzeit	DM
Einmaliger Zuschuß	DM
Investitionen für Module	DM

stungen. Es kann auch unabhängig vom Optimierungsmodell als eigenständiges Analyseinstrument eingesetzt werden.

Teilmodelle

Zur detaillierten Analyse sektor- oder auch einzeltechnikbezogener Fragestellungen, für die das Optimierungsmodell nur bedingt geeignet ist, sind verschiedene Simulationsmodelle fertiggestellt bzw. befinden sich in der Entwicklung.

■ **Technik-Kettenmodell:** Ziel der Technik-Kettenanalyse ist es, konkurrierende Techniken mit gleicher Versorgungsaufgabe unter Berücksichtigung der jeweils vor- oder nachgelagerten Techniken zu vergleichen (z. B. der Vergleich Kraft-Wärme-Kopplung mit der Einzelproduktion von Strom und Wärme für die Versorgung von Haushalten). Für die aufgebauten Technikketten können Energie-, Emissions- und Kostenbilanzen auf der Basis der Modelldaten berechnet werden.

■ **Teilmodell Raumwärme:** Am Gesamtsystem Gebäude können mit Hilfe dieses Modells Emissionsminderungsmöglichkeiten und damit einhergehende Kosten durch Einzelmaßnahmen oder Maßnahmenpakete ausgelotet werden. Die Untersuchungen beziehen sich sowohl auf Einzelgebäude als auch auf Gebäudeensembles, die sowohl einzelnen Regionen als auch der Bundesrepublik Deutschland gesamt zugeordnet werden können. Ausgangspunkt sind die Energiedienstleistungen Raumwärme und Brauchwarmwasser, die einzeln oder gekoppelt befriedigt werden können.

■ **Teilmodell Industrie:** Das Teilmodell Industrie, das als einziges unmittelbar auf die Oracle-Datenbank aufsetzt, verknüpft die Nachfrage nach industriellen Gütern mit den zu ihrer Herstellung

verfügbaren Verfahren, Anlagen, Techniken etc. und aggregiert dabei die in der Datenbank abgelegten Energienachfragen, die daraus resultierenden Emissionen sowie zusätzliche Kosten für Energiesparinvestitionen. So können z.B. die Auswirkungen verbesserter Industrieöfen und Trockner auf den Energiebedarf der betroffenen Branchen und der Industrie insgesamt analysiert werden.

■ **Teilmodell Verkehr:** Detaillierte Analysen der Zusammenhänge im Verkehrssektor ermöglicht dieses Modell. Ausgehend von den vorgegebenen Verkehrsleistungen (z. B. Personenkilometer, Tonnenkilometer) werden für die Analysejahre und Regionen Fahrleistungen, Energieverbräuche, Emissionen und Kosten bilanziert. Die Verkehrsleistungen sind wiederum nach Verkehrsarten (z.B. Personennahverkehr) unterteilt und lassen sich auch für unterschiedliche Fahrzwecke (z. B. Ausbildung, Beruf) angeben. Zur Umsetzung von Verkehrsleistungen auf Fahrleistungen kommen Verkehrstechniken (z.B. PKW) und deren Charakteristika (z.B. Personenbesetzungszahl) zum Einsatz. Die Verkehrstechniken setzen sich aus den Beständen sowie zukünftigen Techniken zusammen. Alle Parameter sind veränderbar, so daß eigene Szenarien definiert und deren energie-, emissions- und kostenseitige Auswirkungen analysiert werden können.

Ferner ist vorgesehen, ein Teilmodell Strom/Fernwärme zu erstellen.

