

Weiterentwicklung der EnEV zur Umsetzung der neuen EG-Richtlinie

Grundlagen zur Inspektion von Klimaanlage

Teil 1: Abschätzung des CO₂-Reduktionspotenzials bestehender RLT-Anlagen

Endbericht

Forschungsprogramm

Ressortforschung Bauwesen

Projektlaufzeit

September 2004 bis Juli 2005

Aktenzeichen

Z6-10.06.03.-04.123

im Auftrag

des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)

sowie

des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (BBR)

bearbeitet von

Dipl.-Ing. Heiko Schiller

schiller engineering, Hamburg

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzzusammenfassung	3
2	Ziel und Umfang der Untersuchung.....	4
3	Energieverbrauch von RLT-Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland	6
3.1	Auswertung von Literaturquellen zum Bestand raumluftechnischer Anlagen	6
3.2	Abschätzung der RLT-konditionierten Gebäudeflächen	8
3.3	Abschätzung des Energieverbrauchs der RLT-konditionierten Flächen	17
4	Energie-Einsparpotenzial durch regelmäßige Inspektionen von Klimaanlage	24
4.1	Impulse für Energieeinsparungen	24
4.2	Energieeinsparung durch Sanierungen	25
4.3	Energieeinsparung durch Betriebsoptimierung.....	26
4.4	Prognostizierte Reduktion der CO ₂ -Emissionen	26
5	Literaturverzeichnis	28

1 Kurzzusammenfassung

Die Datenbasis für die Schätzung des RLT-konditionierten Flächenbestandes in Deutschland sowie dessen Struktur ist außerordentlich gering. In der vorliegenden Studie wurden die verfügbaren Tertiärquellen ausgewertet und – soweit möglich – auf Plausibilität geprüft.

Basis der Bestandsermittlung bildet eine Studie des Fraunhofer Instituts für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI) aus dem Jahr 1982. Deren Ergebnis wurde aufgrund eigener Einschätzungen auf den unteren Grenzwert des Vertrauensbereiches korrigiert. Die darauf aufbauenden Extrapolationen orientieren sich an den Statistiken zu den Baufertigstellungen in der Bundesrepublik Deutschland. Betrachtet wurde lediglich die RLT-konditionierte Nutzfläche im Sektor Verwaltung, Handel, Dienstleistungen. Der Ausstattungsgrad wurde zeitabhängig veränderlich geschätzt. Eine Ausklammerung der Anlagen unterhalb der Bagatellgrenze von 12 kW war aufgrund des Datenmaterials nicht möglich.

Die Ansätze ergaben für das Jahr 2002 eine RLT-konditionierte Fläche von 279 Mio. m², was einem mittleren Ausstattungsgrad von 37,5 % der Baufertigstellungen aus den Jahren 1960 – 2002 im interessierenden Sektor entspricht.

Für die Abschätzung des Energieverbrauches wurde als Startwert der mittlere Energieverbrauch von 200 kWh/(m² a) aus der ISI-Studie verwendet. In weiteren Schätzungen wurden Annahmen zur Effizienzsteigerung aufgrund des technischen Fortschritts sowie ein Szenario zur bereits eingesetzten Sanierungstätigkeit berücksichtigt. Daraus folgte ein mittlerer spezifischer Verbrauchswert von 175 kWh/(m² a) für den Gesamtbestand.

Somit ergibt die Abschätzung des Energieverbrauchs von RLT-Anlagen für das Jahr 2002 einen Gesamtbetrag von ca. 46 TWh, der sich aus einem Anteil Wärme von 72 % und Strom von 28 % zusammensetzt. Der Energiebedarf für Raumheizung ist in diesem Wert nicht enthalten. Die Unsicherheit aufgrund der zahlreichen Schätzungen ist hoch und konnte nicht genauer eingegrenzt werden. Es wurde daher der Unsicherheitsbereich der ISI-Studie von ca. ± 35 % übernommen, da zahlreiche Annahmen auf diesen Daten basieren. Der Bereich beträgt damit 30 ... 62 TWh.

Basierend auf diesen Daten wurde abgeschätzt, welches Einsparpotenzial aufgrund der vorgesehenen Inspektionstätigkeiten bei Klimaanlageanlagen erwartet werden kann. Dabei wurde unterschieden in

- Potenziale aufgrund von zukünftigen Anlagensanierungen und
- Potenziale aufgrund von Betriebsoptimierungen an bestehenden Anlagen.

Die größeren Potenziale werden eindeutig im Bereich der Sanierungen gesehen.

Die Summe der Abschätzungen ergab ein Reduktionspotenzial im Bereich der Kohlendioxidemissionen von

- 1,39 TWh Energie (Stromanteil ca. 25 %) bzw. 0,50 Mio. t CO₂ pro Jahr für 2006
- 4,53 TWh Energie (Stromanteil ca. 26 %) bzw. 1,62 Mio. t CO₂ pro Jahr für 2008.

2 Ziel und Umfang der Untersuchung

Durch die Umsetzung der EG-Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden [1] wird zukünftig eine Reduktion der CO₂-Emissionen erwartet, die durch derzeit bestehende raumluftechnische Anlagen (RLT-Anlagen) verursacht werden. Dieses Potenzial soll mit der vorliegenden Studie quantifiziert werden.

Nach Artikel 2 der EG-Richtlinie ist eine „Klimaanlage“ definiert als:

„Kombination sämtlicher Bauteile, die für eine Form der Luftbehandlung erforderlich sind, bei der die Temperatur, eventuell gemeinsam mit der Belüftung, der Feuchtigkeit und der Luftreinheit, geregelt wird oder gesenkt werden kann;“.

Diese Definition deckt sich mit weitgehend dem in der Bundesrepublik Deutschland üblichen Begriff „raumluftechnische Anlage“ nach DIN 1946. Das Vorhandensein der thermodynamischen Luftbehandlungsfunktion Kühlen ist demnach keine zwingende Voraussetzung dafür, dass eine RLT-Anlage unter die Definition nach Artikel 2 fällt.

In der vorliegenden Studie sollen nur RLT-Anlagen betrachtet werden, die unter die Rubrik „Komfortklimatisierung“ oder „Humanklimatisierung“ fallen. Als Kriterium gilt, dass die Anlagen in Gültigkeitsbereich von DIN 1946 [20] und prEN 13779 [21] fallen. Demnach wären *„...Prozesslufttechnische Anlagen, bei denen die geförderte Luft zur Durchführung eines technischen Prozesses innerhalb von Apparaten oder Maschinen verwendet wird, ...“* [20] nicht Gegenstand der Untersuchung sondern ausschließlich *„...Raumluftechnische Anlagen in Gebäuden (mit Ausnahme von Wohngebäuden), die für den Aufenthalt von Menschen bestimmt sind.“* [21].

Es wird davon ausgegangen, dass diese Kriterien durch Anlagen im Sektor Verwaltung, Handel, Dienstleistungen überwiegend erfüllt sind. Ausnahmen, wie Laborräume oder OP-Räume dürften statistisch nur von geringer Bedeutung sein.

Ausgeschlossen werden mussten Anlagen in industriellen Anwendungen, da

- aufgrund der ungleich höheren Vielfalt von speziellen Nutzungen der Rückschluss von den vorhandenen Flächen auf die RLT-konditionierten Flächen unmöglich erscheint
- aufgrund der vorhandenen Statistiken keinerlei Unterscheidungen zwischen prozesslufttechnischen und raumluftechnischen Anlagen möglich sind.

Für die Inspektion von Klimaanlagen nach Artikel 9 gilt als Mindestgrenze eine Nennleistung > 12 kW. Für eine Einteilung des Anlagenbestandes nach der Mindestgrenze bietet die gesamte Literatur und Datenbasis keinerlei Anhaltspunkte. Eine Unterscheidung konnte daher nicht getroffen werden.

Als Grundlage zur Bearbeitung dieser Teilaufgabe wurde zunächst eine Ermittlung des Anlagenbestandes und der Nutzungsarten bestehender raumluftechnischer Anlagen durchgeführt. Dies erfolgte durch eine ausführliche Recherche vorhandener Literaturquellen, die gegenseitig auf Plausibilität geprüft und durch eigene Schätzungen ergänzt wurden.

Die Datenbasis zum Gebäudebestand ist insgesamt sehr gering und liefert in Hinblick auf die Themen „Klimatisierung“ und „Nichtwohngebäude“ kaum Differenzierungsmerkmale. Demzufolge musste der Anteil an qualifizierten Schätzungen in der Gesamtbetrachtung hoch ausfallen. Da die vorliegende Aufgabenstellung eine Prognose des zu erwartenden Energieeinsparpotenzials zum Ziel hatte, wurden die Schätzungen eher konservativ vorgenommen. Will man Rückschlüsse z. B. auf den zu erwartenden Personalbedarf für Inspektionen vornehmen, sollte zusätzliche Schätzungen zur oberen Grenze des erwarteten Anlagenbestandes hinzugezogen werden.

Ausgehend vom Energieverbrauch des Anlagenbestandes wurde abgeschätzt, welche Energieeinsparungen in den kommenden Jahren zu erwarten sind. Diesen Abschätzungen liegt die Extrapolation von Literaturhinweisen, Expertenmeinungen sowie eigener Erfahrungen zugrunde.

3 Energieverbrauch von RLT-Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland

3.1 Auswertung von Literaturquellen zum Bestand raumluftechnischer Anlagen

Die grundlegendste Untersuchung zur Thematik Bestand und Energieverbrauch von raumluftechnischen Anlagen wurde im Jahr 1982 mit der ISI-Studie [2] vorgenommen. Spätere Untersuchungen zur gleichen Thematik nehmen in der Regel auf die Ergebnisse von [2] Bezug. Die Methodik stützte sich auf Umsatzstatistiken (Produktionsstatistiken, Verbandsstatistiken), Baubestandsstatistiken (Gebäudezählungen, Neubaustatistiken), Befragungen der marktführenden Anlagenbauer (Referenzlisten) sowie Statistiken von einzelnen Institutionen und Branchen. Für die Energieverbrauchsbestimmung wurden anerkannte Fachleute der Klimabranche hinzugezogen.

Im Rahmen des SANIREV-Projektes wurde 1997 mit [3] eine ähnliche Fragestellung bearbeitet, jedoch beschränkten sich die Betrachtungen auf Büro- und Verwaltungsgebäude. Für dieses Anwendungsgebiet wurden wahrscheinliche Verteilungen der wichtigsten Klimasysteme, sowie durchschnittliche Anlagengrößen und spezifische Energieverbrauchswerte ermittelt. Das durchschnittliche Potenzial für die Energieverbrauchsreduzierung im Sanierungsfall wurde ebenfalls abgeschätzt.

