

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Report, Published Version

Kunz, Claus; Erndwein, Daniel

Energetische Optimierung der Gebäude der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung (WSV). FuE- Abschlussbericht B3951.04.04.70001

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/105122>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2017): Energetische Optimierung der Gebäude der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung (WSV). FuE-Abschlussbericht B3951.04.04.70001. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.

Verwertungsrechte: Alle Rechte vorbehalten

**Energetische Optimierung der Gebäude
der Wasserstraßen- und
Schifffahrtsverwaltung (WSV)**

B3951.04.04.70001

**Energetische Optimierung der Gebäude der
Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung
(WSV)**

B3951.04.04.70001

Energetische Optimierung der Gebäude der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung (WSV)

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

Auftrag vom: 17.04.2012, Az.:

Auftrags-Nr.: BAW-Nr. B3951.04.04.70001

Aufgestellt von: Abteilung: Bautechnik
Referat: B4 - Erhaltung und Hochbau
Bearbeiter: Daniel Erndwein

Karlsruhe, 21.11.2017

Dieser Bericht darf nur ungekürzt vervielfältigt werden. Die Vervielfältigung und eine Veröffentlichung bedürfen der schriftlichen Genehmigung der BAW.

Zusammenfassung

Die schwankenden äußeren Einflüsse unserer Klimazone erfordern bei den herkömmlichen Bauweisen von Gebäuden eine permanente Zuführung von Energie, um die Behaglichkeitsanforderungen der Menschen zu erfüllen. Dies führte in der Vergangenheit zu einem hohen Energieverbrauch der Gebäude. Der Energieverbrauch von Gebäuden kann durch entsprechende Maßnahmen deutlich reduziert werden. Gebäude sind aktuell im Mittel zu 40 % am Energieverbrauch und mit etwa einem Drittel an der CO₂-Belastung beteiligt.

Für Bestandsbauten wurden die relevanten Gesetze und Verordnungen betrachtet und deren Einfluss auf die Sanierungsmöglichkeiten untersucht. Der öffentliche Bauherr, wie z. B. die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) wird durch diese zunehmend in die Pflicht genommen, seiner Vorbildfunktion gerecht zu werden.

Für eine erste energetische Bewertung der Hochbauten der WSV wurden die Außenbezirke und Bauhöfe betrachtet. Diese Gebäudegruppe wurde ausgewählt, da diese von der WSV selbst verwaltet und betrieben werden. So können die gewonnenen Erkenntnisse auch direkt umgesetzt werden. Die Resonanz auf die Datenabfrage war positiv, so dass Daten von 35 der 39 Wasserstraßen- und Schifffahrtsämter (ca. 90 %) vorhanden sind und ausgewertet werden konnten. Es wurden über 350 Gebäude in 124 Außenbezirken und 29 Bauhöfen erfasst. Es wurden nicht nur Energieverbräuche abgefragt, sondern auch einige Grunddaten zu den Gebäuden und deren Anlagentechnik, die eine erste Beurteilung des Gebäudes zulassen. Die Bestandsaufnahme brachte bereits einige Optimierungspotentiale im Bereich der Gebäudebewirtschaftung zu Tage.

Die Daten aus der Bestandsaufnahme sind in einer Postgre-SQL-Datenbank zusammengefasst worden, die die Grundlage für eine kontinuierliche jährliche Erfassung der Energiedaten der WSV bilden könnte. Mit der Anwendung „Cadenza“ wurden die Daten visualisiert und sind über einen Webmapservice abrufbar.

Daraufhin wurden für mehrere Außenbezirke und für einen Bauhof von zwei Ingenieurbüros beispielhafte energetische Untersuchungen durchgeführt. Für die zu untersuchenden Gebäude wurde eine Energiebedarfsberechnung nach DIN V 18599:2011 durchgeführt. Dafür wurden die Gebäude nach den entsprechenden Kriterien zониert. Die Berechnung erfolgt zunächst als normierte Berechnung des Bestandes. In einem weiteren Schritt wurde die normierte Berechnung an den jeweils tatsächlichen Energieverbrauch angepasst.

Des Weiteren wurden, wie für einen Energiebedarfsausweis üblich, Modernisierungsempfehlungen für die bestehenden Gebäude ausgearbeitet. Dabei sollten grundsätzlich 4 unterschiedliche Varianten untersucht werden:

- EnEV 2014
- Neubaustandard der EnEV 2014
- Variante mit vollständig regenerativer Wärmeversorgung
- Variante des aktuell wirtschaftlich sinnvollsten Maßnahmenpaketes.

Die Varianten sollten als sinnvolle Maßnahmenpakete angelegt sein. Die Maßnahmenauswahl war zu beschreiben und zu begründen.

Für die Maßnahmenpakete sind Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen durchgeführt worden unter Einbeziehung der Investitions- und Betriebskosten. Schließlich haben die energetischen Untersuchungen aufgezeigt, dass die wenigsten Maßnahmen sofort wirtschaftlich sinnvoll umzusetzen sind. Es stellte sich als sinnvoll heraus, für die Gebäude jeweils einen Sanierungsfahrplan zu erstellen, damit die Maßnahmen mit größtmöglicher Wirtschaftlichkeit umgesetzt werden können.

Für ein Gebäude wurde exemplarisch ein Sanierungsfahrplan aufgestellt. Bei der energetischen Untersuchung des Gebäudes wurden verschiedene Optimierungsmöglichkeiten aufgezeigt. Diese wurden in sinnvolle Maßnahmenpakete gebündelt, damit zum richtigen Zeitpunkt die richtigen Maßnahmen durchgeführt werden.

Für die Gebäude der WSV wurde eine umfassende Datenbank entwickelt, die die Grundlage für den systematischen Aufbau eines Energiemanagements bzw. Gebäudemanagements sein kann. Die Ergebnisse zeigen teils schon gute Ergebnisse. Angesichts eines großen Gebäudebestands der WSV herrscht aber noch Handlungsbedarf.

| Inhaltsverzeichnis | | Seite |
|---------------------------|--|--------------|
| 1 | Veranlassung und Aufgabenstellung | 1 |
| 1.1 | Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung | 3 |
| 1.2 | Stand des Wissens | 4 |
| 1.2.1 | Politische Rahmenbedingungen | 6 |
| 1.2.1.1 | Europa 20-20-20 | 6 |
| 1.2.1.2 | Energiewende | 7 |
| 1.3 | Bedeutung für die WSV | 8 |
| 1.4 | Untersuchungsziel | 9 |
| 1.5 | Untersuchungsmethoden | 10 |
| 2 | Gebäude und Energie | 10 |
| 2.1 | Raumklima und Behaglichkeit | 11 |
| 2.2 | Energieoptimiertes Planen und Bauen | 13 |
| 2.3 | Planen und Bauen im Bestand | 15 |
| 2.4 | Sanierungsfahrpläne | 16 |
| 2.4.1 | Komplettsanierung | 19 |
| 2.4.2 | Erneuerung in Stufen durch Einzelmaßnahmen | 20 |
| 2.5 | Wirtschaftlichkeit von Modernisierungen | 21 |
| 2.5.1 | Kostenermittlung | 22 |
| 3 | Rechtliche Rahmenbedingungen | 24 |
| 3.1 | Baurecht | 24 |
| 3.1.1 | Denkmalschutz | 25 |
| 3.2 | Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden (Energieeinsparungsgesetz - EnEG) | 25 |
| 3.2.1 | Energieeinsparverordnung (EnEV) | 26 |
| 3.2.1.1 | Nachrüstpflichten nach EnEV 2014 | 26 |
| 3.2.1.2 | Anforderungen für bestehende Nichtwohngebäude gemäß EnEV 2014 | 26 |
| 3.2.1.3 | Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz | 28 |
| 3.3 | Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) | 29 |
| 3.3.1 | Anforderungen für Bestandsgebäude der öffentlichen Hand nach EEWärmeG | 29 |
| 3.4 | Zusätzliche Anforderungen für bestehende Bundesbauten | 30 |
| 3.5 | 1. Bundesimmissionsschutzverordnung (1.BImSchV) | 31 |
| 3.6 | Anforderungen gemäß DIN 4108, Teil 2 | 31 |
| 3.7 | Energiebedarfsberechnung nach DIN V 18599:2011 | 33 |
| 3.7.1 | Abgleich Verbrauch – Bedarf | 38 |
| 4 | Energetische Bewertung der Hochbauten der WSV | 39 |
| 4.1 | Nutzung Außenbezirk/Bauhof | 41 |
| 4.2 | Auswertung Bestandsaufnahme | 43 |
| 4.3 | Datenbankentwicklung „Energiekataster“ | 50 |

| | | |
|---------|---|----|
| 5 | Energetische Untersuchungen an WSV-Gebäuden | 52 |
| 5.1 | Außenbezirk Duisburg | 53 |
| 5.1.1 | Bestandsaufnahme ABz Duisburg | 53 |
| 5.1.2 | Bedarfs-Verbrauchs-Abgleich ABz Duisburg | 54 |
| 5.1.3 | Zusammenfassung Untersuchungsvarianten ABz Duisburg | 55 |
| 5.2 | Außenbezirk Emmerich | 56 |
| 5.2.1 | Bestandsaufnahme ABz Emmerich | 56 |
| 5.2.2 | Bedarfs-Verbrauch-Abgleich ABz Emmerich | 56 |
| 5.2.3 | Zusammenfassung Untersuchungsvarianten ABz Emmerich | 57 |
| 5.3 | Außenbezirk Köln | 58 |
| 5.3.1 | Bürogebäude ABz Köln | 58 |
| 5.3.1.1 | Bestandsaufnahme Bürogebäude ABz Köln | 58 |
| 5.3.1.2 | Bedarfs-Verbrauch-Abgleich Bürogebäude ABz Köln | 59 |
| 5.3.1.3 | Zusammenfassung Untersuchungsvarianten Bürogebäude ABz Köln | 60 |
| 5.3.2 | Betriebswerkgebäude ABz Köln | 63 |
| 5.3.2.1 | Bestandsaufnahme Betriebswerkgebäude ABz Köln | 63 |
| 5.3.2.2 | Bedarfs-Verbrauchs-Abgleich Betriebswerkgebäude ABz Köln | 64 |
| 5.3.3 | Zusammenfassung Untersuchungsvarianten Betriebswerkgebäude ABz Köln | 65 |
| 5.4 | ABz Meppen | 68 |
| 5.4.1 | Bestandsaufnahme ABz Meppen | 68 |
| 5.4.2 | Bedarfs-Verbrauchs-Abgleich ABz Meppen | 69 |
| 5.4.3 | Zusammenfassung Untersuchungsmaßnahmen ABz Meppen | 70 |
| 5.5 | ABz Neuss | 72 |
| 5.5.1 | Bestandsaufnahme ABz Neuss | 72 |
| 5.5.2 | Bedarfs-Verbrauchs-Abgleich ABz Neuss | 72 |
| 5.5.3 | Zusammenfassung Untersuchungsvarianten ABz Neuss | 73 |
| 5.6 | ABz Niederkassel | 74 |
| 5.6.1 | Bestandsaufnahme ABz Niederkassel | 74 |
| 5.6.2 | Bedarfs-Verbrauchs-Abgleich ABz Niederkassel | 75 |
| 5.6.3 | Zusammenfassung Untersuchungsvarianten ABz Niederkassel | 77 |
| 5.7 | ABz Wesel | 79 |
| 5.7.1 | Bestandsaufnahme ABz Wesel | 79 |
| 5.7.2 | Bedarfs-Verbrauch-Abgleich ABz Wesel | 80 |
| 5.7.3 | Zusammenfassung Untersuchungsvarianten ABz Wesel | 80 |
| 5.8 | Bauhof Neckarsteinach | 81 |
| 5.8.1 | Bestandsaufnahme Bauhof Neckarsteinach | 81 |
| 5.8.2 | Bedarfs-Verbrauchs-Abgleich Bauhof Neckarsteinach | 82 |
| 5.8.3 | Zusammenfassung Untersuchungsvarianten Bauhof Neckarsteinach | 84 |
| 6 | Sanierungsfahrplan Betriebswerkgebäude ABz Köln | 87 |
| 6.1 | Maßnahmenpaket 1 – Austausch der Heizung | 88 |
| 6.2 | Maßnahmenpaket 2 – Türen, Tore und Fußboden | 89 |
| 6.3 | Maßnahmenpaket 3 – Dachsanierung mit Lichtkuppeln | 89 |
| 6.4 | Maßnahmenpaket 4 – Außenwand und Fenster | 90 |

| | | |
|-----|---|----|
| 6.5 | Maßnahmenpaket 5 – Regenerative Energieversorgung | 90 |
| 7 | Ausblick | 91 |
| | Literaturverzeichnis | 93 |
| | Anlagen | |

| Bildverzeichnis | Seite |
|--|--------------|
| Bild 1: Energieflussbild 2015 für die Bundesrepublik Deutschland (Hrsg. Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.) | 2 |
| Bild 2: Die Entwicklung des Rohölpreises im Rückblick von 1970 bis (TECSON GmbH & Co. KG 2017) | 3 |
| Bild 3: Systematische Darstellung von Behaglichkeitsfaktoren (Hegger et al. 2008, S. 55) | 12 |
| Bild 4: Der PPD-Index als Funktion des PMV-Faktor (DIN EN ISO 7730:2006) | 13 |
| Bild 5: Die zehn Bausteine des energieoptimierten Bauens (eigene Darstellung in Anlehnung an (Hegger et al. 2008)) | 14 |
| Bild 6: Maßnahmen im Bestand zur Erhaltung und Veränderung eines Gebäudes (Kalusche und Herke 2016) | 15 |
| Bild 7: Beispielhafte Darstellung eines Sanierungsfahrplans (Minsiterium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2015) | 17 |
| Bild 8: Darstellung der Energiebilanzräume und deren gegenseitige Beeinflussungen für den Gesamt-Bilanzierungsraum Gebäude (Erhorn und Jagnow 2013) | 35 |
| Bild 9: Übersicht über die Teile der DIN V 18599:2011 | 36 |
| Bild 10: Datenerhebungsbogen, der an die Wasserstraßen- und Schifffahrtsämtern versendet wurde. | 40 |
| Bild 11: Die Außenbezirke der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung in Deutschland | 42 |
| Bild 12: Baujahr der erfassten Gebäude | 43 |
| Bild 13: Prozentuale Verteilung der Nettogrundfläche in m ² der erfassten Gebäude | 44 |
| Bild 14: Arten der Anlagen (Heizung/Warmwasser) der Außenbezirke und Bauhöfe der WSV | 44 |
| Bild 15: Arten der Warmwasserbereitung der Außenbezirke und Bauhöfe | 45 |
| Bild 16: Energieträger der Außenbezirke und Bauhöfe | 45 |
| Bild 17: Baujahr der Heizkessel in den Außenbezirken und Bauhöfen | 46 |
| Bild 18: Prognose Energieträger-Mix heute (links) und 2020 (rechts) der Wärmebereitstellungsanlagen bei Ersatz durch regenerative Energieträger | 46 |
| Bild 19: Leistungsaufnahme der Heizkessel der Außenbezirke und Bauhöfe in kW | 47 |
| Bild 20: Primärenergiekennwert Wärme (dunkelblau) und Strom (hellblau) der Außenbezirke und Bauhöfe in den Zuständigkeitsbereichen der GDWS Außenstellen des Bundes in Ordnungsnummernbereiche 100 - 700 in kWh/m ² a | 48 |
| Bild 21: Primärenergiekennwert Wärme in kWh/m ² a in Bezug zum Baujahr des Gebäudes | 48 |

| | | |
|----------|---|----|
| Bild 22: | Primärenergiekennwert Wärme in kWh/m ² a in Bezug zur Nettogrundfläche in m ² des Gebäudes | 49 |
| Bild 23: | Primärenergiekennwert Wärme (dunkelblau) und Strom (hellblau) der Wasserstraßen- und Schifffahrtsämter des Bundes in kWh/m ² a | 50 |
| Bild 24: | Datenbank dargestellt mit der Anwendung „Cadenza“ | 51 |
| Bild 25: | Objektinformation aus dem Luftbild oder einer Karte direkt per Mausclick abrufen | 52 |
| Bild 26: | Prozentuale Verteilung der Primärenergiekennwerte der erfassten Gebäude in kWh/m ² a | 52 |
| Bild 27: | Lageplan ABz Duisburg | 53 |
| Bild 28: | Lageplan ABz Emmerich | 56 |
| Bild 29: | Lageplan Außenbezirk Köln | 58 |
| Bild 30: | Schema Wärmeversorgung, Bürogebäude Außenbezirk Köln | 59 |
| Bild 31: | Jährlicher absoluter Energieverbrauch des Büro- bzw. Betriebswerkgebäudes des Außenbezirk Köln, gemessen. | 59 |
| Bild 32: | Primärenergiebedarf der Varianten nach DIN V 18599:2011, normiert und angepasst, Bürogebäude ABz Köln | 62 |
| Bild 33: | Berechnete CO ₂ -Emissionen der Varianten, normiert und angepasst, Bürogebäude ABz Köln | 63 |
| Bild 34: | Schema Wärmeversorgung, Betriebswerkgebäude ABz Köln | 64 |
| Bild 35: | Primärenergiebedarf der Varianten nach DIN V 18599:2011, normiert und angepasst, Betriebswerkgebäude ABz Köln | 65 |
| Bild 36: | Berechnete CO ₂ -Emissionen der Varianten, normiert und angepasst, Betriebswerkgebäude ABz Köln | 67 |
| Bild 37: | Lageplan Außenbezirk Meppen | 68 |
| Bild 38: | Schema Wärmeversorgung | 69 |
| Bild 39: | Primärenergiebedarf der Varianten nach DIN V 18599:2011, normiert, ABz Meppen | 71 |
| Bild 40: | Berechnete CO ₂ -Emissionen der Varianten, normiert, ABz Meppen | 71 |
| Bild 41: | Lageplan ABz Neuss | 72 |
| Bild 42: | Lageplan ABz Niederkassel | 74 |
| Bild 43: | Schema Wärmeversorgung ABz Niederkassel | 75 |
| Bild 44: | Jährlicher absoluter Energieverbrauch des ABz Niederkassel, gemessen. | 76 |
| Bild 45: | Jährlicher spezifischer Gasverbrauch des ABz Niederkassel (Anteile von Warmwasser über Berechnung abgeschätzt) | 76 |

| | | |
|----------|---|----|
| Bild 46: | Primärenergiebedarf der Varianten nach DIN V 18599:2011, normiert und angepasst, ABz Niederkassel | 78 |
| Bild 47: | Berechnete CO ₂ -Emissionen der Varianten, normiert und angepasst, ABz Niederkassel | 79 |
| Bild 48: | Lageplan ABz Wesel | 79 |
| Bild 49: | Lageplan Bauhof Neckarsteinach | 81 |
| Bild 50: | Schema Wärmeversorgung Bauhof Neckarsteinach | 82 |
| Bild 51: | Jährlicher absoluter Energieverbrauch des Bauhof Neckarsteinach, gemessen. | 83 |
| Bild 52: | Jährlicher spezifischer Energieverbrauch des Bauhof Neckarsteinach (Anteile von Warmwasser über Berechnung abgeschätzt) | 83 |
| Bild 53: | Primärenergiebedarf der Varianten nach DIN V 18599:2011, normiert und angepasst, ABz Niederkassel | 85 |
| Bild 54: | Berechnete CO ₂ -Emissionen der Varianten, normiert und angepasst, Bauhof Neckarsteinach | 86 |
| Bild 55: | Betriebswerkgebäude Außenbezirk Köln | 87 |

| Tabellenverzeichnis | Seite | |
|----------------------------|---|----|
| Tabelle 1: | PMV-Faktor und zugehörige Empfindung (DIN EN ISO 7730:2006) | 12 |
| Tabelle 2: | Vor- und Nachteile von Erneuerungen in einem Zug (Streck 2011, S. 39) | 20 |
| Tabelle 3: | Vor- und Nachteile von Erneuerungen in Stufen (Streck 2011, S. 39) | 21 |
| Tabelle 4: | Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten bei erstmaligem Einbau, Ersatz und Erneuerung von Bauteilen (EnEV 2014, Anlage 3, Tabelle 1) | 28 |
| Tabelle 5: | Unterschreitung der EnEV-Anforderung für Bundesbauten (Bezug: EnEV 2014) | 30 |
| Tabelle 6: | Mindestwerte für Wärmedurchlasswiderstände von Bauteilen (DIN 4108, Teil 2, Tabelle 3) | 33 |
| Tabelle 7: | Bedarfs-/Verbrauchsabgleich Endenergie Wärme, Bürogebäude ABz Köln | 60 |
| Tabelle 8: | Zuordnung der Einzelmaßnahmen zu den Maßnahmenpaketen, Bürogebäude ABz Köln | 61 |
| Tabelle 9: | Bedarfs-/Verbrauchsabgleich Endenergie Wärme, Betriebswerkgebäude ABz Köln | 65 |
| Tabelle 10: | Zuordnung der Einzelmaßnahmen zu den Maßnahmenpaketen, Betriebswerkgebäude ABz Köln | 66 |
| Tabelle 11: | Zuordnung der Einzelmaßnahmen zu den Maßnahmenpaketen, ABz Meppen | 70 |
| Tabelle 12: | Bedarfs-Verbrauchs-Abgleich Endenergie Wärme, ABz Niederkassel | 77 |

| | |
|---|----|
| Tabelle 13: Zuordnung der Einzelmaßnahmen zu den Maßnahmenpaketen, ABz Niederkassel | 77 |
| Tabelle 14: Bedarfs-Verbrauchs-Abgleich Endenergie Wärme, Bauhof Neckarsteinach | 84 |
| Tabelle 15: Zuordnung der Einzelmaßnahmen zu den Maßnahmenpaketen, Bauhof Neckarsteinach | 85 |

Anlagenverzeichnis

| | |
|----------|---|
| Anlage 1 | Energetische Untersuchung Außenbezirk Duisburg |
| Anlage 2 | Energetische Untersuchung Außenbezirk Emmerich |
| Anlage 3 | Energiekonzept Bürogebäude Außenbezirk Köln |
| Anlage 4 | Energiekonzept Betriebswerkgebäude Außenbezirk Köln |
| Anlage 5 | Energiekonzept Außenbezirk Meppen |
| Anlage 6 | Energetische Untersuchung Außenbezirk Neuss |
| Anlage 7 | Energiekonzept Außenbezirk Niederkassel |
| Anlage 8 | Energetische Untersuchung Außenbezirk Wesel |
| Anlage 9 | Energiekonzept Bauhof Neckarsteinach |

1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Die schwankenden äußeren Einflüsse unserer Klimazone erfordern bei den herkömmlichen Bauweisen von Gebäuden eine permanente Zuführung von Energie, um die Behaglichkeitsanforderungen der Menschen zu erfüllen. Dies führte in der Vergangenheit zu einem hohen Energieverbrauch der Gebäude, was aufgrund der geringen Preise für Energie aus finanzieller Sicht unproblematisch war. Die steigenden Energiepreise belasten in immer größerem Maße die privaten als auch die öffentlichen Haushalte. Zudem verursachte der hohe Energieverbrauch Umweltbelastungen. Aus diesen Gründen besteht in den letzten Jahren ein immer größer werdendes Interesse an einer gesteigerten Energieeffizienz bzw. dem Einsatz an erneuerbaren Energien.

„Manche Materialien werden knapp und entsprechend teurer, andere erzeugen ungewollte Auswirkungen auf Umwelt und Nutzer, wieder andere erfüllen nicht dauerhaft die an sie gestellten Ansprüche. Dies gilt in gleichem Maße für die konventionellen Energieträger: Auch sie sind knapp und verteuern sich zusehends; darüber hinaus gelten sie als wesentliche Verursacher des Klimawandels und weiterer Umweltbelastungen. Die prognostizierte Reichweite nicht erneuerbarer Energieträger wie Erdgas und Erdöl ist geringer als die zu erwartende Lebensdauer vieler Gebäude, nicht nur der Neubauten. Die globale Auseinandersetzung um die Reserven spitzt sich zu, Befürchtungen um die Versorgungssicherheit sind nur allzu berechtigt. Zunehmend werden uns die Endlichkeit vieler Ressourcen und die Folgen ihres unkontrollierten Einsatzes für Mensch und Umwelt bewusst.“(Hegger et al. 2008, S. 6)

Deutschland gilt als eine der energieeffizientesten Wirtschaftsnationen der Welt. Ein Blick auf die Energiebilanz Deutschlands zeigt dennoch, wie ineffizient mit Energie umgegangen wird. So ist es auch nicht verwunderlich, dass der Pro-Kopf-Energieeinsatz in Deutschland einer der höchsten weltweit ist.

Es bestehen erhebliche Potentiale zur Energie- und Stromeinsparung. Die Kosten für die Energie sind meist der erste Impuls, der zum Nachdenken über eine rationelle Energienutzung führt. Den Energieeinsatz zu verringern, führt unmittelbar zu geringeren Energiekosten. Die weltweit steigende Nachfrage nach Energie wird langfristig zu deutlich steigenden Energiepreisen führen. Der Rohölpreis dient nach wie vor als Leitindikator für die Entwicklung der Energiepreise.

Energieflussbild 2015 für die Bundesrepublik Deutschland in Mio. t SKE

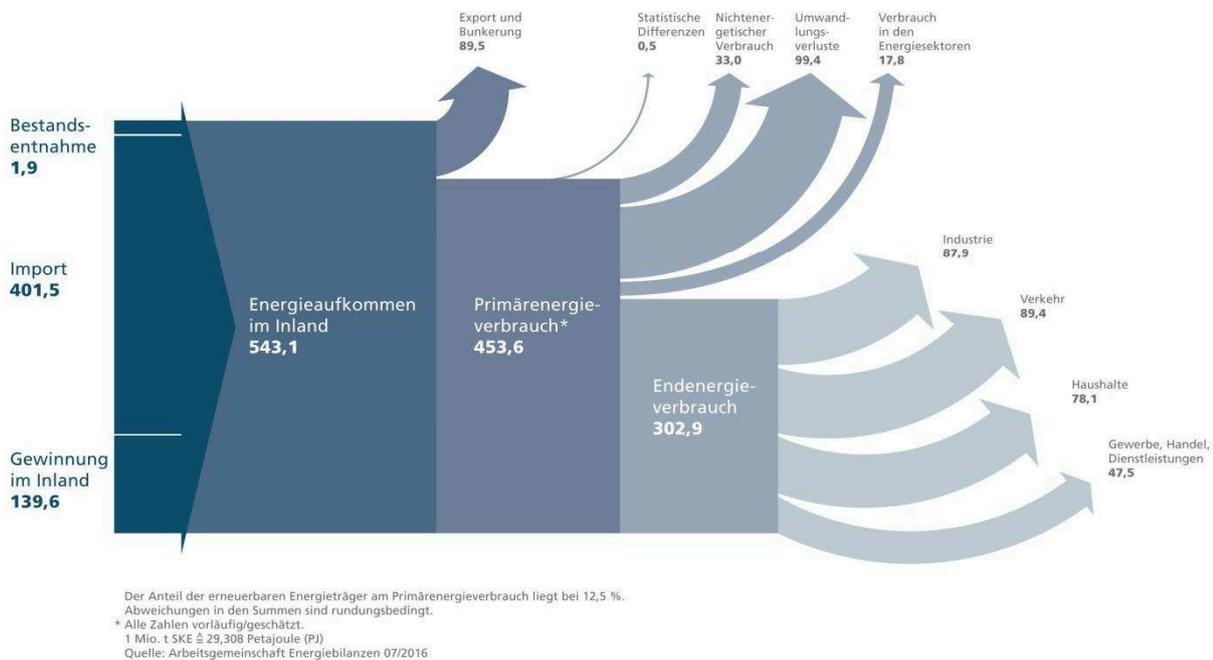


Bild 1: Energieflussbild 2015 für die Bundesrepublik Deutschland (Hrsg. Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.)

„Zahlreiche Maßnahmen, die den Energieverbrauch senken, haben gleichzeitig den Vorteil, sich binnen kurzer Zeit zu amortisieren. Zudem steigt der Anteil erneuerbarer Energien automatisch, je geringer der Energiebedarf ist – ein unterschätzter Nebeneffekt“ (Girbig 2013). Mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien hat Deutschland eine internationale Vorreiterrolle übernommen und wird dadurch unabhängiger von Energieimporten, was zur einer Erhöhung der Versorgungssicherheit führt. Durch diesen starken Ausbau werden die erneuerbaren Energien zunehmend zu einer wichtigen Säule der Energieversorgung. Dies führt zwangsläufig zu einer Modernisierung der Energieinfrastruktur, da dadurch das gesamte Energieversorgungssystem optimiert werden muss. Das Zusammenspiel der konventionellen und erneuerbaren Energien über die Energienetze und Speicher wird zur großen Herausforderung der nächsten Jahrzehnte.

Somit wird die Energiebranche zu einem Treiber der Innovationen, die zusätzliche Arbeitsplätze schafft und Investitionen in energiesparende und energieeffiziente Produkte und Dienstleistungen auslöst. Der daraus resultierende technologische Vorsprung, gepaart mit der geringeren Kostenbelastung, führt zu einer Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit der Wirtschaft in Deutschland.

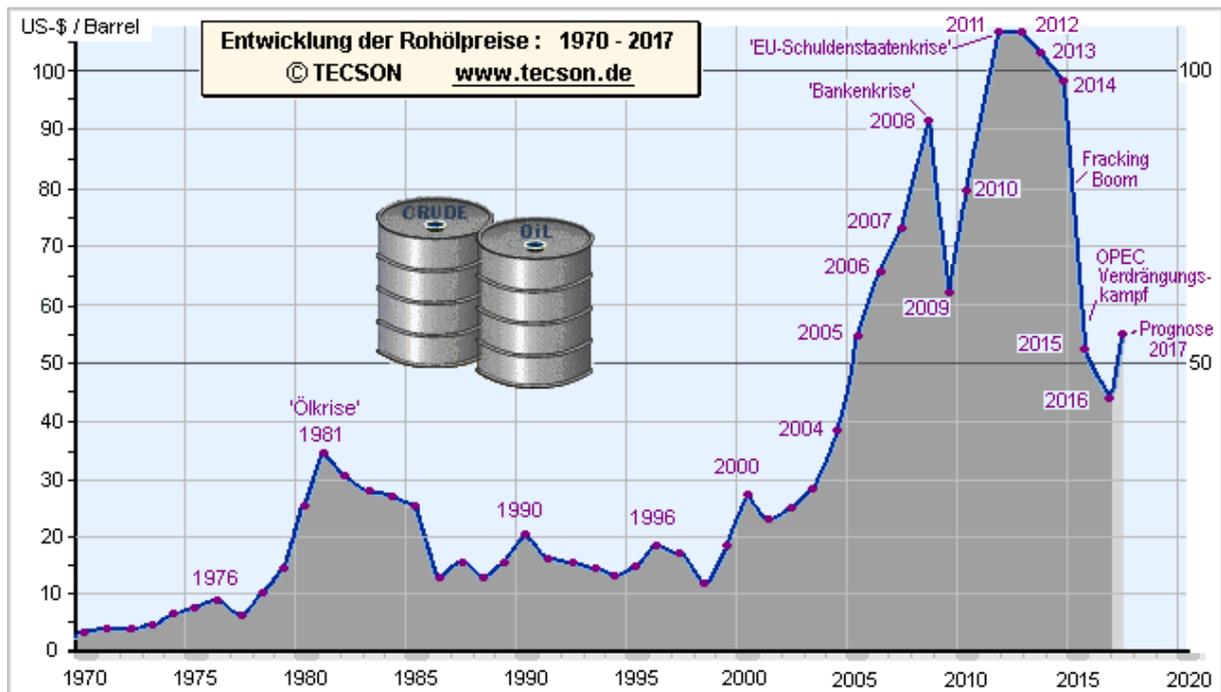


Bild 2: Die Entwicklung des Rohölpreises im Rückblick von 1970 bis (TECSON GmbH & Co. KG 2017)

Diese wirtschaftlichen Vorteile sprechen schon für eine rationelle Energienutzung, obwohl eines der Hauptziele noch nicht einmal genannt ist: die Reduzierung der Treibhausgasemissionen. Ein zentrales Ziel der Bundesregierung ist es bis zum Jahre 2050 „einen klimaneutralen Gebäudebestand zu haben. Klimaneutral heißt, dass die Gebäude nur noch einen sehr geringen Energiebedarf aufweisen und der verbleibende Energiebedarf überwiegend durch erneuerbare Energien gedeckt wird“ (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2010). Im Energiekonzept der Bundesregierung wird „die energetische Sanierung des Gebäudebestandes als die wichtigste Maßnahme bezeichnet, um den Verbrauch an fossilen Energieträgern nachhaltig zu mindern und die Energieimporte zu reduzieren. Deshalb ist ein langfristiger Sanierungsfahrplan für den Gebäudebestand erforderlich, der den Akteuren sowohl den Orientierungsrahmen für Investitionen gibt, wie auch die notwendige Flexibilität belässt. Die Bundesregierung möchte für ihre künftigen Neubauten und bei bestehenden Liegenschaften eine Vorbildfunktion bei der Reduzierung des Energieverbrauchs einnehmen“ (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2010).

Dieser Vorbildfunktion möchte nun auch die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung gerecht werden. Diese Arbeit bildet ein Grundstein für die systematische Verbesserung des Gebäudebestandes der WSV. Es soll aufgezeigt werden, wie die Liegenschaften sich in den nächsten Jahren entwickeln könnten, um dem Ziel eines klimaneutralen Gebäudebestandes näher zu kommen.

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung

Gebäude sind im Mittel zu 40 % am Energieverbrauch und mit etwa einem Drittel an der CO₂-Belastung (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2010) beteiligt, weshalb hier das

größte Einsparpotential gesehen wird. Der Energieverbrauch von Gebäuden kann durch entsprechende Maßnahmen deutlich reduziert werden. Auch die Erzeugung von Wärme und Kälte durch erneuerbare Energien ist heute schon effizient möglich. Durch diese kombinierte Vorgehensweise sind grundsätzlich nahezu klimaneutrale Gebäudekonzepte umsetzbar. Dass Konzepte, die zuverlässig, langlebig und wirtschaftlich sind, heute schon umsetzbar sind, zeigt die Statistik im Gebäudebereich. Der absolute Endenergieverbrauch in Gebäuden sinkt, obwohl die Wohn- und sonstigen Nutzflächen stetig wachsen.

Der Zustand der Gebäude der WSV und deren Energieverbrauch werden bisher noch unzureichend erfasst. Eine zentrale Erfassung dieser Daten in einer Bauwerksdatenbank bzw. einem Energiemanagement-System hätte zum Vorteil, dass man über Kennwertbildung (Benchmarking) ineffiziente Gebäude identifizieren könnte. Im nächsten Schritt kann man dann gezielt Maßnahmen einleiten, um die Situation in diesen Gebäuden zu verbessern.

Der Aufbau eines kontinuierlichen Energiemanagements eröffnet auch die Möglichkeit, Fehler in der Anlagentechnik oder im Betrieb von Gebäuden aufzudecken. Solche Aufzeichnungen ermöglichen, den täglichen Betrieb effizienter zu gestalten, ohne dass man große bauliche Veränderungen am Gebäude vornimmt. Die steigenden Anforderungen der Energieeinsparverordnung (EnEV) und die Vorbildfunktion der Bundesbauten führen dazu, dass die Energiekonzepte immer ganzheitlicher und komplexer werden, so dass hier einer langfristigen Planung der Einzelmaßnahmen eine immer größere Bedeutung zukommt. In diesem Energiemanagement-System sollen zukünftig die Energieverbrauchsdaten für Wärme, Strom und evtl. auch Wasser erfasst und bilanziert werden.

1.2 Stand des Wissens

Momentan entwickelt sich der Wissensstand im Bereich der energetischen Optimierung von Gebäuden rasant, da aufgrund der politischen Zielsetzungen sehr viele Forschungsvorhaben in diesem Bereich angesiedelt sind. Dementsprechend findet man eine große Auswahl unterschiedlichster Quellen. Hier soll ein kleiner Überblick der wichtigsten Informationsquellen dargestellt werden, die auf diese Arbeit den größten Einfluss hatten.