7 Die IKARUS-Projektpartner. Daneben waren viele weitere Institute als Unterauftragnehmer beteiligt

PROJEKTPARTNER

■ **Auftraggeber:** Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF), Referat 411, 53170 Bonn

■ **Auftragnehmer + Koordination:** Forschungszentrum Jülich, Programmgruppe Technologie-Folgenforschung (TFF), 52425 Jülich

■ **Modelle** (ausschließlich Industriemodell): Forschungszentrum Jülich, Programmgruppe Systemforschung und Technologische Entwicklung (STE), 52425 Jülich (Makroökonomisches Modell: Arbeitsgemeinschaft Energie- und Systemplanung (AGEP), Universität Oldenburg, 26127 Oldenburg)

■ **Datenbank-Entwicklung:** Fachinformationszentrum Karlsruhe GmbH, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen

■ **Daten Primärenergie:** Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), 14195 Berlin

■ **Daten Umwandlungssektor:** Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER), Universität Stuttgart, 70569 Stuttgart

■ **Daten Haushalte:** Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Kraftwerkstechnik (IfE), TU München, 80333 München

■ **Daten Kleinverbraucher:** Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Kraftwerkstechnik (IfE), TU München, 80333 München; Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (FhG-ISI), 76139 Karlsruhe; Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE), 80995 München

■ **Daten Industrie** (und Industriemodell): Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (FhG-ISI), 76139 Karlsruhe

■ **Daten Verkehr:** TÜV Rheinland, Abt. Sicherheit und Umweltschutz, 51105 Köln

■ **Daten Querschnittstechniken:** Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE), 80995 München

■ **Verifikation von Emissionsdeklarationen:** Forschungszentrum Jülich, Programmgruppe Technologie-Folgenforschung (TFF), 52425 Jülich

Vereinfachter Datenbankaufbau für Sektor „Umwandlung“

Anwendungsbeispiele

Die Komponenten des IKARUS-Instrumentariums sind in verschiedenen Anwendungsfeldern einsetzbar. Eine benutzerfreundliche Bedienungsoberfläche sowie flexible Ausgabeformate und Weiterverarbeitungsmöglichkeiten zielen auf eine möglichst breite Nutzung in Fachkreisen.

Je nach Fragestellung kann der Nutzer zwischen unterschiedlichen Komponenten des IKARUS-Instrumentariums wählen. Alle Komponenten setzen auf einer umfangreichen Datenbasis auf (Referenzbelegung), die aber vom Nutzer z. T. ergänzt oder verändert werden kann. Die Flexibilität des Instrumentariums erhöht sich weiter, wenn vom Nutzer eigene Datensätze, z. B. regionale Daten, erhoben werden. So wird das Optimierungsmodell z. B. bereits vom österreichischen Umweltbundesamt eingesetzt oder es wurde das Teilmodell Raumwärme im Rahmen einer Diplomarbeit auf die konkrete Situation der Stadt Bonn angewendet. Drei Beispiele sollen die Nutzungsmöglichkeiten auf gesamtenenergiewirtschaftlichem, sektorspezifischem und einzeltechnikorientiertem Niveau veranschaulichen. Die Ergebnisse sind dabei immer im Kontext der getroffenen Annahmen zu interpretieren, die an dieser Stelle nicht inhaltlich diskutiert werden können.

Beispiel Optimierungsmodell

Die Bundesregierung hat sich das Ziel gesetzt, die nationalen energiebedingten CO₂-Emissionen bis zum Jahre 2005 um 25% zu reduzieren, bezogen auf das Emissionsvolumen von 1990. Mit dem Modell lassen sich z. B. die kostengünstigsten CO₂-Minderungsmaßnahmen ermitteln sowie die Auswirkungen unterschiedlicher Ausgangsvariablen auf den kostenoptimalen Technik-Mix aufzeigen.

■ **Rahmendaten:** Die Importenergeträgerpreise sowie die Nachfrage nach Energiedienstleistungen bzw. Nutzenergie sind dem Modell exogen vorzugeben. Im folgenden Beispiel wurden diese Größen unter Einbezug der in den letzten Jahren für das Jahr 2005 veröffentlichten Prognosen und Szenarien abgeleitet, die teilweise erhebliche Bandbreiten insbesondere im Verkehrs- und Raumwärmesektor aufwiesen. Vor diesem Hintergrund wurden für die alten und neuen Bundesländer (ABL, NBL) jeweils zwei Szenarien definiert, von denen das eine in den genannten Sektoren durch eine moderate Entwicklung und damit niedrige Nachfragewerte (Szenario N) charakterisiert ist, das andere dagegen durch hohe Nachfragewerte (Szenario H) ⁸. Neben den Nachfrage-

größen spielen auch die energiepolitischen Rahmenbedingungen eine Rolle, die dem Modell in Form von Restriktionen oder Begrenzungen mitgeteilt werden, z. B. Erdgasimporte ⁹.