Verwandte Teilaspekte wurden auch durch FRANZKE in [11] untersucht. Dabei bestand das Ziel in der Ermittlung des Primärenergiebedarfs für die Gebäudekühlung, um Potenzialabschätzungen für die solare Klimatisierung vorzunehmen. Die Ausgangsdaten entstammen der ISI-Studie [2] sowie den Statistiken nach [4]. Verwertet wurde der Hinweis, dass im Bestand die Kälteerzeugung zu einem überwiegenden Teil aus Kompressionsprozessen mit einem durchschnittlichen COP von 3,0 erzeugt wird.

In [10] wurde der Energiebedarf für technische Erzeugung von Kälte in der Bundesrepublik Deutschland ermittelt. Die Potenzialuntersuchungen konzentrierten sich auf gewerbliche und industrielle Anwendungen, die überwiegend der Gruppe Prozesslufttechnik sowie Lagerung / Konservierung zuzuordnen sind. Für die vorliegende Aufgabenstellung sind diese Gruppen nicht relevant. Als durchschnittlicher Primärenergiefaktor wurden im Bereich Gewerbe- und Industriekühlung 3,0 genannt.

Ausgehend von Umsatzzahlen und einer Befragung von Geräteherstellern im Jahr 1997 nahm BECK [13] ebenfalls Hochrechnungen auf den Gesamtbestand und Energieverbrauch (Luftförderung und Lufterwärmung) der Bundesrepublik Deutschland vor. Eine Berücksichtigung der Bagatellgrenze und eine Unterscheidung nach Anwendungsgebieten (Industrie- / Komfortklima) konnte nicht gefunden werden.

Die Statistiken [4] des Statistischen Bundesamtes liefern u. a. jährliche Daten zu den Baufertigstellungen im Nichtwohnbereich, die im Rahmen der vorliegenden Untersuchung als Basisdaten verwendet

wurden. Die Daten lassen sich bis in das Jahr 1960 zurückverfolgen. Seit 1966 lag die Erfassungsgrenze bei 350 m³ umbautem Raumvolumen.

Mit dem umfangreichen Forschungsprojekt IKARUS wurde ein Instrumentarium erarbeitet, mit dessen Hilfe verschiedene Strategien zur Reduktion der energiebedingten Emissionen von klimarelevanten Gasen, insbesondere CO₂ formuliert, gegeneinander abgewogen und in ihren Auswirkungen überprüft werden können. Als Ergebnis von IKARUS steht mit [5] eine Datenbank als selbstständig nutzbares Informationssystem zur Verfügung. Aus dem Teilprojekt 5: „Haushalte und Kleinverbraucher“ wurden verschiedene Abschlussberichte ausgewertet. Die Systematik der Bestandsdaten unterscheidet sich sowohl von den Statistiken der Baufertigstellungen [4] als auch von der ISI-Studie [2].

In [8] wurden der Bestand und die Typologie der Nichtwohngebäude in Westdeutschland untersucht. Im Unterschied zur vorliegenden Studie war hier der Bestand vor 1960 ebenfalls Gegenstand der Untersuchung. Die Bestandsermittlung basiert auf den Ergebnissen einer Gebäudezählung von 1950, den Statistiken über die Baufertigstellungen [4] sowie den Statistiken zu Unternehmen und Arbeitsstätten. Ohne Berücksichtigung industrieller und landwirtschaftlicher Nutzungen wird der Bestand beheizter Nichtwohngebäude auf 910 Mio. m² (Stand 1993) Nutzfläche geschätzt.

Basierend auf der Typologie und Bestandsschätzung des Gebäudebestandes im Nichtwohnbereich, erfolgte in [6] u. a. eine Aufteilung des Heizwärmebedarfs auf die Gebäudetypen und Baualtersklassen. Eine Berücksichtigung des durch raumluftechnische Anlagen verursachten Energiebedarfs erfolgte nicht. So wurde generell ein mittlerer Raumlftwechsel von 0,6 1/h unterstellt.

In [7] erfolgte 1991 eine Aufteilung des Energieverbrauches auf die Verbrauchergruppen des Sektors Kleinverbraucher. Für die Separierung der Verbrauchsdaten im Bereich Raumlfttechnik sind die Aussagen erwartungsgemäß nicht differenziert genug, da eine getrennte Verbrauchserfassung innerhalb der Gebäude allgemein nicht üblich ist.

Der Bestand der vor 1990 in den neuen Bundesländern errichteten Gebäude wurde in [9] analysiert und für den Heizenergieverbrauch detailliert klassifiziert. Eine Trennung für reine Gebäudeheizung und Heizwärmeverbrauch im Zusammenhang mit Klimatisierung bzw. Raumlfttechnik konnte nicht vorgenommen werden. Allerdings räumen die Autoren ein, dass der Anteil wegen der begrenzten Anlagenbereitstellung von untergeordneter Rolle sein dürfte.

Eine vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie 1999 in Auftrag gegebene Studie [14] analysiert den Endenergieverbrauch und deren zukünftige Entwicklung im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher. Es finden sich Hinweise zum Anteil der Nutzungen „Kühlung“ und „Lüftung“ am Gesamtstromverbrauch mit Stand 1995.

In [12] wurde von ODIN der Sanierungsmarkt für die gebäudetechnischen Unternehmen in Deutschland untersucht. Interessant ist der Verweis auf Statistiken des Zentralverbandes Deutsches Baugewerbe, denen Hinweise zum Anteil voll- und teilklimatisierter Flächen entnommen wurden.

Eine Veröffentlichung von GUNTERMANN [20] gibt die zwischen 1960 und 1980 errichteten RLT-konditionierten Flächen mit 26 Mio. m² unkommentiert an und liefert eine eigene, geschätzte Aufteilung bezüglich der Klimasysteme.

Über die Umsätze bei Einzel-Raumklimageräten existieren nationale und europäische Umsatzstatistiken. Da von diesen Anlagen eine vermutlich überwiegende Anzahl unter die Bagatellgrenze fallen, dürfte, wurden diese Quellen nicht einbezogen.

Der EECCAC-Studie [23] aus dem Jahr 2003 wurde eine Abschätzung der gekühlten Flächen aller EU-Mitgliedsstaaten auf Basis von Hersteller-Marktdaten vorgenommen. Diese Bestandsschätzungen bildeten dann die Grundlage von Hochrechnungen auf den Energiebedarf für Kühlung.

3.2 Abschätzung der RLT-konditionierten Gebäudeflächen

Ziel und Aufgabenstellung der Studie des Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung ISI [2] für das Jahr 1981 decken sich weitgehend mit der vorliegenden Aufgabenstellung. Die Qualität des Datenmaterials hat sich seit 1981 kaum verbessert. Grundlage der ISI-Studie waren die statistischen Veröffentlichungen der Bautätigkeit, Befragungen von Unternehmen des Anlagenbaus (Referenzlisten), nichtöffentliche Statistiken und Statistiken zum Absatz der beteiligten Industrieunternehmen. Obwohl die Unschärfe nach Meinung der Autoren [2] hoch ist, existieren derzeit keine genaueren Untersuchungsergebnisse. Ausschlaggebend ist weiterhin, dass gerade der erfasste Zeitraum vor 1980 für die erwarteten Effekte der Klimaanlageinspektion von besonderer Bedeutung ist. Die Daten aus [2] sollten daher eine Grundlage für weitere Extrapolationen auf das Jahr 2004 bilden.

Die ISI-Studie [2] bestimmt die RLT-konditionierte Fläche im Jahr 1981 mit dem wahrscheinlichen Wert von 230 Mio. m². Als Grenzwerte für den Unsicherheitsbereich wird 140 – 300 Mio. m² genannt. Die Qualität der Bestimmung wird von den Autoren als „erste grobe Abschätzung“ bezeichnet. Die Flächenbestimmung basiert auf:

- der Auswertung von Zählungen RLT-konditionierter Gebäude
- der Abschätzung von mittleren Gebäudegrößen
- der Schätzung des RLT-konditionierten Bauwerksvolumenanteils innerhalb der Gebäude
- der Ermittlung der RLT-konditionierten Flächen über die mittlere Raumhöhe des RLT-konditionierten Volumens.

Eine Unterscheidung nach „Lüftungsanlagen“ und „Klimaanlagen“ war aufgrund der Datenbasis in [2] (Referenznennungen von Anlagenbauern) nicht möglich. Von den 4.215 ausgewerteten Referenz-

nennungen waren ca. 25 % explizit als „Klimaanlagen“ ausgewiesen. Die übrigen 75 % ließen sich nicht zuordnen.

Die Auswertung für Klimaanlagen lässt auf Basis der installierten Zuluftleistungen Abschätzungen zur Anwenderstruktur der Anlagen zu. Demnach entfallen ca. 80 % der Zuluftvolumenströme auf den Sektor Verwaltung, Handel, Dienstleistungen und ca. 20 % auf den Sektor Industrie. Gegenstand der weiteren Betrachtungen soll der Sektor Verwaltung, Handel, Dienstleistungen sein.

	Zuluftvolumenstrom	Anzahl Klimaanlagen explizit	Anzahl RLT-Anlagen gesamt
Verwaltung, Handel Dienstleistungen gesamt	80%	83%	73%
Verwaltung, EDV	37%	48%	37%
Kauf- und Versandhäuser	13%	4%	5%
Hotels, Restaurants	1%	2%	6%
Schulen, Universitäten	9%	12%	10%
Öffentliche Einrichtungen, nicht zuordbar	5%	6%	6%
Krankenhäuser	11%	8%	8%
Laboratorien	1%	2%	
Sonstige	2%	1%	1%

Tabelle 3-1: Ergebnisse der ISI-Studie [2] zur Zuordnung von RLT-Anlagen

Eine Umrechnung der Zuordnungsstruktur nach Tabelle 3-1 zu einer flächenbezogene Aufteilung ergibt sich aus dem Datenmaterial nicht.

Der Vergleich der Zuordnungen nach Anlagenanzahl und Zuluftvolumenstrom ergibt nur geringe Unterschiede.

Die flächenbezogenen Zuluftvolumenströme dürften in der Zeit vor 1981 über alle Zuordnungen hinweg erheblichen Schwankungen aufgrund der Anlagensysteme (z. B. der Vergleich von Nur-Luft-Systemen und Wasser-Luft-Systeme) unterlegen haben. Da innerhalb des betrachteten Sektors Verwaltung, Handel, Dienstleistungen spezielle Anforderungen wie in Laboratorien oder in Teilbereichen von Krankenhäusern statistisch eine untergeordnete Rolle spielten, wird zunächst geprüft, ob die Zuordnungsstruktur aus Tabelle 3-1 auch auf die RLT-konditionierten Flächen übertragen werden kann.