Mit der „Energieeffizienzstrategie Gebäude“ (ESG) hat die Bundesregierung einen klaren Handlungsrahmen für die Energiewende im Gebäudebereich geschaffen. Der „Energieeffizienzstrategie Gebäude“ liegt das Ziel eines nahezu klimaneutralen Gebäudebestands bis 2050 gemäß dem Energiekonzept der Bundesregierung zugrunde. Das bedeutet, dass im Gebäudebereich der Primärenergiebedarf durch eine Kombination aus Energieeinsparung und dem Einsatz erneuerbarer Energien bis 2050 in der Größenordnung von 80 Prozent gegenüber 2008 zu senken ist. (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2015)

Die Forschungsinitiative „ENERGIEWENDEBAUEN“ (FIZ Karlsruhe – Leibniz-Institut für Informationsinfrastruktur GmbH 2017) des Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) bündelt mehr als 500 Forschungsvorhaben, die im Bereich energieoptimierte Gebäude und Quartiere forschen. Gemeinsam mit dem „Forschungsnetzwerk Energie in Gebäuden und Quar-

tieren“ (Projektträger Jülich) wird der Transfer von Forschungsergebnissen in die Praxis umgesetzt. Forschung muss die Grundlagen liefern, damit die Umstrukturierung der Energieversorgung in Deutschland beschleunigt und auf eine sichere Basis gestellt werden kann. Sie trägt dazu bei, die nötigen Verfahren und Techniken zu entwickeln, um die Ziele der Energiewende zu erreichen.

„ENERGIEWENDEBAUEN bündelt und vernetzt damit inhaltlich die Forschungsfelder Energieoptimiertes Bauen (EnOB), Energieeffiziente Stadt (EnEff:Stadt) und Energieeffiziente Wärme- und Kältenetze (EnEff:Wärme), thermische Energiespeicher und Niedertemperatur-Solarthermie sowie die Förderinitiativen Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt und EnEff.Gebäude.2050 unter einem Dach.“ (FIZ Karlsruhe – Leibniz-Institut für Informationsinfrastruktur GmbH 2017)

„Die Forschungsinitiative "Zukunft Bau" des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) hat das Ziel, die Wettbewerbsfähigkeit des deutschen Bauwesens im europäischen Binnenmarkt zu stärken und bestehende Defizite insbesondere im Bereich technischer, baukultureller und organisatorischer Innovationen zu beseitigen“ (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2017a). Auch in dieser Initiative werden Forschungsprojekte mit der Zielsetzung Energieeffizienz und erneuerbare Energien im Gebäude- und Quartiersbereich (Effizienzhaus Plus) sowie nachhaltiges Bauen und Modernisierung des Gebäudebestands, um nur einige Forschungsziele zu nennen, gefördert.

Das „Informationsportal Nachhaltiges Bauen“ (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2017b) ist eine Internetplattform des BMUB, auf der Informationen zum nachhaltigen Bauen zur Verfügung gestellt werden. Das nachhaltige Bauen lässt sich in drei Kategorien gliedern:

- die ökologische Dimension
- die ökonomische Dimension
- die soziale und kulturelle Dimension.

„Für den Baubereich lassen sich aus diesen Dimensionen verschiedene Schutzziele ableiten. Dabei wird im Rahmen einer Lebenszyklusbetrachtung die Optimierung sämtlicher Einflussfaktoren über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes – also von der Rohstoffgewinnung über die Errichtung bis zum Rückbau – angestrebt“ (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2017c).

Die Bundesregierung hat gemäß RBBau den „Leitfaden Nachhaltiges Bauen“ (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit et al. 2016) als Arbeitshilfe herausgebracht. Dieser ist bei Bauvorhaben des Bundes im Bereich der Planung, des Bauens, der Bauunterhaltung, des Betriebs und der Nutzung von Gebäuden und Liegenschaften zu beachten. Zu diesem Leitfaden wurde auch ein Bewertungsverfahren (BNB) für Büro und Verwaltungsgebäude (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit 2017) entwickelt. Dieses Verfahren wurde gemeinsam mit der „Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen“ (DGNB) entwickelt.

Die 10 Punkte des energieeffizienten Bauens sind von Hegger im „Energie-Atlas – Nachhaltige Architektur“ (Hegger et al. 2008) ausführlich dargestellt. Diese Ausführungen bilden die Grundlage sowohl für Neubauten als auch für den Bestand. In Kapitel 2 wird auf dieses Thema näher eingegangen.

Zu dem Zusammenspiel von Standort, Klima und Gebäude sind die Werke „ClimaDesign“ (Hausladen et al. 2005), „ClimaSkin“ (Hausladen et al. 2006) und „Klimagerecht bauen“ (Hausladen et al. 2012) von Hausladen maßgebend. Er beschreibt ausführlich die Zusammenhänge zwischen der Fassade und den äußeren bzw. inneren Einflussfaktoren, die auf die Bauteile einwirken.

Junghans zeigt in ihrer Dissertation „Bewertung und Steigerung der Energieeffizienz kommunaler Bestandsgebäude“ (Junghans 2009) einen Ansatz für die Energieeffizienzbewertung der kommunalen Praxis auf.

Für die Einführung und Umsetzung eines Energiemanagementsystems stellt die DIN EN ISO 50001 (DIN EN ISO 50001) aus dem Jahre 2011 das grundlegende Wissen zusammen. Diese Norm zeigt Wege auf, wie Energiesparpotentiale systematisch aufgedeckt, bewertet und überwacht werden können. Daraus lassen sich dann die entsprechenden Maßnahmen zur Optimierung ableiten.

Die „2000-Watt-Gesellschaft“ in der Schweiz zeigt einen Ausblick auf, in welche Richtung sich die Entwicklung zu einer nachhaltigen und gerechten Weltgesellschaft bewegen könnte. Die Gesellschaft vertritt die Ansicht, dass jeder heute und in der Zukunft lebende Mensch das Anrecht auf gleich viel Energie besitzt. Bei einer weltweiten Betrachtung des energetischen Klimaziels kommt man zu den ungefähr 2000 Watt Dauerleistung Primärenergie, die jeder Person weltweit nachhaltig zur Verfügung stehen. Damit sich das Klima auch mit dieser Energiemenge nicht drastisch verändert, müssten die damit verbundenen CO₂-Emissionen auf 1 Tonne pro Person begrenzt werden. Aktuell liegt die Leistung pro Person in der Schweiz bei 7400 Watt und einem Ausstoß von 11,4 Tonnen CO₂. Die Schriften der „2000-Watt-Gesellschaft“ (Fachstelle 2000-Watt-Gesellschaft 2017) und der „SIA-Effizienzpad Energie“ (SIA 2040:2017) des Schweizer Ingenieur- und Architektenvereins geben einen interessanten Ausblick in die Zukunft.

1.2.1 Politische Rahmenbedingungen

Die Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung wird mittlerweile durch eine Vielzahl von Strategien, Konzepten, Richtlinien, Verordnungen und Gesetzen politisch gesteuert. An dieser Stelle sollen die aktuell gültigen politischen Rahmenbedingungen aufgezeigt werden.

1.2.1.1 Europa 20-20-20

Im Jahr 2007 beschloss der Europäische Rat die Strategie "20-20-20". Sie gibt das Ziel aus, bis 2020 die Treibhausgase um 20 % im Vergleich zu 1990 zu reduzieren und sowohl die Energieeffizienz als auch den Anteil der erneuerbaren Energien auf 20 % zu steigern. In der Zwischenzeit sind aus diesen Zielen mehr oder weniger konkrete Richtlinien geworden.

Die EU-Gebäuderichtlinie (Europäische Union 2010) ist erstmals 2002 herausgegeben worden und wurde 2010 novelliert. Diese Richtlinie legt fest, dass die Mitgliedstaaten der Europäischen Union eine ganzheitliche Beurteilung der Energieeffizienz von Gebäuden einführen müssen und so die Energieeffizienz im Gebäudebereich erhöht wird. Zudem müssen für diese Gebäude Energieausweise ausgestellt werden. In der Novellierung 2010 wird nun ein neuer Baustandard für Neubauten vorgeschrieben. Das „Niedrigstenergiegebäude“ ist ein Gebäude, das eine sehr hohe Gesamtenergieeffizienz aufweist und bei öffentlichen Bauten ab 2019, für alle anderen Bauten ab 2021 Anwendung finden muss.

Mit der „Erneuerbaren-Richtlinie“ aus dem Jahre 2009 wurden die Ziele für die Förderung der Nutzung von Energien aus erneuerbaren Quellen konkretisiert.

Im Dezember 2012 trat die EU-Energieeffizienzrichtlinie (EED) (Europäisches Parlament, Rat der Europäischen Union 2012) in Kraft. Sie umfasst ein breites Spektrum verschiedener Bereiche und sieht Aktivitäten zur Stärkung der Energieeffizienz vor, die von den Mitgliedstaaten umgesetzt werden sollen. So sollen nationale Energieeffizienzziele für 2020 festgelegt werden. Im Gebäudebereich ist vorgeschrieben, dass eine Sanierungsrate von 3 % pro Jahr erreicht werden soll.

Diese europäischen Richtlinien sind maßgeblich für den Gebäudebereich und müssen in deutschem Recht umgesetzt werden. Zudem werden momentan neue Konzepte für die Zukunft entwickelt, wie z.B. „Ein Rahmen für die Klima- und Energiepolitik im Zeitraum 2020-2030“, die bereits über neue Zielstellungen diskutieren. Die Treibhausgasemissionen sollen bis 2030 um 40 % reduziert werden, der Anteil der erneuerbaren Energien auf mindestens 27 % erhöht und Energieeinsparungen von mindestens 27 % erreicht werden.

1.2.1.2 Energiewende

Im Jahre 2010 hat die Bundesregierung ein Energiekonzept veröffentlicht, da erkannt wurde, dass „die Sicherstellung einer zuverlässigen, wirtschaftlichen und umweltverträglichen Energieversorgung eine der größten Herausforderungen des 21. Jahrhunderts“ (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2010, S. 5) ist. Das Energiekonzept legt Leitlinien fest und beschreibt den Weg in eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung auf der Basis von erneuerbaren Energien. „Deutschland soll in Zukunft bei wettbewerbsfähigen Energiepreisen und hohem Wohlstandsniveau eine der energieeffizientesten und umweltschonendsten Volkswirtschaften der Welt werden. Ein hohes Maß an Versorgungssicherheit, ein wirksamer Klima- und Umweltschutz sowie eine wirtschaftlich tragfähige Energieversorgung sind zugleich zentrale Voraussetzungen, dass Deutschland auch langfristig ein wettbewerbsfähiger Industriestandort bleibt“ (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2010, S. 5). Dies ist die Zielvorgabe des Energiekonzeptes.

Für den Gebäudebereich wurde das enorme Potenzial durch den Einsatz von Effizienzmaßnahmen angesprochen. Diese Effizienzmaßnahmen in Verbindung mit den erneuerbaren Energien sind der Schlüssel der zukünftigen Energieversorgung der Gebäude. Das Augenmerk muss auf die Sanierung des Gebäudebestandes gelegt werden, da sonst die ambitionierten Klimaziele

nicht erreicht werden können und sich auch in diesem Bereich die größten Verbesserungen erzielen lassen.

In Deutschland sind die europäischen Vorgaben größtenteils bereits in nationales Recht umgesetzt worden. So sind die Grundpflichten zur Energieeinsparung im Gebäudebereich im Energieeinsparungsgesetz (EnEG), in der Energieeinsparverordnung (EnEV) und dem Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) umgesetzt worden. Momentan wird gerade an einer Zusammenführung dieser drei Regelwerke gearbeitet, um die Regelungen etwas zu vereinfachen.

Das Energieeinsparungsgesetz, das bereits seit 1976 (Ölkrise) den sparsamen Umgang mit Energie im Gebäude regelt, schafft den gesetzlichen Rahmen für die Energieeinsparverordnung und setzt die Pflicht zum Bau von Neubauten im „Niedrigstenergiestandard“ der EU um. Die letzte Novellierung fand im Juli 2013 statt.

Die Energieeinsparverordnung setzt die im EnEG geregelten Vorgaben in Maßnahmen und Bestimmungen um, die der Steigerung der Energieeffizienz im Gebäude dienen sollen. Auf die für diese Arbeit relevanten Vorgaben für den Gebäudebestand wird in Kapitel 3 genauer eingegangen. Die aktuelle Fassung von Mai 2014 hat bereits eine Verschärfung der Anforderungen zum 01.01.2016 enthalten, um der Bauwirtschaft eine gewisse Rechtssicherheit über einen etwas längeren Zeitabschnitt zu gewähren.

Das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz sieht eine Verpflichtung zum Einsatz erneuerbarer Energien in Neubauten und - im Falle von Gebäuden der öffentlichen Hand - auch bei grundlegenden Renovierungen vor. Das EEWärmeG, aktuelle Fassung aus dem Jahre 2015, ist somit ein wichtiger Baustein im Fördersystem für erneuerbare Energien und soll den Anteil an erneuerbaren Energien im Wärmebereich bis 2020 auf 14 % erhöhen.

1.3 Bedeutung für die WSV

Ein Energiemanagement-System bietet jederzeit einen Überblick über den Energieverbrauch der einzelnen Gebäude der WSV. Die Daten aus der Datenbank bilden die Grundlage für weitere Änderungen bzw. Sanierungen an den Gebäuden der WSV. Die zentrale Ablage der Daten führt zu einem besseren Überblick über den Gebäudebestand. So kann gezielter eingegriffen werden und eine Priorisierung der Sanierungsprojekte durchgeführt werden.

Größere Energieeffizienz und damit Einsparung von Energie führt auch zu einer Einsparung der laufenden Betriebskosten. Bei steigenden Energiepreisen werden die Betriebskosten eines Gebäudes zukünftig eine immer größere Rolle spielen. Deshalb sollten auch Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen, wie im Bankenbereich üblich, nicht auf einen kurzen Amortisationsrahmen schauen, sondern auf die Nutzungsdauer eines Bauteils achten, die im Gebäudebereich meist länger als 5 – 10 Jahre ist.

Ein weiterer Punkt eines zentralen Energiemanagements wäre der zentrale Einkauf von Energie. Wenn die GDWS oder ein WSA als Großverbraucher dem Energieversorger gegenübertritt, wä-

ren weitere Kosten-Einsparpotentiale zu erreichen. Des Weiteren würde der Verwaltungsaufwand bei nur einem oder wenigen Energielieferverträgen erheblich reduziert.

Die Bundesregierung hat sich bis zum Jahr 2020 verpflichtet, 20 % Energie einzusparen und 20 % der Energieversorgung durch regenerative Energiequellen zu decken. Mit dem Aufbau eines Energiemanagement-System kann die WSV ihren Teil dazu beitragen, damit dieses Ziel erreicht wird. Mit einem solchen System werden erstmals für die WSV Daten aller Gebäude an einer Stelle vorliegen, so dass die WSV ihre eigene Energiebilanz erstellen kann, in wie weit die WSV zur Zielerreichung beiträgt. Die öffentliche Hand sollte in diesem Fall auch mit gutem Beispiel voran gehen, um der Bevölkerung die Möglichkeiten und Vorteile, aber auch die Knackpunkte, von Energieeinsparmaßnahmen im Gebäudebereich aufzuzeigen.

Ein gezieltes Energiemanagement und die daraus resultierenden Maßnahmen führen auch zu einer deutlichen Reduzierung des CO₂-Ausstoßes und anderer klima- und umweltschädlicher Emissionen. Ein derartiges umweltfreundliche Gesamtkonzept der WSV, als umweltfreundlicher Verkehrsträger, könnte auch zu einer positiven Öffentlichkeitsarbeit genutzt werden.

Eine Instandsetzung oder Modernisierung bringt auch immer einen Werterhalt oder sogar eine Wertsteigerung der Immobilie mit sich. Grundsätzlich sollte eine Instandsetzung mit einer energetischen Sanierung gekoppelt werden, da so die Wirtschaftlichkeit der meisten Maßnahmen sehr gut gewährleistet ist.

Eine energetische Sanierung führt meist auch zu einer erhöhten Behaglichkeit im Gebäude für die Nutzer. Durch erhöhte Oberflächentemperaturen und eine besser geregelte Anlagentechnik steigt die allgemeine Nutzerzufriedenheit in den Gebäuden.

Die Gebäude werden im Energiekataster nach ihren Gebäudedaten und Energieverbrauchs-kennwerten priorisiert, so dass deutlich wird, wo der größte Bedarf ist bzw. die größten Einsparungen zu erwarten sind. So kann durch ein umfassendes Energiemanagement eine sukzessive Verbesserung des Gebäudebestandes erreicht werden.

1.4 Untersuchungsziel

Das Ziel ist, die energetische Datenlage der Bestandsgebäude der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung deutlich zu verbessern. Es werden sowohl Daten zu Baujahr, Bauweise, Anlagentechnik der Gebäude erfasst, als auch der Energieverbrauch der letzten Jahre ermittelt. Diese Daten sollen in einer zentralen Datenbank erfasst und ausgewertet werden. So können ineffiziente Gebäude ohne großen Aufwand über Kennzahlen (Benchmarking) identifiziert werden. Durch tiefer gehende Untersuchungen der Gebäude können dann gezielt Sanierungsmaßnahmen durchgeführt werden. Es ist somit eine Priorisierung und Langfristplanung des Bearbeitungsaufwandes und der Ausgaben möglich.

1.5 Untersuchungsmethoden

In einem ersten Schritt werden die Zusammenhänge zwischen Gebäude und Energieverbrauch dargestellt. Außerdem wird auf die Besonderheiten der Nutzung der Gebäude als Außenbezirk bzw. Bauhof eingegangen. Es werden die aktuell gängigen Methoden zur Energieoptimierung für die Gebäudehülle, die Anlagentechnik und den Betrieb dargestellt sowie die Prinzipien eines Energiemanagementsystems erläutert.

Anschließend erfolgt eine Analyse des Gebäudebestandes der WSV-eigenen Hochbauten (Energieverbrauchs- und erste gebäudespezifische Daten). Nach Auswertung dieser Daten werden Kennwerte gebildet und die Daten in einer Datenbank aufbereitet und so für die WSV auf der Grundlage eines Geo-Portals zugänglich gemacht. Diese Datenbank könnte der Ausgangspunkt für die Einführung eines Energiemanagementsystems für die Hochbauten der WSV bilden.

Auf der Basis der Kennwerte bzw. noch vorhandenen Datenlücken werden exemplarisch Außenbezirke und ein Bauhof ausgewählt, die im Folgenden genauer analysiert werden. Für diese Gebäude wird eine Energiebedarfsberechnung nach EnEV 2013 durchgeführt. Sanierungsvarianten werden untersucht und auf ihre Wirtschaftlichkeit überprüft.

Für ein beispielhaftes Gebäude wird dann ein Sanierungsfahrplan erstellt, um den Prozess einer Gebäudeoptimierung beispielhaft darzustellen.

Abschließend werden die Ergebnisse der Untersuchungen zusammengefasst und ein Ausblick auf weiteren Forschungsbedarf bzw. nächste Umsetzungsschritte gegeben.

2 Gebäude und Energie

Die Architektur von Gebäuden schafft die Grundlage für die nachhaltige Gestaltung unserer Gesellschaft. Ein Qualitätsmerkmal zukünftiger Gebäude wird der effiziente Umgang dieser Gebäude mit Energie und Ressourcen sein, sowohl beim Bauen als auch beim Betreiben. Durch frühzeitige Planungsentscheidungen können Ressourcen sparsamer eingesetzt und Umweltschäden reduziert werden. Das material- und energieeffiziente Bauen müssen (wieder) zu Instrumenten der Architektur werden.

Die Randbedingungen, wo ein Gebäude errichtet wird, und die nutzerbedingten Anforderungen führen zu einem konkreten Energiebedarf eines Gebäudes. Dieser Bedarf soll zukünftig nicht mehr mit konventioneller Energie, sondern durch regenerative Energiequellen gedeckt werden. Es sollen nur noch CO₂-freie Technologien eingesetzt werden, wie Sonnenenergie, Windenergie, Laufwasserenergie, Geothermie, Umweltwärme und Biomasse. Bei der Konversion von Biomasse entsteht zwar CO₂, es wird aber das Modellprinzip der Nachhaltigkeit angesetzt, wonach die nachwachsenden Pflanzen und Bäume das CO₂ wieder binden.

Ein Großteil der Gebäude in Deutschland weist eine unausgeglichene Energiebilanz auf. Sie sind momentan im weitesten Sinne Energieverbraucher. Unter den aktuell gegebenen Randbedingungen ist das Ziel für die heutigen Gebäude zumindest eine ausgeglichene Jahres-Energiebilanz zu erreichen. Momentan kursiert für diese Art von Gebäuden eine Vielzahl an unterschiedlichen Begrifflichkeiten: Passivhaus, Niedrigstenergiehaus, Nullenergiehaus, Effizienzhaus Plus oder Aktivhaus. Diese Begriffe beschreiben verschiedene Energiestandards für Gebäude, die meist nur minimal voneinander abweichen, denn alle haben das gleiche Ziel, den Energieverbrauch zu reduzieren und den Restbedarf auf der Grundlage von erneuerbaren Energien zu decken. Teilweise produzieren die Gebäude in Jahresbilanz sogar mehr Energie, als das Gebäude selbst verbraucht.

Momentan ist es durchaus möglich, Gebäude mit ausgeglichener Jahres-Energiebilanz wirtschaftlich zu errichten. Die nicht vorhandene Gleichzeitigkeit der Erzeugung von erneuerbarer Energie und der Nutzenergiebedarf sind momentan ein noch nicht zufriedenstellend gelöstes Problem in diesem Bereich. Es gibt leider noch keine technisch ausgereiften und wirtschaftlichen Speicherlösungen für die erforderliche Energie.

Jedoch wird ein Gebäude nicht gebaut, um Energie einzusparen, sondern um bestimmte Nutzungsanforderungen zu erfüllen. Diese Anforderungen beschreiben ein Raumklima, das für die gewünschte Nutzung erforderlich ist. Das Gebäude selbst, auch ohne Nutzung, würde ein bestimmtes Raumklima benötigen, um die Gebäudesubstanz zu erhalten.

2.1 Raumklima und Behaglichkeit

Das Wohlbefinden eines Menschen in einem Raum hängt vom subjektiven Empfinden von äußeren Einflüssen ab. Das Raumklima versucht, diese Vielzahl von unterschiedlichen Faktoren zu beschreiben. Neben thermischen, lufthygienischen und strömungstechnischen Belange sind auch akustische und optische maßgeblich für die Behaglichkeit in einem Raum. Zusätzlich spielen auch noch physiologische Kriterien, wie z.B. Alter, Geschlecht, Konstitution, aber auch Kleidung und Tätigkeitsgrad eine entscheidende Rolle für das Wohlbefinden. Durch die sehr unterschiedlichen Belange und Ausgangssituationen ist es sehr komplex, die richtige Korrelation der Raumklimakomponenten herzustellen.

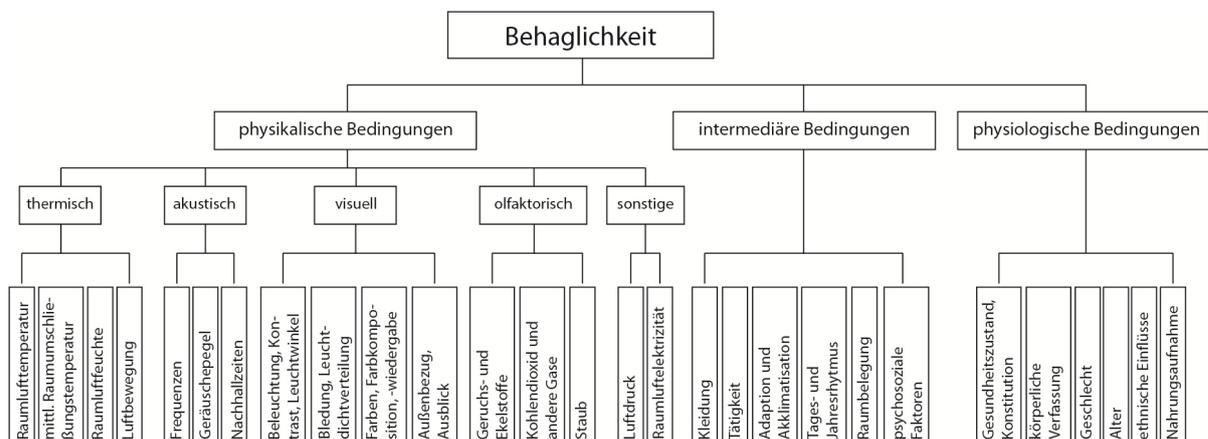


Bild 3: Systematische Darstellung von Behaglichkeitsfaktoren (Hegger et al. 2008, S. 55)

Der thermischen Behaglichkeit kommt beim Wohlbefinden eines Menschen eine vorrangige Bedeutung zu. Sie beschreibt einen Gefühlszustand, der die Zufriedenheit mit dem thermischen Zustand der Umgebung ausdrückt. Die Grundbedingung ist ein ausgeglichener Wärmehaushalt eines Menschen. Wenn sich Menschen in einem Raum thermisch behaglich fühlen, spricht man auch von „Komfortklima“.

Da das „Komfortklima“ von subjektivem Empfinden abhängt, ist dies keine exakt messbare Größe, die konkret ermittelt werden kann. Die DIN EN ISO 7730:2006 macht Aussagen zur quantitativen Bestimmung der thermischen Behaglichkeit durch den PMV-Faktor und den PPD-Index (DIN EN ISO 7730:2006).

Der PMV-Faktor (Predicted Mean Vote – vorausgesagtes mittleres Votum) beschreibt in Form einer Gleichung verschiedene Größen, die sich auf eine Person in diesem Raum beziehen, wie z.B. spezifischer Energieumsatz, Wärmedurchlasswiderstand der Bekleidung, Raumluft- und mittlere Strahlungstemperatur, relative Raumluftgeschwindigkeit, etc.. Die Berechnung ermittelt einen Zahlwert zwischen +3 und -3, der als eine bestimmte Empfindung gedeutet werden kann.

| PMV-Faktor | Empfindung |
|-------------------|-------------------|
| +3 | heiß |
| +2 | warm |
| +1 | etwas warm |
| 0 | neutral |
| -1 | etwas kühl |
| -2 | kühl |
| -3 | kalt |

Tabelle 1: PMV-Faktor und zugehörige Empfindung (DIN EN ISO 7730:2006)

Der PPD-Index (Predicted Percentage of Dissatisfied – vorausgesagter Prozentsatz an Unzufriedenen) gibt die Prozentzahl der Personen an, die mit den Raumklimabedingungen nicht zufrieden sind an. Es wurden Probanden, deren Zusammensetzung ein Querschnitt durch die Bevölkerung entspricht, befragt, wie sie bei unterschiedlichen PMV-Faktoren ihre Zufriedenheit mit dem Raumklima bezeichnen würden.

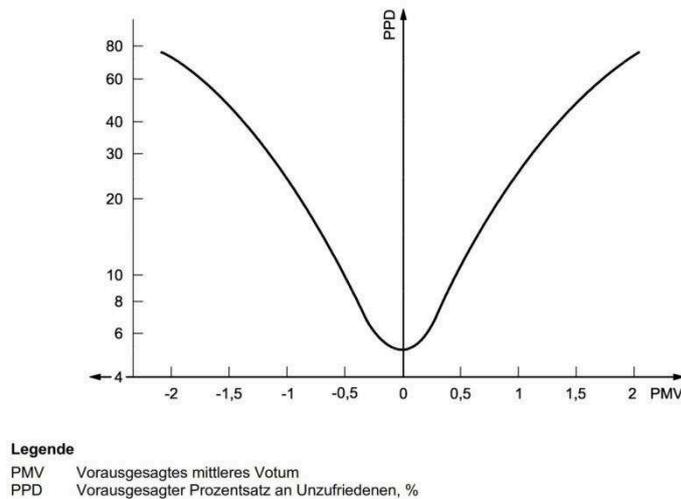


Bild 4: Der PPD-Index als Funktion des PMV-Faktor (DIN EN ISO 7730:2006)

Bild 4 zeigt, dass auch bei einem neutralen Empfinden noch mindestens 5 % der Probanden unzufrieden sind. Es gibt somit kein für alle Menschen perfektes Raumklima. Nach DIN EN ISO 7730:2006 ist ein vertretbarer Prozentsatz Unzufriedener von 10 % festgelegt worden, wo man von einem thermisch behaglichen Raumklima sprechen kann.

Das Raumklima kann durch freie Lüftung bzw. erzwungene Klimatisierung beeinflusst werden. Die freie Lüftung kommt ohne zusätzlichen Energiebedarf aus. Hier muss durch die Ausrichtung und Gestaltung des Baukörpers versucht werden, die raumklimatischen Anforderungen zu erfüllen. Durch erzwungene Klimatisierung eines Gebäudes kann ein fest fixiertes Raumklima weitestgehend garantiert werden. Dies ist jedoch mit zusätzlichen Material- und Energieaufwand verbunden.

2.2 Energieoptimiertes Planen und Bauen

Im Sinne der Nachhaltigkeit sollten die Aufwendungen für das geforderte Raumklima mit größtmöglicher Material-, Energie- und Kosteneffizienz hergestellt werden. „Kein anderer Industriezweig benötigt mehr Materialien und Energie, produziert mehr Abfälle und trägt weniger zum Materialrecycling bei als das Bauen“ (Hegger et al. 2008, S. 6).

Ein Gebäude ist grundsätzlich aufgrund der äußeren Randbedingungen von energierelevanten Dienstleistungen abhängig. Bei Außentemperaturen in einer Bandbreite von -20°C bis $+40^{\circ}\text{C}$ in Deutschland ergeben sich die Dienstleistungen „Heizen“ und möglicherweise „Kühlen“. Der Tag- und Nachtrhythmus im Jahresverlauf bedingt unterschiedliche Helligkeiten, was zu der Dienstleistung „Beleuchten“ führt. Das Leben in geschlossenen Räumen bedingt eine Form von Luftverbrauch, das die Dienstleistung „Be- und Entlüften“ erfordert. Für den Erhalt der Bausubstanz und auch für die Behaglichkeit ist eine bestimmte Spanne an Vorgaben für die Luftfeuchtigkeit notwendig. Dies verursacht die Dienstleistung „Be- und Entfeuchten“. Um den heutigen Komfortansprüchen für die Körperhygiene zu entsprechen, wird warmes Trinkwasser benötigt

(„Trinkwasser erwärmen“). Und letztendlich benötigt jede Form der Nutzung für eine Vielzahl von Maschinen und Geräten Strom, Prozesswärme oder Prozesskälte.

Grundsätzlich gibt es zwei Strategien, um die erforderlichen Anforderungen des Raumklimas mit all seinen auslösenden Dienstleistungen befriedigen zu können. Im allgemeinen Sprachgebrauch haben sich dafür die Begriffe „Hightech“ und „Lowtech“ etabliert.

Die „Hightech“-Strategie orientiert sich an technischen Lösungsmöglichkeiten, in dem die Technische Gebäudeausrüstung die Hauptaufgabe für das Bereitstellen des Komfortklimas übernimmt. Hier stellt eine optimale Regelstrategie über eine komplexe Software das Zusammenspiel der vielen unterschiedlichen technischen Anlagen sicher. So kann man in jedem Gebäude auf der Welt, ohne Rücksicht auf die Bauweise, ein behagliches Raumklima erzeugen.

Die „Lowtech“-Strategie versucht über die städtebauliche Anordnung, einer energieoptimierten Gebäudeform und -hülle, der Nutzungsverteilung innerhalb des Gebäudes und der Materialwahl das Gebäude so zu gestalten, dass das Komfortklima mit einem Minimum an Technik erreicht wird.

Hegger (Hegger et al. 2008) kommt zu den zehn Bausteinen des energieoptimierten Bauens, indem er beide Strategien kombiniert, wobei die passiven Systeme den Vorzug vor den aktiven bekommen. Er gliedert die energierelevanten Dienstleistungen nach fünf Energiethemen: Wärme, Kälte, Luft, Licht, Strom. Diese werden jeweils nochmal in zwei Gruppen unterteilt: den Energiebedarf minimieren und die Energieversorgung optimieren. In einem ersten Schritt soll der Energiebedarf für ein Gebäude in allen 5 Energiethemen minimiert werden, bevor dann die Energieversorgung für den noch verbleibenden Restbedarf optimal ausgelegt werden kann.

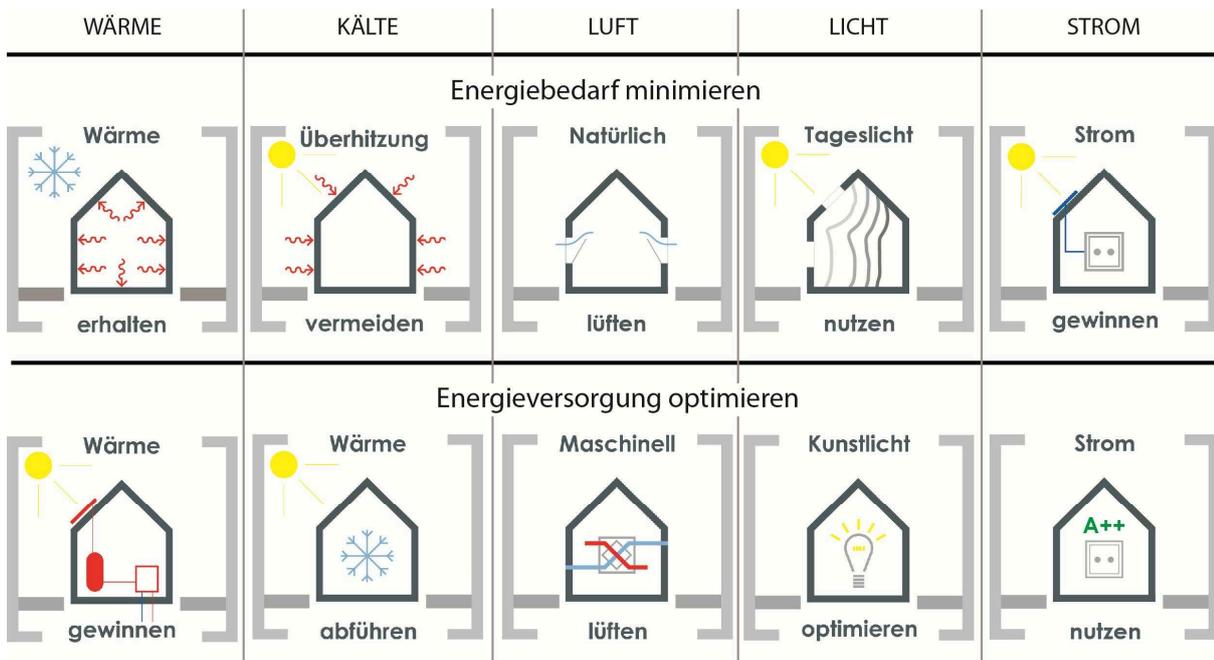


Bild 5: Die zehn Bausteine des energieoptimierten Bauens (eigene Darstellung in Anlehnung an (Hegger et al. 2008))

2.3 Planen und Bauen im Bestand

Diese Vorgehensweise der zehn Bausteine ist auch für das Bauen im Bestand übertragbar. Jedoch führen hier die gegebenen zusätzlichen Randbedingungen zu eingeschränkten Optimierungsansätzen. Die Modernisierungsmöglichkeiten, die auf dem vorhandenen Gebäude basieren, sind durch die vorhandene Bausubstanz oder Grundrisse begrenzt.

Im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung der Bestandgebäude sollte eine Überprüfung durchgeführt werden, ob und in wie weit eine energetische Optimierung möglich ist. Der Erfolg der Bestanderhaltung, der gegenüber Neubaumaßnahmen vorgezogen werden sollte, ist jedoch wesentlich von der Gebäudebewirtschaftung abhängig. Eine frühzeitige Mängelbehebung ist hier unabdingbar. „Hierfür ist das Bereitstellen statistischer und analytischer Grundlagen ebenso erforderlich wie eine praktische Umsetzung“ (Hegger 2008).

Mittlerweile werden über zwei Drittel der Bautätigkeit im Hochbau im Bestand durchgeführt (Kalusche und Herke 2016). Bei den Baumaßnahmen im Bestand gibt es eine Vielzahl von Begrifflichkeiten, die der Unterscheidung dienen, ob die Maßnahme zum Erhalt des Gebäudes beiträgt oder eine Veränderung des Objektes bewirkt (Bild 6). Zu den Veränderungen zählen die Begriffe „Umbauten“, „Erweiterungen“ und „Modernisierungen“. Wenn von „Instandhaltung“, „Inspektion“, „Instandsetzung“ oder „Verbesserung“ die Rede ist, geht es im Wesentlichen um den Erhalt der Bausubstanz.