■ **Referenzszenarien, Reduktions-szenarien:** Die Referenzszenarien für die alten und neuen Bundesländer werden ohne CO₂-Minderungsvorgabe für das Jahr 2005 berechnet. Sie sind als energiepolitische "No-Regret"-Entwicklungen zu interpretieren, die jedoch einige der seit 1990 umgesetzten Minderungsmaßnahmen enthalten (z. B. Wärmeschutz-, Heizungsanlagenverordnung). Bei den entsprechenden Reduktionsszenarien ist dagegen eine CO₂-Reduzierung von 25% vorgegeben.

■ **Ergebnisse:** Sowohl in dem Referenzszenario N als auch in H sinken die Emissionen in den alten sowie neuen Bundesländern, das Minderungsziel wird jedoch nicht eingehalten. Bei sektorspezifischer Betrachtung für die gesamte Bundesrepublik lässt sich für beide Szenarien folgender Trend ablesen: In den Sektoren Kleinverbraucher, Haushalte, Industrie und Umwandlung sinken bzw. stagnieren die CO₂-Emissionen gegenüber 1990, im Verkehrssektor steigen sie dagegen stark an ¹⁰. Bei den Reduktionsszenarien bewirkt die CO₂-Minderungsvorgabe eine Reduzierung des Primärenergieverbrauchs sowie eine Verschiebung der Energieträgerzusammensetzung. Die Mehrkosten, die für die CO₂-Minderung aufgewendet werden müssen, werden als Differenz zwischen Systemkosten des Reduktionsfalles und des Referenzfalles ermittelt. In Szenario N betragen die jährlichen Mehrkosten ca. 5,6 Mrd. DM/a, in Szenario H, in dem die absolute CO₂-Minderung um ca. 43 Mio. t höher liegt, betragen die Mehrkosten ca. 15 Mrd. DM/a und sind somit fast dreimal so hoch ¹¹. Die Modellergebnisse sind benutzerfreundlich nach unterschiedlichen Kriterien, z. B. auch sektorspezifisch darstellbar ¹².

Weitere typische Fragestellungen

Wo können in der Energieversorgung, -umwandlung und -nutzung mit dem geringsten Kostenaufwand Emissionen eingespart werden? Wie steigen in Abhängigkeit von der Höhe des Reduktionsziels und der zur Wahl stehenden Alternativen die Kosten der Emissionsminderung?

Beispiel Raumwärmemodell

Die Wirkung von Wärmedämmniveaus bei Neubauten soll gegenüber CO₂-senkenden Maßnahmen an Altbauten der alten Bundesländer bis zum Jahr 2020 verglichen werden. Für Neubauten wird ab 1996 die Wärmeschutzverordnung (WschVO95) und ab 2000 die Energiesparverordnung (ESV), die dem Niedrigenergiehaus-Standard entspricht, zugrunde gelegt. Der hohe Altbaubestand (errichtet vor 1990) dominiert bis 2020 das Gesamtverhalten ¹³. Deutliche Reduktionen der Endenergiemengen und CO₂-Emissionen sind daher vorwiegend durch Maßnahmen im Altbaubestand zu erreichen (Heizungsaustausch, Niedrigenergiehaus-Standard) ¹⁴.

Weitere typische Fragestellungen

Wie groß ist der derzeitige Endenergieverbrauch für die Raumwärmeerzeugung nach Energieträgern und welche Emissionen sind damit verbunden? Welchen Beitrag können einzelne Maßnahmen oder Maßnahmenbündel in verschiedenen Typgebäuden zur Emissionsminderung leisten?