Laut SANIREV-Studie [3] setzte in der Bundesrepublik Deutschland ab ca. 1955 die Beachtung der Komfortklimatisierung ein. Für Büro- und Verwaltungsgebäude wird das Jahr 1960 genannt, was mit Veränderungen in der Bauweise begründet wird. Die in [2] ausgewerteten Referenzlisten umfassen in der Regel einen Zeitraum ab Mitte der 60er Jahre (eine Ausnahme: ab 1945).

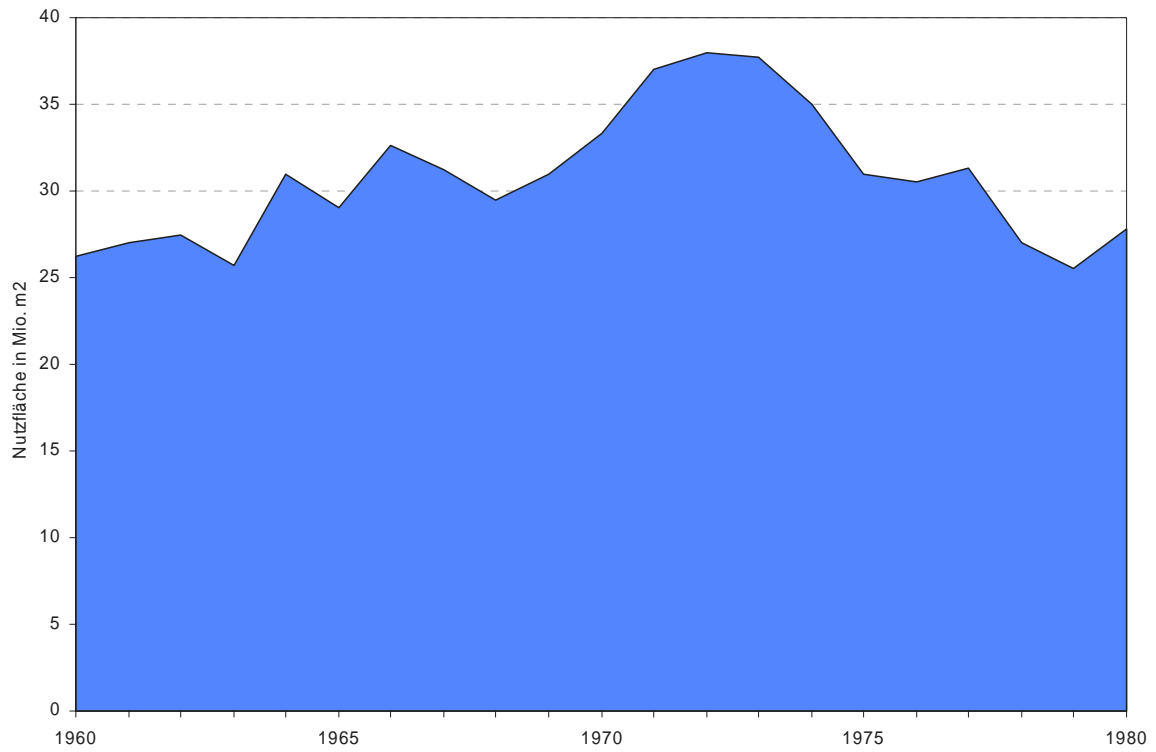


Bild 3-1: Baufertigstellungen Nichtwohnbereich 1960 – 1980 nach SANIREV-Studie [3]

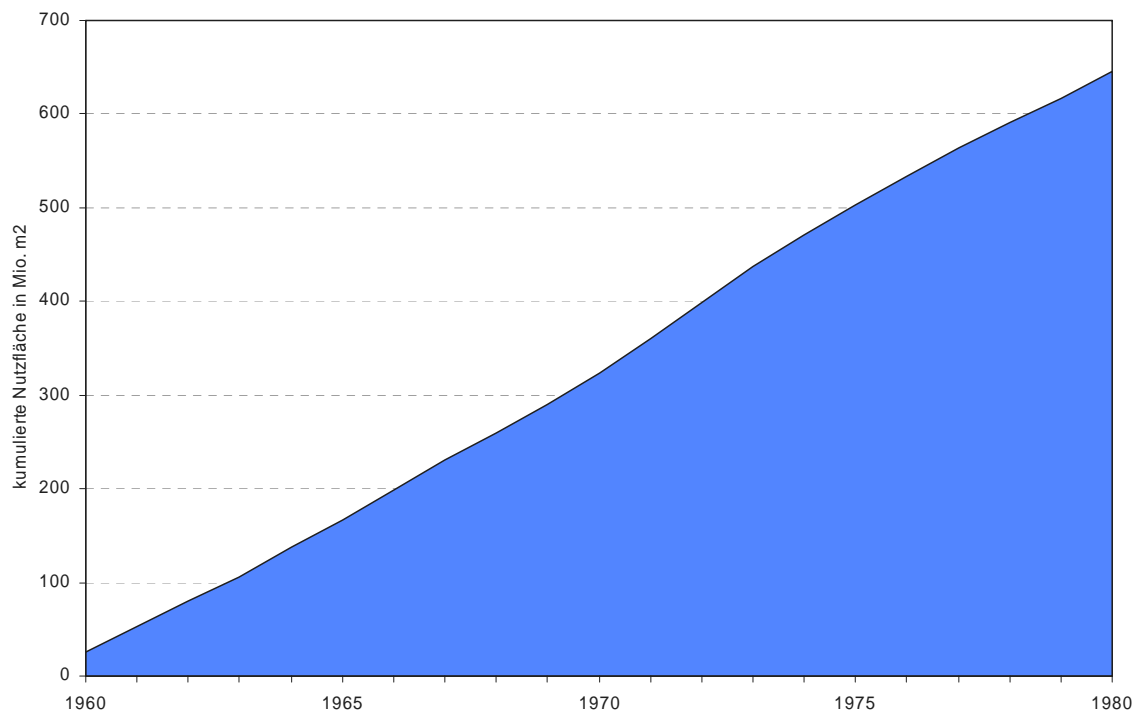


Bild 3-2: Baufertigstellungen Nichtwohnbereich 1960 – 1980 nach SANIREV-Studie [3] (kumuliert)

Daraus ergibt sich eine Nutzfläche im Nichtwohnbereich von 644 Mio. m² für das Jahr 1980 bzw. von 676 Mio. m² extrapoliert auf das Jahr der ISI-Studie 1981.

Geht man

- von dem wahrscheinlichen Wert für die RLT-konditionierte Fläche von 230 Mio. m² und
- einem flächenbezogenen Anteil von 80 % des betrachteten Sektors aus,

ergibt sich für die RLT-konditionierte Nutzfläche in Verwaltung, Handel, Dienstleistungen ein Anteil von 27 % der gesamten Baufertigstellungen im Nichtwohnbereich.

Eine Extrapolation kann überschläglich erfolgen, legt man die Angaben des Statistischen Bundesamtes zugrunde. Diese sind teilweise ab 1980 verfügbar [4], unterliegen jedoch einer anderen Systematik. Auf den Bereich Verwaltung, Handel, Dienstleistungen entfallen die Zuordnungsgruppen:

1. Anstaltsgebäude (Krankenhäuser, Heime, Kasernen, Strafanstalten, Ferienheime)
2. Büro- und Verwaltungsgebäude (Amtsgebäude, Bürogebäude, Bankgebäude, Gerichtsgebäude, Regierungsgebäude)
3. landwirtschaftliche Betriebsgebäude
4. nichtlandwirtschaftliche Betriebsgebäude
 - 4.1. Fabrik- und Werkstattgebäude
 - 4.2. Handels- und Lagergebäude (Markt- und Messehallen, Einzelhandel, Warenlagergebäude)
 - 4.3. Hotels- und Gaststätten
5. sonstige Nichtwohngebäude (Schulen, Museen, Theater, Bibliotheken, Kirchen, medizinische Institute, Sportgebäude, Freizeit- und Gemeinschaftshäuser).

Die Zuordnungsgruppen 3 und 4.1 sollen nicht weiter betrachtet werden.

Eine Datenerhebung für das Gebiet der früheren DDR und den Zeitraum vor 1990 wurde in [9] vorgenommen. Die Autoren gelangten zu der Aussage:

„Insgesamt spielte die Zwangslüftung in der Vergangenheit wegen der Energieknappheit und der begrenzten Bereitstellung der Anlagen nur eine untergeordnete Rolle“.

Setzt man das in [9] ermittelte umbaute Volumen im Nichtwohnbereich sowie eine mittlere Geschosshöhe von 4 m an, erhält man eine Fläche von ca. 2 Mio. m² für den Nichtwohnbereich, der nach 1965 errichtet wurde. Bezogen auf den betrachteten Gesamtbestand der Jahre 1960 – 2002 beträgt dieser Anteil weniger als 3 %.

Aus diesem Grund wird in den weiteren Betrachtungen der Bestand an RLT-Anlagen aus dem Gebiet der früheren DDR und der Zeit vor 1990 vernachlässigt.

In den Zuordnungsgruppen 4.2 und 4.3 fehlten in [4] Angaben für die Jahre 1980 – 1983. In sämtlichen Gruppen für das Gebiet der früheren DDR fehlten in [4] die Daten der Jahre 1990 – 1991. Die fehlenden Daten wurden durch Schätzungen ergänzt.