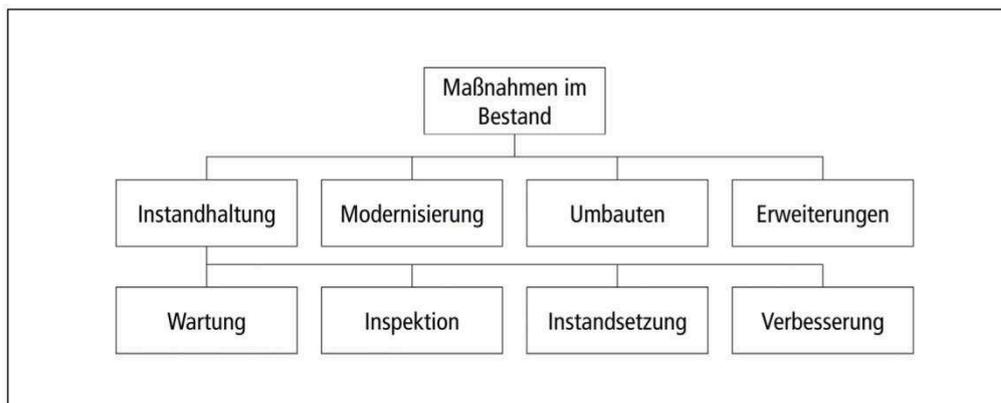


Bild 6: Maßnahmen im Bestand zur Erhaltung und Veränderung eines Gebäudes (Kalusche und Herke 2016)

Die Begrifflichkeiten werden in der HOAI 2013 bzw. der DIN 31051:2012-09 näher erläutert bzw. definiert. Ihre möglichst genaue Unterscheidung ist nicht nur für die Kennwertbildung, sondern auch für die Objektplanung mit der Kostenplanung, für den Architektenvertrag und die Vergütung der Planungsleistungen sowie für die Finanzierung der Maßnahmen von Bedeutung (Kalusche und Herke 2016).

Maßnahmen, die dazu führen, dass Endenergie bzw. nicht erneuerbare Primärenergie eingespart werden und somit das Klima schützen, zählen zu den Modernisierungen. Sie sind Maß-

nahmen, die zu einer nachhaltigen Erhöhung des Gebrauchswertes des Gebäudes führen. Wobei in der Praxis Instandsetzungen, Verbesserungen und Modernisierungen an einem Bauwerk meist gleichzeitig durchgeführt werden und eine genaue Abtrennung unmöglich ist. Oftmals sind Modernisierungsmaßnahmen zur energetischen Optimierung nur wirtschaftlich, wenn das Bauteil sowieso instandgesetzt werden muss.

Beim Neubau gibt es eine Vielzahl an Möglichkeiten, die zu Energieeinsparungen führen können. Bei baulichen Maßnahmen im Bestand sind einige Faktoren bereits gegeben, die nicht oder nur mit großem Aufwand zu ändern sind, wie z.B. die Ausrichtung des Gebäudes oder die Kompaktheit eines Baukörpers. „Die Handlungsmöglichkeiten konzentrieren sich deshalb auf die Wärmedämmung der Gebäudehülle und der Fenster, die Optimierung von Heizung und Warmwasserbereitung sowie Lüftungskonzept und die Nutzung erneuerbarer Energien“(Streck 2011, S. 121).

Der Planung für eine Erneuerungsmaßnahme muss eine Bauzustandsanalyse zugrunde liegen, um die Erneuerung wirtschaftlich vertreten und fachgerecht durchführen zu können. Der Bauzustand muss sorgfältig erfasst und bewertet werden, um die notwendigen bautechnischen Maßnahmen festlegen zu können. Deshalb sind diese Planungen meist komplexer als Neubauplanungen, da auch die gegebenen historischen Bau- und Konstruktionsweisen und deren Erhaltungszustand berücksichtigt werden muss.

Ein zusätzlicher Faktor kommt meist noch durch die Gleichzeitigkeit der Nutzung des Gebäudes hinzu. Wenn keine Ersatzräume für die Zeit der Modernisierungsmaßnahmen zur Verfügung stehen, müssen die Maßnahmen im genutzten Zustand umgesetzt werden. Dies ist wiederum ein Aspekt, der in der Entwurfsplanung berücksichtigt werden muss, was hohe Anforderungen an den funktionalen Ablauf der Arbeiten stellt.

Durch diese Besonderheiten beim Planungsablauf steigt das Kostenrisiko. Aufgrund der geringen Vergleichbarkeit von Erneuerungsprojekten gibt es auch wenig Kennwerte und Hilfsmittel, um die Kosten im Vorfeld sicher abschätzen zu können.

2.4 Sanierungsfahrpläne

Ein Sanierungsfahrplan ist ein Energiekonzept für das Gebäude, das eine „Best-Möglich“-Variante des Gebäudes darstellt, das mit verschiedenen Erneuerungspaketen erreicht werden kann. Dieser stellt die einzelnen Optimierungsmaßnahmen in einer für den Bauablauf sinnvollen Reihenfolge dar und legt Zeiträume für die wirtschaftliche Umsetzung der Maßnahmen fest.

Das Energiekonzept bezieht die Aspekte der Gebäudekonzeption, des baulichen Wärmeschutzes, der Anlagentechnik und der Nutzung von erneuerbaren Energien mit ein. Grundlage dieses Konzeptes ist eine energetische Bestandsaufnahme, die den aktuellen Zustand der Bauteile und der Anlagentechnik sowie die bereits festgestellten Mängeln aufzeigt.

Durch dieses Konzept kommen Sanierungsmaßnahmen zu Tage, die einen gewissen Zeithorizont der Umsetzung verlangen. Mit diesen ohnehin anstehenden Instandsetzungsmaßnahmen lassen sich z.B. Wärmdämmmaßnahmen kostengünstig kombinieren. Deshalb sollte bei der Planung von Sanierungskonzepten immer geprüft werden, ob Modernisierungsmaßnahmen im Zuge dieser mit durchgeführt werden können.

Meist werden Maßnahmen in Stufen durchgeführt, da eine Komplettsanierung nicht mit dem Betriebsablauf der Nutzung zu kombinieren ist. Der Sanierungsfahrplan stellt die Gesamtstrategie für die energetische Verbesserung dar. So kann verhindert werden, dass bestimmte Maßnahmen in einer späteren Stufe wieder rückgängig gemacht werden müssen. Durch die langfristige Perspektive des Sanierungsfahrplanes können Bauteilanschlüsse vorausgeplant werden. So können nachträgliche Änderungen innerhalb der Einzelmaßnahmen verhindert werden, die somit zu erheblichen Kosteneinsparungen führen können. Auch die Schnittstellen zwischen den einzelnen Gewerken lassen sich dadurch gut beschreiben und planen.

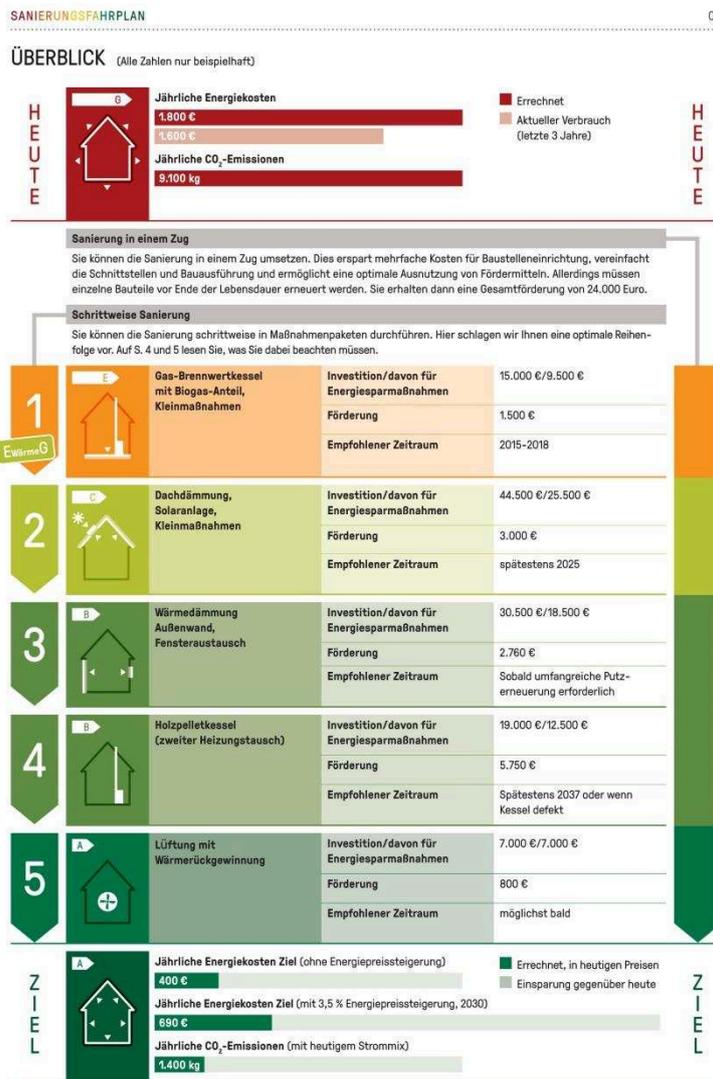


Bild 7: Beispielhafte Darstellung eines Sanierungsfahrplans (Minsiterium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2015)

Zum zweiten wird dem Gebäudeeigentümer die Methode der Schritt-für-Schritt-Sanierung mit an die Hand geben, die den Einstieg in die energetische Optimierung erleichtert. Das Gesamtziel des Gebäudes mit hohem Effizienzstandard wird in anschauliche und auch kostenmäßig überschaubare Erneuerungspakete gegliedert. Der Sanierungsfahrplan gibt somit einen langfristigen Überblick über den energetischen Zustand des Gebäudes.

Die notwendigen Kennwerte für den Sanierungsfahrplan werden über die bekannten genormten Bilanzierungsverfahren berechnet. Die einzelnen Maßnahmen, die für den jeweiligen Einzelfall sinnvoll sind, werden detailliert beschrieben und die daraus entstehenden möglichen Einsparungen dargestellt. Diese Beschreibung ersetzt jedoch nicht die Ausführungsplanung für diese Maßnahmen, sondern veranschaulicht das Ziel und dient als Hilfestellung für diese. Der Sanierungsfahrplan gibt somit eine Orientierung über Kosten, Zeitpläne und zukünftige Baumaßnahmen im Zuge der Modernisierung. Nur wenn alle Einzelschritte auch in ihrer Gesamtheit funktionieren, kann das gewünschte Ergebnis entstehen.

Der Ablauf zur Erstellung eines Sanierungsfahrplanes ist vergleichbar mit dem einer „normalen“ Energieberatung für ein Gebäude. Die Beratungsergebnisse werden bei einem Sanierungsfahrplan noch zusätzlich in eine sinnvolle Reihenfolge der Umsetzung gebracht und in Erneuerungspaketen gebündelt. Diesen Paketen wird dann ein nach wirtschaftlichen Kriterien sinnvoller Umsetzungs-Zeithorizont zugeordnet. Der Sanierungsfahrplan ersetzt keine Fachplanung der Einzelmaßnahmen, die zur fachgerechten Umsetzung der energetischen Maßnahmen notwendig ist.

Eine genaue Nutzungsdauer kann für die einzelnen Komponenten der Bauteile und Anlagentechnik nicht genau festgelegt werden. Die technische bzw. rechnerische Nutzungsdauer der Komponenten z.B. aus VDI 2076 Blatt 1:2012 bringen erste Hinweise, wann mit einer Instandsetzung in den verschiedenen Bereichen zu rechnen ist. Aus diesem Grund werden im Sanierungsfahrplan keine genauen Daten angegeben, sondern ein Zeithorizont, indem mit der Maßnahme zu rechnen ist. Einige wenige Maßnahmen können für sich terminiert werden, da für diese keinerlei zeitliche Abhängigkeiten zu anderen Maßnahmen vorhanden sind.

Da die Nutzungsdauer vieler Komponenten am Gebäude 40 Jahre oder mehr beträgt, sollte die Empfehlung für diese Bauteile dem Bestmöglich-Prinzip entsprechen. Diese Bauteile werden nach der Optimierung wieder für einen langen Zeitraum nicht angetastet werden, so dass in naher Zukunft für diese Komponente nur dieser eine Optimierungsfall eintreten wird.

Grundsätzlich kann es auch sinnvoll sein, ein Bauteil vor dessen Ende der Lebensdauer zu ersetzen. Auch baukonstruktive Gründe können entscheidend für einen frühen Umsetzungszeitpunkt sein. Der funktionale Zusammenhang zwischen den Einzelmaßnahmen muss beachtet werden. So muss z.B. vor dem Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung die Luftdichtheit des Gebäudes gewährleistet sein. Sonst kann die effizienteste Anlage nicht zu einem zufriedenstellenden Ergebnis führen.

Jede Baumaßnahme ist unweigerlich mit Lärm und Schmutz verbunden und erfordert somit einen entsprechenden Organisations- und Planungsaufwand, um den betrieblichen Ablauf so wenig wie möglich zu beeinträchtigen.

Für die Festlegung des zeitlichen Ablaufes sind somit folgende Arbeitsschritte empfehlenswert (in Anlehnung an Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2017, S. 24–25):

1. Aufstellung der Maßnahmen, deren Umsetzung für die nahe Zukunft ohnehin geplant ist.
2. Erstellung einer zeitlichen Übersicht der anstehenden Instandhaltungsarbeiten, das heißt der nicht energetischen Sanierungs- oder Umbaumaßnahmen. Als Grundlage dienen die beim Erstgespräch und bei der Datenaufnahme gewonnenen Informationen.
3. Ermittlung der an die Ohnehin-Maßnahmen koppelbaren Effizienzmaßnahmen.
4. Hinzufügen weiterer Maßnahmen zur energetischen Ertüchtigung von vorhandenen Bauteilen, die auch ohne Kopplung an eine Ohnehin-Maßnahme in der nahen Zukunft umgesetzt werden sollten.
5. Untersuchung jeder Einzelmaßnahme auf Zusammenhänge und Abhängigkeiten mit weiteren Maßnahmen.
6. Eintakten zusätzlicher neuer Bauteile wie Lüftungsanlage oder Solaranlage in den Modernisierungsablauf.
7. Bildung sinnvoller Maßnahmenpakete aus zeitlich beieinanderliegenden Maßnahmen
8. Sind die Maßnahmenpakete festgelegt, wird eine Energiebilanzierung durchgeführt. Ist der ermittelte Zielzustand nicht zufriedenstellend, werden die Maßnahmenpakete nochmals angepasst und neu berechnet.

In einem Sanierungsfahrplan sollten immer folgende Punkte festgelegt sein: die Lage der Dämmebene und deren U-Wert, die Lage der luftdichten Ebene, die energetische Qualität und ungefähre Einbauposition der Fenster, sowie die Sicherstellung der prinzipiellen Möglichkeit eines wärmebrückenarmen und luftdichten Anschlusses zwischen zwei Bauteilen.

Alle grundsätzlichen Maßnahmen zur Senkung des Primärenergiebedarfs sollten in einen Sanierungsfahrplan mit einfließen, wie die Verbesserung der Effizienz der Gebäudehülle, die Verbesserung der Anlagentechnik und die Nutzung von regenerativen Energieträgern.

2.4.1 Komplettsanierung

Eine Komplettsanierung eines Gebäudes in einem Zug ist nur bei einem leerstehenden Gebäude sinnvoll und wenn die finanziellen Mittel zur Verfügung stehen. Grundsätzlich bietet die Komplettsanierung den Vorteil, dass alle Maßnahmen in einem ganzheitlichen Planungs- und Bauprozess durchgeführt werden können. Es müssen keine Zwischenlösungen entwickelt und berücksichtigt werden.

Die Gemeinkosten einer Baustelle sind geringer, da nur einmal Planungshonorare für Architekten und Ingenieure sowie Kosten für die Baustelleneinrichtung und Gerüste anfallen. Auch der Verwaltungsaufwand wird geringer aufgrund der einmaligen Vergabe und Beauftragung der Bauleistungen.

Falls das Gebäude nicht leer stehen sollte und dennoch die Vorteile einer Komplettsanierung genutzt werden sollen, muss eine alternative Unterbringung der Nutzer für den Sanierungszeitraum gefunden werden. Bei dieser werden die Nutzer zwar nur einmal belastet, jedoch ist die Belastung meist so groß, dass sie den Nutzern nicht zugemutet werden kann. Tabelle 2 fasst die Vor- und Nachteile einer Komplettsanierung zusammen.

| |
|---|
| Vorteile |
| <ul style="list-style-type: none"> - Kosteneinsparung durch ganzheitlichen Planungs- und Ausführungsprozess - Kosteneinsparung durch einmalige Sowieso-Kosten (z. B. für Gerüst, Baustelleneinrichtung) - Einsparung von Baunebenkosten (z. B. niedrigere Planerhonorare durch Progression der Honorartafeln der HOAI) - niedrigerer Verwaltungsaufwand des Eigentümers (z. B. für Beauftragung, Buchhaltung und Nutzerbetreuung) - keine Bauteilbeschädigungen durch nachfolgende Stufen, keine Not- oder Behelfslösungen bis zur nächsten Stufe notwendig - einmalige Belastungen der Nutzer bei bewohnten Gebäuden - gute Ausnutzung von eventuell zeitlich begrenzten Förderprogrammen, geringerer bürokratischer Aufwand bei einmaliger Beantragung |
| Nachteile |
| <ul style="list-style-type: none"> - Hohe Geldmittel zu einem bestimmten Zeitpunkt erforderlich - in bewohntem Zustand kaum möglich, deshalb Kostensteigerung durch Räumung und vorübergehende oder endgültige anderweitige Unterbringung der Nutzer |

Tabelle 2: Vor- und Nachteile von Erneuerungen in einem Zug (Streck 2011, S. 39)

2.4.2 Erneuerung in Stufen durch Einzelmaßnahmen

Bei der Erneuerung in Stufen durch Einzelmaßnahmen wird die umfassende Erneuerung auf einen längeren Zeitraum verteilt. Es werden Erneuerungspakete zusammengestellt, die zu den verschiedenen Zeitpunkten umgesetzt werden. Meist ist nur eine Sanierung in Stufen möglich, da die Gebäude während der Sanierung weiter genutzt werden sollen.

Die unterschiedlichen Abhängigkeiten, die durch die Erneuerung in Stufen entstehen, sind in Kapitel 2.4 bereits dargestellt. Tabelle 3 stellt noch einmal die Vor- und Nachteile der Erneuerung in Stufen gegenüber.

| |
|--|
| Vorteile |
| <ul style="list-style-type: none"> - In der Regel bessere Akzeptanz durch Nutzer bei bewohnten Gebäuden - Streckung des Finanzbedarfs über einen längeren Zeitraum, deshalb Beginn der Erneuerung trotz knapper finanzieller Mittel möglich - Start mit Maßnahmen, die eine überproportionale Verbesserung der Nutzbarkeit bewirken |

| |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">- baurechtliche Nachrüstungsverpflichtungen können vorgezogen werden- Vorzug von Einzelmaßnahmen ist auch dann möglich, wenn baurechtliche oder denkmalschutzrechtliche Genehmigungen sowie Zustimmungen von Nachbarn andere Maßnahmen noch behindern- Maßnahmen können bei Nutzerwechsel nachgeholt werden- entsprechende Stufe kann so terminiert werden, dass die Nutzung von Fördermitteln möglich wird, die nur innerhalb einer bestimmten Frist zur Verfügung stehen |
| Nachteile |
| <ul style="list-style-type: none">- Mehrkosten bei der Planung und Bauausführung, höhere Kosten durch mehrmals anfallende Kosten (z. B. für Gerüst, Baustelleneinrichtung), höhere Baunebenkosten (z. B. höhere Planerhonorare durch Progression der Honorartafeln der HOAI)- erhöhter Verwaltungsaufwand des Eigentümers (z. B. für Beauftragung, Buchhaltung und Nutzerbetreuung)- erhöhte Kostenunsicherheit bei versetzter Ausführung (z. B. mehrere Bauabschnitte), Maßnahmen zerstören ggf. Maßnahmen aus vorangegangenen Stufen (Mehrfachaufwendungen)- Not- oder Behelfslösungen bis zur nächsten Stufe werden erforderlich- Realisierung des Erneuerungsziels eventuell sehr langfristig (nach Jahrzehnten), z. B. durch Aufschub von Erneuerungen bis zum nächsten Nutzerwechsel |

Tabelle 3: Vor- und Nachteile von Erneuerungen in Stufen (Streck 2011, S. 39)

2.5 Wirtschaftlichkeit von Modernisierungen

Um die Vorteilhaftigkeit einer Investitionsentscheidung beurteilen zu können, werden Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen für die unterschiedlichen Ausführungsvarianten durchgeführt. Grundsätzlich wird zwischen absoluter und relativer Wirtschaftlichkeit unterschieden. Während die absolute Wirtschaftlichkeit nur eine Investitionsalternative untersucht, werden bei der relativen Wirtschaftlichkeit immer mehrere untersucht. Bei der absoluten Wirtschaftlichkeit wird das Ergebnis mit einem vorher definierten Grenzwert verglichen (z. B. die Amortisationszeit > 5 Jahre). Bei der energetischen Optimierung kommt meist der relative Wirtschaftlichkeitsvergleich zum Einsatz. Man möchte wissen, welche der x-möglichen Varianten ist die vorteilhafteste Alternative.

Im Energieeinsparrecht gilt das Wirtschaftlichkeitsgebot, sodass nur solche Mindestanforderungen gestellt werden, die sich im Regelfall innerhalb angemessener Zeiträume amortisieren (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2015, S. 57).

Für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit gibt es eine Reihe von Methoden. Oftmals kann die Wahl der Methode zur Wirtschaftlichkeitsberechnung über die spätere Umsetzung einer Energieeffizienzmaßnahme entscheiden. Grundsätzlich können die Ansätze in statische und dynamische Methoden unterschieden werden.

Die statischen Methoden führen schnell und unkompliziert zu einem Ergebnis. Die Ergebnisse dieser Berechnung sind aufgrund von Durchschnittsbildungen weniger belastbar als die eines dynamischen Verfahrens.

Die dynamischen Methoden gehen mehr ins Detail. Dafür benötigen sie mehr Daten und die Berechnung wird dadurch komplexer. Es können aber auch z.B. jährliche Energiepreissteigerungen abgebildet werden. Sie nehmen somit eine zeitliche Differenzierung aller Einnahmen und Ausgaben vor, die mit einer Berechnung von Zins und Zinseszins verbunden werden.

Bei den Untersuchungen in diesem Projekt wird die Annuitätsmethode auf Basis der VDI 2067:2012 eingesetzt. Das Annuitätsverfahren gestattet es, einmalige Zahlungen/Investitionen und laufende Zahlungen mithilfe des Annuitätsfaktors a während eines Betrachtungszeitraums T zusammenzufassen. Die Kosten werden in einmalige Kosten und laufende Kosten unterteilt. So ergeben sich kapitalgebundene, bedarfsgebundene, betriebsgebundene und sonstige Kosten. (VDI 2067-1:2012-09, S. 16)

Die Differenz aus der Annuität der Erlöse und der Summe der kapitalgebundenen, bedarfsgebundenen, betriebsgebundenen und sonstigen Annuitäten der Kosten ist die Gesamtannuität A_N aller Kosten einer Anlage:

$$A_N = A_{N,E} - (A_{N,K} + A_{N,V} + A_{N,B} + A_{N,S}) \quad (1)$$

wobei „A“ für Annuität und die Indices „N“ für nutzungsdauer-abhängige Annuität, „E“ für Erlöse, „K“ für Kapitalbindung, „V“ für Bedarfsbindung, „B“ für Betriebsbindung und „S“ für sonstige Kosten stehen.

Bei der Betrachtung der Gesamtannuität sind zwei Fälle zu unterscheiden:

- a) Anlagen, mit denen durch Verkauf von Wärme, Kälte, Strom usw. Gewinn erwirtschaftet werden soll (z.B. Nahwärmenetze)
- b) Anlagen, bei denen keine Erlöse auftreten (z.B. Heizanlage in einem Einfamilienhaus).

Im Fall a muss $A_N > 0$ sein, damit die Anlage wirtschaftlich ist, das heißt, die Annuität der Erlöse ist größer als die Annuität aller Kosten. Werden in diesem Fall verschiedene Anlagen miteinander verglichen, ist diejenige vorzuziehen, für die die größere Gesamtannuität errechnet wird.

Im Fall b ist $A_N < 0$. Die günstigste Anlage ist dann diejenige, die am wenigsten Kosten verursacht. (VDI 2067-1:2012-09, S. 20)

2.5.1 Kostenermittlung

Die Kostenbetrachtung von Modernisierungsmaßnahmen kann sehr vielschichtig sein. Grundsätzlich sollten die energieeffizienzbedingten Mehrkosten von den reinen Instandhaltungskosten getrennt werden, damit man die energetischen Maßnahmen fair bewerten kann.

Zu den Instandhaltungskosten zählt der Kostenteil, der zur Wiederherstellung und Aufrechterhaltung der technischen Funktionalität des Bauteils oder der Anlagentechnik aufgewendet werden muss. Die Kosten hängen sehr stark vom Zustand des Gebäudes auf der einen Seite und den

umzusetzenden Maßnahmen auf der anderen Seite ab. Die Instandhaltungskosten zählen zu den kapitalgebundenen Kosten.

Der Kostenanteil, der zur Erhöhung der Energieeffizienz sowie für die notwendigen Anpassungs- und Umbaumaßnahmen aufgewendet wird, zählt zu den energieeffizienzbedingten Mehrkosten. Diese sind ebenfalls kapitalgebundene Kosten. Zusammen mit den Instandhaltungskosten bilden sie die Gesamtinvestitionskosten (Vollkosten der Sanierung).

Die Bedarfsgebundenen Kosten werden von den Brennstoff- bzw. Energiekosten gebildet. Die Brennstoff- und Energiepreise sind für den jeweiligen Standort des zu untersuchenden Objekts einzusetzen. Hierbei sind die Kosten für das Einbringen in das Brennstofflager bzw. in den Brennstofflagerbehälter mit zu berücksichtigen. Soweit nur eine Teilbevorratung des Jahresbrennstoffbedarfs möglich ist, muss der zumeist unterschiedlich hohe Brennstoffpreis der Einzellieferungen entsprechend bewertet werden. Zusätzlich sind hierbei die Zinskosten für die eingelagerten Brennstoffe anzurechnen. (VDI 2067-1:2012-09, S. 15) Die Energiepreisannahmen haben einen großen Einfluss auf die Ergebnisse. Ihre Entwicklung ist schwer vorherzusehen. Je nach Entwicklung der Energiepreise kann eine energetische Sanierung zu einer deutlichen Kostenentlastung führen.

Zu den betriebsgebundenen Kosten gehören u.a. die Kosten für Instandhaltung und Bedienen der Anlagen. Unter Instandhaltung fallen die Kosten für Wartung, Inspektion, Instandsetzung und Schwachstellenbeseitigung. (VDI 2067-1:2012-09, S. 16) Aufgrund der schwierigen Verfügbarkeit von Informationen in diesem Bereich der Kosten, liegen für die Berechnung der Baunutzungskosten noch erhebliche Defizite vor.

Die Höhe der Instandhaltungskosten wird sowohl durch gebäudeabhängige Faktoren als auch durch nutzungs- und standortabhängige Parameter bestimmt. Darüber hinaus spielen weitere Faktoren wie zum Beispiel politische Einflüsse oder die Wahl der Instandhaltungsstrategie eine wichtige Rolle. Instandhaltungskosten stellen mit 25 - 30 % der Nutzungskosten bei Industriebauwerken neben den infrastrukturellen Dienstleistungen den größten Kostenblock dar. Dies kann zwar nicht ohne weiteres auf andere Immobilienarten übertragen werden, jedoch unterstreichen diese Zahlen die wirtschaftliche Bedeutung der Instandhaltung (Bahr, S. 1).

Der Betrachtungszeitraum liegt bei Investitionen in Energieeffizienz im Gebäudebereich bei 20 Jahren und mehr. Dies führt dazu, dass der Einfluss von Annahmen und Prognosen im Bereich der veränderlichen Kosten einen immensen Einfluss auf das Ergebnis hat. Langfristig und volkswirtschaftlich betrachtet können Energieeffizienzmaßnahmen fast immer eine positive Rendite erwirtschaften.

Für die anzusetzende Nutzungsdauer gibt es mehrere Konzepte. Die technische Nutzungsdauer drückt aus, wie lange ein Objekt genutzt werden kann, sofern es regelmäßig gewartet und instandgesetzt wird. Wenn die Kosten für größere Reparaturen eine gewisse Schwelle übersteigen, z. B. 50% des Neuanschaffungspreises, ist die technische Nutzungsdauer erreicht.

Die wirtschaftliche Nutzungsdauer eines Objektes ist geringer. Hier werden der unplanmäßige Verschleiß (z. B. Rost), technische Neu- und Weiterentwicklungen am Markt oder auch wirtschaftliche Entwicklungen bezüglich des Objektes mit ins Kalkül gezogen.

Praktische Erfahrungswerte bietet der Ansatz der betriebsgewöhnlichen Nutzungsdauer. Dabei wird die Nutzungsdauer einer Anlage anhand der AfA-Tabellen abgeschätzt, die das deutsche Bundesfinanzministerium im Internet veröffentlicht (BMF 2014). AfA steht dabei für „Abschreibungstabelle für allgemein verwendbare Anlagegüter“ (Geilhausen et al. 2015, S. 235).

3 Rechtliche Rahmenbedingungen

Das Thema Energie ist stark durch Gesetze mit unterschiedlichen Wirkungen und Geltungsbereichen beeinflusst. Die Kenntnis über die rechtlichen Anforderungen und Möglichkeiten ist Voraussetzung, um energieoptimiertes Planen und Bauen in die Praxis umsetzen zu können. Die für das Planen und Bauen relevanten Vorschriften sind in erster Linie die Energieeinsparverordnung (EnEV) und das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG). Das EEWärmeG zielt hauptsächlich auf Neubauten. Für bereits erstellte öffentliche Gebäude, die grundlegend renoviert werden, sind auch im EEWärmeG Anforderungen formuliert. Im Hinblick auf die wirtschaftlichen Belastungen sind beim Bauen im Bestand dem Ordnungsrecht jedoch Grenzen gesetzt.

Unabhängig vom Wärmeschutz aus Energieeffizienzgründen, sollten für die Schadensfreiheit von Bauwerke auch die Vorgaben zum Mindestwärmeschutz nach DIN 4108 beachtet werden.

Für Heizungsanlagen ist die 1. Bundes-Immissionsschutzverordnung (1.BImSchV) relevant. In dieser sind Grenzwerte genannt, die eingehalten werden müssen, damit die Anlage generell betrieben werden darf.

3.1 Baurecht

Das Baurecht in Deutschland besteht aus zwei Säulen, das Bauplanungs- und das Bauordnungsrecht. Das Bauplanungsrecht ist Bundesrecht. Es basiert auf dem Baugesetzbuch (BauGB) und der Baunutzungsverordnung (BauNVO). Sie regeln die Bodennutzung durch bauliche Anlagen, die den Grundsätzen der städtebaulichen Ordnung entsprechen muss.

Das Bauordnungsrecht ist Landesrecht und wird über die Landesbauordnungen (LBO) und örtliche Vorschriften umgesetzt. Diese regeln die öffentliche Sicherheit und Ordnung im Bereich baulicher Anlagen sowie deren Zugänglichkeit und Erschließung. Das Bauordnungsrecht ist somit für die Planung und Errichtung neuer Bauten maßgebend.

Erneuerungsvorhaben können genehmigungspflichtig sein. Dies sollte zu Beginn mit der Baubehörde abgestimmt werden. Hier können nämlich bauordnungsrechtliche Besonderheiten greifen wie der Denkmalschutz. Aus diesen können bauliche Restriktionen hervorgehen, wie etwa zum Erhalt wertvoller Bausubstanz oder aus bauordnungsrechtlichen Gründen, die zu beachten sind.

3.1.1 Denkmalschutz

Im Jahre 1964 wurden in der Charta von Venedig Grundsätze festgeschrieben, wie mit historischer Bausubstanz umzugehen ist. Diese haben meist heute noch ihre Gültigkeit. Der Denkmalsbegriff ist hier, wie folgt, definiert: „Der Denkmalsbegriff umfasst sowohl das einzelne Denkmal als auch das städtische oder ländliche Ensemble (Denkmalsbereich), das von einer ihm eigentümlichen Kultur, einer bezeichnenden Entwicklung oder einem historischen Ereignis Zeugnis ablegt. Er bezieht sich nicht nur auf große künstlerische Schöpfungen, sondern auch auf bescheidene Werke, die im Lauf der Zeit eine kulturelle Bedeutung bekommen haben“ (Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege).

Das Ziel des Denkmalschutzes ist es, dass Denkmale dauerhaft und unverfälscht erhalten bleiben. Hier kommt es oft zu einem Interessenskonflikt zwischen der Erhaltung des ursprünglichen Erscheinungsbildes sowie der Ausstattung des Gebäudes und der sinnvollen zeitgemäßen Nutzung. Eine wirtschaftliche Nutzung eines Denkmals ist sehr schwierig, da der Erhalt eines solchen Bauwerks eine erhebliche finanzielle Belastung darstellt.

Das Denkmalschutzrecht ist in Organisations- und Verfahrensgesetzen niedergelegt und ist in Deutschland Ländersache. Die verschiedenen Denkmalschutzgesetze der Bundesländer beruhen aber alle auf den gleichen Prinzipien. Die unteren Denkmalschutzbehörden sind für die Überwachung des Denkmalbestandes und die Sicherung der Denkmale zuständig. Bei denkmalgeschützten Gebäuden ist der Eigentümer verpflichtet, sich bei jeder baulichen Maßnahme mit der Denkmalschutzbehörde abzustimmen. Bei gestalterischen oder technischen Maßnahmen am Gebäude sollte deshalb die Denkmalschutzbehörde frühzeitig in den Planungsprozess integriert werden, um Zeitverlust im Genehmigungsprozess zu vermeiden. Die Behörden können Anweisungen geben, wie eine Veränderung durchzuführen ist.

Jede bauliche Veränderung, auch Instandhaltungsmaßnahmen, ist bei einem denkmalgeschützten Gebäude genehmigungspflichtig. Der Denkmalschutz muss sich aber nicht immer auf das gesamte Bauwerk beziehen. Manchmal besteht er nur für einen gewissen Teil des Gebäudes, z. B. für die Fassade. Wenn grundsätzlich genehmigungsfreie Veränderungen durchgeführt werden sollen, so muss bei diesen Bauwerken dennoch eine denkmalschutzrechtliche Genehmigung eingeholt werden.

3.2 Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden (Energieeinsparungsgesetz - EnEG)

Ein wesentliches Instrument der Energieeffizienzpolitik der Bundesregierung ist das Energieeinsparungsgesetz. Auf diesem Gesetz basiert die Energieeinsparverordnung. Das EnEG setzt die Beschlüsse der Europäischen Union zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden in nationales Recht um. Es führt auch die Pflicht ein, dass die öffentlichen Neubauten ab 2019 und alle anderen Gebäude ab 2021 nur noch als Niedrigstenergiegebäude erstellt werden dürfen.

Mit der nächsten Novellierung sollen das Energieeinsparungsgesetz, die Energieeinsparverordnung und das Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz in einem Gebäudeenergiegesetz vereinheitlicht und damit auch vereinfacht werden.

3.2.1 Energieeinsparverordnung (EnEV)

Gesetzliche Anforderungen werden vor allem durch die Energieeinsparverordnung festgelegt. Die kontinuierliche Fortentwicklung der energetischen Anforderungen an Gebäuden, die sich am Stand der Technik und der Wirtschaftlichkeit orientieren, leistet einen wichtigen Beitrag zur Energieeinsparung. Am 1. Mai 2014 ist die novellierte Energieeinsparverordnung (EnEV 2014) in Kraft getreten. Nach dieser Verordnung sind am 1. Januar 2016 die primärenergetischen Anforderungen für Neubauten nochmals um durchschnittlich 25 Prozent gestiegen.

Im Folgenden sollen aber hier nun die Anforderungen der EnEV behandelt werden, die für den Bestand bzw. die energetische Optimierung von Bestandsgebäuden relevant sind (EnEV § 9).

3.2.1.1 Nachrüstpflichten nach EnEV 2014

Die Heizkessel, die mit flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen beschickt werden, müssen 30 Jahre nach dem Einbau außer Betrieb genommen werden, außer es handelt sich um Niedertemperatur- oder Brennwertkessel oder die Nennleistung ist kleiner 4 kW oder größer 400 kW (EnEV § 10, Abs. 1).