Beispiel Datenbank

In der Datenbank enthält der Teilbereich Querschnittstechniken Daten zu 14 Technikgruppen der Energieanwendung und -umwandlung (Ventilatoren, Pumpen, Solarthermie etc.). Die Daten liegen in Form von Einzelwerten, Mittelwerten und Kennlinien vor und sind, soweit nötig, mit Bereichsangaben und Kommentaren versehen. Für ein Großraumbüro (100 m² Grundfläche) mit vielen Bildschirmarbeitsplätzen soll z. B. eine geeignete Beleuchtungsanlage ausgewählt und dimensioniert werden. Aus 11 verschiedenen Lampenarten, 19 Lampenausführungen, 4 Lichtstärkeverteilungskurven etc. sind 202 Kombinationen technisch sinnvoll. Unterschiedliche Anforderungen an die Beleuchtungsstärke werden durch die Definition von 7 Typräumen als Varianten berücksichtigt ¹⁵. Für den Technikvergleich werden tiefstrahlende Raster-, Spiegel raster- und Spiegelreflektorleuchten mit elektronischem (EVG) und konventionellem Vorschaltgerät (KVG) ausgewählt und für den Typ "Großraum" unter Leistungs- und Kostenaspekten untersucht. Ergebnis: Spiegelreflektorleuchten wären die kostengünstigste und auch effizienteste Lösung, wegen besserer Blendfreiheit wurden aber die teureren Spiegel rasterleuchten ausgewählt ¹⁶ ¹⁷.

Weitere typische Fragestellungen

Wie sind die wärmetechnischen Kennwerte eines Typgebäudes (z. B. Reihenmittelhaus)? Vergleiche z. B. unterschiedlicher Antriebskonzepte (Motoren und Umrichter) hinsichtlich Kosten und Energieverbrauch sowie der Amortisationsdauer einzelner Varianten.

	1989 ABL (absolut)	2005 ABL Anstieg in %		1989 NBL (absolut)	2005 NBL Anstieg in %	
		N	H		N	H
Raumwärme (10 ⁶ m ²) (beheizte Fläche)	2198	18	29	419	15	15
Verkehr (Mrd. Pkm)	690	23	34	141	48	73
(Mrd. tkm)	281	48	69	75	10	84
Industrie (Mrd. DM)	592	35	35	70	140	140
(Nettoproduktionswert)						
Kleinverbrauch						
Beschäftigte (Mio)	22	9	9	4.6	31	31

N = niedrige Nachfrage H = hohe Nachfrage Pkm = Personenkilometer tkm = Tonnenkilometer

OPTIMIERUNGSMODELL

- 8 Entwicklung der wichtigsten Nachfragegrößen in den alten und neuen Bundesländern (ABL bzw. NBL) bis zum Jahre 2005. Die Nachfragen nach Energiedienstleistungen sind für die Endverbrauchssektoren mittels unterschiedlicher Indikatoren vorgegeben
- 9 Auswahl wichtiger energiepolitischer Begrenzungen für das gewählte Analysebeispiel
- 10 CO₂-Emissionen im Referenz- und Reduktionsszenario nach Sektoren für die Bundesrepublik Deutschland
- 11 Jährliche Mehrkosten in den Reduktionsszenarien
- 12 Verschiedene Möglichkeiten der Ergebnisdarstellung

	ABL	NBL
Steinkohle Gewinnung (PJ)	> 1100	-----
Steinkohle Verstromung (PJ)	> 500	-----
Steinkohle Importe (PJ)	< 800	< 270
Braunkohle Gewinnung (PJ)	< 970	> 640 und < 830
Braunkohle Verstromung (PJ)	> 750	> 550
Erdgas Importe (PJ)	< 2600	< 510
Kernenergie (GW)	= 21.1	-----
Windkraft (GW)	> 2.7 und < 3.2	> 0.17 und < 1
Feste Biomasse (PJ)	< 161	< 65
Müllverwertung (PJ)	< 140	< 30