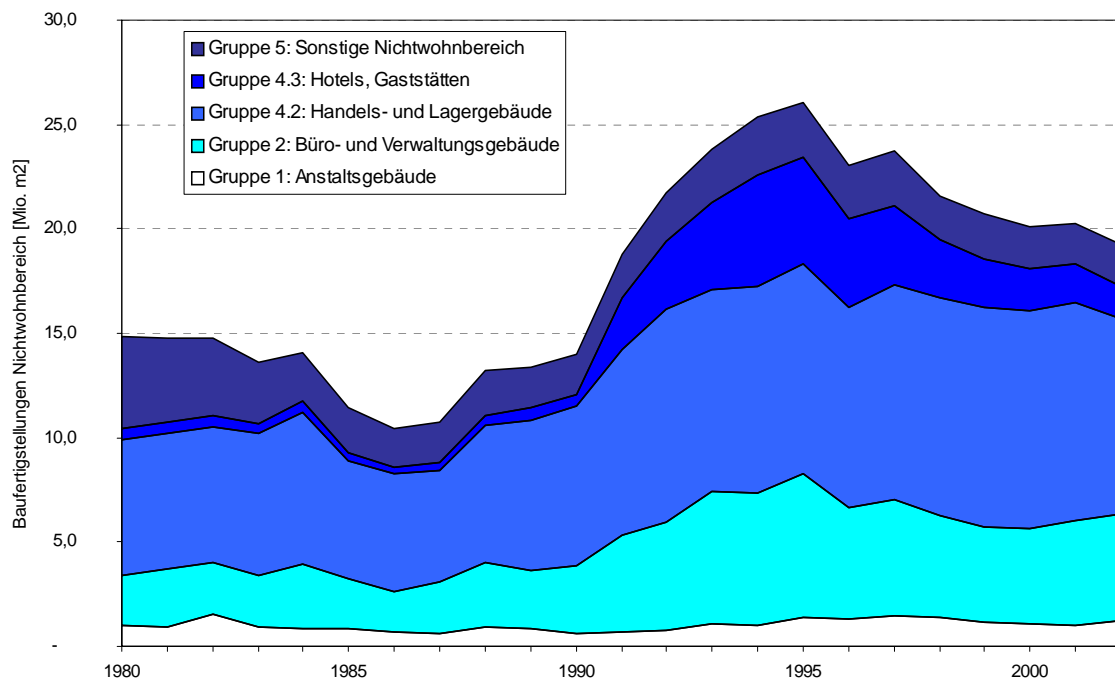


Bild 3-3: Baufertigstellungen der Zuordnungsgruppen (vor 1990 nur früheres Bundesgebiet) [4]

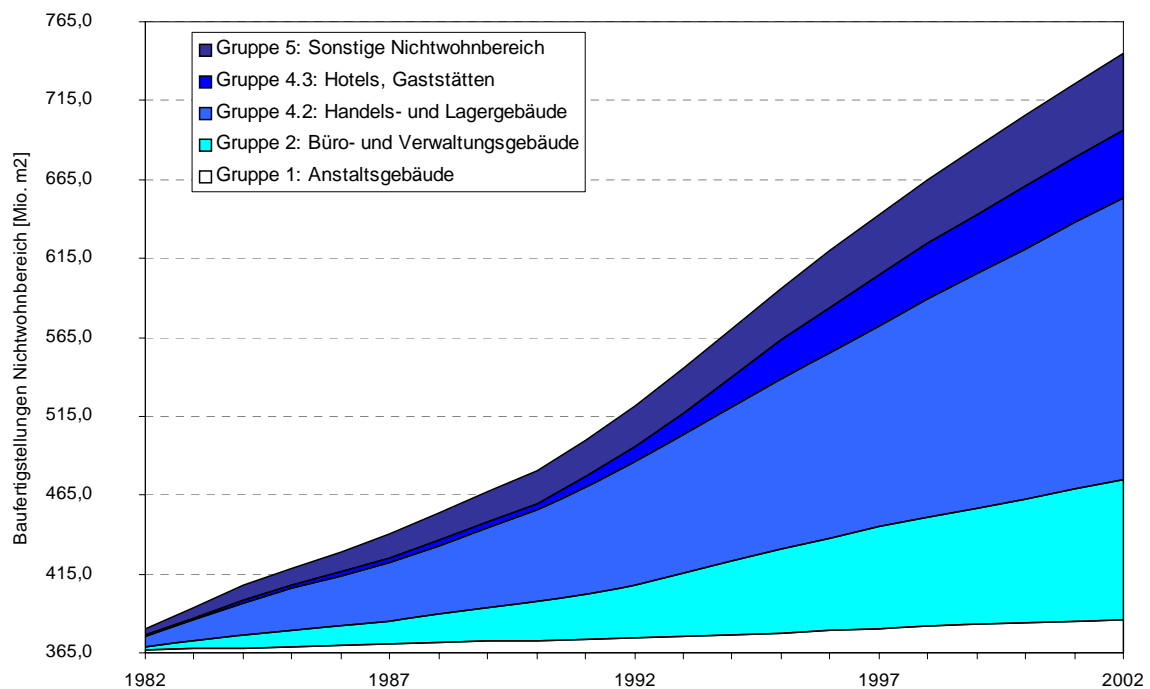


Bild 3-4: Baufertigstellungen der Zuordnungsgruppen (vor 1990 nur früheres Bundesgebiet) [4] kumuliert

Für den Zeitraum 1960 – 2002 ergibt sich Gesamtfläche der Baufertigstellungen von 745 Mio. m² im interessierenden Sektor Verwaltung, Handel, Dienstleistungen.

In der IKARUS-Datenbank [5] wird mit Stand 2000 für den Bereich öffentlicher und privater Dienstleistungen ein Bestand von 824 Mio. m² ausgewiesen. Diese Zahl erscheint verhältnismäßig niedrig, da der Bestand vor 1960 enthalten sein muss.

ODIN gibt in einer Studie zum Bestandsmarkt [12] einen Gebäudebestand im interessierenden Sektor von 1000 Mio. m² an, was im Vergleich zu den ermittelten Daten realistisch erscheint.

Für die Trendanalyse der einzelnen Zuordnungsgruppen müssen die Ausgangsdaten von 1981 weiter unterteilt werden.

Das statistische Datenmaterial für die Zeit 1960 – 1980 nach Bild 4-2 erlaubt keine Analyse der Bauentwicklung nach Zuordnungsgruppen.

Eine Abschätzung wird möglich, wenn der Anteil der Zuordnungen aus den Folgejahren rückwärts extrapoliert wird.

Wegen der Sondereffekte aufgrund der Wiedervereinigung wird der Anteil der Zuordnungen an den Gesamtfertigstellungen im Nichtwohnbereich nur für das frühere Bundesgebiet und die Zeit von 1980 – 1989 betrachtet. Bild 4-5 zeigt, dass die Anteile nur geringen jährlichen Schwankungen unterliegen.

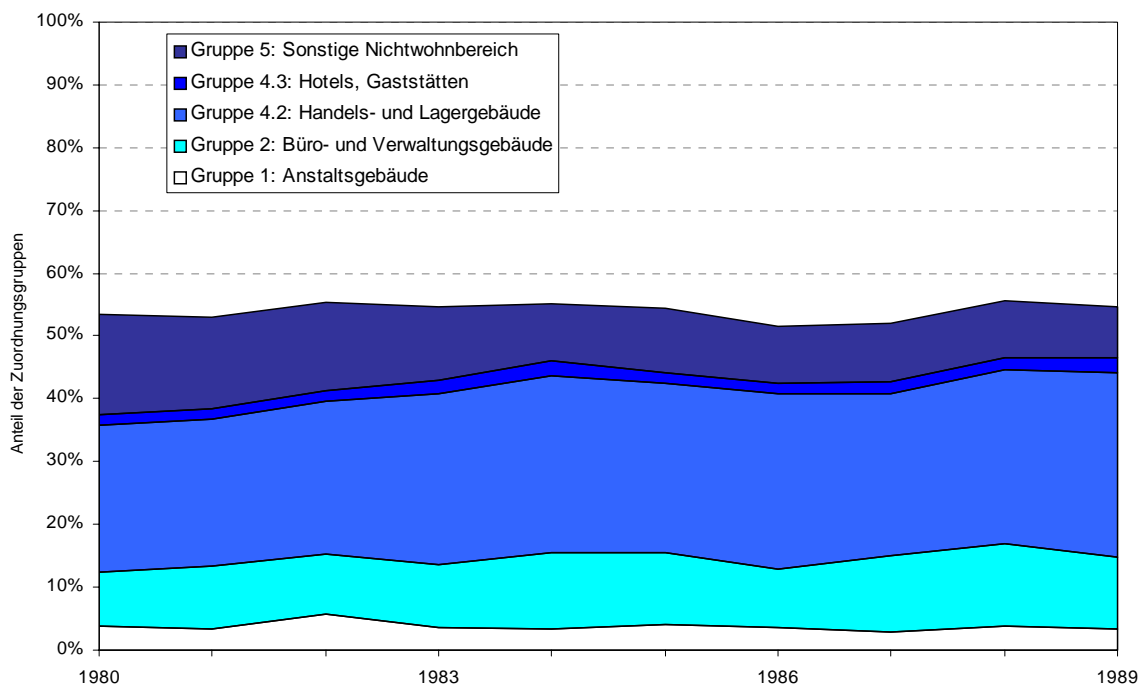


Bild 3-5: Anteil der Zuordnungsgruppen an der Gesamtfertigstellung im Nichtwohnbereich (nur frühere Bundesgebiet)

In Tabelle 3-2 werden die Ergebnisse dieser Extrapolation auf Basis [4] der Aufteilung entsprechend der ISI-Studie [2] (flächenmäßige Zuordnung) gegenübergestellt.

RLT-konditionierte Fläche, auf Basis ISI-Studie [1] für 1960 - 1981 in Mio. m ²		Extrapolation der Zuordnungen auf Baufertigstellungen 1960 - 1981 in Mio. m ²	
Öffentliche Gebäude, nicht zuordbar	37	Anstaltsgebäude	25
Krankenhäuser			
Verwaltung, EDV	86	Büro- und Verwaltungsgebäude	73
Kauf- und Versandhäuser	30	Handels- und Lagergebäude	178
Hotels, Restaurants	2	Hotels- und Gaststätten	14
Schulen, Universitäten	28	Sonstige Nichtwohngebäude	75
Laboratorien			
Sonstige			
Gesamt	184		365

Tabelle 3-2: Vergleich der RLT-konditionierten Flächen der ISI-Studie [2] mit den Gesamtbaufertigstellungen 1960 – 1981 [4] des Sektors Verwaltung, Handel, Dienstleistungen

Die Ergebnisse der Tabelle 3-2 lassen folgende Schlussfolgerungen zu.

1. Die Schätzungen der RLT-konditionierten Fläche aus der ISI-Studie ergeben einen Anteil an den Baufertigstellungen des gleichen Zeitraumes im betrachteten Sektor von 50 %. Dem liegt die Hypothese zugrunde, dass in den Jahren vor 1960 errichteten RLT-konditionierten Flächen vernachlässigbar sind. Die Quote von 50 % erscheint zu hoch, sodass der Flächenansatz der ISI-Studie nach unten korrigiert werden sollte. Berücksichtigt werden muss dabei, dass der RLT-konditionierte Volumenanteil bereits innerhalb eines Gebäudes laut ISI-Studie nur auf 55 – 75 % geschätzt wurde.
2. Die Hypothese, dass von der Zuordnungsstruktur der ISI-Studie [2] nach Zuluftvolumenströmen auf die analoge Flächenzuordnung zu schließen, ist nicht haltbar. Am Beispiel der Büro- und Verwaltungsgebäude wird deutlich, dass für die RLT-konditionierten Flächen ein Anteil > 100 % ergeben würde. Das Problem wird nur teilweise im Rückschluss von Zuluftvolumenströmen auf Flächen gesehen. Problematisch dürfte sein, dass die Zuordnungen auf Referenzlisten führender, industriell geführter Anlagenbauer zurückzuführen sind. Hier muss die Neigung berücksichtigt werden, repräsentative und technisch anspruchsvolle Gebäude wie z. B. Krankenhäuser in den Referenzlisten zu bevorzugen.
3. Eine Konvertierung der unterschiedlichen Zuordnungsstrukturen aus der ISI-Studie und den statistischen Jahrbüchern ist wegen der unscharfen Beschreibungen nicht möglich. Dadurch muss bei der Extrapolation auf den Zeitraum 1982 – 2004 auf eine differenzierte Behandlung der einzelnen Zuordnungsgruppen verzichtet werden.