Die EnEV schreibt vor, dass alle zugänglichen Rohrleitungen und Armaturen in unbeheizten Räumen zu dämmen (EnEV § 10, Abs. 2 bzw. Anlage 5) sind.

Alle zugänglichen obersten Geschossdecken (alternativ das Dach) sind auf einen U-Wert $\leq 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ zu dämmen (EnEV § 10, Abs. 3), wenn diese nicht die Anforderungen an den Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2 (2013-02) erfüllen.

3.2.1.2 Anforderungen für bestehende Nichtwohngebäude gemäß EnEV 2014

Bei Veränderungen am Gebäude bestehen für Bestandsgebäude nach § 9 EnEV folgende bedingte Anforderungen und Vorgaben.

Bei Neueinbauten, Änderung oder Reparatur von Bauteilen, die an Außenluft, Erdreich oder unbeheizte Räume grenzen, sind Anforderungen zu beachten, wenn diese Änderungen mehr als 10 % der gesamten jeweiligen Bauteilfläche betreffen.

Gleiches gilt bei der Erweiterung der beheizten Gebäudenutzfläche um zusammenhängend mindestens 50 m^2 , wenn kein neuer Wärmeerzeuger eingebaut wird. Für diese Erweiterung müssten noch zusätzlich die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz eingehalten werden. Wenn ein neuer Wärmeerzeuger mit eingebaut wird, müssen die Neubauanforderungen eingehalten werden.

Bei erstmaligem Einbau, Ersatz oder Erneuerung des Bauteils dürfen die Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten der wärmeübertragenden Umfassungsflächen nach Anlage 3, Tabelle 1 nicht überschreiten (Tabelle 4).

| Zeile | 1 Bauteil | 2 Maßnahme nach | 3 Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten U_{\max}^1 für Zonen mit Innentemperaturen $\geq 19\text{ °C}$ | |
|-------|--|--|--|---------------------------------------|
| | | | $\geq 19\text{ °C}$ | 12 bis $< 19\text{ °C}$ |
| 1 | Außenwände | Nummer 1 Satz 1 und 2 | 0,24 W/(m ² K) | 0,35 W/(m ² K) |
| 2a | Fenster, Fenstertüren | Nummer 2 Buchstabe a und b | 1,3 W/(m ² K) ² | 1,9 W/(m ² K) ² |
| 2b | Dachflächenfenster | Nummer 2 Buchstabe a und b | 1,4 W/(m ² K) ² | 1,9 W/(m ² K) ² |
| 2c | Verglasungen | Nummer 2 Buchstabe c | 1,1 W/(m ² K) ³ | keine Anforderung |
| 2d | Vorhangfassaden | Nummer 6 Satz 1 | 1,5 W/(m ² K) ⁴ | 1,9 W/(m ² K) ⁴ |
| 2e | Glasdächer | Nummer 2 Buchstabe a und c | 2,0 W/(m ² K) ³ | 2,7 W/(m ² K) ³ |
| 2f | Fenstertüren mit Klapp-, Falt-, Schiebe- oder Hebeme- chanismus | Nummer 2 Buchstabe a | 1,6 W/(m ² K) ² | 1,9 W/(m ² K) ² |
| 3a | Fenster, Fenstertüren, Dach- flächenfenster mit Sonder- verglasungen | Nummer 2 Buchstabe a und b | 2,0 W/(m ² K) ² | 2,8 W/(m ² K) ² |
| 3b | Sonderverglasungen | Nummer 2 Buchstabe c | 1,6 W/(m ² K) ³ | keine Anforderung |
| 3c | Vorhangfassaden mit Son- derverglasungen | Nummer 6 Satz 2 | 2,3 W/(m ² K) ⁴ | 3,0 W/(m ² K) ⁴ |
| 4a | Dachflächen einschließlich Dachgauben, Wände gegen unbeheizten Dachraum (einschließlich Abseiten- wänden), oberste Geschoss- decken | Nummer 4 Satz 1 und 2 Buchstabe a, c und d | 0,24 W/(m ² K) | 0,35 W/(m ² K) |
| 4b | Dachflächen mit Abdichtung | Nummer 4 Satz 2 Buchstabe b | 0,20 W/(m ² K) | 0,35 W/(m ² K) |
| 5a | Wände gegen Erdreich oder unbeheizte Räume (mit Ausnahme von Dachräumen) sowie Decken nach unten gegen Erdreich oder unbe- | Nummer 5 Satz 1 und 2 Buchstabe a und c | 0,30 W/(m ² K) | keine Anforderung |

| | 1 | 2 | 3 | |
|-------|--------------------------------|--|---|---------------------------|
| Zeile | Bauteil | Maßnahme nach | Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten U_{\max}^1 für Zonen mit Innentemperaturen $\geq 19\text{ °C}$ $12\text{ bis } < 19\text{ °C}$ | |
| | heizte Räume | | | |
| 5b | Fußbodenaufbauten | Nummer 5 Satz 2 Buchstabe b | 0,50 W/(m ² K) | keine Anforderung |
| 5c | Decken nach unten an Außenluft | Nummer 5 Satz 1 und 2 Buchstabe a und c | 0,24 W/(m ² K) | 0,35 W/(m ² K) |

- 1 Wärmedurchgangskoeffizient des Bauteils unter Berücksichtigung der neuen und der vorhandenen Bauteilschichten; für die Berechnung der Bauteile nach den Zeilen 5a und b ist DIN V 4108-6 (2003-06) Anhang E und für die Berechnung sonstiger opaker Bauteile ist DIN EN ISO 6946 (2008-04) zu verwenden.
- 2 Bemessungswert des Wärmedurchgangskoeffizienten des Fensters; der Bemessungswert des Wärmedurchgangskoeffizienten des Fensters ist technischen Produkt-Spezifikationen zu entnehmen oder gemäß den nach den Landesbauordnungen bekannt gemachten energetischen Kennwerten für Bauprodukte zu bestimmen. Hierunter fallen insbesondere energetische Kennwerte aus Europäischen Technischen Bewertungen sowie energetische Kennwerte der Regelungen nach der Bauregelliste A Teil 1 und auf Grund von Festlegungen in allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen.
- 3 Bemessungswert des Wärmedurchgangskoeffizienten der Verglasung; Fußnote 2 ist entsprechend anzuwenden.
- 4 Wärmedurchgangskoeffizient der Vorhangfassade; er ist nach DIN EN 13947 (2007-07) zu ermitteln.

Tabelle 4: Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten bei erstmaligem Einbau, Ersatz und Erneuerung von Bauteilen (EnEV 2014, Anlage 3, Tabelle 1)

3.2.1.3 Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz

Nach EnEV 2014 sind die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz nach Anlage 2, Nr. 4 bzw. Anlage 1, Nr. 3 nachzuweisen, wenn die hinzugefügte Nutzfläche $> 50\text{ m}^2$ ist. Wenn zusätzlich ein neuer Wärmerezeuger eingebaut wird, ist auch bei $< 50\text{ m}^2$ Nutzflächenerweiterung ein Nachweis für den neuen Gebäudeteil fällig.

3.3 Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG)

„Das seit dem 1. Januar 2009 geltende Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) verpflichtet Eigentümer, bei Neubauten den Wärmebedarf anteilig mit erneuerbaren Energien zu decken. Wegen ihrer Vorbildfunktion ist die öffentliche Hand auch bei grundlegenden Renovierungen ihrer Bestandsgebäude zum Einsatz erneuerbarer Energie verpflichtet. Das Gesetz soll dazu beitragen, den Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte bis zum Jahr 2020 auf 14 Prozent zu steigern. Das EEWärmeG überlässt es dem Eigentümer, zu entscheiden, welche Form von erneuerbaren Energien genutzt werden soll. Dabei sind Mindestanforderungen zu beachten. Das Gesetz lässt anstelle des Einsatzes erneuerbarer Energien auch bestimmte Ersatzmaßnahmen zu. So können die Pflichten des Gesetzes zum Beispiel auch durch eine verbesserte Energieeinsparung erfüllt werden“ (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2015, S. 68).

3.3.1 Anforderungen für Bestandsgebäude der öffentlichen Hand nach EEWärmeG

Die Bestandsgebäude der öffentlichen Hand > 50 m² müssen ihren Wärme- und Kälteenergiebedarf durch die anteilige Nutzung von Erneuerbaren Energien decken, wenn diese grundlegend renoviert werden (EEWärmeG § 3, Abs. 2).

Wenn innerhalb von 2 Jahren der Heizkessel getauscht oder die Heizungsanlage auf einen anderen fossilen Energieträger umgestellt wird und mehr als 20 % der Oberfläche der Gebäudehülle renoviert werden, führt man nach EEWärmeG eine „grundlegende Renovierung“ durch.

Bei dem Einsatz von gasförmiger Biomasse als erneuerbare Energie müssen dann mindestens 25 %, bei den sonstigen Erneuerbaren Energien nach Nummer I bis IV der Anlage des EEWärmeG mindestens 15 % des Wärme- und Kälteenergiebedarfs hieraus gedeckt werden (EEWärmeG § 5a).

Gebäude einer Liegenschaft können insgesamt ihren Wärme- und Kälteenergiebedarf in dem Umfang decken, der der Summe der einzelnen Verpflichtungen entspricht (EEWärmeG § 6, Abs. 2).

Die Anforderungen können aber auch durch Ersatzmaßnahmen des § 7 EEWärmeG erfüllt werden. Auch eine Kombination aus erneuerbaren Energien und Ersatzmaßnahmen ist zur Erfüllung der Pflicht möglich (EEWärmeG § 8).

Die Pflicht kann aber auch entfallen, wenn denkmalschutzrechtliche oder andere öffentlich-rechtlichen Pflichten entgegenstehen oder die Ersatzmaßnahmen technisch unmöglich sind oder durch einen unangemessenen Aufwand zu einer unbilligen Härte führen (EEWärmeG § 9, Abs. 2).

Die Erfüllung der Forderungen des EEWärmeG müssen für öffentliche Gebäude nicht durch Nachweise dokumentiert werden (EEWärmeG § 10, Abs. 1, Satz 2). An diese Stelle tritt die Pflicht

zur Information der Öffentlichkeit über die Erfüllung ihrer Vorbildfunktion (EEWärmeG § 10a). Danach müssen die Eigentümer öffentlicher Gebäude im Internet oder auf sonstige geeignete Weise die Öffentlichkeit über die Erfüllung der für ihr Gebäude geltenden Anforderungen unterrichten, was dazu führt, dass letztendlich doch Nachweise geführt werden müssen.

3.4 Zusätzliche Anforderungen für bestehende Bundesbauten

Nach Erlass B13-8133.2/3 vom 10.06.2014 sollen die Bundesbauten eine Vorbildfunktion übernehmen. Die Anforderungswerte von Tabelle 5 gelten im Falle von Neubauten sowie bei Änderung, Erweiterung und Ausbau von Bestandsgebäuden, wenn die Erfüllung der EnEV-Anforderungen über den Nachweis der Einhaltung des Jahres-Primärenergiebedarfs und der mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten der wärmeübertragenden Umfassungsfläche erfolgt (EnEV 2014 § 9, Abs. 1, Satz 2).

| | |
|---|--|
| Jahres-Primärenergiebedarf | - 20 % (- 30 % bei Bezug von Fernwärme aus KWK) |
| Mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient ⁽¹⁾ | - 30 % ⁽²⁾ |

¹ Der mittlere Wärmedurchgangskoeffizient [W/(m²K)] ist als spezifischer Kennwert der gesamten wärmeübertragenden Umfassungsfläche des Gebäudes zu verstehen und ein Maß für deren energetische Güte. Er ist gemäß EnEV 2014 (Anlage 2 Nummer 2.3) anhand der vorgesehenen U-Werte der einzelnen Bauteile und deren Fläche zu ermitteln.

² Die Anforderung bezieht sich auf die Gesamtheit von opaken und transparenten Bauteilen der wärmeübertragenden Umfassungsfläche eines Gebäudes. Das Erreichen des vorgenannten Ziels für die gesamte Gebäudehülle ist durch eine kostenoptimale energetische Verbesserung der einzelnen Bauteile der Gebäudehülle sicherzustellen. Das heißt, dass eine gegebenenfalls unwirtschaftliche Zielerreichung bei einem Bauteil durch die wirtschaftliche energetische Verbesserung eines anderen Bauteils kompensiert werden soll. Der Bezugswert hinsichtlich der Unterschreitungsanforderung ist, in gleicher Weise wie unter (1) benannt, anhand der Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten aus der EnEV 2014 (Anlage 2, Tabelle 2) und den spezifischen Bauteilflächen des realen Gebäudes zu ermitteln.

Tabelle 5: Unterschreitung der EnEV-Anforderung für Bundesbauten (Bezug: EnEV 2014)

Bei der Erfüllung der Nachweise der EnEV-Anforderungen im Falle der Änderung, der Erweiterung und des Ausbaus sowie bei größeren Sanierungen von Bestandsgebäuden anhand der Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten bei erstmaligem Einbau, Ersatz und Erneuerung von Bauteilen (EnEV 2014, Anlage 3, Tabelle 1) sind die dort genannten Werte zu unterschreiten, soweit es wirtschaftlich vertretbar ist.

Nach Erlass B12-8135.4/0 vom 25.07.2013 müssen Beleuchtungsanlagen in bestehenden Gebäuden, die erstmalig eingebaut oder erneuert werden, mindestens so ausgeführt werden, dass entweder

- der nach DIN V 18599-4 (2010-12) bestimmte Energiebedarf der Beleuchtung für die betroffene Nutzfläche nicht größer ist als derjenige bei Anwendung der Referenzausführungen nach Anlage 2, Tabelle 1, Zeilen 2.1 und 2.2 der geltenden Energieeinsparverordnung

oder

- die Regelung der Beleuchtung jeweils der bei Zonen gleichartiger Nutzung in zu errichtenden Gebäuden gemäß Anlage 2, Tabelle 1, Zeile 2.2 der EnEV anzuwendenden Referenzausführung entspricht und als Lampen stabförmige Leuchtstofflampen mit elektronischen Vorschaltgeräten zum Einsatz kommen.

Hiervon ausgenommen sind Erneuerungsmaßnahmen, die weniger als 250 m² zusammenhängende Nutzfläche nach EnEV § 2, Nr. 13 betreffen. Unabhängig von den vorgenannten Mindestanforderungen gilt für die Arbeitsplatzbeleuchtung bei Büro- oder vergleichbarer Nutzung, dass diese eine Systemeffizienz (Effizienz der gesamten Leuchte) von mindestens 75 lm/W aufweisen muss.

3.5 1. Bundesimmissionsschutzverordnung (1.BImSchV)

Bei Heizungsanlagen spielen auch die Anforderungen nach der 1. Bundesimmissionsschutzverordnung (1. BImSchV) eine Rolle. Die dort genannten Grenzwerte müssen eingehalten werden. Ist dies nicht der Fall, muss die Anlage ausgetauscht werden. Dazu bietet die 1. BImSchV großzügige Übergangsfristen (1. BImSchV 2010, §§ 25–27).

3.6 Anforderungen gemäß DIN 4108, Teil 2

Die DIN 4108 Teil 2 legt Mindestanforderungen an den Wärmeschutz von Bauteilen sowie im Bereich von Wärmebrücken in der Gebäudehülle von Hochbauten fest. Die hier definierten Anforderungen gelten entsprechend Abschnitt 1 der Norm für „Räume, die ihrer Bestimmung nach auf übliche Innentemperaturen (≥ 19 °C) beheizt werden“. Ferner gibt diese Norm wärmeschutztechnische Hinweise für die Planung und Ausführung von Aufenthaltsräumen in Hochbauten. Die Anforderungen gelten für zu errichtende Gebäude, für Erweiterungen bestehender Gebäude und für neue Bauteile in bestehenden Gebäuden. Die Nachweismöglichkeiten für den sommerlichen Wärmeschutz eines Bauwerks werden in dieser Norm beschrieben.

Die einzelnen Bauteile müssen dem jeweiligen Wärmedurchlasswiderstand R für wärmeübertragende Außenbauteile gemäß DIN 4108 „Wärmeschutz und Energie-Einsparung“ im Hochbau – Teil 2, in der zurzeit aktuellen Fassung von Februar 2013 entsprechen.

Für Bauteile mit einer flächenbezogenen Gesamtmasse unter 100 kg/m² gilt entsprechend DIN 4108, Teil 2, Abschnitt 5.1.2.2 ein Wärmedurchlasswiderstand von $R \geq 1,75$ (m²K)/W.

Für alle Bauteile mit einer flächenbezogenen Gesamtmasse von über 100 kg/m² sind die Anforderungen der DIN 4108, Teil 2, Tabelle 3 heranzuziehen, welche nachfolgend wiedergegeben ist (Tabelle 6).

| Spalte | 1 | 2 | 3 |
|------------------|---|---|---|
| Zeile | Bauteile | Beschreibung | Wärmedurchlasswiderstand des Bauteils ^b R in (m ² K)/W |
| 1 | Wände beheizter Räume | gegen Außenluft, Erdreich, Tiefgaragen, nicht beheizte Räume (auch nicht beheizte Dachräume oder nicht beheizte Kellerräume außerhalb der wärmeübertragenden Umfassungsfläche) | 1,2 ^c |
| 2 | Dachschrägen beheizter Räume | gegen Außenluft | 1,2 |
| 3 | Decken beheizter Räume nach oben und Flachdächer | | |
| 3.1 | | gegen Außenluft | 1,2 |
| 3.2 | | zu belüfteten Räumen zwischen Dachschrägen und Abseitenwänden bei ausgebauten Dachräumen | 0,90 |
| 3.3 | | zu nicht beheizten Räumen, zu bekriechbaren oder noch niedrigen Räumen | 0,90 |
| 3.4 | | zu Räumen zwischen gedämmten Dachschrägen und Abseitenwänden bei ausgebauten Dachräumen | 0,35 |
| 4 | Decken beheizter Räume nach unten | | |
| 4.1 ^a | | gegen Außenluft, gegen Tiefgaragen, gegen Garagen (auch beheizte), Durchfahrten (auch verschließbare) und belüftete Kriechkeller | 1,75 |
| 4.2 | | gegen nicht beheizten Kellerraum | 0,90 |
| 4.3 | | unterer Abschluss (z.B. Sohlplatte) von Aufenthaltsräumen unmittelbar an das Erdreich grenzend bis zu einer Raumtiefe von 5m | |
| 4.4 | | über einem nicht belüfteten Hohlraum, z.B. Kriechkeller, an das Erdreich angrenzend | |
| 5 | Bauteile an Treppenräumen | | |
| 5.1 | | Wände zwischen beheiztem Raum und direkt beheiztem Treppenraum, Wände zwischen beheiztem Raum und indirekt beheiztem Treppenraum, sofern die anderen Bauteile des Treppenraums die Anforderungen der Tabelle 3 erfüllen | 0,07 |

| Spalte | 1 | 2 | 3 |
|--------|---|--|---|
| Zeile | Bauteile | Beschreibung | Wärmedurchlasswiderstand des Bauteils ^b R in (m ² K)/W |
| 5.2 | | Wände zwischen beheiztem Raum und indirekt beheiztem Treppenraum, wenn nicht alle anderen Bauteile des Treppenraums die Anforderungen der Tabelle 3 erfüllen | 0,25 |
| 5.3 | | oberer und unterer Abschluss eines beheizten oder indirekt beheizten Treppenraums | wie Bauteile beheizter Räume |
| 6 | Bauteile zwischen beheizten Räumen | | |
| 6.1 | | Wohnungs- und Gebäudetrennwände zwischen beheizten Räumen | 0,07 |
| 6.2 | | Wohnungstrenndecken, Decken zwischen Räumen unterschiedlicher Nutzung | 0,35 |

a Vermeidung von Fußkälte

b bei erdberührten Bauteilen: konstruktiver Wärmedurchlasswiderstand

c bei niedrig beheizten Räumen 0,55 (m²K)/W

Tabelle 6: Mindestwerte für Wärmedurchlasswiderstände von Bauteilen (DIN 4108, Teil 2, Tabelle 3)

Bei thermisch inhomogenen Bauteilen, aber auch bei Pfosten-Riegel-Konstruktionen, ist im Bereich des Gefachs ein Wärmedurchlasswiderstand von $R_G \geq 1,75 \text{ (m}^2\text{K)/W}$ einzuhalten. Zusätzlich gilt für das gesamte Bauteil im Mittel ein Anforderungswert von $R_m \geq 1,0 \text{ (m}^2\text{K)/W}$.

Rollladenkästen müssen einen Wärmedurchlasswiderstand von $R_m \geq 1,0 \text{ (m}^2\text{K)/W}$ erfüllen. Der Deckel des Rollladenkastens muss einen Wert von $R = 0,55 \text{ (m}^2\text{K)/W}$ einhalten.

Transparente Teile der thermischen Hüllfläche sind mindestens mit Isolierglas oder 2 Glasscheiben auszuführen.

3.7 Energiebedarfsberechnung nach DIN V 18599:2011

Die EnEV 2014 schreibt für die Berechnung der Gesamtenergieeffizienz von Nichtwohngebäuden das Berechnungsverfahren nach der DIN V 18599 in der Fassung von 2011 bzw. nach teilweise berichtigten Normteilen aus 2013 vor. Die Methode kann sowohl regional differenziert werden als auch können vielfältige Konstruktionsarten von Gebäuden und der Gebäudetechnik bilanziert werden. Durch die stark unterschiedliche Nutzungen bei Nichtwohngebäuden entstehen dadurch sehr stark differierende Energiebedarfe, die über die verschiedenen Nutzungsprofile der DIN abgedeckt werden können.

Die energetische Bilanzierung nach DIN V 18599:2011 kann den „normierten“ öffentlich-rechtlichen Nachweis berechnen. Für diesen ist der Bilanzumfang fest vorgegeben. Über freie Randbedingungen ist auch eine realitätsnähere Energiebedarfsberechnung für die Energieberatung bzw. die Ausarbeitung von Energiekonzepten möglich. Das Berechnungsverfahren kann für Gebäude jedweder Nutzung und sowohl im Neubau als auch im Bestand angewendet werden.

Die Methodik erlaubt es, den langfristigen Energiebedarf zu ermitteln und den Einsatzbereich von erneuerbaren Energien abzuschätzen. Es werden die Energieströme innerhalb eines Gebäudes berechnet und auch deren Beeinflussung untereinander. So werden auch die internen und solaren Gewinne als auch Anlagenverluste in der Bilanzierung berücksichtigt. Die indirekte Wärmeabgabe durch die Anlagentechnik erfährt so eine besondere Wichtigkeit, so dass die Auswirkungen auf den Wärme- bzw. Kühlbedarf realitätsnäher beschrieben werden kann. Auch die Beleuchtung mit Tageslicht wird bewertet, so dass auch passive Systeme, wie z.B. die Verschattung, eine Rolle spielen. „Alle Bilanzräume lassen sich aufgrund ihrer eindeutigen Definition zu einem Gesamtsystem zusammenfügen, wie in Bild 8 exemplarisch dargestellt. Die Verknüpfung der einzelnen Bilanzräume erfordert allerdings eine iterative Bewertungsprozedur. Nach einem festzulegenden Abbruchkriterium kann die Anzahl der erforderlichen Iterationen definiert werden. Alle Berechnungswege führen zur Bestimmung von Endenergieanteilen, die je nach Energieträger primärenergetisch gewichtet werden“ (Erhorn und Jagnow 2013).

Die Bilanzierung umfasst somit Energieaufwendungen für

- die Heizung
- die Lüftung
- die Klimatisierung (einschl. Kühlung und Befeuchtung)
- die Trinkwasserversorgung
- die Beleuchtung

von Gebäuden einschließlich der Stromaufwendungen (Hilfsenergien), die unmittelbar mit der Energieversorgung zusammenhängen. Für die Beurteilung der energetischen Qualität eines Gebäudes werden die Bilanzen in nur zwei Werten gebündelt. Das ist zum einen der Primärenergiebedarf bzw. -verbrauch in kWh/m²a und zum anderen der Transmissionswärmeferkoeffizient H'_t , der als „mittlerer U-Wert“ die Qualität der Gebäudehülle wiedergibt.

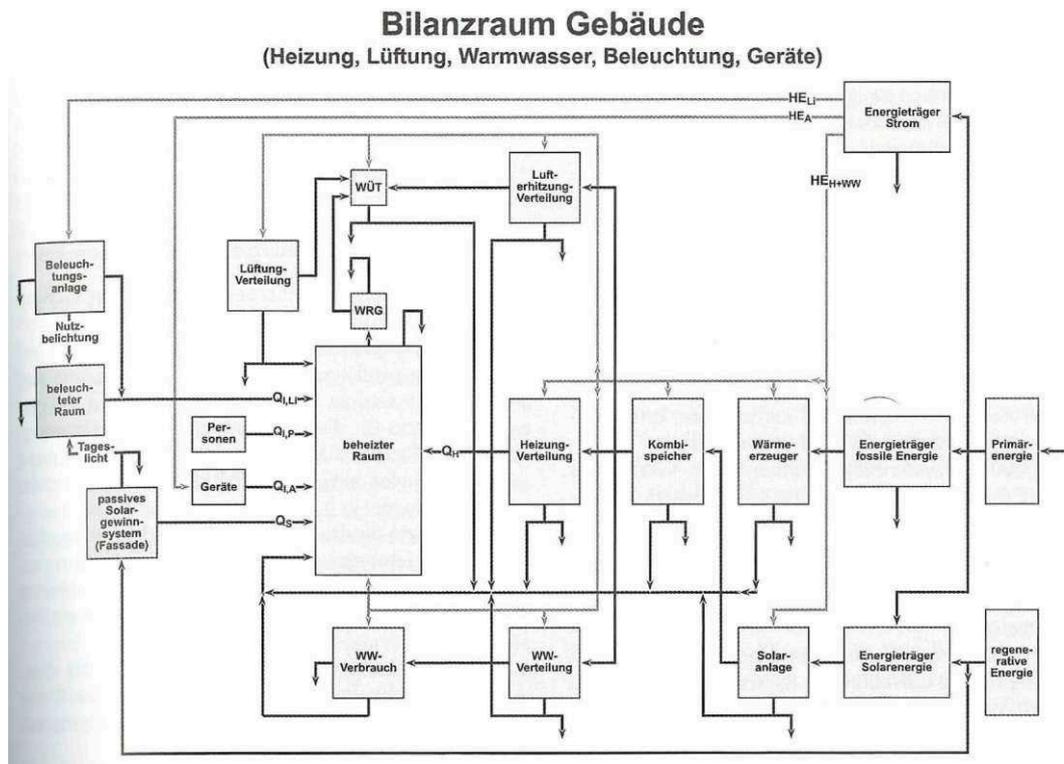


Bild 8: Darstellung der Energiebilanzräume und deren gegenseitige Beeinflussungen für den Gesamt-Bilanzierungsraum Gebäude (Erhorn und Jagnow 2013)

Der Primärenergiebedarf betrachtet den Energiebedarf „vom Heizkörper bis zum Bohrloch“. Hiervon unterscheidet man die „Endenergie“, gemeint ist der Energiebedarf „vom Heizkörper bis zur Außenwand“. Dieser Wert ist für die energetische Analyse maßgeblich.

Die Methodik der DIN V 18599:2011 sieht vor, dass „Zonen“ unterschiedlicher Nutzung und unterschiedlicher Klima-Konditionierung gebildet werden, deren Energiebedarf gesondert ermittelt wird. Diese Differenzierung kann sehr weit gehen, allerdings wird in DIN V 18599 Teil 1:2011 unter Abschnitt 6.1 „Zonierung von Gebäuden“ empfohlen: „Zur Vereinfachung der Gebäudebilanz sollten nur so viele Zonen gebildet werden, dass die wichtigsten energetischen Unterschiede innerhalb des Gebäudes angemessen berücksichtigt werden können. Zu viele Zonen sind zu vermeiden, da sie den Berechnungsaufwand erheblich erhöhen können, ohne das Bilanzierungsergebnis in entsprechender Weise zu verbessern“ (DIN V 18599-1:2011-12, S. 47).

Es handelt sich bei den Berechnungen nach DIN V 18599:2011 um ein „normatives“ Verfahren. Ein wesentlicher Aspekt dieser normativen Vorgehensweise ist die Anwendung von Nutzungsprofilen nach Teil 10. In einem Nutzungsprofil werden die für den Energiebedarf wichtigen Parameter festgelegt, also Nutzungsdauer, Raumkonditionen, Außenluftvolumenstrom, Beleuchtung, Personenbelegung und interne Wärmequellen. Die Vergleichbarkeit unterschiedlicher Gebäude lässt sich nur mit Hilfe solcher festgelegter Profile erzielen. Auf der anderen Seite passen solche Profile nur in seltenen Fällen zum konkreten Anwendungsfall, so dass bei einer Einzelbetrachtung eines Gebäudes diese Nutzungsprofile auf die aktuelle Nutzung angepasst werden müssen.

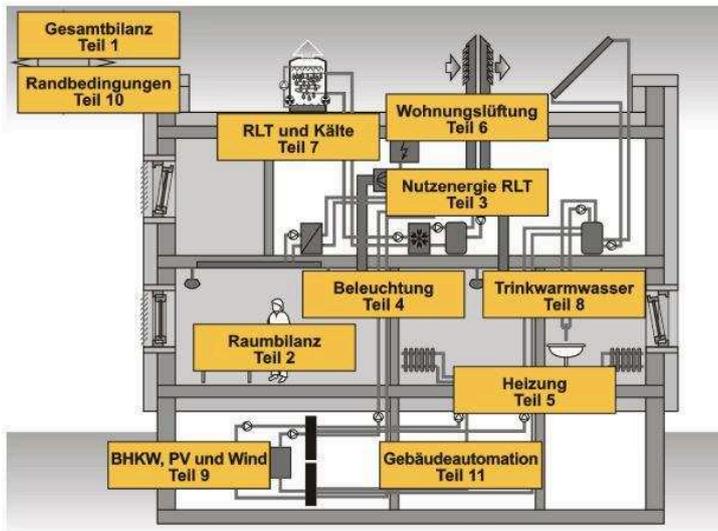


Bild 9: Übersicht über die Teile der DIN V 18599:2011

Der Ablauf der energetischen Berechnung in Kurzform umfasst folgende Schritte:

1. Feststellen der Randbedingungen der Nutzung und gegebenenfalls Zonierung des Gebäudes nach Nutzungsarten, Bauphysik, Anlagentechnik einschließlich Beleuchtung nach den Festlegungen in DIN V 18599-10:2011;
2. Zusammenstellung der notwendigen Eingangsdaten für die Bilanzierung der Gebäudezonen (Flächen, bauphysikalische Kennwerte, anlagentechnische Kennwerte, auch Zulufttemperatur und Luftwechsel für bestimmte Lüftungssysteme nach DIN V 18599-10:2011 bzw. DIN V 18599-3:2011);
3. Ermittlung des Nutzenergiebedarfs und Endenergiebedarfs für die Beleuchtung sowie der Wärmequellen in der Zone durch die Beleuchtung nach DIN V 18599-4:2011;
4. Ermittlung der Wärmequellen/-senken durch mechanische Lüftung in der Zone nach DIN V 18599-6:2011 und DIN V 18599-7:2011;
5. Bestimmung der Wärmequellen/-senken aus Personen, Geräten usw. (ohne Anlagentechnik) nach DIN V 18599-2:2011;
6. Erste überschlägige Bilanzierung des Nutzwärme/-kältebedarfs der Zone (getrennt für Nutzungstage und Nichtnutzungstage) nach DIN V 18599-2:2011 unter Berücksichtigung der bereits bekannten Wärmequellen/-senken;
7. Vorläufige Aufteilung der bilanzierten Nutzenergie auf die Versorgungssysteme (RLT-System nach DIN V 18599-3:2011 und DIN V 18599-7:2011, Wohnungslüftung nach DIN V 18599-6:2011, Heiz- und Kühlsystem nach DIN V 18599-5:2011 und DIN V 18599-7:2011);
8. Ermittlung der Wärmequellen durch die Heizung in der Zone (Verteilung, Speicherung, gegebenenfalls Erzeugung in der Zone) nach DIN V 18599-5:2011 anhand des überschlägigen Nutzwärmebedarfs;

9. Ermittlung der Wärmequellen/-senken durch die Kühlung in der Zone (Verteilung, Speicherung, gegebenenfalls Erzeugung in der Zone) nach DIN V 18599-7:2011 anhand des überschlägigen Nutzkältebedarfs;
10. Ermittlung der Wärmequellen durch die Trinkwarmwasserbereitung (Verteilung, Speicherung, gegebenenfalls Erzeugung in der Zone) nach DIN V 18599-8:2011;
11. Bilanzierung des Nutzwärme/-kältebedarfs der Zone (Nutzenergiebedarf, getrennt für Nutzungstage und Nichtnutzungstage) nach DIN V 18599-2:2011. Die Iteration mit den Schritten 7 bis 11 ist so lange zu wiederholen, bis zwei aufeinander folgende Ergebnisse für den Nutzwärmebedarf und den Nutzkältebedarf sich jeweils um nicht mehr als 0,1 % voneinander unterscheiden, jedoch höchstens 10-mal. Die sich ergebende Abweichung zwischen den letzten beiden Iterationsschritten soll bei der Berechnung angegeben werden;
12. Ermittlung des Nutzenergiebedarfs für die Luftaufbereitung und gegebenenfalls Saldierung des Nutzkühlbedarfs der Zonen (VVS-Anlagen) nach DIN V 18599-3:2011;
13. Endgültige Aufteilung der bilanzierten Nutzenergie auf die Versorgungssysteme (RLT-System nach DIN V 18599-3:2011 und DIN V 18599-7:2011, Wohnungslüftung nach DIN V 18599-6:2011, Heiz- und Kühlsystem nach DIN V 18599-5:2011 und DIN V 18599-7:2011);
14. Ermittlung der Verluste der Übergabe, Verteilung und Speicherung für die Heizung (Nutzwärmeabgabe des Erzeugers) nach DIN V 18599-5:2011;
15. Ermittlung der Verluste für Übergabe und Verteilung für die luftführenden Systeme nach DIN V 18599-7:2011 und nach DIN V 18599-6:2011;
16. Ermittlung der Verluste der Übergabe, Verteilung und Speicherung für die Wärmeversorgung einer RLT-Anlage (Nutzwärmeabgabe des Erzeugers) nach DIN V 18599-7:2011;
17. Ermittlung der Verluste der Übergabe, Verteilung und Speicherung für die Kälteversorgung (Nutzkälteabgabe des Erzeugers) nach DIN V 18599-7:2011;
18. Ermittlung der Verluste der Übergabe, Verteilung und Speicherung für die Trinkwarmwasserbereitung (Nutzwärmeabgabe des Erzeugers) nach DIN V 18599-8:2011;
19. Aufteilung der notwendigen Nutzwärmeabgabe aller Erzeuger auf die unterschiedlichen Erzeugungssysteme nach DIN V 18599-5:2011;
20. Aufteilung der notwendigen Nutzkälteabgabe aller Erzeuger auf die unterschiedlichen Erzeugungssysteme nach DIN V 18599-7:2011;
21. Ermittlung der Verluste bei der Erzeugung von Kälte nach DIN V 18599-7:2011;
22. Ermittlung der Verluste bei der Erzeugung von Dampf nach DIN V 18599-7:2011;
23. Ermittlung der Verluste bei der Erzeugung von Wärme nach DIN V 18599-5:2011 (Heizwärmeerzeuger), nach DIN V 18599-6:2011 (Wohnungslüftungsanlagen), nach DIN V 18599-8:2011 (Trinkwasserwärmeerzeuger), nach DIN V 18599-9:2011 (BHKW u. Ä.) und gegebenenfalls nach DIN V 18599-7:2011 (Abwärme-, Kältemaschine);
24. Zusammenstellung der ermittelten Hilfsenergien (z. B. Aufwand für Lufttransport nach DIN V 18599-3:2011 und nach DIN V 18599-6:2011);

25. Zusammenstellung der Endenergien nach Energieträger nach DIN V 18599-1:2011;
26. Primärenergetische Bewertung nach DIN V 18599-1 (DIN V 18599-1:2011-12, S. 62–63).