Wählen Sie die Art der Ergebnisdarstellung

Energiebilanzen nach Schema der "Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen"

☒ Detaillierte Energiebilanz
☐ Aggregierte Energiebilanz

Modellbasierte Energie-, Emissions- und Kostenbilanzen

☐ Interaktive Energiesysteme
☐ Vergleich Energie, Emissionen, Kosten

Aktivität und Dualaktivität für Platzhalter

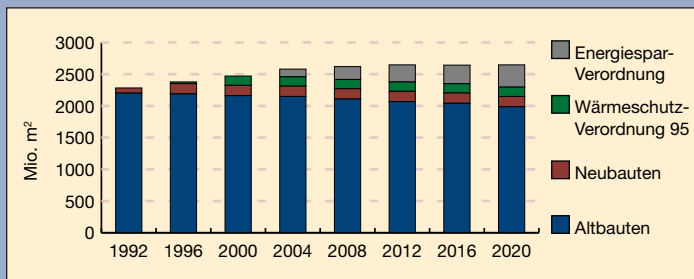
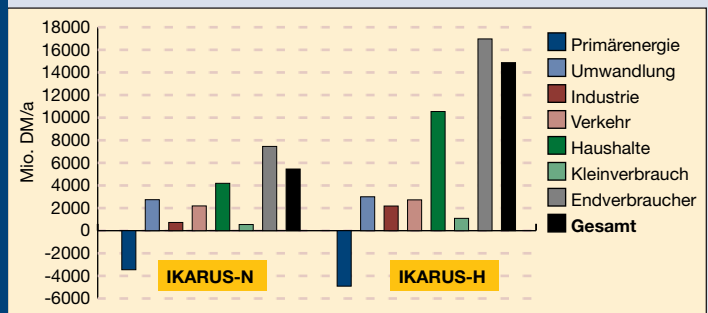
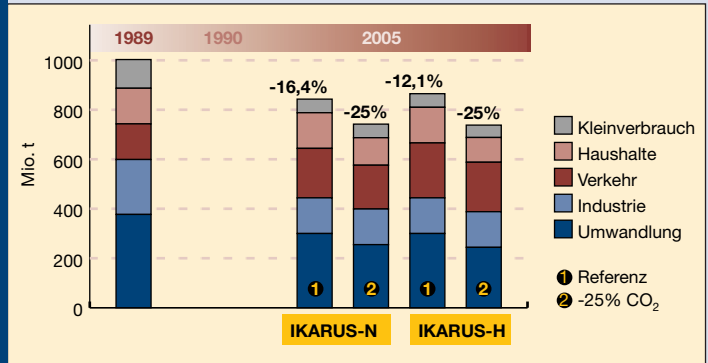
☐ Aktivität und Dualaktivität für Techniken
☐ Aktivität für Ströme
☐ Dualaktivität für Ströme