Der Bezug der RLT-konditionierten Flächen auf die Baufertigstellungen berücksichtigt nicht, dass RLT-Anlagen auch in bestehenden Gebäuden nachträglich installiert wurden. Es wird jedoch eingeschätzt, dass dieser Anteil im Sektor Verwaltung, Handel, Dienstleistungen vernachlässigbar ist. Einerseits erforderten ältere Gebäude aufgrund ihrer Grundrisse und ihrer Bauweise nicht zwingend eine mechanische Klimatisierung. Andererseits ist die nachträgliche konstruktive Integration von RLT-Anlagen aufgrund des Bedarfs an Installationsvolumen nur selten möglich. Ausnahmen werden in historischen Gebäuden, Museen und Bibliotheken gesehen, wo aus konservatorischen Gründen erhöhte Anforderungen an das Raumklima gesehen werden. Der Anteil dieser Gebäude am Bestand wird vernachlässigt.

Ein gegenläufiger Trend wird teilweise darin gesehen, dass in den vergangenen Jahren bereits die ersten Gebäude abgerissen wurden, die innerhalb des Betrachtungszeitraumes errichtet wurden. Auch der Anteil dieser Gruppe wird vernachlässigt.

Für die weitere Extrapolation wird der Basiswert der ISI-Studie [2] für die RLT-konditionierte Fläche im Sektor Verwaltung, Handel, Dienstleistungen nach unten korrigiert. Als untere Grenze wurde in [2] eine Gesamtfläche von 140 Mio. m² angegeben, was einer unteren Abweichung von 39 % zum „wahrscheinlich“ benannten Wert entspricht.

Für die weiteren Berechnungen wird von –30 % Abschlag ausgegangen, was zu einer Fläche von 161 Mio. m² führt, wobei der Anteil von 80 % für den Sektor Verwaltung, Handel, Dienstleistungen beibehalten wird. Somit ergibt sich für den betrachteten Sektor eine Fläche von 129 Mio. m². Dies entspräche ca. 35 % von 1960 – 1981 errichteten Flächen des Nichtwohnbereichs, die sich dem Sektor Verwaltung, Handel, Dienstleistungen zuordnen lassen.

Für die Extrapolation der RLT-konditionierten Flächen ab 1981 ist von Bedeutung, wie sich deren Flächenanteil innerhalb des Sektors entwickelt hat.

Die Entwicklung der Baufertigstellungen spiegelt wieder, dass

- die Schwerpunkte der Wirtschaft sich vom Industrie- zum Dienstleistungssektor verschieben,
- durch gewachsene Kaufkraft und gestiegene Freizeit der Anteil der Gebäude im Freizeit-, Kultur- und Sportbereich zugenommen haben dürften,
- Bedingt durch die Wiedervereinigung 1990 ein verstärkter Bedarf an Flächen im Handels- und Dienstleistungssektor erfüllt wurde.

Trends, die den Anteil klimatisierter Flächen beeinflussen, können nur beispielhaft abgeschätzt werden, da wegen der fehlenden Differenzierungsmöglichkeiten genauere Trendanalysen unmöglich sind.

Im Handel wird eher eine stärkere Konzentration von Supermärkten, Einkaufszentren und Kaufhäusern gesehen, wodurch grundsätzlich eine Zunahme des klimatisierten Flächenanteils erwartet wird. Im Bereich Büro- und Verwaltungsgebäude werden die Trends gegenläufig gesehen. Einerseits ist die Nachfrage nach höherwertigen, repräsentativen Flächen eher gestiegen. Trotz eines verschlechterten Images der „Klimatisierung“ gegenüber den Jahren 1960 – 1980 führten zunehmende interne Wärmebelastungen aufgrund des beginnenden EDV-Einsatzes und der „Glasarchitektur“ ab den 90er Jahren

vermutlich zu einem steigenden Bedarf an Kühlung. Gegenläufig ist zu sehen, dass der Trend sich vom Großraumbüro wieder zurück zu Gruppen- oder Kombibüros entwickelt hat, wodurch Konzepte mit natürlicher Lüftung wieder eher möglich wurden. Insgesamt wird eher eine leichte Zunahme des Klimatisierungsgrades vermutet.

Für die weiteren Berechnungen wird davon ausgegangen, dass der Index Klimatisierungsgrad in den Jahren 1981 bis 2002 auf den Wert 1,20 linear angestiegen ist. Für 2002 würde sich somit ein maximaler Anteil der RLT-konditionierten Flächen von 42 % ergeben. Eine vergleichbare Schätzung in [11] geht für den Zeitraum 1985 – 1991 von einem Bereich 40 – 60 % aus, beinhaltet dabei jedoch auch nichtlandwirtschaftliche Produktions- und Werkstattgebäude.

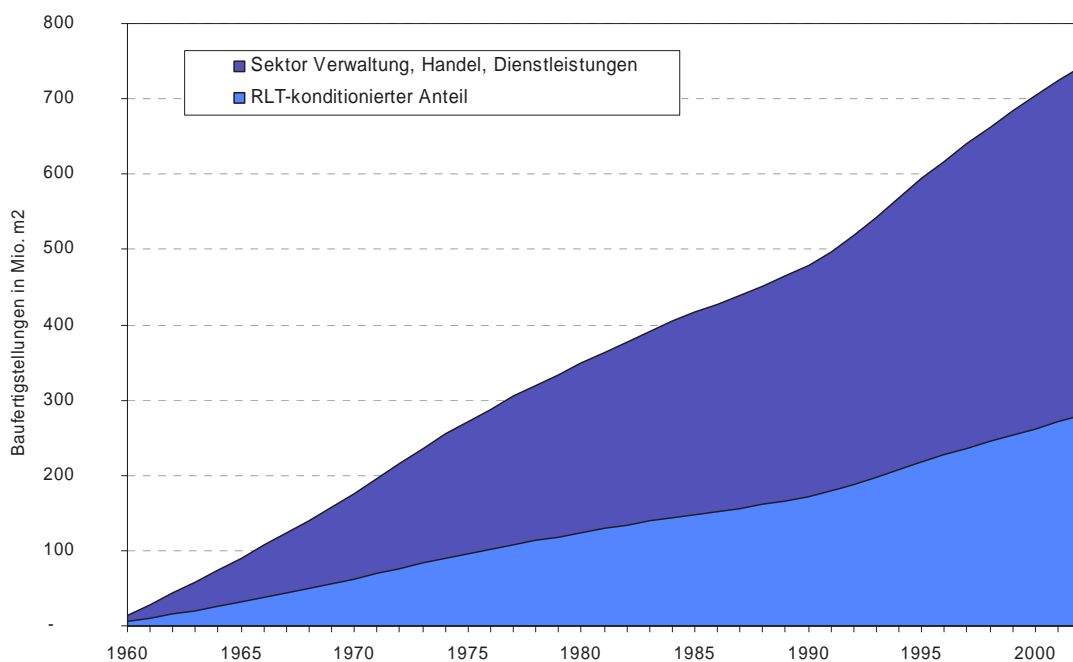


Bild 3-6: Baufertigstellungen und Abschätzung der RLT-konditionierten Flächen 1960 – 2002 (kumuliert)

Mit den beschriebenen Ansätzen ergibt sich für das Jahr 2002 eine RLT-konditionierte Fläche von 279 Mio. m², was einem mittleren Ausstattungsgrad von 37,5 % der Baufertigstellungen aus den Jahren 1960 – 2002 im interessierenden Sektor entspräche.

In der SANIREV-Studie [3] wurden für Büro- und Verwaltungsgebäude ebenfalls die Ergebnisse der ISI-Studie [2] nach unten korrigiert. Für das Jahr 1980 geht man als Mittelwert aus verschiedenen Abschätzungen von 28 Mio. m² aus. Dies entspräche einem Anteil von 23 % an den RLT-konditionierten Flächen nach Bild 3-6 bzw. einem Anteil von 38 % der Büro- und Verwaltungsgebäude nach Tabelle 3-2, was insgesamt plausibel erscheint.

ODIN [12] hat einer Stichprobenuntersuchung entnommen, dass von den untersuchten Bürogebäuden 54% voll- oder teilklimatisiert waren. Die Stichprobe, die ca. 1 % des Bestandes im Jahr 2000 umfasste, ist jedoch nur bedingt repräsentativ für die gesamte Bundesrepublik, da der Standort Frankfurt und neuere Immobilien stark gewichtet waren.

BECK [13] gelangt nach Auswertung von Herstellerbefragungen 1997 zu der Abschätzung, dass insgesamt 5.200 Mio. m³/h Zuluftvolumenstrom bundesweit installiert sind. Legt man einen spezifischen Volumenstrom von 12 m³/(h m²) zugrunde, was einem ca. 3 – 4 Luftwechsel entspräche, würde sich eine konditionierte Fläche von 433 Mio. m² ergeben. Darin enthalten wären jedoch sämtliche Anwendungen von RLT-Anlagen, einschließlich der landwirtschaftlichen und nichtlandwirtschaftlichen Produktionsstätten sowie Prozessluftanlagen. Nach Bild 3-6 ergäbe sich im gleichen Jahr 1997 für den Sektor Verwaltung, Handel und Dienstleistungen eine RLT-konditionierte Fläche von 236 Mio. m², was einem Anteil von 55 % der aus den Angaben nach BECK abgeleiteten RLT-konditionierten Gesamtfläche entspräche. Die gegenseitige Prüfung der unterschiedlichen Herleitungen erscheint plausibel.

In der EECCAC-Studie [23] wurden ebenfalls Abschätzungen der klimatisierten (hier gekühlten) Flächen für die Mitgliedsstaaten der Europäischen Union vorgenommen. Die Extrapolationen stützten sich dabei auf Hersteller-Marktdaten von EUROVENT-Mitgliedsfirmen. Anlagen mit einer Kühlleistung kleiner 12 kW wurden ausgenommen.

Danach würden sich bei linearer Interpolation zum Zeitpunkt 2002

- 163 Mio. m² gekühlte Fläche für die Bundesrepublik Deutschland
- 1.446 Mio. m² gekühlte Fläche für die Europäische Union

ergeben.