3.7.1 Abgleich Verbrauch – Bedarf

In Beiblatt 1 zur DIN V 18599:2011 werden Empfehlungen für Energieberatungen an bestehenden Gebäuden gegeben. Um die methodischen Schwächen der Bedarfsberechnungen aufgrund des normierten Ansatzes auszugleichen, wird empfohlen, den berechneten Endenergiebedarf an den witterungskorrigierten Verbrauch anzugleichen. Da die Teilergebnisse der Bedarfsberechnung durchaus sinnvoll sind, weil sie die Verhältnisse der verschiedenen Verlustquellen richtig wiedergeben, hat man durch den Abgleich mit dem Verbrauch ein Werkzeug, um die wirtschaftlichen Folgen der einen oder der anderen Maßnahme richtig einzuschätzen. Allerdings heißt es in Beiblatt 1 auch: „ Das vorliegende Verfahren ist nur geeignet, um Bedarfs- und Verbrauchswerte miteinander zu vergleichen, solange gleiche Energieanwendungen gemessen und rechnerisch bilanziert werden. Ist im Messwert in nennenswertem Umfang Prozessenergie enthalten, welche nicht in der theoretischen Bedarfsbilanz erfasst wird und welche nicht rechnerisch oder messtechnisch ermittelt werden kann, wird ein Abgleich entsprechend unsicher oder kann nicht durchgeführt werden“ (DIN V 18599 Beiblatt 1:2011).

Die Energiebedarfswerte können so mit den individuellen objektspezifischen Randbedingungen angepasst werden. Es ist das Ziel, den berechneten Energiebedarf an den witterungsbereinigten Verbrauch anzugleichen.

Für den Abgleich von Verbrauchswerten mit den Bedarfswerten wird folgende Bearbeitungsreihenfolge empfohlen:

1. Erhebung von Verbrauchsdaten:
Ziel dieses Schrittes ist die Bestimmung der Energiemengen für alle Energieträger in Kilowattstunden innerhalb eines beliebigen Messzeitraums.
2. Korrektur der Verbrauchsdaten:
Ergebnis sind - soweit möglich - zeit-, standort- und witterungskorrigierte Verbrauchskennwerte für jeden Energieträger.
3. Erstellung einer ersten Bedarfsbilanz nach DIN V 18599:2011:
Die Energiebilanz ist die Basis der weiteren Modifikationen. Es kann sich beispielsweise um eine Bilanz für einen öffentlich-rechtlichen Nachweis handeln. Die Eingabedaten dieser ersten Bilanz werden mit Sorgfalt gewählt, jedoch keinem gesonderten Abgleich unterzogen.
4. Überprüfung der Zonierung und der geometrischen Daten:
Ziel ist eine sinnvolle Aufteilung des Gebäudes in Zonen entsprechend der vorliegenden Nutzung. Vereinfachungen und Zusammenfassungen, welche im Falle öffentlich-rechtlicher Nachweise (EnEV) möglich wären, sind nur zu verwenden, sofern diese inhaltlich begründet sind. Flächen- und Geometrieangaben sind mit der erforderlichen Sorgfalt zu überprüfen.
5. Überprüfung der Nutzungsranddaten und Modifikation der Nutzungsprofile:

Ausgehend von Standardnutzungen sind die Nutzungsrandbedingungen an den realen - zu den Verbrauchsdaten passenden - Fall anzupassen.

6. Modifikation der Bedarfsbilanz mit Ausweisung der Detailenergiemengen:
Die angepassten Nutzungs-, Geometrie- und Zonenranddaten werden in die Bilanz übertragen. Anschließend werden Endenergien für die einzelnen Energieträger berechnet. Es erfolgt die Aufteilung der Endenergien und Hilfsenergien auf die Gewerke (Beleuchtung, Heizung, Warmwasserbereitung, Kühlung, Klimatisierung, Lüftung usw.) sowie die einzelnen Prozessbereiche (Nutzenergie, technische Verluste, regenerative Energien). Die Aufteilung der Bilanz nach Energieträger, Gewerk und Prozessbereich gibt die Bearbeitungsreihenfolge bei der Überprüfung der Eingabeparameter vor.
7. Modifikation der Parameter der einzelnen Gewerke:
Die empfohlene Bearbeitungsreihenfolge der Gewerke ergibt sich aus der Energiebilanz und der Sensitivität der Eingabedaten. In einem ersten Schritt werden für alle Gewerke die Eingabegrößen mit sehr hohem Bilanzeinfluss überprüft. Es folgen die nächsten Schritte mit den Eingabegrößen mit hohem Bilanzanteil usw.
8. Permanenter Vergleich der Bedarfs- und korrigierten Verbrauchswerte:
Die berechneten Kennwerte werden während der Modifikation der Eingabedaten permanent mit den korrigierten Verbrauchsdaten verglichen.
Eine Übereinstimmung beider Kennwerte deutet für den Fall auf eine realitätsnahe Energiebilanz hin, in dem die berechneten und gemessenen Kennwerte die gleichen Energieanwendungen enthalten. (DIN V 18599 Beiblatt 1:2011, S. 6)

Für die Anpassung gibt das Beiblatt 1 der DIN V 18599:2011 in Form von Tabellen Hinweise, welche Parameter in welchem Bereich die größten Einfluss auf die Bilanzierung haben. Zudem wird für jede Größe angegeben, ob es sich um einen Standardwert aus der DIN handelt oder ob ein Projektkennwert für die Größe verantwortlich ist. Als drittes wird noch die typische Abweichung des Praxiswertes von einem Standardwert angegeben. So kann man einen ersten Trend ausmachen, wie groß der Bilanzeinfluss der Eingangsgrößen und die Abweichung von Standardwerten ist.

„Als Datenbasis für den Bedarfs-Verbrauchsabgleich wird die Erhebung der Verbrauchsdaten mehrerer Jahre unbedingt empfohlen. Nach oben sind keine Grenzen gesetzt, sofern die in der Vergangenheit liegenden Messperioden den zu bilanzierenden Zustand repräsentieren“ (DIN V 18599 Beiblatt 1:2011, S. 12). Der Abgleich der Werte erfolgt auf der Ebene der Endenergie in Kilowattstunden. Bevor ein Abgleich mit Verbrauchsdaten durchgeführt wird, müssen diese einer Standort-, Zeit- bzw. Witterungsbereinigung unterzogen werden. Diese erfolgt auf dem in VDI 3807 Blatt 1 beschriebenen Verfahren.

4 Energetische Bewertung der Hochbauten der WSV

Für eine erste energetische Bewertung der Hochbauten der WSV wurden die Außenbezirke und Bauhöfe betrachtet. Diese Gebäudegruppe wurde ausgewählt, da diese von der WSV selbst ver-

waltet und betrieben werden. So können die gewonnen Erkenntnisse auch direkt umgesetzt werden.

Die Energieverbrauchsdaten der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung werden nicht zentral erfasst. So wurden im Jahr 2012 Gebäude- und Energieverbrauchsdaten bei den einzelnen Wasserstraßen- und Schifffahrtsämtern abgefragt, um eine erste Bestandsaufnahme durchführen zu können.

Die Daten wurden mit Hilfe eines zweiseitigen Fragebogens erhoben. Die erste Seite erfasste die Grunddaten der Gebäude, wie Baujahr, Fläche, Art der Beheizung, etc. Auf der zweiten Seite wurde der Medienverbrauch (Strom, Wärme) der letzten drei Jahre abgefragt.

Steckbrief Gebäude Bundesanstalt für Wasserbau
Kompetenz für die Wasserstraßen

| | | |
|------------------|--|--|
| Gebäude | | |
| ggf. Gebäudeteil | | |
| Adresse | | |
| PLZ | | |
| Ort | | |

Baujahr

Nettogrundfläche

Sanierungen, Instandsetzungen, Modernisierungen

| Wann? | Was? | Unterlagen? |
|-------|------|-------------|
| | | |
| | | |
| | | |

Anlagentechnik

Wärme
*Hinweis: Die folgenden Angaben können Sie aus ihrem letzten **Schornsteinfegerprotokoll** übernehmen!
Falls die Heizung während eines Abrechnungszeitraumes erneuert wurde, geben Sie bitte auch die Werte der alten Heizung und das Datum des Austausches auf einem separaten Blatt mit an.*

Heizkessel/Wärmeaustauscher

| | | | |
|-------------------------|--|-------------|---|
| Hersteller | <input style="width: 100px;" type="text"/> | Typ/Baujahr | <input style="width: 50px;" type="text"/> |
| Nennwärmeleistung in kW | <input style="width: 100px;" type="text"/> | | |

Brenner

| | | | |
|---------------------|--|-------------|---|
| Hersteller | <input style="width: 100px;" type="text"/> | Typ/Baujahr | <input style="width: 50px;" type="text"/> |
| ohne Gebläse | <input type="checkbox"/> | mit Gebläse | <input type="checkbox"/> |
| Verdampfungsbrenner | <input type="checkbox"/> | | |
| Leistungsbereich | <input style="width: 100px;" type="text"/> | | |
| | <input style="width: 100px;" type="text"/> | | |

Brennstoff

| | | | | | |
|-------------|--------------------------|-------------------|--------------------------|------------|--------------------------|
| Heizöl | <input type="checkbox"/> | Erdgas | <input type="checkbox"/> | Flüssiggas | <input type="checkbox"/> |
| Holzpellets | <input type="checkbox"/> | Holzhackschnitzen | <input type="checkbox"/> | Strom | <input type="checkbox"/> |
| Fernwärme | <input type="checkbox"/> | | | | |
| Sontiges | <input type="checkbox"/> | | | | |

Art der Anlage

| | | | |
|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Heizung | <input type="checkbox"/> | Heizung mit Brauchwasser | <input type="checkbox"/> |
| Brauchwasseranlage | <input type="checkbox"/> | | |
| Feuerstätte anderer Art | <input type="checkbox"/> | | |

Warmwasserbereitung

| | |
|------------------------------------|--------------------------|
| zentral über Heizkessel | <input type="checkbox"/> |
| über Sonnenkollektoren und Heizung | <input type="checkbox"/> |
| dezentral | <input type="checkbox"/> |

Seite 1

Steckbrief Gebäude Bundesanstalt für Wasserbau
Kompetenz für die Wasserstraßen

| | | |
|------------------|--|--|
| Gebäude | | |
| ggf. Gebäudeteil | | |
| Adresse | | |
| PLZ | | |
| Ort | | |

Verbrauchserfassung Heizung
*Hinweis: Die folgenden Daten können Sie aus ihren letzten **Heizkostenabrechnungen** übernehmen!*

| Datum vom | Datum bis | Stand alt | Stand neu | Verbrauch in l, m³ | Faktor kWh Umrechnung | Verbrauch in kWh |
|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------|-----------------------|------------------|
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

Energiebedarf für die Warmwasserbereitung ist in den Verbrauchswerten
 enthalten.
 nicht enthalten.

Sind für diese Zeiträume Leerstände zu berücksichtigen?
 von: bis: Flächenanteil ca. %

Verbrauchserfassung Strom
*Hinweis: Die folgenden Daten können Sie aus ihren letzten **Stromabrechnungen** übernehmen!*

| Datum vom | Datum bis | Stand alt | Stand neu | Verbrauch in kWh |
|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

Kälte

Ist eine Kälteanlage vorhanden? ja nein

Lüftung

Ist eine Lüftungsanlage vorhanden? ja nein

wenn ja, Art der Anlage

| | | | |
|----------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| nur Abluft | <input type="checkbox"/> | ohne Wärmerückgewinnung | <input type="checkbox"/> |
| nur Zuluft | <input type="checkbox"/> | mit Wärmerückgewinnung | <input type="checkbox"/> |
| Zu- und Abluft | <input type="checkbox"/> | | |

Seite 2

Bild 10: Datenerhebungsbogen, der an die Wasserstraßen- und Schifffahrtsämtern versendet wurde.

Die Resonanz auf die Datenabfrage war positiv, so dass Daten von 35 der 39 Wasser- und Schifffahrtsämtern (ca. 90 %) vorhanden sind und ausgewertet werden konnten. Es wurden über 350 Gebäude in 124 Außenbezirken und 29 Bauhöfen erfasst.

Die Auswertung der Daten erfolgt für jedes Amt anonymisiert, da es nicht beabsichtigt ist, das eine oder andere Amt, das etwas schlechter abschneidet, an den Pranger zu stellen, sondern die Schwachstellen der Gebäude aufzuzeigen, so dass in der Zukunft eine stetige Verbesserung des Gebäudebestandes erreicht werden kann.

Die Bestandsaufnahme brachte bereits einige Optimierungspotentiale im Bereich der Gebäudebewirtschaftung zu tage. Es wurde versucht, die erhaltenen Daten über die „Digitale Verwaltung technischer Unterlagen“ (DVtU) der WSV mit Planunterlagen zu ergänzen. Das stellt sich als sehr schwierig heraus, da lediglich bei einem Drittel der Gebäude Unterlagen in die DVtU eingestellt sind. Oftmals handelt es sich bei diesen Plänen auch nicht um Bestandspläne, die auf dem Laufenden gehalten werden. Sondern die Planunterlagen stellen irgendeinen Planstand dar, der nicht mehr den aktuellen Gegebenheiten vor Ort entspricht.

Die Energieverbräuche sind teilweise schwer zuzuordnen, da es oftmals nur einen Gesamtzähler für die komplette Liegenschaft gibt. Auch zwischen dem Stromverbrauch für den Betrieb des Gebäudes und dem nutzungsbedingten Stromverbrauch ist nicht zu trennen. Dies ist jedoch ein weit verbreitetes Problem bei der Bewertung von Stromverbräuchen in Nichtwohngebäuden.

4.1 Nutzung Außenbezirk/Bauhof

Die Außenbezirke und Bauhöfe der WSV sind Dienststellen der Wasserstraßen- und Schifffahrtsämter (WSA). Ein WSA besitzt meist einen Bauhof und, je nach Größe des Zuständigkeitsbereiches, mehrere Außenbezirke. Diese sind bundesweit entlang der Wasserstraßen angesiedelt und bestehen meist aus mehreren Einzelgebäuden (Bild 11).

Ein Außenbezirk (ABz) ist für den Betrieb, die Unterhaltung und Überwachung von Streckenabschnitten an Flüssen bzw. Kanälen zuständig ist. Zu den Aufgaben des ABz gehören darüber hinaus u.a. die bauliche Unterhaltung der Bauhofsgebäude der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) sowie der Anlagen. In der Regel besteht ein ABz aus einem Dienstbürogebäude und einem Betriebswerkgebäude. Im Dienstbürogebäude sind die erforderlichen Büro- und Sozialräume, deren Größe durch die Anzahl des Mitarbeiterpersonals bemessen wird, untergebracht. Teilweise sind in ABz-Bürogebäuden bei Bedarf Arbeitsplätze für andere WSA-Beschäftigte sowie die Unterbringung von technischen Anlagen der WSV zu berücksichtigen. Im Betriebswerkgebäude sind Werkflächen und Räume zu Lagerzwecken erforderlich.

Ein Bauhof (BHf) ist für die werkstattrelevanten Unterhaltungsmaßnahmen im Bereich Stahlbau, Maschinenbau, Elektroenergie- und Nachrichtentechnik zuständig. Auch hier gibt es ein Dienstbürogebäude, das meist durch mehrere Werkstattgebäude, ein Magazin und eine Maschinenbauhalle ergänzt wird.

Da die Arbeiten meist in Kolonnen von mehreren Mitarbeitern durchgeführt werden, gibt es feste Arbeitszeiten. Die Nutzungszeiten der Gebäude liegt Montag bis Donnerstag zwischen 6:30 Uhr und 16 Uhr und freitags zwischen 6:30 Uhr und 13:00 Uhr. Die Anforderungen an die Raumkonditionen liegen in einem Rahmen von ca. 21°C für die Büro- und Sozialräume und zwischen 12 bis 17 °C für die Lager, Werkstätten und -räume, wobei die Werkstätten und -räume teilweise auch auf ca. 21°C geheizt werden.

4.2 Auswertung Bestandsaufnahme

Es wurden nicht nur Energieverbräuche abgefragt, sondern auch einige Grunddaten zu den Gebäuden und deren Anlagentechnik, die eine erste Beurteilung des Gebäudes zulassen.

Das Baujahr eines Gebäudes ist eine sehr grobe Möglichkeit, ein Gebäude energetisch einzuordnen. Die Bandbreite des Gebäudeportfolios der WSV ist sehr groß. Das älteste in diesem Bericht erfasste Gebäude ist 1830, das neueste 2012 erbaut worden, da die Erhebung 2012 durchgeführt wurde. Es gibt zwei Zeiträume, in denen es zu einer größeren Anzahl an Neubauten kam. Das ist einmal in den 50er Jahren und in den 90er Jahren des 20. Jahrhunderts (Bild 12). Direkt nach der deutschen Einheit wurde vermehrt neu gebaut, wobei die Neubauten der GDWS Ost nicht den größten Anteil an der Bautätigkeit ausmachen, wie man in einem ersten Moment vermuten könnte. Die Gebäude der Außenbezirke und Bauhöfe in der WSV sind im Durchschnitt ca. 44 Jahre alt.

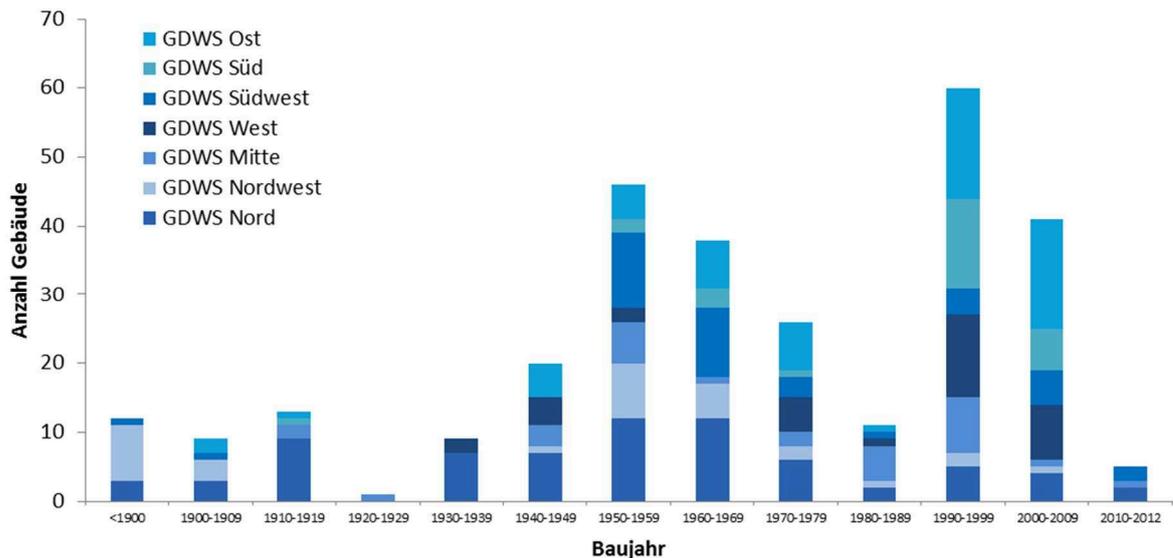


Bild 12: Baujahr der erfassten Gebäude

Von kleineren Sozial- oder Lagergebäuden bis hin zu großen Maschinenbauhallen spiegelt die Gebäudegröße die Vielfalt an unterschiedlichen Gebäudetypen wieder. Der Großteil der in diesem Bericht erfassten Gebäude sind Büro- und Sozialgebäude. Es wurden nur beheizte Gebäude, für die die EnEV relevant ist, berücksichtigt. Mehr als die Hälfte der Gebäude ist nicht größer als 450 m² (Bild 13). Die Durchschnittsgröße beträgt 498 m².

Die Informationen zu den bereits durchgeführten Sanierungen, Instandsetzungen und Modernisierungen sind aufgrund der Freitextfelder im Fragebogen durchaus lückenhaft. Lediglich bei einem Drittel der Gebäude wurden Instandsetzungen bzw. Modernisierungen angegeben. Etwa die Hälfte davon hat den Austausch der Heizungsanlage angegeben. Optimierungen der Gebäudehülle wurden an ca. 10 % der erfassten Gebäude in den Bereichen Außenwand, Fenster

und/oder Dach vorgenommen. Im Durchschnitt wurden die meisten Maßnahmen im Zeitraum um die Jahrtausendwende durchgeführt.

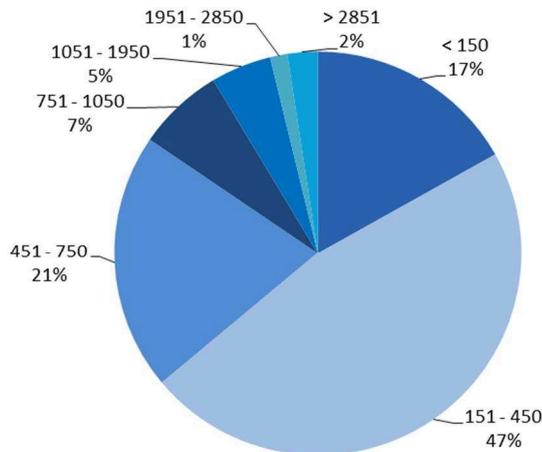


Bild 13: Prozentuale Verteilung der Nettogrundfläche in m² der erfassten Gebäude

Im Bereich der Anlagentechnik wird in zwei Drittel der Fälle mit dem Heizkessel sowohl Heizwärme als auch Warmwasser bereitete (Bild 14). Hier sollte geprüft werden, ob es bei geringem Warmwasserbedarf nicht sinnvoll ist, auf dezentrale Geräte umzusteigen. Damit könnten einige Heizungen über die Sommermonate komplett stillgelegt werden. So könnte ein Großteil der Bereitschaftsverluste eingespart werden. In einem Viertel wird das Warmwasser bereits dezentral, meist mit Durchlauferhitzern, erzeugt (Bild 15). Bei dem Anforderungsprofil der Außenbezirke und Bauhöfe ist die Nutzung von Solarthermie nur in wenigen Fällen sinnvoll, da Warmwasser in entsprechenden Mengen meist nur einmal am Tag benötigt wird. Somit müsste man mit größeren Warmwasserspeichern arbeiten. Die Bereitschaftsverluste und vor allem die Nachheizung dieser Speicher aufgrund der Problematik schließt eine wirtschaftliche Nutzung von Solarthermie in den meisten Gebäuden der Außenbezirke und Bauhöfe weitestgehend aus.

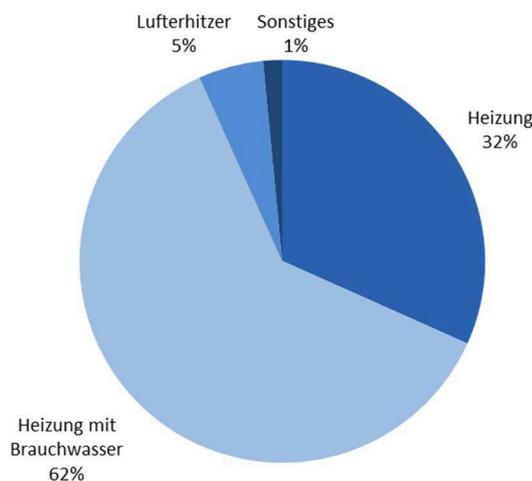


Bild 14: Arten der Anlagen (Heizung/Warmwasser) der Außenbezirke und Bauhöfe der WSV

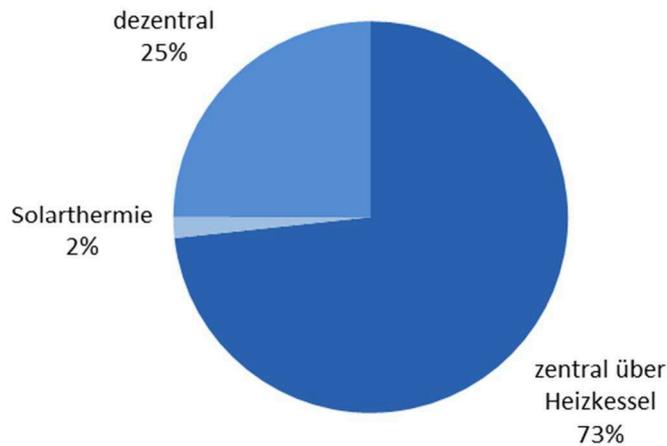


Bild 15: Arten der Warmwasserbereitung der Außenbezirke und Bauhöfe

In der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung ist das Ausbaupotential für erneuerbare Energien noch sehr groß. Über 90 % verwenden Öl oder Gas für die Wärmeversorgung der Gebäude (Bild 16). Aktuell werden weit unter 5 % der Gebäude mit erneuerbaren Energien versorgt. Beim Austausch von Altanlagen sollte in naher Zukunft ein Hauptaugenmerk auf diese Tatsache gelegt werden. Einen klimaneutralen Gebäudebestand zu betreiben ist weitestgehend nur über die Nutzung von regenerativen Energieträgern möglich.

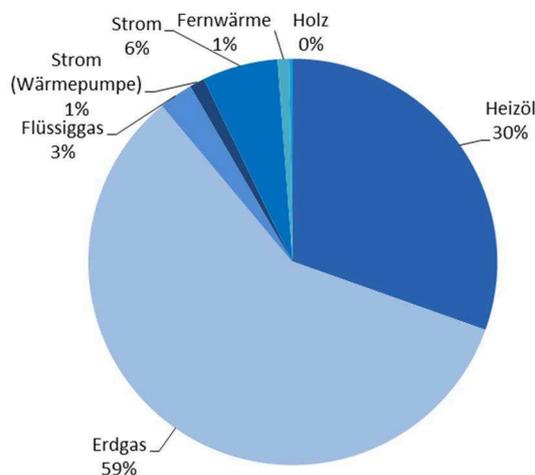


Bild 16: Energieträger der Außenbezirke und Bauhöfe

Das Alter der Heizkessel verspricht kurzfristig die größte Möglichkeit, Einsparpotentiale zu erschließen. Ca. 60 % der Heizkessel der erfassten WSV-Gebäude kommen bis zum Jahre 2020 an das Ende ihrer technischen Nutzungsdauer, so dass für diese Anlagen in nächster Zeit mit Erneuerungsmaßnahmen zu rechnen ist. Dies bietet eine Chance, den Anteil erneuerbarer Energien in der Wärmebereitstellung der Außenbezirke und Bauhöfe deutlich zu erhöhen. So könnten in einem ersten Schritt Einsparmöglichkeiten erschlossen werden, durch Maßnahmen die

sowieso notwendig wären. Einige der Anlagen sind bereits überfällig und müssten nach der EnEV 2014 bereits ersetzt werden.

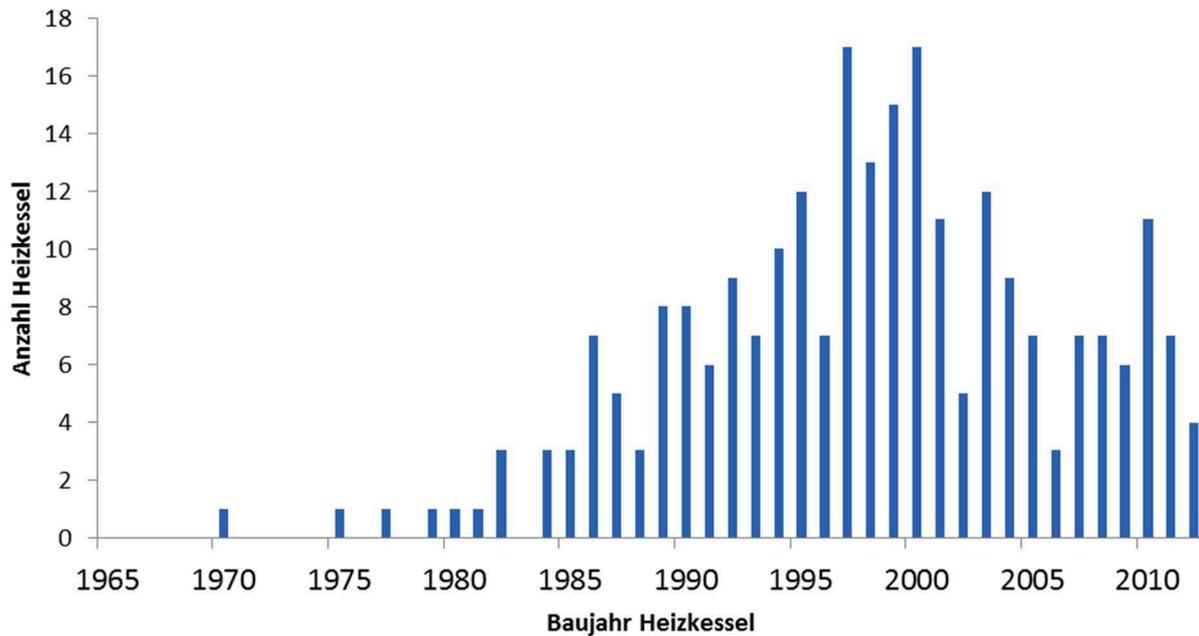


Bild 17: Baujahr der Heizkessel in den Außenbezirken und Bauhöfen

Wenn nun die Heizanlagen, die bis 2020 aufgrund ihres Alters sowieso zu ersetzen wären, grundsätzlich mit Anlagen für regenerative Energieträger ersetzt würden, dann könnte innerhalb kürzester Zeit der Energieträger-Mix der WSV so aussehen, wie in Bild 18 dargestellt: erneuerbare Energien hätten einen Anteil von 48%.

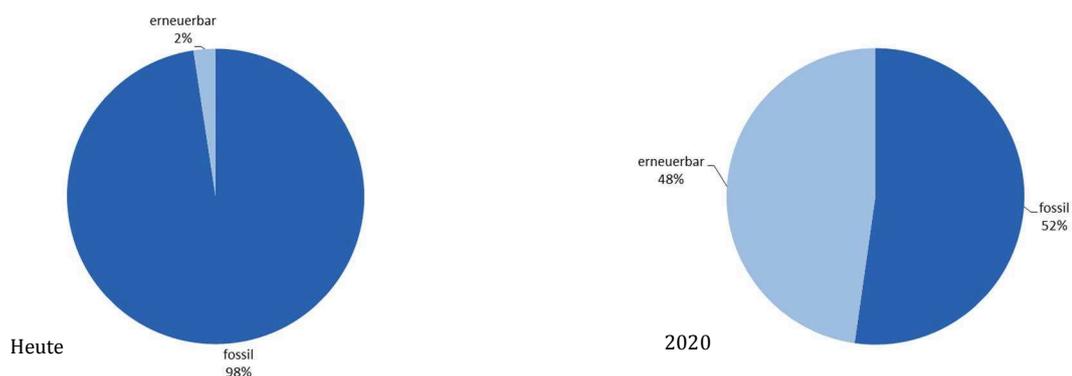


Bild 18: Prognose Energieträger-Mix heute (links) und 2020 (rechts) der Wärmebereitstellungsanlagen bei Ersatz durch regenerative Energieträger

Die Leistungsaufnahme der Heizkessel bzw. -anlagen, die in der WSV betrieben werden, reichen von 2 bis 1750 kW (Bild 19). Das entspricht der großen Bandbreite bei der Größe der Gebäude. Der Großteil der Anlagen befindet sich in einem Bereich bis 120 kW Heizleistung.

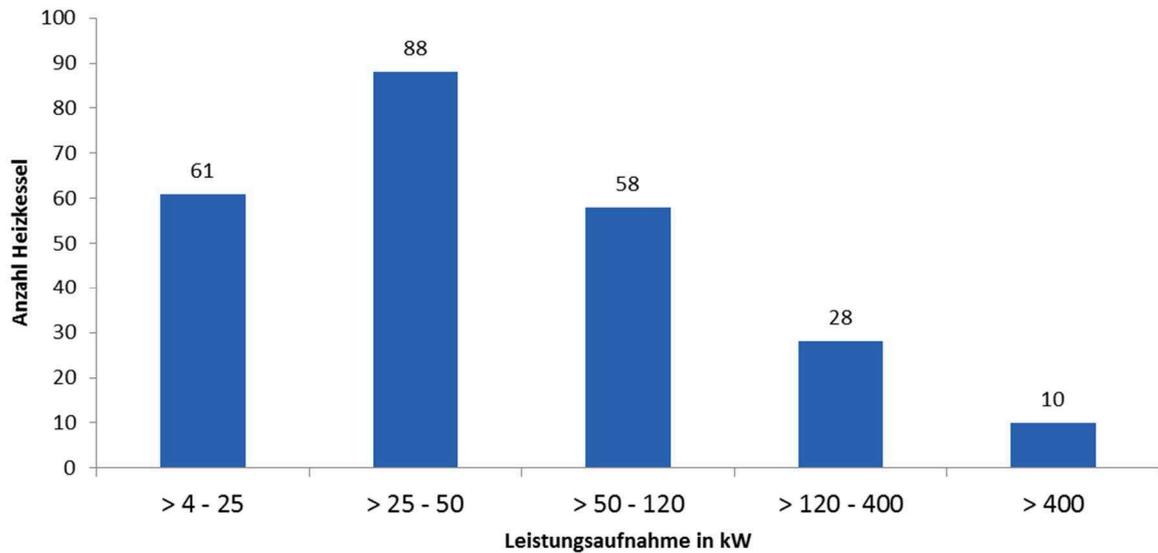


Bild 19: Leistungsaufnahme der Heizkessel der Außenbezirke und Bauhöfe in kW

Der Einsatz von Kälte- bzw. Klimaanlage steigt in den letzten Jahren deutlich an. Grundsätzlich hat mittlerweile jeder Außenbezirk und Bauhof mindestens einen klimatisierten Raum, in dem Serverschränke untergebracht sind. Diese Entwicklung hat in den letzten Jahren zu steigenden Stromverbräuchen in den Gebäuden geführt und die Effizienzgewinne durch den Einsatz von neuen Maschinen weitestgehend zunichte gemacht.

Lüftungsanlagen sind in 16 % der erfassten Gebäude vorhanden, wobei hier meist die Sozial- und Werkräume aufgrund von besonderen Anforderungen belüftet werden. In Bürogebäuden der WSV ist eine Lüftungsanlage noch eher die Ausnahme.

Die Auswertung der Energieverbräuche brachte vereinzelt überraschend hohe Werte zu Tage. In einigen Fällen waren die Daten aufgrund fehlender Angaben oder mangelnder Plausibilität auch nicht auszuwerten.

Bei den Wärmeverbräuchen der einzelnen Gebäude lässt sich schon ein einheitliches Niveau von ca. 250 kWh/m²a Primärenergie feststellen (Bild 20). Das entspricht etwa dem doppelten Verbrauch wie es nach EvEV 2014 bzw. Bauordnungskatalog für diese Gebäudegruppe der öffentlichen Bereitschaftsdienste üblich ist.

Beim Stromverbrauch ist die Vergleichbarkeit zwischen den erfassten und den erwarteten Werten nicht gegeben. Es ist in keinem der Gebäude möglich, den Stromverbrauch aufzuschlüsseln zwischen dem Stromverbrauch der Nutzung und dem der für den Gebäudebetrieb notwendigen. Der Stromverbrauch hat sich im Laufe der letzten Jahre nicht groß verändert. Er stagniert auf einem hohen Niveau.

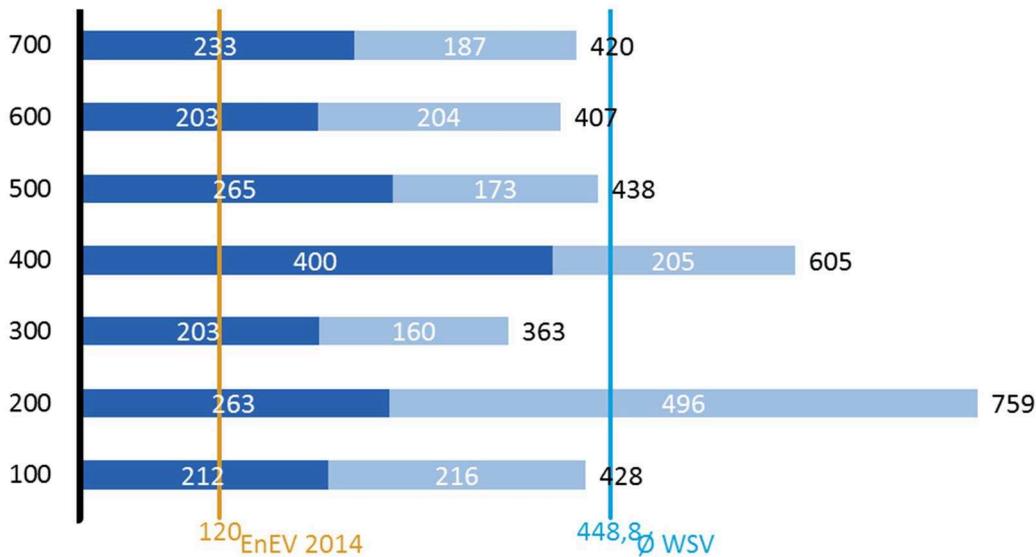


Bild 20: Primärenergiekennwert Wärme (dunkelblau) und Strom (hellblau) der Außenbezirke und Bauhöfe in den Zuständigkeitsbereichen der GDWS Außenstellen des Bundes in Ordnungsnummernbereiche 100 - 700 in kWh/m²a

Interessant ist, dass bei den hier erfassten Gebäuden kein deutlicher Zusammenhang zwischen dem Baujahr des Gebäudes und dem Primärenergiekennwert festgestellt werden konnte (Bild 21). Im Normalfall hätte die Punktwolke am rechten Rand des Diagramms deutlich niedriger liegen müssen als im Rest des Diagramms. Schließlich sind die neueren Gebäude bereits nach Wärmeschutzgesetz bzw. einer Energieeinsparverordnung gebaut worden. Dies hätte zu einer Reduzierung des Wärmeverbrauchs führen müssen. Die Gründe hierfür sind aus dieser Erhebung nicht ersichtlich.