Aktivitäten und Dualaktivitäten für Logistik

☐ Aktivität für Variable
☐ Dualaktivität für Ströme

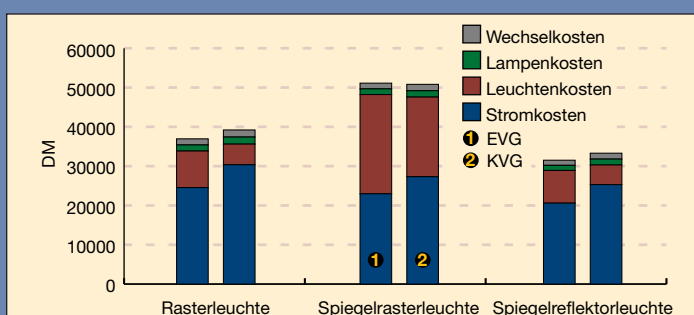
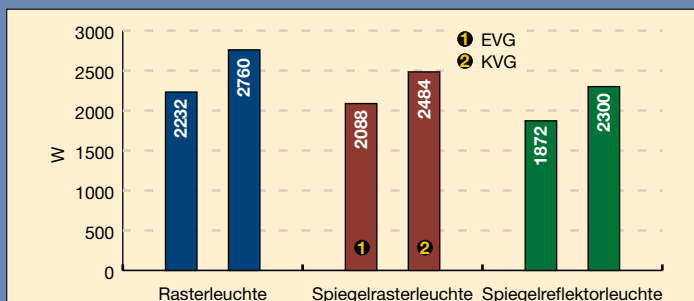
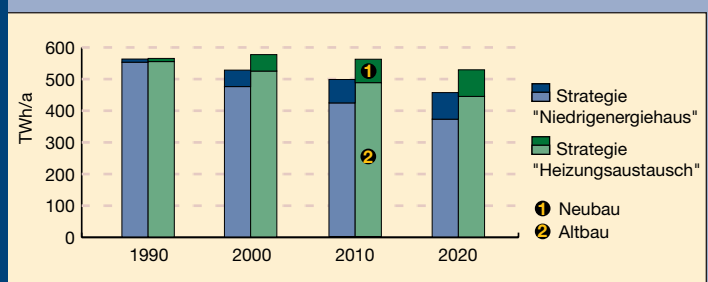
☐ Sektorspezifische Darstellungen

OK Abbrechen Hilfe



MODELL RAUMWÄRME

- 13 Entwicklung der Wohnflächen bis 2020
- 14 Senkung des Endenergiebedarfes im Altbaubestand durch verschiedene Maßnahmen (Heizungsaustausch, Niedrigenergiehaus-Standard)



Selektor: Lichttechnik

Gruppen Spezifikation:

Leuchte
Vorschaltgerät
Farbwiedergabestufe
Lichtstärkeverteilungskurve
Technikstand (Baujahr)

Einzel Spezifikation:

freistrahlend ☐
breitstrahlend ☒
tiefstrahlend ☐
gebündelt tiefstrahlend ☐
keine besondere Lichtstärkeverteilung ☒

Anzeigen Zurück

DATENBANK

- 15 Übersicht der unter suchten Leuchten-systeme
- 16 Beleuchtungsanlagen eines Großraumbüros (100 m² Grundfläche)
- 17 Investitionskosten bei der Beleuchtung eines Großraumbüros (100 m² Grundfläche) über einen Zeitraum von 20 Jahren

Nutzungshinweise

Die ersten Komponenten des IKARUS-Instrumentariums liegen vor. Der breite Einsatz von IKARUS kann dazu beitragen, der Klimaschutzdiskussion durch sachliche, auf breiter Basis akzeptierte Ergebnisse neue Impulse zu geben.

Das besondere an IKARUS ist die umfangreiche Datenbasis, der modulare Systemaufbau, die komfortablen Bedienungsoberflächen und flexiblen Ausgabeformate sowie die Lauffähigkeit der Komponenten auf PC. Trotz der nutzerfreundlichen Bedienung der einzelnen Komponenten ist insbesondere für die Nutzung der Modelle ein energiewirtschaftlicher Erfahrungshintergrund erforderlich. Die Datenbank dagegen kann allgemein als breit angelegtes Informationskompendium genutzt werden. Auf die weitere Ausgestaltung des Instrumentariums

werden die Nutzungserfahrungen nicht ohne Einfluß bleiben; vielfältige Resonanz ist daher von den Entwicklern ausdrücklich erwünscht. Derzeit (Ende 1997) liegen die zentralen Komponenten auf zwei CD ROM vor. Das Daten-Update und die Teilmodelle werden voraussichtlich 1998 angeboten werden können. Auch nach 1998 ist eine periodische Aktualisierung der Daten vorgesehen. Zu einzelnen Komponenten werden Seminare angeboten. Auch Auftragsarbeiten für Modellrechnungen sind möglich.