Berücksichtigt man, dass keine Filterung von industriellen Anwendungen erfolgte, erscheint dieser Wert gegenüber den übrigen Abschätzungen eher zu niedrig. Gleichwohl deuten die Abweichungen der Daten aus unterschiedlichen Quellen auf die verhältnismäßig große Unsicherheit aller Potenzialabschätzungen hin.

3.3 Abschätzung des Energieverbrauchs der RLT-konditionierten Flächen

Der durchschnittliche Energieverbrauch von RLT-Anlagen unterliegt systembedingt großen Schwankungen. Bereits 1982 wurde in der ISI-Studie [2] ein Verhältnis im spezifischen Energieverbrauch einfacher Lüftungsanlagen zu 2-Kanal-HD-Anlagen von 1:5 genannt. Mit den in den späteren Jahren einsetzenden energiesparenden Technologien dürften die Unterschiede zwischen den Extremwerten des Bestandes weiter zugenommen haben.

Als Mittelwert für den Bestand 1981 wurde in [2] ein Betrag von 200 kWh/(m² a) ermittelt, der sich aus der Differenz eines geschätzten Wertes von 300 kWh/(m² a) abzüglich eines Äquivalents von 100 kWh/(m² a) für rein beheizte Gebäude ergibt.

Der spezifische Endenergiekennwert $200 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ setzt sich zu 75 % aus Wärme und zu 25 % aus Strom zusammen.

Für alle nachfolgenden Berechnungen wird davon ausgegangen, dass Kälteenergie aus Strom mit einem mittleren COP von 2,5 (einschließlich Rückkühlung, Verteilung) erzeugt wird. Nach [11] kann der Anteil thermisch erzeugter Klimakälte in Deutschland vernachlässigt werden.

Bei günstigen Verhältnissen ergeben sich für folgende Randbedingungen:

- jährliche Anlagenbetriebszeit: 2.500 h
- spezifischer Außenluft- bzw. Zuluftvolumenstrom: $6 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$
- Wärmerückgewinnungsgrad: 60 %
- Spitzenkühlbedarf durch Raumkühlgeräte: $40 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$
- keine Be- und Entfeuchtung

überschlägig folgende Energiebedarfswerte:

- Wärme: $60 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$
- Strom: $28 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$
- Gesamt: $88 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ bei Stromanteil 32 %.

Der Energiebedarf für die Raumheizung ist in den genannten Ansätzen ebenfalls nicht enthalten.

In der SANIREV-Studie [3] wurden für zwei Anlagentypen zur Büroklimatisierung folgende Ansätze benannt, die sich auf den Standard der Jahre 1960 – 1980 beziehen:

- Zweikanalanlage: $208 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ bei Stromanteil 54 %
- Induktionsanlage: $105 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ bei Stromanteil 48 %.

Der Transmissionsheizbedarf ist aus den Quellenangaben herausgerechnet worden. Der Anteil des Strombedarfs liegt hier deutlich höher als in den übrigen Ansätzen. Als Ursache wird vermutet, dass für beide Anlagentypen ein relativ hoher Umluftanteil angesetzt wurde, was sich günstig auf den Wärmebedarf auswirkt. Dagegen wurden hohe spezifische Ventilatorleistungen angesetzt.

Deutlich höhere Energieverbrauchswerte dürften in anderen Nutzungstypen, wie Krankenhäusern oder Handelshäusern auftreten, da dort längere Betriebszeiten üblich sind. Häufig stellen in derartigen Gebäuden die RLT-Anlagen die einzige Heizmöglichkeit dar, sodass ein durchgängiger Betrieb die Folge war.

Der Mittelwert der ISI-Studie [2] von $200 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ für den Zeitraum bis 1981 erscheint daher grundsätzlich plausibel. Eine Neubestimmung des mittleren Verbrauchswertes ist aufgrund der Datenlage nicht möglich, sodass die Schätzgröße aus 1981 weiter verwendet wird.

In den folgenden Jahren sind jedoch verschiedene Entwicklungen aufgetreten, die eine Absenkung des spezifischen Energieverbrauchs bewirkt haben dürften. Beispielfhaft sind zu nennen:

- Ab Ende der 80er Jahre dürfte sich der Einsatz von Wärmerückgewinnungsanlagen auch im Bereich der Komfortklimatisierung durchgesetzt haben. Der Energiespareffekt wird zum Teil dadurch gemindert, dass auf die Beimischung von Umluft aus hygienischen Gründen zunehmend verzichtet wurde.
- Der Anteil von Vollklimaanlagen mit Be- und Entfeuchtung an den RLT-Anlagen dürfte zurückgegangen sein.
- Reine Nur-Luft-Klimakonzepte dürften im Komfortbereich durch Wasser-Luft-Systeme weitgehend verdrängt worden sein.
- Die Möglichkeit, Luftvolumenströme bedarfsgerecht während des Betriebes anzupassen, dürfte durch die technische und preisliche Entwicklung im Bereich der Leistungselektronik (Frequenzumrichter) seit den 90er Jahren gegeben sein.
- Aus dem Einsatz digitaler Regelungstechnik sowie zentraler Gebäudeleittechnik seit Ende der 80er Jahre werden energiesparende Effekte erwartet.

Für die weiteren Berechnungen wird geschätzt, dass der mittlere Energieverbrauchsindex für den Neubau im Jahr 2002 um 40 % unter dem Stand 1960 -1981 liegt. Es wird von einer linearen Entwicklung des Indexes ausgegangen. Für den Stromanteil wird davon ausgegangen, dass eine Verschiebung von 25 % Stand 1982 auf 35 % im Jahr 2002 stattgefunden hat. Es wird vermutet, dass die Energieverbrauchsreduzierungen auf dem Gebiet der Wärme überproportional stattgefunden haben.

Mit dieser Extrapolation ergibt sich für das Jahr 2002 ein Energieverbrauch von 49 TWh bei einem durchschnittlichen Stromanteil von 28 %.

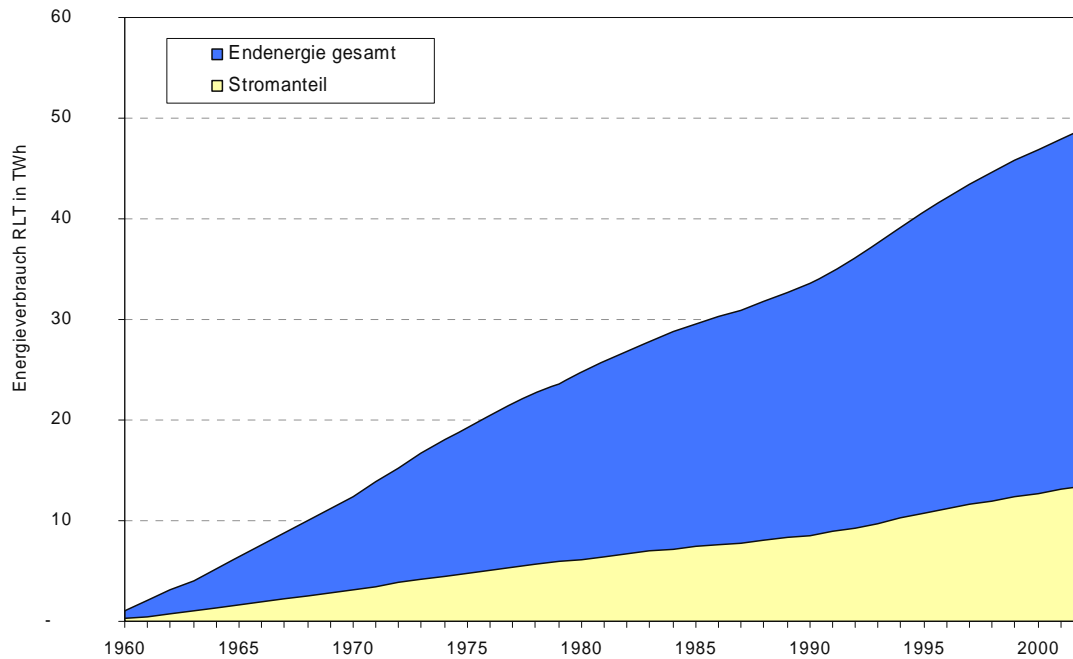


Bild 3-7: Extrapolierter Energieverbrauch von RLT-Anlagen im Sektor Verwaltung, Handel, Dienstleistungen

Seit Beginn – Mitte der 90er Jahre kann davon ausgegangen werden, dass die Sanierung des Anlagenbestandes begonnen hat. ODIN [12] zeigt auf, dass trotz sinkender Neubautätigkeit seit 1995 das Umsatzvolumen in der technischen Gebäudeausrüstung konstant blieb.

Es muss davon ausgegangen werden, dass zum Zeitpunkt 2002 bereits Energiespareffekte aufgrund stattgefundener Sanierungsmaßnahmen eingetreten sind.

Beispiele aus dem ENSAN-Forschungsprojekt [16];[17] zeigen, dass bei hochtechnisierten Gebäuden aus den 60er und 70er Jahren unter günstigen Bedingungen Energieeinsparungen von 60 - 70 % möglich sind.

In SANIREV [3] ging man 1997 davon aus, das Energieeinsparpotenzial für den Bestand, der 1960 – 1980 errichtet wurde, 40 % beträgt. Dieser Wert wird theoretisch auch als erzielbar erachtet. Die praktische Realisierung dieser Energieeinsparung als Durchschnittswert wird jedoch als unrealistisch angesehen. Folgende Hemmnisse werden für die Erreichung derartiger Einsparungen gesehen.

- Energieeinsparungen, wie im SANIREV-Projekt aufgezeigt, bedingen grundsätzliche Systemänderungen, die erhebliche bauliche Veränderungen zur Folge haben können. Dadurch entstehen Folgekosten, die die Wirtschaftlichkeit negativ beeinflussen können.

- Erhebliche bauliche Veränderungen können brandschutztechnische Folgeinvestitionen erzwingen, da der Bestandsschutz entfällt. Auch hier kann die Wirtschaftlichkeit einer Sanierung ungünstig beeinflusst werden.
- Aufgrund der Platzverhältnisse im Bestand können sinnvolle und auch wirtschaftliche Sanierungsschritte in der Praxis scheitern.

Es muss damit gerechnet werden, dass bei der Sanierung von RLT-Anlagen nicht immer die energetisch sinnvollen Systemänderungen vollzogen werden. Aus den genannten Gründen wird in zahlreichen Fällen eine Instandsetzung bzw. ein Austausch von Zentral- und Endgeräten stattfinden. In diesem Fall werden zwar trotzdem Einspareffekte gesehen, jedoch die maximal möglichen Einsparungen nicht ausgeschöpft werden.