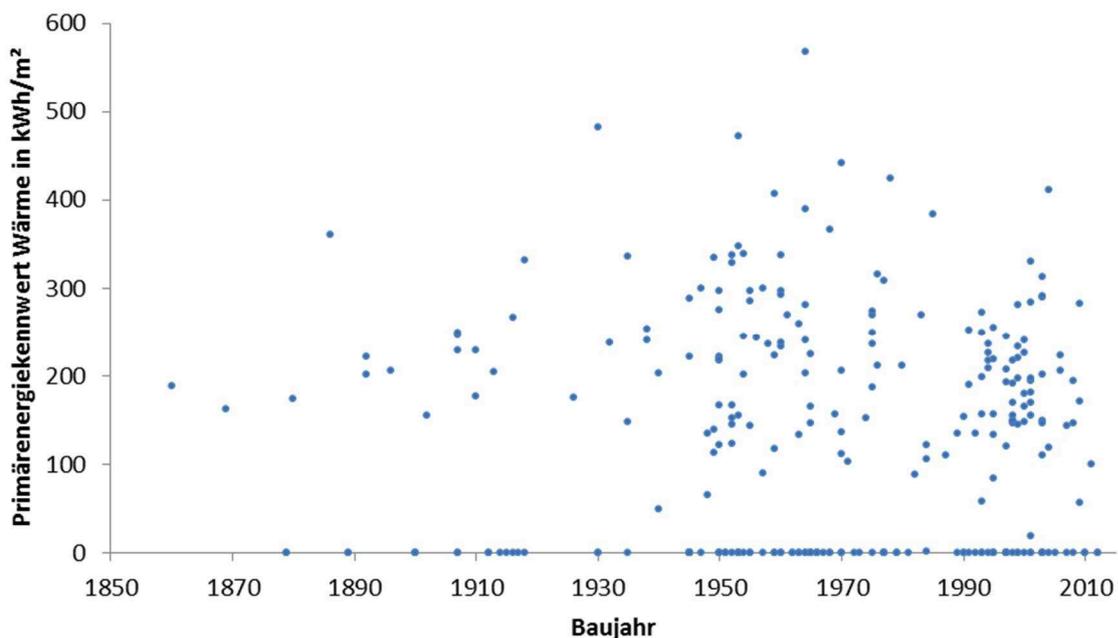


Bild 21: Primärenergiekennwert Wärme in kWh/m²a in Bezug zum Baujahr des Gebäudes

Dieselbe Betrachtung wurde für Nettogrundfläche durchgeführt. Auch hier konnte kein Zusammenhang zwischen der Größe eines Gebäudes und seinem Primärenergiekennwert festgestellt werden.

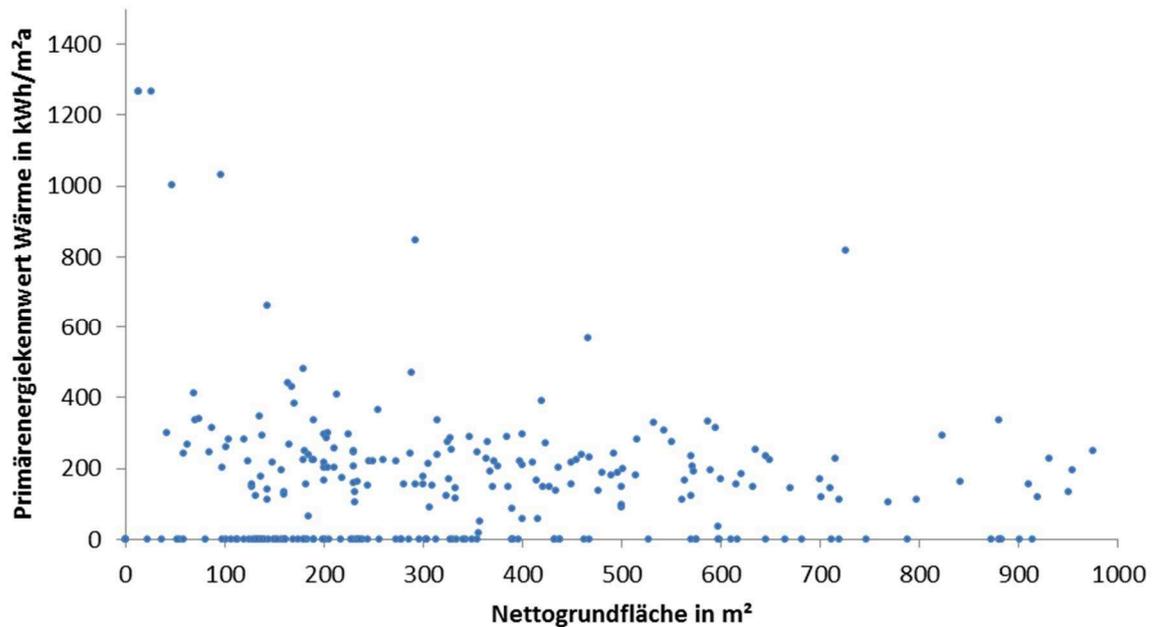


Bild 22: Primärenergiekennwert Wärme in kWh/m²a in Bezug zur Nettogrundfläche in m² des Gebäudes

Grundsätzlich scheint die Priorität des Hochbaus innerhalb eines Wasserstraßen- und Schifffahrtsamtes an den Wärmeverbräuchen ablesbar (Bild 23). Die Streuung der Verbräuche innerhalb eines Amtes ist meist gering. Die Ämter, deren Daten eine hohe Qualität aufweist, haben meist auch die geringeren Verbräuche. In den Einzelfällen, wo trotz guter Datenqualität hohe Wärmeverbräuche vorhanden waren, hat das Amt meist einen sehr alten Gebäudebestand, teilweise mit Denkmal geschützten Bauwerken, zu verwalten.

Diese Tatsache stützt die These, dass mit einem zentralen Energie- bzw. Immobilienmanagement für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung durchaus Energieeinsparpotentiale ausgeschöpft werden können, die momentan noch brach liegen.

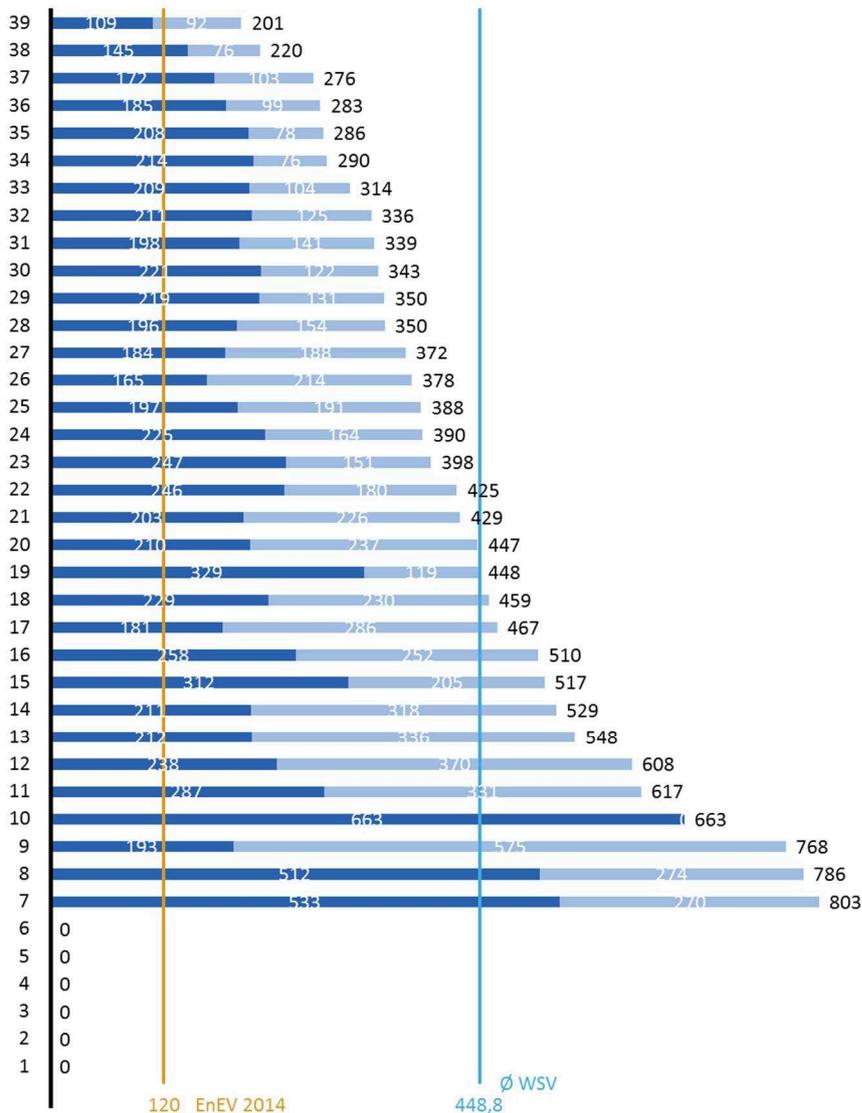


Bild 23: Primärenergiekennwert Wärme (dunkelblau) und Strom (hellblau) der 39 Wasserstraßen- und Schifffahrtsämter des Bundes in kWh/m²a

4.3 Datenbankentwicklung „Energiekataster“

Die Daten aus der Bestandaufnahme sind in einer Postgre-SQL-Datenbank zusammengefasst worden, die die Grundlage für eine kontinuierliche jährliche Erfassung der Energiedaten der WSV bilden könnte. Mit der Anwendung „Cadenza“ wurden die Daten visualisiert und sind über einen Webmapservice abrufbar (Bild 24).

| Benennung | Objektid Nr. | Mittelbehoerde | Unterbehoerde | Aussenbehoerde |
|--------------------------------------|--------------|----------------|---------------|----------------|
| Betriebswerkgebäude 1 Bamburg | 7154336001 | 7 | 12 | 4 |
| Betriebswerkgebäude 1 ABz 1 Nieg... | 7153736001 | 7 | 12 | 1 |
| Betriebswerkgebäude Lager ABz 1 ... | 7152918002 | 2 | 11 | 1 |
| Betriebswerkgebäude 2 ABz 1 Nieg... | 7153736002 | 7 | 12 | 1 |
| Betriebswerkgebäude 3 BHF Hohen... | 7153736005 | 7 | 12 | B |
| Betriebswerkgebäude 2 BHF Hohen... | 7153736004 | 7 | 12 | B |
| Betriebswerkgebäude 1 BHF Hohen... | 7153736003 | 7 | 12 | B |
| Betriebswerkgebäude 1 ABz 3 Witte... | 7153136001 | 7 | 12 | 3 |
| Betriebswerkgebäude 2 ABz 3 Witte... | 7153136003 | 7 | 12 | 3 |
| Betriebswerkgebäude Lagergebäu... | 7153136002 | 7 | 12 | 3 |
| Betriebswerkgebäude Stützpunkt B... | 7154136001 | 7 | 12 | 1 |
| Betriebswerkgebäude Maschinente... | 7154536001 | 7 | 12 | 5 |
| Betriebswerkgebäude Tangermünde | 7153536002 | 7 | 12 | 2 |
| Betriebswerkgebäude Lagergebäu... | 7153536003 | 7 | 12 | 2 |
| Betriebswerkgebäude Stützpunkt D... | 7153536001 | 7 | 12 | 2 |
| Betriebswerkgebäude Merseburg | 7154738001 | 7 | 12 | 5 |
| Betriebswerkgebäude Stützpunkt Ar... | 7153338001 | 7 | 12 | 2 |
| Betriebswerkgebäude ABz 4 Canow | 7152742001 | 7 | 16 | 4 |
| Betriebswerkgebäude Stützpunkt Kl... | 7153744001 | 7 | 15 | 2 |
| Dienstbürogebäude ABz 1 Oranien... | 7113344001 | 7 | 16 | 1 |
| Betriebswerkgebäude Werkstatt un... | 7153344002 | 7 | 16 | 1 |
| Betriebswerkgebäude Werkstatt AB... | 7153146002 | 7 | 16 | 3 |
| Dienstbürogebäude ABz 3 Zahdenick | 7113146001 | 7 | 16 | 3 |
| Dienstbürogebäude ABz2 Berlin-Ne... | 7113546002 | 7 | 15 | 2 |
| Betriebswerkgebäude ABz2 Berlin... | 7153546001 | 7 | 15 | 2 |
| Betriebswerkgebäude Surwold | 7152910001 | 4 | 15 | 3 |
| Dienstbürogebäude WSA Koblenz... | 7115710002 | 5 | 16 | 3 |
| Dienstbürogebäude ABz Koblenz | 7115710004 | 5 | 13 | 3 |

Bild 24: Datenbank dargestellt mit der Anwendung „Cadenza“

Über die Anwendung können die Daten nach bestimmten Merkmalen sortiert und ausgegeben werden. Hier gibt es fast beliebige Auswahlzusammenstellungen. Diese Auswahl kann dann in Form eines Berichtes oder grafisch auf einer Karte ausgegeben werden. Die Berichte können eine Betrachtung der gesamten WSV sein, oder aber auch nur ein Amt, ein Außenbezirk oder ein Gebäude enthalten.

Das Energiekataster enthält alle in der Abfrage zur Verfügung gestellten Angaben zu den einzelnen Gebäuden, ergänzt mit den Angaben aus der Wadaba, einer Wasserstraßendatenbank der WSV. Die für die Gebäude relevanten Angaben aus der Wadaba dienen hauptsächlich zur lokalen Einordnung eines jeden Gebäudes.

Die Anwendung könnte auch als Energiemanagement-Tool eingesetzt werden. Es könnten Energieverbräuche eingepflegt werden. Diese können wiederum automatisiert, z.B. witterungsbereinigt ausgewertet werden. Es könnten alle Verbraucher erfasst werden und eine Unterhaltungsdokumentation betrieben werden.

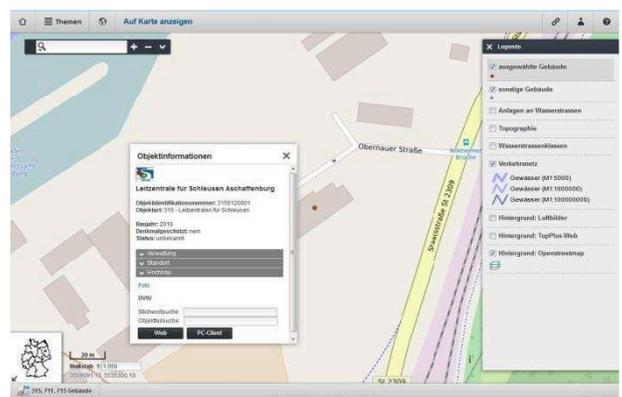
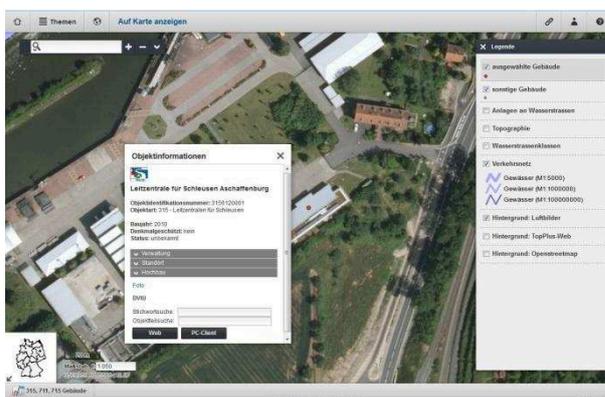


Bild 25: Objektinformation aus dem Luftbild oder einer Karte direkt per Mausclick abrufen

Die Möglichkeiten sind groß, was man aus dieser Datenbank entwickeln kann, wenn man genau definiert, was man mit den Daten erreichen möchte. Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, die Datenbank über eine Serverlösung konzernweit zur Verfügung zu stellen. So könnten die Daten über ein feingranulares Rechtesystem bearbeitet und ausgewertet werden.

Zum Beispiel könnte man mit den bereits vorhandenen Daten eine Priorisierung der Gebäude durchführen, bei denen am meisten Energieeinsparpotentiale vermutet werden (Bild 26). Gebäude mit den hohen Primärenergiekennwerten könnten in energetischen Untersuchungen auf Energiebedarfsbasis genauer betrachtet werden.

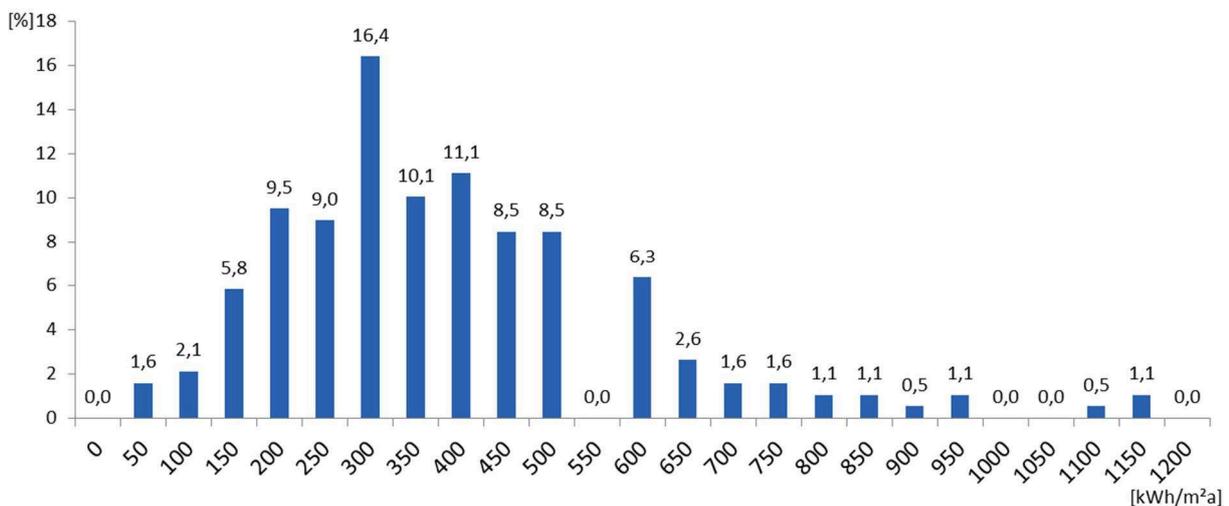


Bild 26: Prozentuale Verteilung der Primärenergiekennwerte der erfassten Gebäude in kWh/m²a

5 Energetische Untersuchungen an WSV-Gebäuden

Für diese beispielhaften Untersuchungen wurden nicht die auffälligsten Gebäude ausgewählt. Vielmehr wurden aufgrund der räumlichen Nähe zueinander Außenbezirke vom Rhein und aus dem westdeutschen Kanalnetz untersucht, um die Anzahl an Bereisungen für diese Untersuchungen niedrig zu halten.

In der Zeit von September 2015 bis November 2016 wurden für mehrere Außenbezirke und für einen Bauhof von zwei Ingenieurbüros energetische Untersuchungen durchgeführt. Während einer Begehung vor Ort wurden jeweils die Gebäude und die für die Energieversorgung relevante Anlagentechnik besichtigt und Bauteile und Technik aufgenommen. Alle wahrnehmbaren oder zu vermutende technische Mängel waren zu protokollieren. Zusätzlich zur Begehung wurden Pläne und Revisionsunterlagen gesichtet. Falls Abweichungen zwischen Plan und Bestand festgestellt wurden, sollten diese aufgenommen werden.

Vereinfachungen entsprechend der „Regeln der Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand“ und die Kurzverfahren der DIN V 18599:2011 durften der Untersuchung nicht zu Grunde gelegt werden, da ein möglichst genaues Bild des Gebäudebestandes erreicht werden sollte.

Für die zu untersuchenden Gebäude wurde eine Energiebedarfsberechnung nach DIN V 18599:2011 durchgeführt. Dafür wurden die Gebäude nach den entsprechenden Kriterien zoni-ert. Die Berechnung erfolgt zunächst als normierte Berechnung des Bestandes. In einem weiteren Schritt wurde die normierte Berechnung an den jeweils tatsächlichen Energieverbrauch angepasst. Die Abweichung zwischen Bedarf und klimabereinigtem Verbrauch soll unter 20 % liegen. Für die weiteren Berechnungen konnten Nutzungsprofile den örtlichen Bedingungen angepasst werden.

Des Weiteren sollten, wie für einen Energiebedarfsausweis üblich, Modernisierungsempfehlun-gen für die bestehenden Gebäude ausgearbeitet werden. Dabei sollten grundsätzlich 4 unter-schiedliche Varianten untersucht werden:

- EnEV 2014
- Neubaustandard der EnEV 2014
- Variante mit vollständig regenerativer Wärmeversorgung
- Variante des aktuell wirtschaftlich sinnvollsten Maßnahmenpaketes.

Die Varianten sollten als sinnvolle Maßnahmenpakete angelegt sein. Die Maßnahmenauswahl war zu beschreiben und zu begründen.

Für die Maßnahmenpakete sollten Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen durchgeführt werden unter Einbeziehung der Investitions- und Betriebskosten.

5.1 Außenbezirk Duisburg

5.1.1 Bestandsaufnahme ABz Duisburg



Bild 27: Lageplan ABz Duisburg

Das Gebäude wurde 1994 in Massivbauweise im Hornberger Hafen in Duisburg errichtet (Bild 27). Der Baukörper ist stark gegliedert, der westlich gelegene Flügel enthält im Untergeschoss Sozialräume und im Obergeschoss Büros. Daran schließen sich östlich Werkstätten und Lager Räume an. Das Gebäude liegt im Schenkel von Brückenrampen relativ windgeschützt (Bild 27).

Die Außenwände wurden als zweischaliges Klinker-Mauerwerk mit Kerndämmung ausgeführt. Die Fenster sind als Kunststoff-Fenster gutdämmend und dichtschießend. Das Dach ist in Sparrenlage gedämmt.

Das Gebäude wird zentral über einen Gas-Niedertemperaturkessel beheizt. Das Warmwasser wird über den zentralen Heizkessel bereitgestellt und in einem Warmwasserspeicher vorgehalten. Die Büroräume im Obergeschoß und der Serverraum werden durch Split-Kältegeräte gekühlt. Eine mechanische Lüftungsanlage ist nicht vorhanden.

5.1.2 Bedarfs-Verbrauchs-Abgleich ABz Duisburg

Nach der normierten Berechnung des Bestandes nach DIN V 18599:2011 überschreitet das Gebäude mit 298 kWh/m²a den Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes um etwas mehr als 2%.

Der Energieverbrauch des Gebäudes wurde ermittelt auf der Basis der Verbrauchsabrechnungen der Jahre 2012-2014, die vom Außenbezirk zur Verfügung gestellt wurden. Die Bezugsfläche ist die in der Bedarfsermittlung nach DIN 18599 ermittelte Fläche von 910 m² (Nettogrundfläche nach EnEV). Es wird ein Endenergie-Verbrauch ermittelt von 123 kWh/m²a für Wärme und 83 kWh/m²a für Strom. Der Vergleichswert für diese Gebäudekategorie beträgt für Wärme 110 kWh/m²a und für Strom 20 kWh/m²a. Der Wärmeverbrauch liegt ca. 12% über dem Vergleichswert. Diese Abweichung kann man noch als vertretbar ansehen, nachfolgend werden jedoch Einsparpotentiale aufgezeigt. Der Stromverbrauch liegt jedoch 415% über dem Vergleichswert. Ein Großteil des Bedarfs entsteht durch die Hauptverbraucher, die mit dem Gebäude nichts zu tun haben, wie zum Beispiel

- die Hofbeleuchtung,
- die Rohrbegleitheizung der Steiger,
- die Fäkalienhebeanlagen,
- die Stromversorgung von Schiffen,
- oder dem Betrieb von Arbeitsmaschinen und Schweißgeräten.

Ein wesentlicher Verbraucher kann die große Druckluftanlage sein, die nach Aussage eines Mitarbeiters dauernd in Betrieb ist, weil man immer mal wieder Druckluft benötigt. Diese Verbräuche werden zurzeit nicht getrennt erfasst.

Bei dieser Betrachtung wurde durch das Ingenieurbüro keine Anpassung der Verbrauchswerte zu den berechneten Bedarfswerten über die Anpassung von Berechnungsparametern, wie z.B. angepasste Nutzungsprofile vorgenommen. Hier wurde lediglich ein Faktor für die Abweichung berechnet, mit dem die ermittelten Einsparungen reduziert werden.

5.1.3 Zusammenfassung Untersuchungsvarianten ABz Duisburg

Das Betriebsgebäude des Außenbezirks Duisburg hat einen hohen Wärme- und Stromverbrauch. Eine wesentliche Ursache für hohe Verbrauchswerte ist in der Nettogrundfläche als Bezugsgröße zu sehen. Das Wasser- und Schifffahrtsamt gibt 360 m² an. Nach grafischer Ermittlung wird von einer Bezugsgröße von 910 m² ausgegangen.

Bei differenzierter Betrachtung kann festgestellt werden, dass die Betrachtung der Endenergieverbräuche wichtiger ist als der ausgewiesene Primärenergieverbrauch. Es wird festgestellt, dass ein großer Teil des Verbrauchs durch Strom erzeugt wird, der für andere Zwecke als die Beleuchtung oder Kühlung des Gebäudes verwendet wird. Daher wird empfohlen, die Verbräuche getrennt zu erfassen.

Das Gebäude verfehlt nur knapp die Altbaugrenzwerte der Energieeinsparverordnung (EnEV). Der mittlere Transmissionswärmekoeffizient der Gebäudehülle erfüllt den Altbau-Grenzwert. Durch Austausch des vorhandenen NT-Kessels gegen eine Brennwerttherme kann der für Altbauten vorgeschriebene max. Primärenergiebedarf eingehalten werden. Eine Reduzierung des Energiebedarfs auf Neubau-Niveau scheitert an den Anforderungen an die thermische Gebäudehülle, die aus technischen und wirtschaftlichen Gründen nicht auf das geforderte Niveau gebracht werden kann.

Es wird festgestellt, dass das beheizte Volumen der dauerhaft genutzten Büros und Sozialräume etwa ein Drittel des gesamten Volumens ausmachen. Aus Sicht des Ingenieurbüros brauchen die Lagerräume und Werkstätten, die nur gelegentlich genutzt werden, keine dauerhafte Bereitstellung von Wärme und Licht. Es ist möglich, die Werkstätten über eine eigene Therme zu versorgen, sodass die gelegentliche Nutzung besser kontrollierbar ist. Darüber hinaus gibt es programmierbare Heizkörperventile, die den Bedarfsspitzen entsprechend Wärme steuern. Durch Reduzierung des beheizten Volumens und den Einsatz einer Brennwerttherme könnten jährlich 77 t CO₂ eingespart werden.

5.2 Außenbezirk Emmerich

5.2.1 Bestandsaufnahme ABz Emmerich

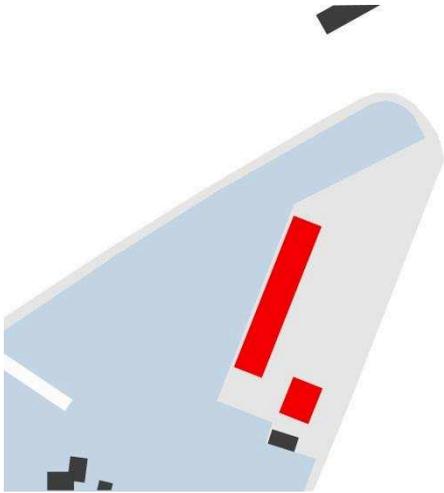


Bild 28: Lageplan ABz Emmerich

Der langgestreckte Baukörper des Betriebsgebäudes ist zweigeschossig und Nord-Süd orientiert (Bild 28). Im Osten liegt es am Betriebshof. Vorgelagert ist der Hafen. Im Westen liegt ein großer städtischer Park. Die hohen Bäume schützen das Gebäude vor Wind und zu starker Erwärmung im Sommer. Die Nutzung des Gebäudes ist klar gegliedert. Im Erdgeschoss befinden sich Werkstätten und Lagerräume. Der Altbau beherbergt im Obergeschoss die Umkleiden, Duschen und den Pausenraum. Im Obergeschoss des Neubaus befinden sich Büros. Die oberste Geschossdecke ist nicht begehbar.

Der südliche Teil des Gebäudes ist ein Altbau, der ca. 1970 errichtet wurde. 2004 wurde der nördliche Teil errichtet. Der Altbau wurde mit einem zweischaligen Klinkermauerwerk errichtet, während der Neubau mit einem Wärmedämmverbundsystem ausgestattet ist. Beim Neubau 2004 wurde auch der Altbau energetisch saniert. Es wurde eine hochwertige Dämmung der obersten Geschossdecke eingebaut und für die Fenster wurde ein einheitliches Aluminiumsystem vorgesehen. Die thermische Gebäudehülle erfüllte die Anforderungen der EnEV 2014.

Altbau und Neubau haben zwei getrennte Wärmeversorgungssysteme. Im Altbau ist eine Gas-Brennwerttherme aus dem Jahre 2003 installiert und im Neubau eine Gas-Brennwerttherme von 2014. Ein kleiner Teil der Büroräume wird gekühlt. Eine mechanische Lüftungsanlage ist nicht vorhanden.

5.2.2 Bedarfs-Verbrauch-Abgleich ABz Emmerich

Nach der normierten Berechnung des Bestandes nach DIN V 18599:2011 unterschreitet das Gebäude mit 262 kWh/m²a den Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes um ca. 10%.

Der Energieverbrauch des Gebäudes wurde ermittelt auf der Basis der Verbrauchsabrechnungen der Jahre 2012-2014, die vom Außenbezirk zur Verfügung gestellt wurden. Die Bezugsfläche ist die in der Bedarfsermittlung nach DIN 18599:2011 ermittelte Fläche von 560 m² (Nettogrundfläche nach EnEV). Es wird ein Endenergie-Verbrauch ermittelt von 159 kWh/m²a für Wärme und 94 kWh/m²a für Strom. Der Vergleichswert für diese Gebäudekategorie beträgt für Wärme 110 kWh/m²a und für Strom 20 kWh/m²a. Ungeachtet des guten Wärmedämmstandards liegt der Wärmeverbrauch ca. 44 % über dem Vergleichswert. Der Stromverbrauch liegt jedoch 470 % über dem Vergleichswert. Wie bei allen anderen Betriebsgebäuden wird auch in Emmerich der elektrische Strom zwischen Betrieb des Gebäudes und sonstigen Verbrauchern nicht getrennt gemessen. Wenn Außenbeleuchtung, Rohrbegleitheizung am Steiger oder Prozessenergie für Schweißarbeiten nicht gesondert erfasst werden, entsteht bei der Analyse des Energieverbrauchs des Gebäudes ein verzerrtes Bild.

Bei dieser Betrachtung wurde durch das Ingenieurbüro keine Anpassung der Verbrauchswerte zu den berechneten Bedarfswerten über die Anpassung von Berechnungsparametern, wie z.B. angepasste Nutzungsprofile vorgenommen. Hier wurde lediglich ein Faktor für die Abweichung berechnet, mit dem die ermittelten Einsparungen reduziert werden.

5.2.3 Zusammenfassung Untersuchungsvarianten ABz Emmerich

Der Energiebedarf des Betriebsgebäudes Außenbezirk Emmerich erfüllt die Grenzwerte der Energieeinsparverordnung für Altbauten.

Bei der Bewertung des Energiebedarfs bzw. des Energieverbrauchs ist eine Differenz aufgefallen zwischen der Nettogrundfläche, die auf dem Datenblatt des Wasser- und Schifffahrtsamtes genannt wurde und der NGF nach EnEV, die grafisch ermittelt wurde. Der Unterschied zwischen dem niedrigeren Energieverbrauchswert und dem hohen Energiebedarf ist auf Beschränkungen des normativen Berechnungsverfahrens zurückzuführen. Es kann aber auch so verstanden werden, dass die Mitarbeiter bereits sparsam heizen. Inwieweit der vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie angegebene Vergleichswert - der noch deutlich unter dem Verbrauch liegt - angemessen ist, kann nicht beurteilt werden.

Die Möglichkeiten zur Sanierung sind eingeschränkt, weil die thermische Gebäudehülle bereits auf dem Stand der Technik ist. Es gibt Optimierungsmöglichkeiten durch den Einbau von programmierbaren Steuerungen für Heizkörper und Deckenheizer. Diese werden aber derzeit nicht von den Rechenmodellen der DIN 18599 erfasst.

Es wurde versucht, Modelle zur Einhaltung der Neubau-Grenzwerte zu entwickeln. Diese Werte können nur mit Austausch vorhandener Fenster und der Sektionaltore erreicht werden und durch einen vollständigen Umbau des Wärmeversorgungssystems. Es wird nicht erwartet, dass eine solche Lösung wirtschaftlich ist.

Rechnerisch werden erhebliche Einsparpotentiale erzielt, indem man auf die Einbeziehung der Lagerräume und Werkstätten im Erdgeschoss verzichtet.

5.3 Außenbezirk Köln

Im ABz Köln wurden das Büro- sowie das Betriebswerkgebäude separat untersucht, da beide Gebäude über eine getrennte Anlagentechnik versorgt werden (Bild 29).



Bild 29: Lageplan Außenbezirk Köln

5.3.1 Bürogebäude ABz Köln

5.3.1.1 Bestandsaufnahme Bürogebäude ABz Köln

Das Bürogebäude in Köln ist ein im Jahre 1948/49 gebautes Wohnhaus, das 1960/61 nochmals umgebaut wurde. Ab 2001 wird es als Bürogebäude des ABz Köln genutzt. Die beheizte Nettogrundfläche beträgt 210 m².

Die Außenwände bestehen aus einem verputzten Ziegelmauerwerk. Der oberste Gebäudeabschluss wird durch das Dach gebildet. Das Gebäude ist unterkellert, der zum Teil beheizt ist. Teilweise wird der Mindestwärmeschutz eines Bestandgebäudes nach EnEV 2014 nicht eingehalten. Die U-Werte der Bauteile wurden anhand der aufgenommenen Bauteilspezifikationen berechnet. Die der Berechnung zugrunde liegenden λ -Werte wurden abgeschätzt.

Das Gebäude wird zentral über einen Gas-Niedertemperaturkessel beheizt. Die Übergabe der Wärme erfolgt über eine statische Heizung mit Radiatoren. Das Warmwasser wird über elektrische Durchlauferhitzer, direkt an den Zapfstellen, bereitgestellt (Bild 30). Es ist keine Kälteanlage vorhanden. Das Gebäude wird natürlich über Fenster belüftet. Die Fenster verfügen über Rollläden. Ansonsten ist kein weiterer Sonnenschutz vorhanden.

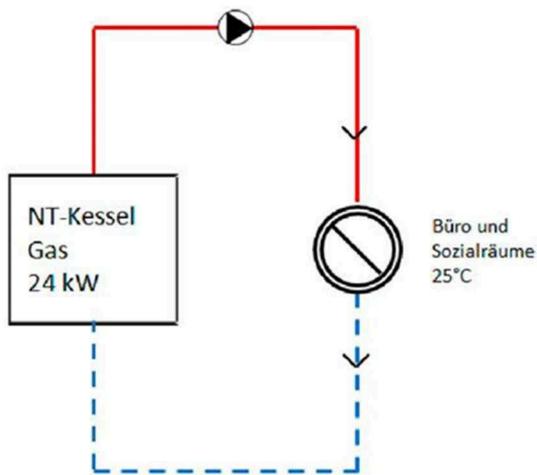


Bild 30: Schema Wärmeversorgung, Bürogebäude Außenbezirk Köln

5.3.1.2 Bedarfs-Verbrauch-Abgleich Bürogebäude ABz Köln

Der Energieverbrauch wurde anhand vorliegender Energierechnungen erfasst. Der Gasverbrauch wird für das Betriebswerk- und das Bürogebäude gemeinsam erfasst. Es gibt keinen Unterzähler. Der Stromverbrauch wird für das Bürogebäude separat erfasst. Die Witterungsbe-
reinigung für den Heizwärmeverbrauch erfolgte anhand von Klimafaktoren des deutschen Wetterdienstes (Bild 31).