Hardware- und Softwarevoraussetzungen

IBM-kompatibler PC
486er Prozessor (besser Pentium)
16 MB (besser 32 MB) RAM-Speicher
jeweils 550 MB
Festplattenkapazität
Grafikkarte mit Auflösung
1024x768 Pixel
und 256 Farben
Double Speed CD-ROM-Laufwerk
DOS 5.0 oder höher
Windows 3.11 (Datenbank auch
Windows 95, Windows NT geplant)
Personal Oracle V7 für Windows
(nur für die Datenbank)

Vertrieb

Datenbank

Fachinformationszentrum Karlsruhe
Tel: 07247/808-351, Fax: 07247/808-134
eMail: kw@fiz-karlsruhe.de

Modelle, allg. Informationen

Forschungszentrum Jülich Projektsekretariat,
Tel: 02461 / 61-5461 Fax 02461 / 61-2496
eMail: m.-l.klein@fz-juelich.de

Kosten

DM 1.200,-

IKARUS Modell-CD ROM
(Optimierungsmodell, MIS-Modell,
Kettenmodell) inkl. enthaltener
kommerzieller Software

DM 850,-

IKARUS Datenbank-CD ROM
Datenupdate in 1998 kostenfrei

Projektorganisation

Förderung der Vorhaben

Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft,
Forschung und Technologie (BMBF)
Heinemannstraße 2
53175 Bonn

Projektbegleitung im Auftrag des BMBF

Projekträger Biologie, Energie, Ökologie (BEO)
Forschungszentrum Jülich GmbH
52425 Jülich

Projektnehmer

Forschungszentrum Jülich GmbH, 52425 Jülich
Koordination: Programmgruppe Technologie-
Folgenforschung

Förderkennzeichen

ET9188A, ET9188B

Impressum

Herausgeber

Fachinformationszentrum Karlsruhe,
Gesellschaft für wissenschaftlich-technische
Information mbH,
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Redaktion

Dr. Susanne Hinz, Dipl.-Ing. Johannes Lang,
Informationsdienst BINE

Fachliche Beratung

Dr. Peter Markewitz, Programmgruppe System-
forschung und Technologische Entwicklung im
Forschungszentrum Jülich;
Dr. Karl-Heinz Weber, Fachinformationszentrum
Karlsruhe GmbH

Nachdruck

Nur zulässig mit vollständiger Quellenangabe
und gegen Zusendung eines Belegexemplares.
Nachdruck der Abbildungen nur mit
Zustimmung des jeweils Berechtigten.

Kontakt

Weitere Informationen zu diesem Thema
erhalten Sie bei dem Informationsdienst BINE.
Wenden Sie sich an die untenstehende
Adresse, wenn Sie vertiefende Informationen,
spezielle Auskünfte, Adressen etc. benötigen,
oder wenn Sie allgemeine Informationen zum
energie- und umweltgerechten Planen und
Bauen wünschen.

Literaturverzeichnis

- Hoffmann, H.-J.; Katscher, W.; Stein, G.: Energiestrategien für den Klimaschutz in Deutschland. Das IKARUS-Projekt des BMBF. Zusammenfassender Endbericht. Hrsg. v. Forschungszentrum Jülich GmbH, Programmgruppe Technologie-Folgenforschung. April 1997. ISSN: 0946-0012. [Neufassung geplant]
- Hake, J.; Markewitz, P. (Hrsg.): Modellinstrumente für CO₂-Minderungsstrategien. IKARUS-Workshop am 14. und 15. April 1997 im Wissenschaftszentrum Bonn. Jülich, 1997. ISBN 3-89336-207-X.
- Im Rahmen von IKARUS sind über 80 Monographien und Studien zu den Teilprojekten und spezifischen Problemstellungen erschienen. Bestellung: Forschungszentrum Jülich, Zentralbibliothek, 52425 Jülich, Tel.: (02461) 61-5368, Fax: -6103.



BINE

Informationsdienst

Mechenstraße 57, 53129 Bonn
Tel. 0228 / 23 20 86
Fax 0228 / 23 20 89
eMail bine@fiz-karlsruhe.de