Ein positiver Effekt wird darin gesehen, dass die Akzeptanz veralteter Klimatisierungssysteme bei Nutzern oder Mietern eher negativ ist. Grundsätzliche Systemänderungen, die auch Vorteile bei der Geräusentwicklung, der thermischen Behaglichkeit, der individuellen Regelbarkeit oder durch die Kombination mit natürlichen Lüftungsmöglichkeiten bewirken, dürften die Attraktivität einer Immobilie steigern.

Es wird geschätzt, dass durch Sanierungen des vor 1980 errichteten Bestandes eine Energieeinsparung von durchschnittlich 30 % erzielbar ist.

Über das Sanierungsvolumen konnten keine Hinweise recherchiert werden. Aufgrund eigener Erfahrungen ist bekannt, dass bei entsprechender Wartung und Instandhaltung Anlagen mit 35 Betriebsjahren noch in Funktion sind. In SANIREV [3] ging man 1997 davon aus, dass je nach Systemart nur 50 – 90 % der Anlagen (Mittelwert von 71 %) sanierungsbedürftig sind.

Für weitere Berechnungen wird geschätzt, dass der im Jahr 2002 bereits sanierte Anteil für die Anlagen des Baujahres 1960 70 % beträgt und linear auf den Anteil von 0 % für Anlagen des Baujahres 1980 absinkt.

Aus dem geschätzten Sanierungsvolumen und dem vermuteten Potenzial aus Sanierungen ergibt sich die Energieeinsparung der Baualtersklassen nach Bild 3-8.

Nach diesem Szenario folgt, dass vor 2002 bereits ein Flächenanteil von ca. 49 Mio. m² saniert worden ist. Dies entspräche ca. 17,5 % des Bestandes an RLT-konditionierten Flächen.

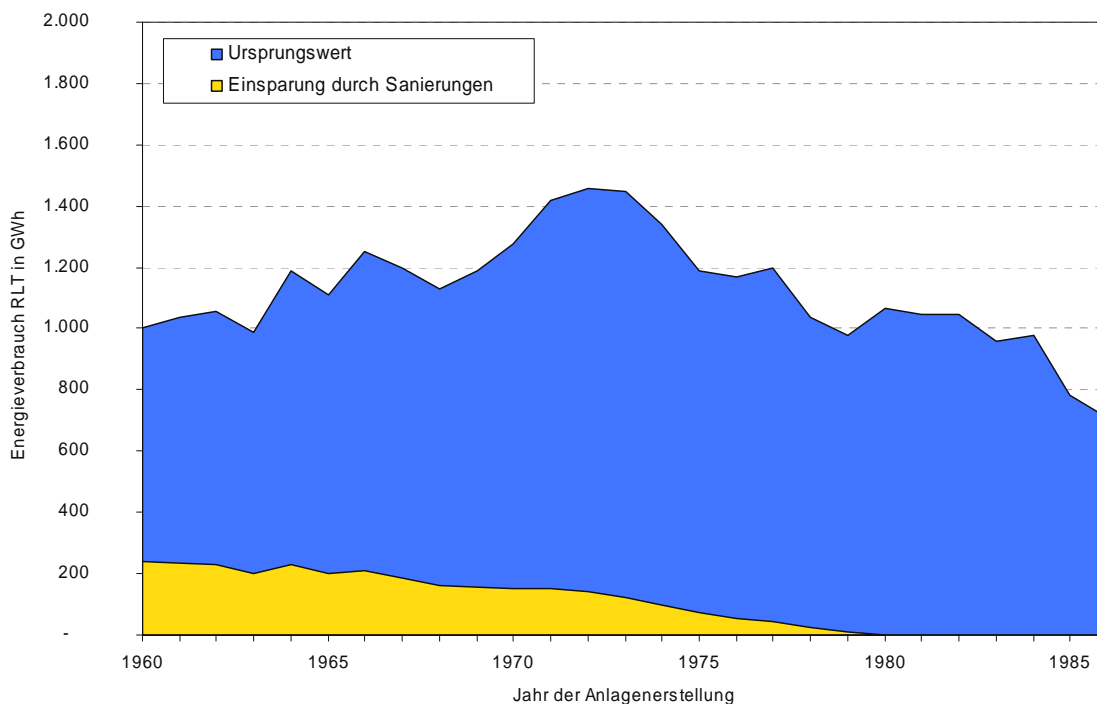


Bild 3-8: Szenario für die Energieeinsparung infolge Sanierungen vor 2002

Kumuliert über die Baualtersklassen 1960 – 1980 ergibt sich eine vermutete Minderung von 2,9 TWh infolge der bereits stattgefundenen Sanierungen.

Somit ergibt die Abschätzung des Energieverbrauchs von RLT-Anlagen für das Jahr 2002 einen Gesamtbetrag von ca. 46 TWh, der sich aus einem Anteil Wärme von 72 % und Strom von 28 % zusammensetzt. Der Energiebedarf für Raumheizung ist in diesem Wert nicht enthalten. Die Unsicherheit aufgrund der zahlreichen Schätzungen ist hoch und kann nicht ermittelt werden. Es wird daher der Unsicherheitsbereich der ISI-Studie von ca. $\pm 35\%$ übernommen, da zahlreiche Annahmen auf den früheren Zahlen basieren. Daraus erfolgt ein wahrscheinlicher Bereich von 30 ... 62 TWh.

Zum Vergleich sollen die Ergebnisse von BECK [13] herangezogen werden, der für Wärme 26,5 TWh und Strom 11,5 TWh und somit eine Summe von 38 TWh ermittelt hat. In diesen Zahlen fehlen der Energiebedarf für Kühlung komplett sowie der Wärmebedarf infolge der Be- und Entfeuchtung bei Vollklimaanlagen. Andererseits bezieht BECK sich auf sämtliche RLT-Anlagen, d. h. auch Industrieanwendungen, die nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung waren. Die Größenordnung des wahrscheinlichen Bereiches wird durch BECK jedoch bestätigt.

Mit den Primärenergiefaktoren:

- 1,1 für Wärme
- 3,0 für Strom

und einem durchschnittlichen Stromanteil von 28 % ergibt sich ein geschätzter Primärenergieverbrauch von jährlich 75,4 TWh bzw. 271,4 PJ. Als Gesamt-Primärenergieverbrauch für die Bundes-

republik Deutschland gibt [19] für 2002 einen Betrag von 14.324 PJ an. Somit dürfte auf den Primärenergieverbrauch raumlufttechnischer Anlagen im Sektor Verwaltung, Handel, Dienstleistung ein Anteil von wahrscheinlich 1,2% .. **1,9 %** .. 2,6 % des Gesamtverbrauches entfallen.

Nach der Prognos-Studie [14] betrug der Stromverbrauch im Jahr 1995 für „Kühlung“ 47,3 PJ und „Lüftung“ 17,0 im gleichen Sektor, was zusammen einen Stromverbrauch von 17,9 TWh. Darin dürfte ein nicht unerheblicher Anteil Gewerbekühlung (Lagerung / Konservierung) enthalten sein. Dem Stromverbrauch nach [14] von 17,9 TWh stünde somit ein Wert von 12,9 TWh für die reine Klimatisierung im Jahr 2002 aus der vorliegenden Untersuchung gegenüber. Auch hier decken sich die Größenordnungen.

4 Energie-Einsparpotenzial durch regelmäßige Inspektionen von Klimaanlage

4.1 Impulse für Energieeinsparungen

In den kommenden Jahren werden weiterhin Energiespareffekte aus der Sanierung von RLT-Anlagen erwartet. Die geplanten Inspektionen von Klimaanlage werden positive Impulse bewirken, da aufseiten der Gebäudebetreiber die Transparenz der Energieverbräuche und die Vergleichbarkeit mit anderen Gebäuden zunehmen wird.

Erfahrungen zeigen, dass gerade bei älteren raumluftechnischen Anlagen notwendige Investitionskosten durch verringerte Energiekosten verhältnismäßig kurz amortisiert werden können. Daher kann aus den regelmäßigen Inspektionen bzw. durch qualifizierte Energieberatungen auch ein Zuwachs an Modernisierungstätigkeit erwartet werden.

Die zweite Gruppe der Energiespareffekte wird der Rubrik Betriebsoptimierung zugeordnet. Durch die Energieberatung im Zusammenhang mit den geplanten Inspektionen von Klimaanlage dürften auch hier positive Impulse zu erwarten sein. Es wird vermutet, dass das Angebot von qualifizierten Dienstleistungen zur Betriebsoptimierung, wie es teilweise von Performance-Contracting-Dienstleistern bereits heute angeboten wird, zunehmen wird.

Notwendige Maßnahmen der Betriebsoptimierung sind:

- qualifizierte, konsequent energiesparende Betriebsführung
- Wartung und Instandhaltung
- kleinere Ad-hoc-Maßnahmen zur Umrüstung von Anlagen, die sich in kürzester Zeit amortisieren.

4.2 Energieeinsparung durch Sanierungen

Um die Energiesparpotenziale infolge Sanierungen abzuschätzen, wird die Methodik aus Abschnitt 3.3 weiter entwickelt.

Für weitere Berechnungen wird geschätzt, dass für das Jahr 2008 der Sanierungsanteil für die Anlagen des Baujahres 1960 100 % beträgt und linear auf den Anteil von 0 % für Anlagen des Baujahres 1986 absinkt.

Für dieses weiter entwickelte Szenario ergibt sich die vermutete Energieeinsparung, verteilt über die Baualtersklassen, gemäß Bild 4-1.

Aus den genannten Ansätzen folgt, dass infolge von Sanierungen in den Jahren 2002 – 2008 kumulierte Energieeinsparungen von 7,13 TWh für die Baualtersklassen 1960 – 1986 zu erwarten sind. Der durchschnittliche jährliche Zuwachs beträgt für diesen Zeitraum ca. 1,2 TWh.