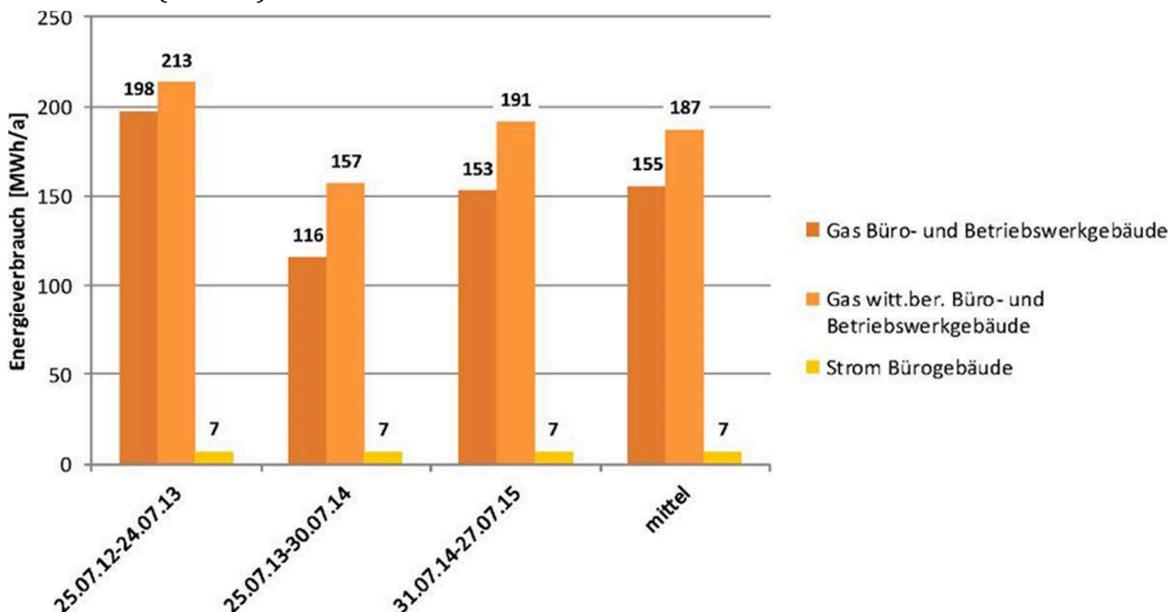


Bild 31: Jährlicher absoluter Energieverbrauch des Büro- bzw. Betriebswerkgebäudes des Außenbezirk Köln, gemessen.

Der berechnete spezifische Gasverbrauch beträgt $223 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ für das Bürogebäude.

Nach der normierten Berechnung des Bestandes nach DIN V 18599:2011 überschreitet das Gebäude mit 493 kWh/m²a den Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes um 133%.

Der errechnete Wärmebedarf liegt aufgrund der standardisierten Berechnungen nach DIN V 18599 über 100% über den berechneten Verbrauchswerten (Tabelle 7). Der Bedarfs-Verbrauchs-Abgleich wurde mit Hilfe des mittleren gemessenen Energieverbrauchs und der individuellen Anpassung der Nutzerprofile vorgenommen. Die Abweichung zwischen Bedarf und Verbrauch nach dem Abgleich liegt bei 17%.

| | Verbrauch IST berechnet | Bedarf DIN V 18599 normiert | Bedarf DIN V 18599 angepasst |
|---|-------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| Endenergie Wärme [kWh/m ² a] | 223 | 456 | 260 |
| Abweichung [%] | 0 | 105 | 17 |

Tabelle 7: Bedarfs-/Verbrauchsabgleich Endenergie Wärme, Bürogebäude ABz Köln

5.3.1.3 Zusammenfassung Untersuchungsvarianten Bürogebäude ABz Köln

Es wurden 24 Einzelmaßnahmen untersucht, welche zu vier Sanierungsvarianten zusammengefasst wurden (Tabelle 8). Für die einzelnen Varianten wurden der End- und Primärenergieein-satz sowie die CO₂-Emissionen berechnet (Bild 33). Anschließend wurde eine Wirtschaftlichkeitsberechnung mit einem Zeitraum von 20 Jahren durchgeführt.

| Nr. | Beschreibung Sanierungsmaßnahme | Sanierungsvarianten | | | |
|-----|---|--------------------------------------|------------------------------|--|---|
| | | 1. Sanie- rung ENEV 2014 | 2. Neubau EnEV 2014 | 3. Regene- rative Wärme- versor- gung | 4. Wirt- schaftl. Maß- nahmen- paket |
| 1. | Türen ersetzen U = 1,5 | x | x | x | |
| 2. | AW 1 EG Dämmung mit 100 mm WDVS | x | | | |
| 3. | AW 2 OG Dämmung mit 100 mm WDVS | x | | | |
| 4. | AW 3 Innenwand UG Dämmung mit 50 mm Holz- wolle-Dämm platten | x | | | |
| 5. | FB01 EG Dämmung mit 75 mm Holzwolle- Dämmplatten | x | | | |
| 6. | FB02 UG 50 mm Wärmedämmung mit schw. Est- rich | x | | | |
| 7. | DA01 160 mm Zwischensparrendämmung | x | | | |
| 8. | DA04 100 mm Zwischensparrendämmung | x | | | |
| 9. | Sanierung der Fenster U = 0,9 | x | x | x | |
| 10. | AW 1 EG Dämmung mit 120 mm WDVS | | x | x | |
| 11. | AW 2 OG Dämmung mit 120 mm WDVS | | x | x | |
| 12. | AW 3 Innenwand UG Dämmung mit 100 mm Holz- | | x | x | |

| | | | | | |
|-----|---|---|---|---|---|
| | wolle-Dämmplatten | | | | |
| 13. | AW 6 UG mit 60 mm Perimeterdämmung | x | x | x | |
| 14. | DE03 Gaube mit 60 mm Holzwolle-Dämmplatten | x | x | x | |
| 15. | FB01 EG Dämmung mit 100 mm Holzwolle-Dämmplatten | | x | x | |
| 16. | FB02 UG mit 60 mm Wärmedämmung mit schw. Estrich $A < 0,035$ [W/(mK)] | | x | x | |
| 17. | DA01 mit 160 mm Zwischensparrendämmung + 60 mm Aufsparrendämmung | | x | x | |
| 18. | DA02 Gaube mit 40 mm Aufsparrendämmung | | x | x | |
| 19. | DA03 Gaube mit 40 mm Aufsparrendämmung | | x | x | |
| 20. | DA04 mit 100 mm Zwischensparrendämmung + 60 mm Aufsparrendämmung | | x | x | |
| 21. | Hydraulischer Abgleich | x | x | x | x |
| 22. | Austausch Heizkessel durch Gasbrennwertkessel 15 kWth | x | | | |
| 23. | Grundwasser-Wärmepumpe 10 kWth mit Wärmequelle Brunnen | | x | x | |
| 24. | Photovoltaikanlage Dach 3 kWp (25 m ²) | | | x | |

Tabelle 8: Zuordnung der Einzelmaßnahmen zu den Maßnahmenpaketen, Bürogebäude ABz Köln

Eine Sanierung auf EnEV 2014 für Bestandsgebäude wird unter anderem durch umfangreiche bauliche Maßnahmen an Außenwand, Fenster, Dach und Boden sowie einer effizienteren Wärmeerzeugung durch einen Gas-Brennwertkessel erreicht. Aufwändig ist hier unter anderem die Dämmung des Kellerbereiches mit Freilegung der Kellerwand, Abdichtung und Ausführung der Perimeterdämmung. Im höher gelegenen Bürogebäude wird im Vergleich zum Betriebsgebäude von einer geringeren Hochwassergefahr ausgegangen und daher für die Dämmung der Innenwände im Untergeschoss preisgünstige Holzwolle-Dämmplatten vorgeschlagen. Zudem müssen für die Erfüllung des EEWärmeG 25% des Gasbedarfs für die Wärmeerzeugung durch Biomethan gedeckt werden. Die Variante 1 hat höhere Jahresgesamtkosten als das aktuelle Gebäude, ist technisch möglich, aber nur mit hohem investivem Aufwand durchzuführen.

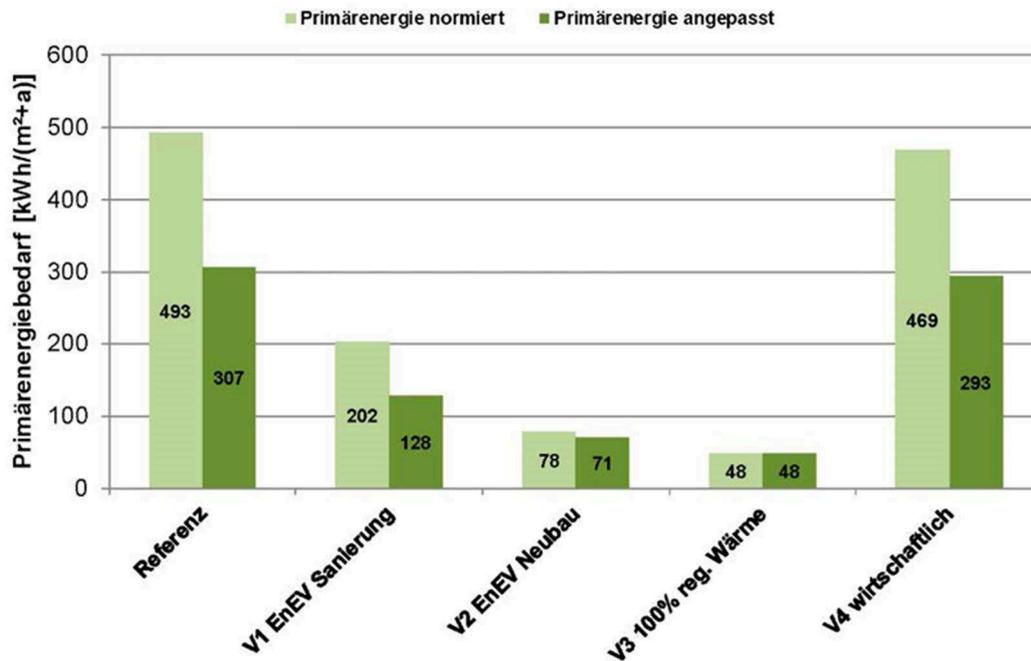


Bild 32: Primärenergiebedarf der Varianten nach DIN V 18599:2011, normiert und angepasst, Bürogebäude ABz Köln

Eine Sanierung auf Neubaustandard nach EnEV 2014 und eine regenerative Wärmeversorgung sind mit etwas höherem Aufwand an der Gebäudehülle und der Umstellung der Wärmeerzeugung zu erreichen. Die Varianten 2 bis 3 sind vor allem aus Sicht der Anlagentechnik technisch schwierig umzusetzen und wirtschaftlich ebenfalls nicht darstellbar. Sie werden daher nicht zur Umsetzung empfohlen.

Die wirtschaftliche Variante 4 enthält lediglich die Durchführung eines hydraulischen Abgleichs. Zusätzlich zur Umsetzung der Variante 4 werden nicht-investive Maßnahmen zur Betriebsoptimierung wie die Anpassung der Heizkurve und der Nachtabenkung empfohlen (Bild 32).

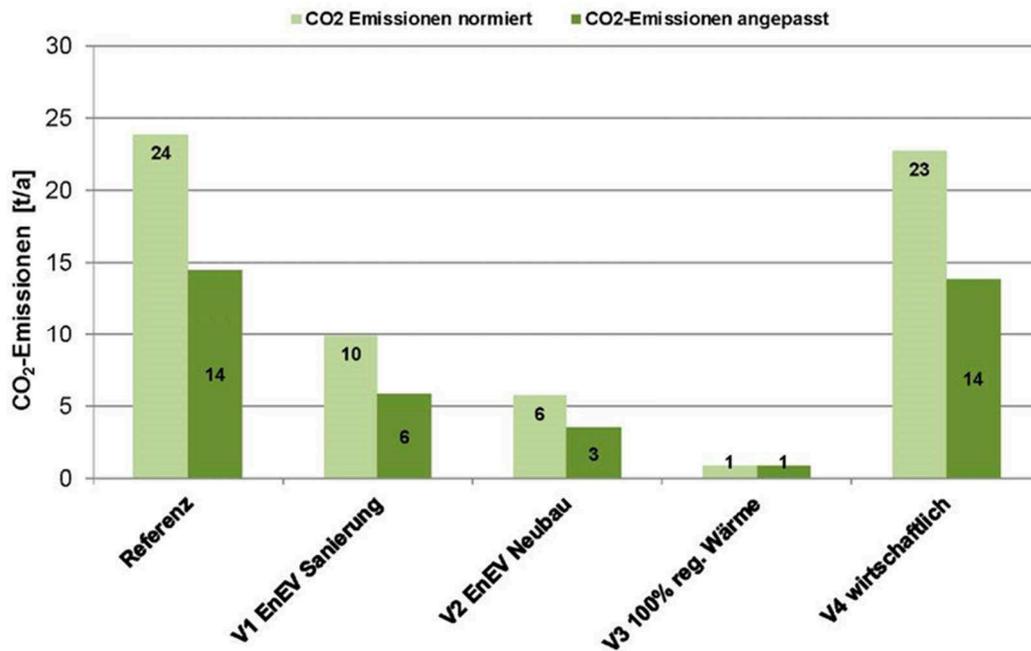


Bild 33: Berechnete CO₂-Emissionen der Varianten, normiert und angepasst, Bürogebäude ABz Köln

5.3.2 Betriebswerkgebäude ABz Köln

5.3.2.1 Bestandsaufnahme Betriebswerkgebäude ABz Köln

Das Betriebswerkgebäude in Köln ist 1981 gebaut und 1987 durch einen Anbau erweitert worden. Die beheizte Nettogrundfläche beträgt 600 m².

Die Außenwände bestehen in einigen Bereichen aus einem monolithischen Kalksand-Lochstein-Mauerwerk und in anderen Bereichen aus einem hinterlüftetem zweischaligem Kalksand-Lochstein-Mauerwerk mit Kerndämmung. Der oberste Gebäudeabschluss ist auch in zwei Bauweisen ausgeführt: der ältere Teil ist ein extensiv begrüntes Stahlbeton-Flachdach, der neuere Teil ein extensiv begrüntes Trapezblechdach. Das Gebäude ist nicht unterkellert.

Die U-Werte der Bauteile wurden anhand der aufgenommenen Bauteilspezifikationen berechnet. Die der Berechnung zugrunde liegenden λ -Werte wurden abgeschätzt.

Der Mindestwärmeschutz des eingeschossigen Bestandsgebäudes nach EnEV 2014 wird nicht eingehalten. Ein Schimmelpilzbefall in den Duschräumen konnte durch den Einbau einer Abluftanlage bereits beseitigt werden. Nutzungsbedingte Schallschutzprobleme konnten bei der Begehung nicht festgestellt werden. Die ehemaligen Werkstätten werden nur noch selten für handwerkliche Tätigkeiten (Schreinerei, Schlosserei) genutzt. Bei der Begehung wurden keine Auffälligkeiten bezüglich Brandschutz festgestellt.

Das Gebäude wird zentral über einen atmosphärischen Gas-Niedertemperaturkessel beheizt. Die Wärme wird über 2 Heizkreise verteilt. Die Übergabe der Wärme erfolgt über eine statische Heizung mit Radiatoren. Die Werkstatt- und Lagerbereiche werden lediglich frostfrei gehalten. Das Warmwasser wird zentral über einen separaten Gas-Niedertemperaturkessel bereitgestellt und in einem Warmwasserspeicher vorgehalten (Bild 34).

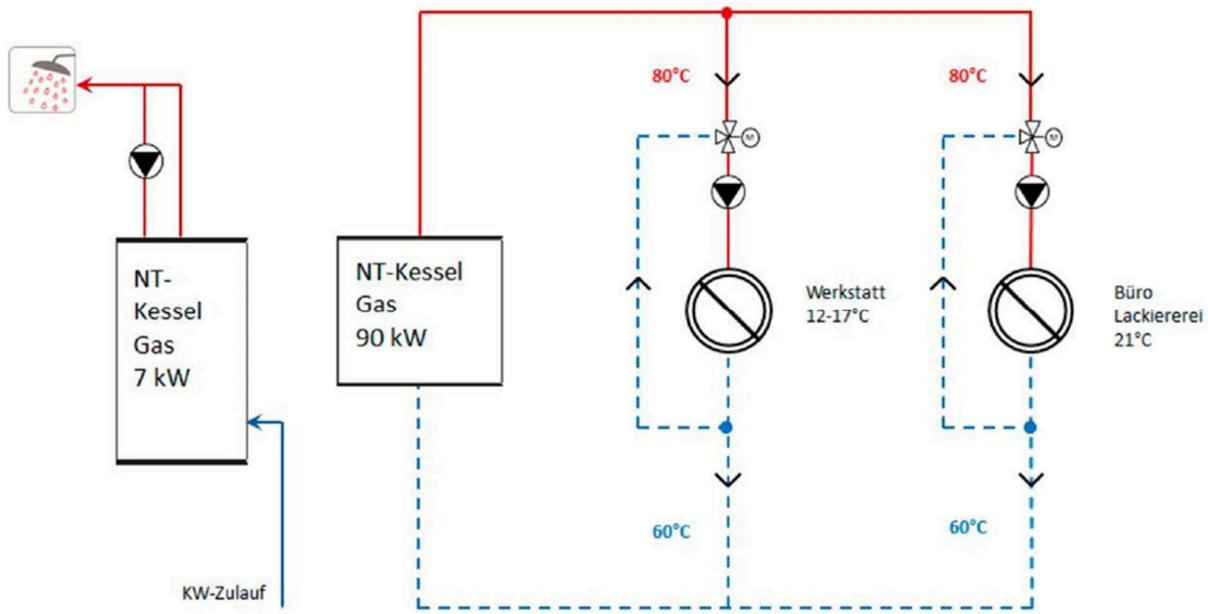


Bild 34: Schema Wärmeversorgung, Betriebswerkgebäude ABz Köln

Das Gebäude wird nicht gekühlt. Büro und Sozialbereiche sowie die Werkstätten und Lager werden natürlich über Fenster belüftet. Die sanitären Anlagen haben dezentrale Ablüfter. Die Fenster verfügen über Rollläden. Ansonsten ist kein weiterer Sonnenschutz vorhanden.

5.3.2.2 Bedarfs-Verbrauchs-Abgleich Betriebswerkgebäude ABz Köln

Der Energieverbrauch wurde anhand vorliegender Energierechnungen erfasst. Der Gasverbrauch wird für das Betriebswerk- und das Bürogebäude gemeinsam erfasst. Es gibt keinen Unterzähler. Der Stromverbrauch wird für das Bürogebäude separat erfasst. Die Witterungsreinigung für den Heizwärmeverbrauch erfolgte anhand von Klimafaktoren des deutschen Wetterdienstes (Bild 31).

Der berechnete spezifische Gasverbrauch beträgt $234 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ für das Betriebswerkgebäude.

Nach der normierten Berechnung des Bestandes nach DIN V 18599:2011 überschreitet das Gebäude mit $506 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ den Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes um 72 %.

Der errechnete Wärmebedarf aufgrund der standardisierten Berechnungen nach DIN V 18599:2011 liegt über 100% über den berechneten Verbrauchswerten (Tabelle 9). Der Bedarfs-

Verbrauchs-Abgleich wurde mit Hilfe des mittleren gemessenen Energieverbrauchs und der individuellen Anpassung der Nutzerprofile vorgenommen. Die Abweichung zwischen Bedarf und Verbrauch nach dem Abgleich liegt bei 20 %.

| | Verbrauch IST berechnet | Bedarf DIN V 18599 normiert | Bedarf DIN V 18599 angepasst |
|---|-------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| Endenergie Wärme [kWh/m ² a] | 234 | 482 | 282 |
| Abweichung [%] | 0 | 106 | 20 |

Tabelle 9: Bedarfs-/Verbrauchsabgleich Endenergie Wärme, Betriebswerkgebäude ABz Köln

5.3.3 Zusammenfassung Untersuchungsvarianten Betriebswerkgebäude ABz Köln

Es wurden 18 Einzelmaßnahmen untersucht, welche zu vier Sanierungsvarianten zusammengefasst wurden (Tabelle 10). Für die einzelnen Varianten wurden der End- und Primärenergieeinsatz sowie die CO₂-Emissionen berechnet (Bild 36). Anschließend wurde eine Wirtschaftlichkeitsberechnung mit einem Zeitraum von 20 Jahren durchgeführt.

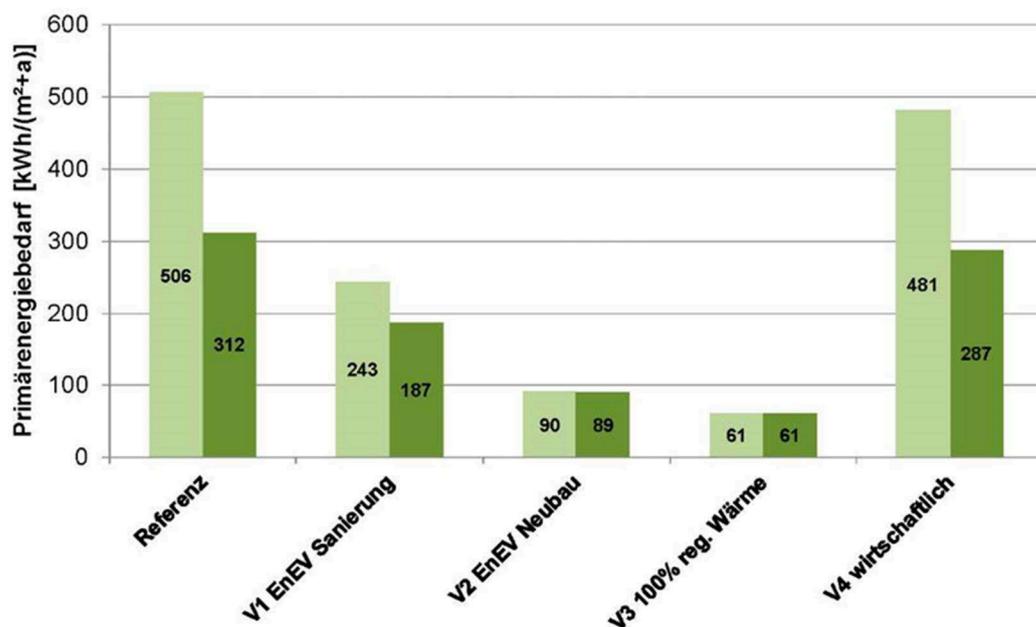


Bild 35: Primärenergiebedarf der Varianten nach DIN V 18599:2011, normiert und angepasst, Betriebswerkgebäude ABz Köln

| Nr. | Beschreibung Sanierungsmaßnahme | Sanierungsvarianten | | | |
|-----|---|--------------------------------------|------------------------------|--|---|
| | | 1. Sanie- rung ENEV 2014 | 2. Neubau EnEV 2014 | 3. Regene- rative Wärme- versor- gung | 4. Wirt- schaftl. Maß- nahmen- paket |
| 1. | Dämmung Außenwand AW2: WDVS mit Schaumglas 60mm | x | | | |
| 2. | Fußbodendämmung FB1 mit 40mm druckfesten Schaumglas | x | | | |
| 3. | Stahltür zu Schreinerei und Tür Bürotrakt ersetzt mit Tür U =1,500 [W((m²K))] | x | x | x | |
| 4. | Sanierung Fenster: Fensteraustausch mit U =1,100 [W((m²K))] | x | | | |
| 5. | Dachdämmung DA02 teilweise mit 100mm WL025 | x | | | |
| 6. | Dämmung Außenwand AW2: WDVS mit Schaumglas 80mm | | x | x | |
| 7. | Fußbodendämmung FB1 mit 80mm Druckfesten Schaumglas | | x | x | |
| 8. | Dachdämmung gesamt mit 100mm WL025 | | x | x | |
| 9. | Sanierung Fenster: Fensteraustausch mit U =0,900 [W((m²K))] | | x | x | |
| 10. | Sanierung Lichtkuppeln DF01: Fensteraustausch mit U =1,700 [W((m²K))] | x | x | x | |
| 11. | Ersetzen von Toren | x | x | x | |
| 12. | Austausch Heizkessel durch Gasbrennwertkessel 90 kWth | | | | x |
| 13. | Austausch Heizkessel durch Gasbrennwertkessel 50 kWth | x | | | |
| 14. | Erneuerung Heizverteilung der 2 bestehenden Heizkreise | x | | | |
| 15. | Hydraulischer Abgleich | x | x | x | x |
| 16. | Grundwasser-Wärmepumpe 40 kWth mit Wärmequelle Brunnen | | x | x | |
| 17. | Erneuerung Heizverteilung mit Einbindung Warmwasserbereitung | | x | x | |
| 18. | Photovoltaikanlage Dach 18 kWp (130 m²) | | | x | |

Tabelle 10: Zuordnung der Einzelmaßnahmen zu den Maßnahmenpaketen, Betriebswerkgebäude ABz Köln

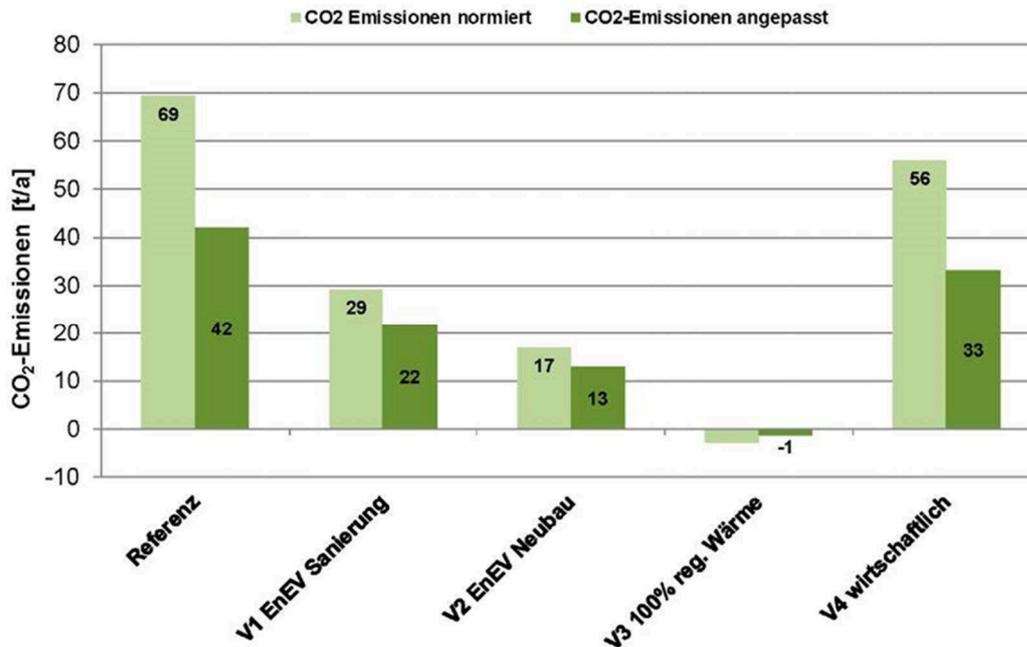


Bild 36: Berechnete CO₂-Emissionen der Varianten, normiert und angepasst, Betriebswerkgebäude ABz Köln

Eine Sanierung auf EnEV 2014 für Bestandsgebäude wird unter anderem durch umfangreiche bauliche Maßnahmen an Außenwand, Fenster, Dach und Boden sowie eine effizientere Wärmeerzeugung durch einen Gas-Brennwertkessel erreicht. Die Umsetzung der Fußbodendämmung im Werkstattbereich ist sehr aufwändig, da hier der bestehende Verbundestrich entfernt und eine wasserfeste und druckbeständige Dämmung eingelegt werden muss. Des Weiteren müsste mit einem Tragwerksplaner die Auslegung dieser Dämmung und des neu zu verlegenden Estrichs abgestimmt werden, um spätere Schäden zu vermeiden. Zudem müssen für die Erfüllung des EEWärmeG 25 % des Gasbedarfs durch Biomethan gedeckt werden. Die Variante 1 hat höhere Jahresgesamtkosten als das aktuelle Gebäude und ist nur mit hohem technischem und investivem Aufwand durchzuführen. Eine Sanierung auf Neubaustandard nach EnEV 2014 und eine regenerative Wärmeversorgung sind nur mit weitaus höherem Aufwand an der Gebäudehülle und die Umstellung der Wärmeerzeugung zu erreichen. Die Varianten 1 bis 3 sind technisch schwierig umzusetzen und wirtschaftlich ebenfalls nicht darstellbar. Sie werden daher nicht zur Umsetzung empfohlen.

Die wirtschaftliche Variante 4 enthält den Austausch des Niedertemperaturkessels durch einen Brennwertkessel und die Durchführung eines hydraulischen Abgleichs. Zusätzlich zur Umsetzung der Variante 4 werden nicht-investive Maßnahmen zur Betriebsoptimierung wie die Anpassung der Heizkurve und der Nachtabsenkung empfohlen (Bild 35).

5.4 ABz Meppen

5.4.1 Bestandsaufnahme ABz Meppen

In Meppen wurde das Bürogebäude mit integrierter Leitwarte energetisch untersucht. Das Gebäude wurde im Jahr 1999 gebaut und hat eine Nettogrundfläche von 391 m². In dem Gebäude befinden sich die Büro- und Sozialräume und eine Leitwarte zur Fernsteuerung von Schleusen.

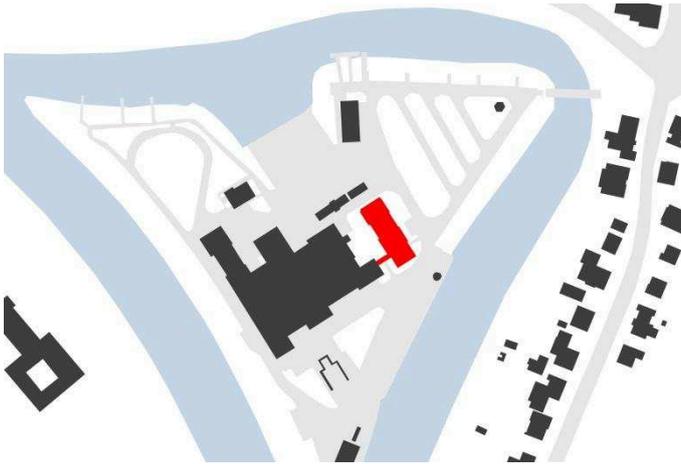


Bild 37: Lageplan Außenbezirk Meppen

Die Außenwände werden von einem zweischalig hinterlüfteten Mauerwerk mit Kerndämmung gebildet. Unterhalb der Fenster ist das Mauerwerk mit einer vorgehängten Fassade versehen. Der obere Gebäudeabschluss wird durch ein Satteldach mit Zwischensparrendämmung gebildet. Die U-Werte der Bauteile wurden anhand der aufgenommenen Bauteilspezifikationen berechnet. Die der Berechnung zugrunde liegende λ -Werte wurden abgeschätzt.

Der Mindestwärmeschutz des Bestandsgebäudes nach EnEV 2014 wird eingehalten. Detaillierte Bauteildaten sind in Anlage 1.1 bis 1.4 beigefügt. Es konnten keine sichtbaren Mängel oder Schimmelpilzbefall an der Gebäudehülle festgestellt werden. Nutzungsbedingte Schallschutzprobleme konnten bei der Begehung nicht festgestellt werden. Bei der Begehung wurden keine Auffälligkeiten bezüglich Brandschutz oder gesundheitlich kritischen Baumaterialien festgestellt.

Das Gebäude wird zentral über eine Gas-Brennwerttherme beheizt. Die rechnerische Lebensdauer der Gas-Brennwerttherme nach VDI 2067 beträgt 18 Jahre und endet 2017. Die Übergabe erfolgt über eine Statische Heizung mit Radiatoren. Die Warmwasserbereitung erfolgt dezentral über Elektrodurchlauferhitzer (Bild 38).

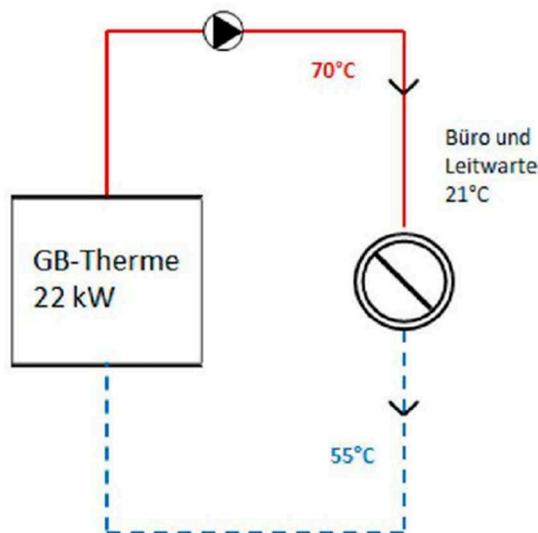


Bild 38: Schema Wärmeversorgung

Die Leitwarte und Serverräume werden über einzelne Split- Kälteanlagen gekühlt. Die rechnerische Lebensdauer Kälteanlagen für den Serverraum und die Leitwarte nach VDI 2067 beträgt 15 Jahre und endet 2020. Büro- und Aufenthaltsbereiche sowie die Werkstätten und Lager werden natürlich über die Fenster belüftet. Die WC-Anlagen haben dezentrale Ablüfter.

Die Büroräume verfügen über einen innenliegenden Sonnenschutz. Die künstliche Beleuchtung wird in den Büroräumen über stabförmige Leuchtstofflampen mit KVG als direkte Beleuchtung bereitgestellt. In der Leitwarte sind stabförmige Leuchtstofflampen mit EVG als direkte/indirekte Beleuchtung vorhanden. Die gesamte Beleuchtung wird manuell gesteuert. In der Leitwarte wurde durch Messung der künstlichen Beleuchtung 500 Lux nachgewiesen.

5.4.2 Bedarfs-Verbrauchs-Abgleich ABz Meppen

Da es keinen separaten Gaszähler für das Gebäude gibt, liegen keine Verbrauchsdaten vor. Es gibt lediglich einen Gesamtzähler für den Bauhof und den ABz mit Leitwarte.

Der Serverraum im Erdgeschoss wird durch die Abwärme der Serverkälte d.h. Prozesskälte beheizt. Da dem Raum keine weitere Heizwärme zugeführt werden muss, ist dieser nicht Teil der beheizten Fläche nach DIN V 18599:2011. Der Wärmeübergang zwischen den an diesen Raum angrenzenden Innenräumen ist adiabat, da keine Wärmeübertragung stattfindet. Die Klimatisierung des Serverraums ist prozessbedingt und nicht nutzerabhängig. Der Strom für diese Kälteerzeugung geht nicht in die Gebäudebilanzierung für einen EnEV Nachweis ein und wird daher auch nicht in der vorliegenden Bilanzierung berücksichtigt.

Nach der normierten Berechnung des Bestandes nach DIN V 18599:2011 unterschreitet das Gebäude mit $256 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ den Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes im Bestand um ca. 2%.

Da keine Verbrauchsdaten für die Liegenschaft vorliegen, kann kein Bedarfs-Verbrauchs-Abgleich durchgeführt werden.