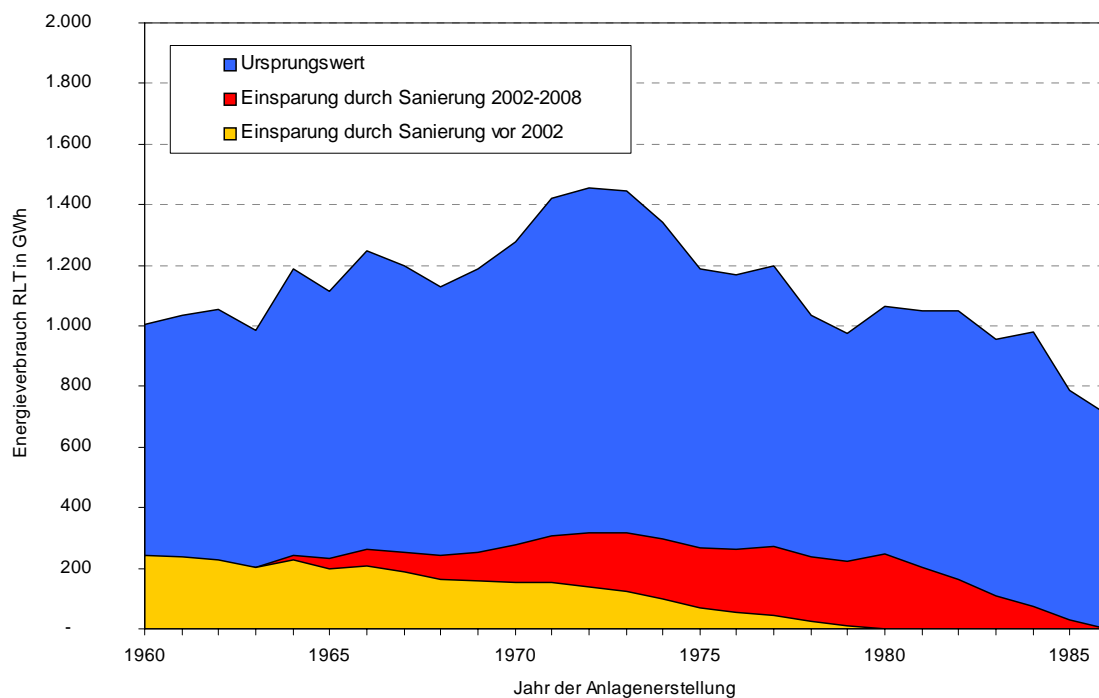


Bild 4-1: Prognose der Energieeinsparung infolge Sanierungen 2002 – 2008

Aus den Schätzungen für das Sanierungsvolumen der Jahre 2002 – 2008 folgt, dass durchschnittlich 13,9 Mio. m² RLT-konditionierte Fläche pro Jahr betroffen wären.

Gegenüber dem Mittelwert aus 1995 - 2002 würde sich aus dem Ansatz ungefähr eine Verdoppelung des durchschnittlichen Sanierungsvolumens in 2002 – 2008 ergeben.

Aus den Ansätzen für das Neubauvolumen der Jahre 1992 – 2002 folgt eine durchschnittliche RLT-konditionierte Fläche von 22,3 Mio. m². Somit würde sich für die Sanierung von RLT-Anlagen aus den genannten Ansätzen ein (flächenbezogener) Anteil von 38 % der Bautätigkeit ergeben, was realistisch erscheint.

4.3 Energieeinsparung durch Betriebsoptimierung

In einem Gespräch mit Verbandsvertretern [17] herrschte unter Fachleuten Einigkeit darüber, dass durch die Betriebsoptimierung von RLT-Anlagen ein Energieeinsparpotenzial von 10 – 15 % erzielbar sein dürfte.

Für die weiteren Abschätzungen wird davon ausgegangen, dass durchschnittlich ein Betriebsoptimierungspotenzial von 12 % besteht, dass zu einem Drittel praktisch auch mobilisiert wird und anschließend dauerhaft wirken kann.

Nach In-Kraft-Treten der Verordnung über die Inspektion von Klimaanlageanlagen wird eine Übergangsfrist notwendig werden, innerhalb derer sämtliche Anlagen inspiziert werden können. Für diese Übergangsfrist wird zunächst von einem Zeitraum von 4 Jahren (2006 – 2010) ausgegangen.

Die beschriebenen Szenarien führen dazu, dass für den Zeitraum 2002 – 2006 der rechnerische Energiemehrbedarf infolge weiterer Neubaufertigstellungen annähernd kompensiert wird durch die Energieeinsparung infolge Sanierungstätigkeit. Der geschätzte Energieverbrauchswert von 46 TWh für 2002 kann daher auch für 2006 angesetzt werden.

Mit diesen Ansätzen ergibt sich eine Energieeinsparung von 0,19 TWh am Ende 2006, die um 0,37 TWh jährlich bis 2010 ansteigt.

4.4 Prognostizierte Reduktion der CO₂-Emissionen

Aus den in 3.2 und 3.3 ermittelten Potenzialen lässt sich die Entwicklung der vermuteten Energieeinsparungen für die Jahre 2006 – 2008 nach Tabelle 4-1 ermitteln.

Die aufgeführten Zahlen betreffen nur die Einsparungen, die sich gegenüber dem heutigen Anlagenbestand ergeben würden, wenn auf Sanierungen und Betriebsoptimierungen verzichtet werden würde. Wegen der gleichzeitigen Neubautätigkeit, aus der parallele Zuwächse im Energieverbrauch resultieren dürften, wird der reale Energieverbrauch deutlich geringer sinken.

Jahr	Energieeinsparpotenzial [TWh]		
	Sanierungen	Betriebsoptimierung	Summe
2006	1,20	0,19	1,39
2007	2,40	0,56	2,96
2008	3,60	0,93	4,53

Tabelle 4-1: Rechnerisches Energieeinsparpotenzial für RLT-Anlagen 2006 – 2008 als Ergebnis sämtlicher Abschätzungen

Nach einer Untersuchung in [18] können als CO₂-Äquivalent der Endenergien Wärme zu Heizzwecken und Strom für Kälteerzeugung und Lufttransport folgende Durchschnittswerte für die Bundesrepublik Deutschland angesetzt werden.

- Strom-Mix: 610 g_{CO2}/kWh_{Endenergie}
- Raumwärme-Mix: 270 g_{CO2}/kWh_{Endenergie}

Aus den vorangegangenen Betrachtungen resultiert eine Veränderung des Stromanteils am Endenergiebedarf. Die Berechnung des CO₂-Reduktionspotenzials basiert daher auf folgenden Ansätzen:

- Einsparung durch Sanierung: Stromanteil 25 %, da nur ältere Anlagen betroffen
- Einsparung durch Betriebsoptimierung: Stromanteil 28 %, da sämtliche Anlagen betroffen.

Jahr	CO ₂ -Reduktionspotenzial [Mio.t/a]		
	Sanierungen	Betriebsoptimierung	Summe
2006	0,43	0,07	0,50
2007	0,85	0,20	1,06
2008	1,28	0,34	1,62

Tabelle 4-2: Resultierendes jährliches CO₂-Reduktionspotenzial

Die Unsicherheit der Angaben ist groß, da die Ermittlung sich überwiegend auf Schätzungen stützt.

5 Literaturverzeichnis

- [1] Richtlinie 2002/91/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2002 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden
- [2] Angerer, G.; Jochem, E.; Mannsbart, W.; Mentzel, T.; Poppke, H.: Bestand und Energieverbrauch von raumluftechnischen Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland Vorstudie – Schlussbericht; Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung; FLT-Bericht 3/1/80/82; 1982
- [3] Sanierungspotential von RLT-Anlagen; Teilbericht zum Forschungsprojekt SANIREV; Hermann-Rietschel-Institut der TU Berlin; 1997
- [4] Baugenehmigungen / Baufertigstellungen von Nichtwohngebäuden (Neubau), Lange Reihen z. T. ab 1980 – 2002; Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2003
- [5] Datenbank des Projektes IKARUS: Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien
- [6] Gülec, T.; Kolmetz, S.; Rouvel, L.: Nutzenergiebedarf für Raumwärme in der Bundesrepublik Deutschland; Teilbericht Nr. 5-11 zum Forschungsprojekt IKARUS; 1993
- [7] Geiger, B.; Struktur und Analyse des Energieverbrauchs im Kleinverbrauch der BRD und DDR als Ausgangsbasis für die Verbrauchsentwicklung in den alten und neuen Bundesländern; Teilbericht Nr. 5-03 zum Forschungsprojekt IKARUS; 1991
- [8] Gierga, M.; Erhorn, H.: Bestand und Typologie beheizter Nichtwohngebäude in Westdeutschland; Teilbericht Nr. 5-14 zum Forschungsprojekt IKARUS; 1993
- [9] Sonntag, P.; Mittner, P.: Kennwerte zur Charakterisierung und Bewertung des energetischen Zustandes und des Energieverbrauchs der Gebäude im Nichtwohnbereich; Teilbericht Nr. 5-05 zum Forschungsprojekt IKARUS; 1993
- [10] Wobst, E.; Vollmer, D.; Sussek, W.: Energiebedarf für die technische Erzeugung von Kälte in der Bundesrepublik Deutschland; Institut für Luft- und Kältetechnik; Fachbericht ILK-B-2/01-076; 2002
- [11] Franzke, U.: Potentialabschätzung von Kälte- und Klimaanlageanlagen; Institut für Luft- und Kältetechnik; Fachbericht ILK-B-4/93-2425; 1993

- [12] Odin, S.: Der Bestandsmarkt in Deutschland – ein Markt für die TGA-Firmen?; CCI Heft 4 2003; Promotor-Verlag
- [13] Beck, E.: Energieverbrauch, -einsparpotential und -grenzwerte von Lüftungsanlagen; Dissertation an der Universität und Gesamthochschule Kassel; 2000
- [14] Die längerfristige Entwicklung der Energiemärkte im Zeichen von Wettbewerb und Umwelt; Studie des Europäischen Zentrums für Wirtschaftsforschung und Strategieberatung prognos; Basel 1999
- [15] Schnaars, U., Schiller, H: Fallbeispiel Staats- und Universitätsbibliothek Bremen; Tagungsband zum Symposium des Projektträgers Jülich am 24. und 25. September 2003 in Bremen
- [16] Kauert, B., Schiller, H.: Fallbeispiel Laborgebäude Phytosphäre im Forschungszentrum Jülich; Tagungsband zum Symposium des Projektträgers Jülich am 24. und 25. September 2003 in Bremen
- [17] Fachgespräch mit Vertretern der Industrieverbände FGK, ZVHSK, BHKS, St. Augustin, 16.09.2004
- [18] Blesel, M.; Fahl, U.; Voß, A.: Bestandsanalyse der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) in der Bundesrepublik Deutschland, Gutachten im Auftrag des Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, April 2001
- [19] Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 1990 – 2003, Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, Oktober 2004
- [20] DIN 1946 – 1: Raumluftechnik – Terminologie und graphische Symbole (VDI Lüftungsregeln); Oktober 1988
- [21] prEN 13779: Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen an Lüftungs- und Klimaanlagen; 2003
- [22] Guntermann, K.: Wirtschaftliche Bedeutung von Luft-Wasser-Klimasystemen; TAB Heft 5; 1998
- [23] Adnot, J, u.a.: Energy Efficiency and Certification of Central Air Conditioners (EECCAC); Study for the D. G. Transportation-Energy (DGTREN) of the Commission of the E. U.; Final Report – April 2003