5.4.3 Zusammenfassung Untersuchungsmaßnahmen ABz Meppen

Es wurden 6 Einzelmaßnahmen untersucht, welche zu drei Sanierungsvarianten zusammengefasst wurden (Tabelle 11). Für die einzelnen Varianten wurden der End- und Primärenergieeinsatz sowie die CO₂-Emissionen berechnet (Bild 40). Anschließend wurde eine Wirtschaftlichkeitsberechnung mit einem Zeitraum von 20 Jahren durchgeführt.

| Nr. | Beschreibung Sanierungsmaßnahme | Sanierungsvarianten | | |
|-----|---------------------------------|------------------------------|--|--|
| | | 1. Neubau EnEV 2014 | 2. Regenera- tive Wärme- versor- gung | 3. Wirt- schaftl. Maßnah- menpaket |
| 1. | Austausch Fenster | x | x | x |
| 2. | Innendämmung Außenwand AW 1 | x | x | |
| 3. | Innendämmung Außenwand AW 2 | x | x | |
| 4. | Hydraulischer Abgleich | x | x | x |
| 5. | Wärme- und Kälteverbund | x | x | x |
| 6. | Photovoltaikanlage Dach | | x | x |

Tabelle 11: Zuordnung der Einzelmaßnahmen zu den Maßnahmenpaketen, ABz Meppen

Das Bestandsgebäude hält bereits den Standard EnEV 2014 für Bestandsgebäude ein. Eine Sanierung auf Neubaustandard nach EnEV 2014 ist nur mit hohem Aufwand an der Gebäudehülle mit Innendämmung der Außenwände zu erreichen. Eine 100% regenerative Wärmeversorgung ist nicht umsetzbar da nicht genug geeignete Dachfläche für die Photovoltaiknutzung zur Verfügung steht. Die Varianten 1 und 2 werden daher nicht empfohlen.

Die wirtschaftliche Variante 3 enthält eine Ergänzung der Wärmeversorgung durch Nutzung der Serverabwärme zur Gebäudeheizung und eine Sanierung der Fenster. Da keine Wärmeverbräuche für die Gebäudeheizung oder Stromverbräuche für die Kälteversorgung vorliegen, beruht der rechnerische Ansatz für Variante 3 auf normierten Bedarfen und Berechnungsansätzen. Das Ergebnis stellt daher nicht die Realität, sondern nur ein mögliches Szenario dar. Bei möglicher Umsetzung der Variante 3 müssen die realen Verbräuche für Strom und Heizung sowie die Laufzeiten der Kälteversorgung in die Planung einfließen und die Wirtschaftlichkeit überprüft werden. Die Nutzung der Serverabwärme kann zudem nur im Zusammenhang mit einer Sanierung der Kälteversorgung der Server vorgenommen werden. Vorgeschlagen wird hier eine luftbasierte Kühlung. Serverabwärme kann auch durch ein wasserbasiertes System genutzt werden. Dies schließt allerdings auch den Umbau der Serveranlagen mit ein.

Unabhängig der Umsetzung von investiven Maßnahmen der Variante 3 wird empfohlen, die Einstellungen der Heizkurve und der Nachtabsenkung zu überprüfen (Bild 39).

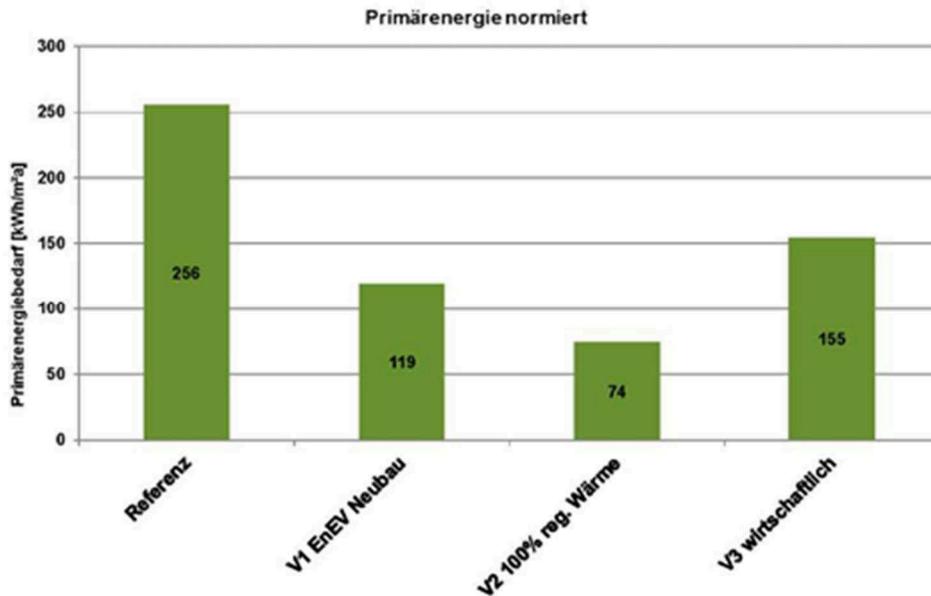


Bild 39: Primärenergiebedarf der Varianten nach DIN V 18599:2011, normiert, ABz Meppen

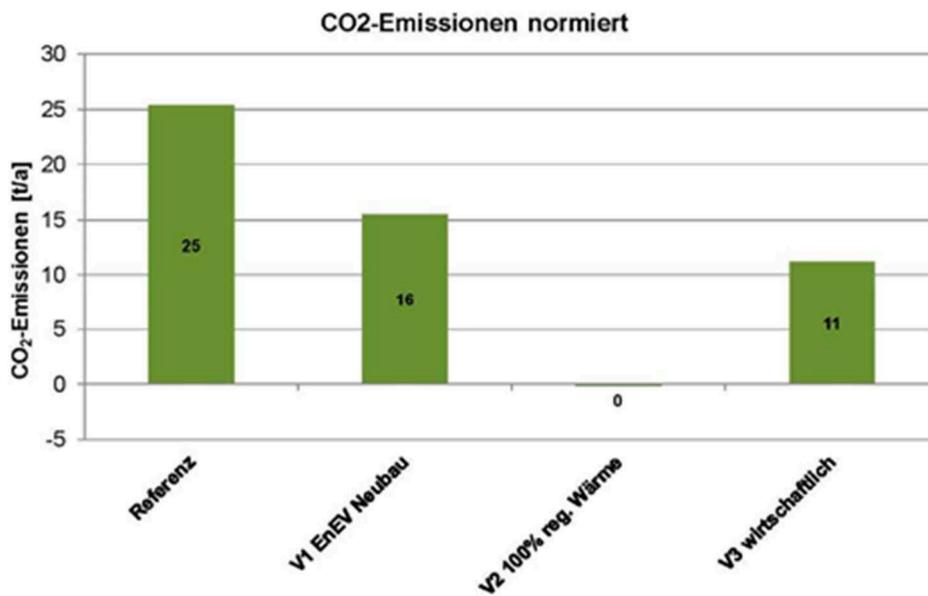


Bild 40: Berechnete CO₂-Emissionen der Varianten, normiert, ABz Meppen

5.5 ABz Neuss

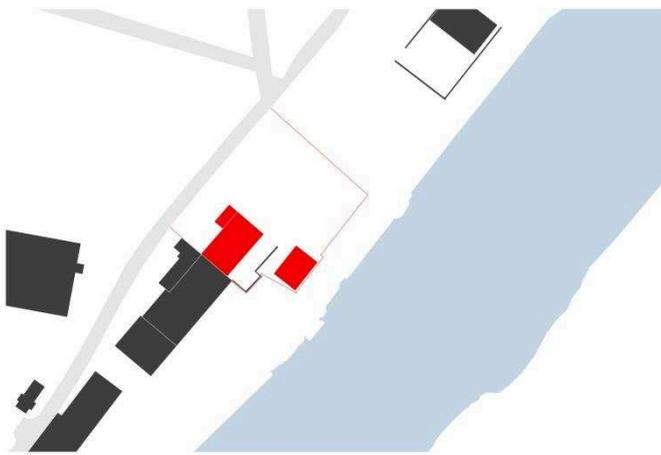


Bild 41: Lageplan ABz Neuss

5.5.1 Bestandsaufnahme ABz Neuss

Das Gebäude wurde 1994 durch Umbau einer bereits bestehenden Lagerhalle am Neusser Hafen errichtet (Bild 41). Im Südwesten setzt sich die Lagerhalle fort. In dieser Fläche gibt es keinen Wärmeübergang. Das Gebäude ist Nordost-Südwest orientiert und ist wegen seiner Lage dem Wind stark ausgesetzt. Die Außenwände wurden als zweischaliges Mauerwerk mit Kerndämmung ausgeführt. Die Fenster sind als Kunststofffenster gutdämmend und dichtschießend. Im Jahr 2006 wurden die Büros um einen Anbau auf der Nordwestseite (Straße) erweitert und das Dach wurde erneuert.

Das Gebäude wird über einen Gas-Brennwertkessel beheizt. Die Werkräume werden über eine Warmluft-Hallenheizung beheizt. Der Serverraum wird über Split-Geräte gekühlt.

5.5.2 Bedarfs-Verbrauchs-Abgleich ABz Neuss

Nach der normierten Berechnung des Bestandes nach DIN V 18599:2011 unterschreitet das Gebäude mit $262 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ den Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes um ca. 10 %.

Der Energieverbrauch des Gebäudes wurde ermittelt auf der Basis der Verbrauchsabrechnungen der Jahre 2012-2014, die vom Außenbezirk zur Verfügung gestellt wurden. Die Bezugsfläche ist die in der Bedarfsermittlung nach DIN 18599 ermittelte Fläche von 841 m^2 (Nettogrundfläche nach EnEV). Es wird ein Endenergie-Verbrauch ermittelt von $129 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ für Wärme und $34 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ für Strom. Der Vergleichswert für diese Gebäudekategorie beträgt für Wärme $110 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ und für Strom $20 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Der Wärmeverbrauch liegt ca. 17 % über dem Vergleichswert. Diese Abweichung kann man noch als vertretbar ansehen, nachfolgend werden jedoch Einsparpotentiale aufgezeigt. Der Stromverbrauch liegt jedoch 70 % über dem Vergleichswert. Wie bei allen anderen Betriebsgebäuden wird auch in Neuss der elektrische Strom zwischen Betrieb des Gebäudes und sonstigen Verbrauchern nicht getrennt. Der übrige Bedarf entsteht durch Verbraucher, die mit dem Gebäude nichts zu tun haben, wie zum Beispiel die

Hofbeleuchtung, die Stromversorgung von Schiffen oder dem Betrieb von Arbeitsmaschinen und Schweißgeräten. Diese Verbräuche werden zurzeit nicht getrennt erfasst.

Bei dieser Betrachtung wurde leider keine Anpassung der Verbrauchswerte zu den berechneten Bedarfswerten über die Anpassung von Berechnungsparametern, wie z.B. angepasste Nutzungsprofile vorgenommen. Hier wurde lediglich ein Faktor für die Abweichung berechnet, mit dem die ermittelten Einsparungen reduziert werden.

5.5.3 Zusammenfassung Untersuchungsvarianten ABz Neuss

Das Betriebsgebäude des Außenbezirk Neuss hat einen hohen Wärme- und Stromverbrauch. Eine wesentliche Ursache für hohe Verbrauchswerte ist in der Nettogrundfläche als Bezugsgröße zu sehen. Das Wasser- und Schifffahrtsamt gibt 341 m² an. Nach grafischer Ermittlung wird von einer energetisch wirksamen Bezugsgröße von 841 m² ausgegangen.

Die Analyse zeigt, dass die Betrachtung der differenzierten Endenergieverbräuche wichtiger ist als der ausgewiesene Primärenergieverbrauch. Es wird festgestellt, dass ein großer Teil des Verbrauchs durch Strom erzeugt wird, der für andere Zwecke als die Beleuchtung oder Kühlung des Gebäudes verwendet wird. Daher wird empfohlen, die Verbräuche getrennt zu erfassen.

Die Gebäudehülle als Ganzes erfüllt die Altbau-Grenzwerte der Energieeinsparverordnung (EnEV). Allerdings gibt es zusätzliche Anforderungen, die aus dem Erneuerbare Energie Wärme Gesetz (EEWärmeG) entstehen. Demnach werden die Anforderungen nicht erfüllt. Der hohe Wärmebedarf wird zum Teil auf Mängel in der thermischen Gebäudehülle (Hallentore) zurückgeführt und auf Mängel in der Heizanlage. Die Anlage ist teilweise stillgelegt (Umkleiden) und entspricht nicht den Anforderungen an eine sparsame Heizung (Luftheizung der Halle).

Der hohe Stromverbrauch ist darauf zurückzuführen, dass Verbrauchsstellen nicht gesondert gemessen und abgerechnet werden. Der tatsächliche Verbrauch an elektrischer Energie kann derzeit nicht festgestellt werden. Es ist anzunehmen, dass ein wesentlicher Verbraucher die Hofbeleuchtung ist.

Durch eine Vielzahl von Optimierungsmaßnahmen kann der Energiebedarf auf das Altbauniveau nach Energieeinsparverordnung (EnEV) gesenkt werden. Die Untersuchung zeigt, dass die Einhaltung der EnEV-Neubau-Grenzwerte auf diesem Weg nicht möglich ist. Allerdings ändern sich die zulässigen Grenzwerte, wenn man den Einsatz regenerativer Energien vorsieht. Hier kommen Wärmepumpen und Holzpelletkessel in Betracht. Hierdurch können die Neubau-Grenzwerte eingehalten werden.

Eine Überprüfung der Wirtschaftlichkeit muss die unterschiedlichen Einspareffekte von Einsparungen an Wärmeenergie und Strom berücksichtigen. Die aufgezeigte Einsparmöglichkeit von elektrischer Energie durch den Austausch der Langfeldleuchten gegen LED-Tubes bringt einen schnellen Erfolg. Der Einsatz einer PV-Anlage erscheint ebenfalls sinnvoll, weil die Kosten des selbstproduzierten Stroms mit 0,10 - 0,14 €/kWh unter den Kosten des Ankaufs liegen

(0,29 €/kWh). Die hohen Aufwendungen im Wärmesektor lassen sich dahingegen wirtschaftlich nicht darstellen. Selbst die Aufwendungen für das Erreichen des „Altbau-Niveaus“ erscheinen zu hoch. Hier sei allerdings darauf hingewiesen, dass ein Großteil der anstehenden Kosten „So-wieso-Kosten“ sind, da Anlagenteile überarbeitet werden müssen.

5.6 ABz Niederkassel

5.6.1 Bestandsaufnahme ABz Niederkassel

In Niederkassel wurde das Betriebswerkgebäude energetisch untersucht. Das Gebäude wurde im Jahr 1999 gebaut und hat eine Nettogrundfläche von 455 m². In dem Gebäude befinden sich die Büro- und Sozialräume, als auch das Lager und die Werkräume (Bild 42).

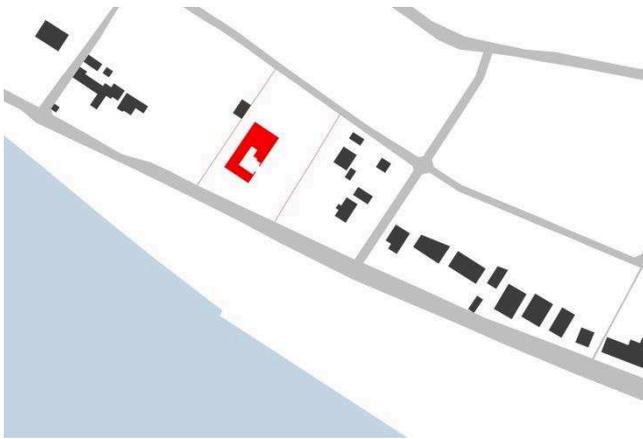


Bild 42: Lageplan ABz Niederkassel

Die Außenwände werden von einem zweischalig hinterlüfteten Mauerwerk mit Kerndämmung gebildet. Jedoch ist die Kerndämmung nicht überall vorhanden und teilweise mit unterschiedlichen Dämmstärken ausgeführt. Der obere Gebäudeabschluss wird durch eine Stahlbetondecke zum unbeheizten Dachraum gebildet.

Die U-Werte der Bauteile wurden anhand der aufgenommenen Bauteilspezifikationen berechnet. Die der Berechnung zugrunde liegende λ -Werte wurden abgeschätzt.

Der Mindestwärmeschutz des Bestandsgebäudes nach EnEV 2014 wird eingehalten. Laut Aussagen der Nutzer und bei der Begehung konnte kein Schimmelpilzbefall festgestellt werden. Nutzungsbedingte Schallschutzprobleme konnten bei der Begehung nicht identifiziert werden. Die Werkstattbereiche werden für Schlosser- und Schreinerarbeiten genutzt und sind räumlich vom Bürobereich getrennt. Die Brandschutzabschnitte werden durch T30 Türen abgetrennt. Es wurden bei der Begehung keine gesundheitlich kritischen Baumaterialien identifiziert.

Das Gebäude wird zentral über einen atmosphärischen Gas-Niedertemperaturkessel beheizt. Die Wärme wird über 4 Heizkreise verteilt. Die Übergabe erfolgt über eine statische Heizung mit

Radiatoren. Das Warmwasser wird über den zentralen Heizkessel bereitgestellt und in einem Warmwasser-Speicher vorgehalten (Bild 43).

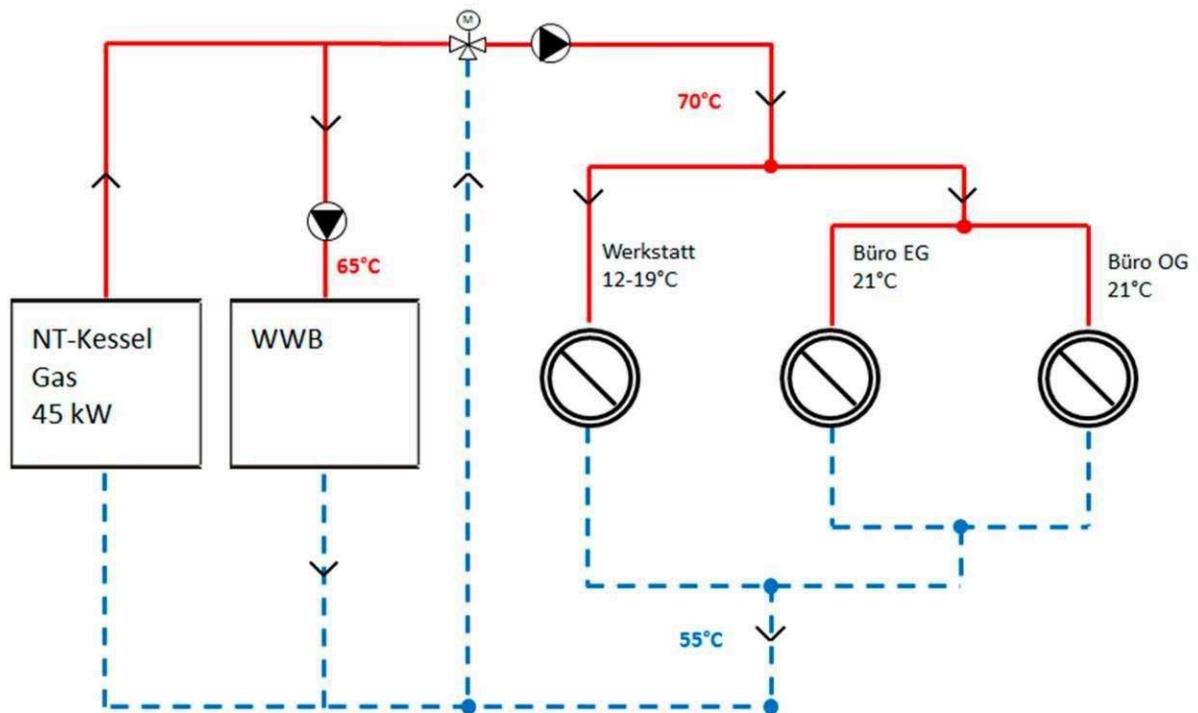


Bild 43: Schema Wärmeversorgung ABz Niederkassel

Die Büroräume, der Aufenthaltsraum und der Serverraum werden über Split-Kältegeräte gekühlt. Büro- und Aufenthaltsbereiche sowie die Werkstätten und Lager werden natürlich über die Fenster belüftet. Lediglich die Schlosserei hat eine dezentrale Abluftanlage. Die Lüftungsanlage der Lackiererei ist mittlerweile stillgelegt. Es ist momentan keine Photovoltaik-Anlage installiert.

Die Büroräume verfügen über einen innenliegenden Sonnenschutz. Die künstliche Beleuchtung wird über stabförmige Leuchtstofflampen mit KVG als direkte Beleuchtung bereitgestellt. Sie wird manuell gesteuert.

5.6.2 Bedarfs-Verbrauchs-Abgleich ABz Niederkassel

Der Energieverbrauch wurde anhand vorliegender Energierechnungen erfasst. Die Witterungsberreinigung für den Heizwärmeverbrauch erfolgte anhand von Klimafaktoren des deutschen Wetterdienst (Bild 44).

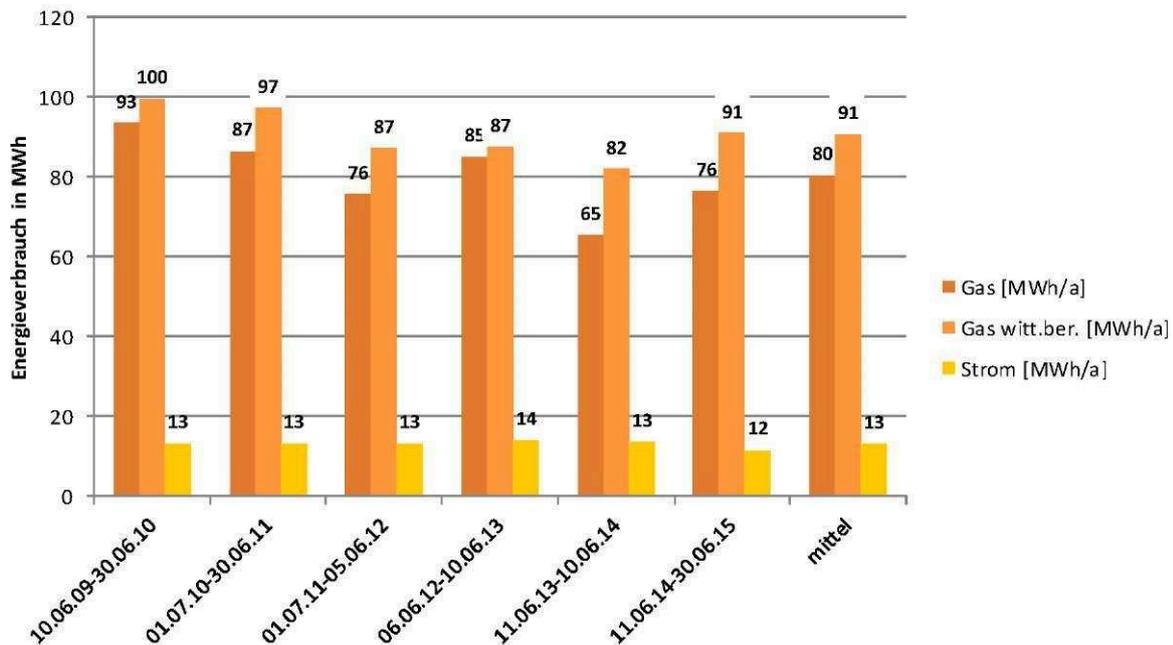


Bild 44: Jährlicher absoluter Energieverbrauch des ABz Niederkassel, gemessen.

Der Warmwasserverbrauch wurde nach Absprache mit dem Gebäudenutzer abgeschätzt (Bild 45).

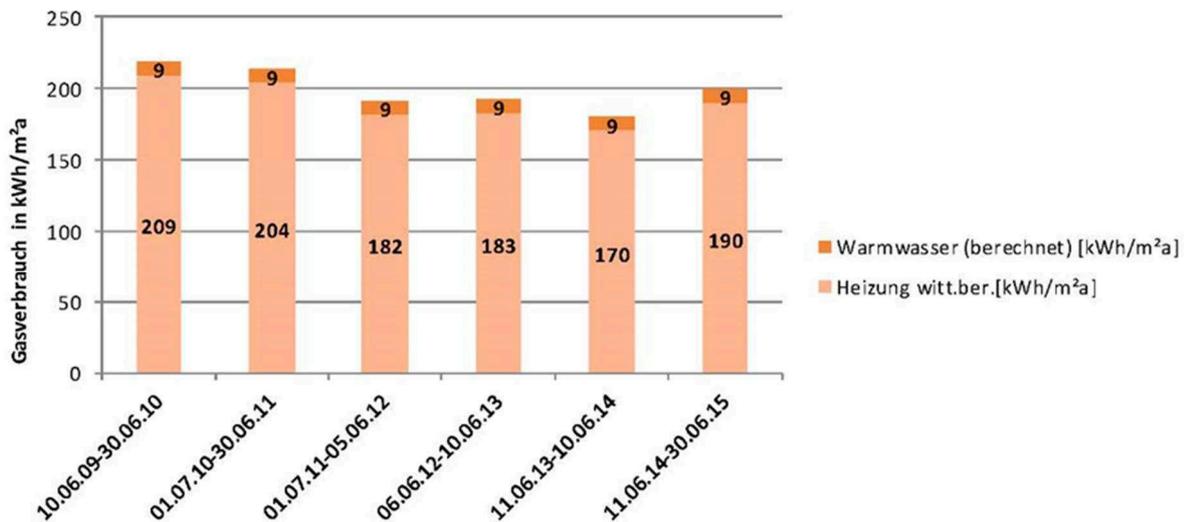


Bild 45: Jährlicher spezifischer Gasverbrauch des ABz Niederkassel (Anteile von Warmwasser über Berechnung abgeschätzt)

Nach der normierten Berechnung des Bestandes nach DIN V 18599:2011 überschreitet das Gebäude mit 304 kWh/m²a den Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes im Bestand um ca. 6 %.

Der errechnete Wärmebedarf aufgrund der standardisierten Berechnungen nach DIN V 18599:2011 liegt über 100 % über den tatsächlichen Verbrauchswerten (Tabelle 12). Der Be-

darfs-Verbrauchs-Abgleich wurde mit Hilfe des mittleren gemessenen Energieverbrauchs und der individuellen Anpassung der Nutzerprofile vorgenommen. Die Abweichung zwischen Bedarf und Verbrauch nach dem Abgleich liegt bei 18 %.

| | Verbrauch IST gemessen | Bedarf DIN V 18599 normiert | Bedarf DIN V 18599 angepasst |
|---|------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| Endenergie Wärme [kWh/m ² a] | 199 | 275 | 236 |
| Abweichung [%] | 0 | 38 | 18 |

Tabelle 12: Bedarfs-Verbrauchs-Abgleich Endenergie Wärme, ABz Niederkassel

5.6.3 Zusammenfassung Untersuchungsvarianten ABz Niederkassel

Es wurden 13 Einzelmaßnahmen untersucht, welche zu vier Sanierungsvarianten zusammengefasst wurden (Tabelle 13). Für die einzelnen Varianten wurden der End- und Primärenergieeinsatz sowie die CO₂-Emissionen berechnet (Bild 47). Anschließend wurde eine Wirtschaftlichkeitsberechnung mit einem Zeitraum von 20 Jahren durchgeführt.

| Nr. | Beschreibung Sanierungsmaßnahme | Sanierungsvarianten | | | |
|-----|--|---------------------------------|------------------------------|--|--|
| | | 1. Sanierung ENEV 2014 | 2. Neubau EnEV 2014 | 3. Regenera- tive Wärme- versor- gung | 4. Wirt- schaftl. Maßnah- menpaket |
| 1. | Innendämmung Außenwand AW1 | | x | x | |
| 2. | Austausch Fenster | | x | x | |
| 3. | Außenwand AW2 Luftspalt geschäumt | | x | x | |
| 4. | Innendämmung Außenwand AW3 | | x | x | |
| 5. | Austausch Stahltüren | | x | x | |
| 6. | Austausch Tore | | x | x | |
| 7. | Austausch Eingangstüre | | x | x | |
| 8. | Austausch Heizkessel durch Gasbrennwertkessel 45 kWth | x | | | x |
| 9. | Hydraulischer Abgleich | x | x | x | x |
| 10. | Grundwasser-Wärmepumpe 35 kWth mit Wärmequelle Brunnen | | x | x | |
| 11. | Erneuerung Heizverteilung mit Einbindung Warmwasserbereitung | | x | x | |
| 12. | Versetzen von Heizkörpern wg. Innendämmung | | x | x | |
| 13. | Photovoltaikanlage Dach | | | x | |

Tabelle 13: Zuordnung der Einzelmaßnahmen zu den Maßnahmenpaketen, ABz Niederkassel

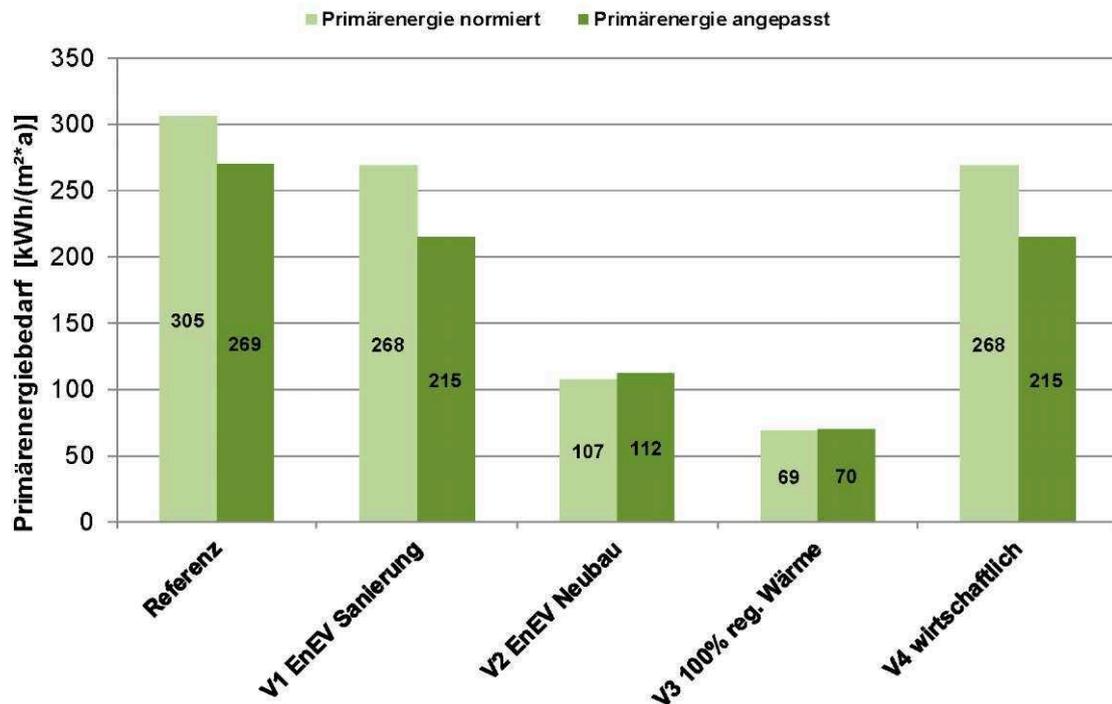


Bild 46: Primärenergiebedarf der Varianten nach DIN V 18599:2011, normiert und angepasst, ABz Niederkassel

Eine Sanierung auf EnEV 2014 für Bestandsgebäude lässt sich durch den Austausch der Wärmeversorgung durch einen Gas-Brennwertkessel und die Durchführung eines hydraulischen Abgleichs erreichen. Für diese Variante müssen keine baulichen Maßnahmen an der Gebäudehülle durchgeführt werden. Für die Erfüllung des EEWärmeG müssen jedoch 25% des Gasbedarfs durch Biomethan gedeckt werden. Die Variante hat niedrigere Jahresgesamtkosten als das aktuelle Gebäude und wird daher zur Umsetzung empfohlen. Eine Sanierung auf Neubaustandard nach EnEV 2014 und eine regenerative Wärmeversorgung sind nur mit hohem Aufwand an der Gebäudehülle mit Innendämmung der Außenwände und Umstellung der Wärmeerzeugung zu erreichen. Die Varianten sind technisch schwierig umzusetzen und wirtschaftlich nicht darstellbar. Sie werden daher nicht zur Umsetzung empfohlen.

Zusätzlich zur Umsetzung der Variante werden nicht-investive Maßnahmen zur Betriebsoptimierung wie die Anpassung der Heizkurve und der Nachtabenkung empfohlen.

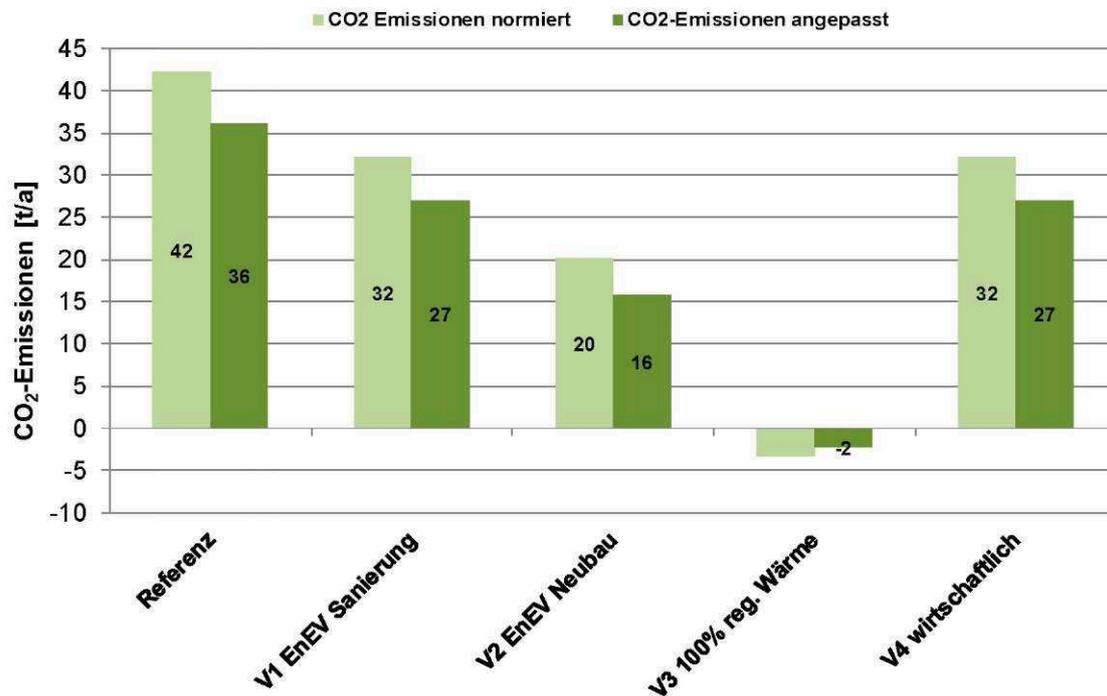


Bild 47: Berechnete CO₂-Emissionen der Varianten, normiert und angepasst, ABz Niederkassel

5.7 ABz Wesel

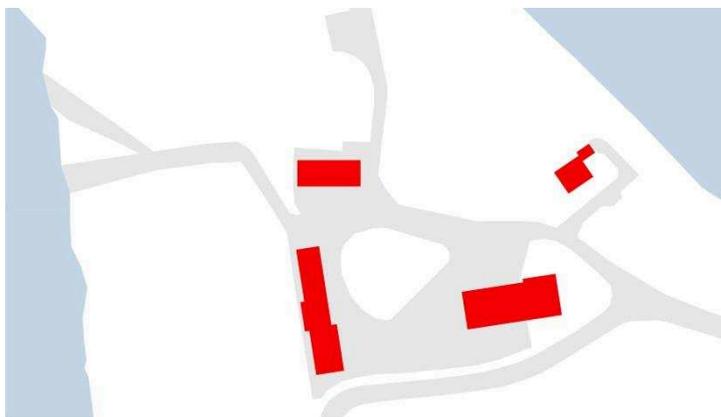


Bild 48: Lageplan ABz Wesel

5.7.1 Bestandsaufnahme ABz Wesel

Das Gebäude wurde 1952 in Massivbauweise auf der Bändericher Insel in Wesel errichtet. Der langgestreckte Baukörper ist Nord-Süd-orientiert und liegt etwas erhöht am Fluss. Das Gebäude enthält Büros und Werkstätten. Der Dachboden wird nicht genutzt, liegt aber innerhalb der beheizten Zone. Die Außenwände wurden 2009 mit einem Wärmedämmverbundsystem versehen. Das Dach ist mit 12 cm Mineralwolle gedämmt und winddicht. Die Fenster sind als Kunststoff-Fenster gutdämmend und dichtschießend. Es wurden hochwertige Außen-Holztüren eingebaut.

Die thermische Gebäudehülle erfüllte die Anforderungen der EnEV 2014. Eine Brennwerttherme versorgt Radiatoren mit der notwendigen Wärme.

5.7.2 Bedarfs-Verbrauch-Abgleich ABz Wesel

Nach der normierten Berechnung des Bestandes nach DIN V 18599:2011 unterschreitet das Gebäude mit 347 kWh/m²a den Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes um ca. 10 %.

Der Energieverbrauch des Gebäudes wurde ermittelt auf der Basis der Verbrauchsabrechnungen der Jahre 2012-2014, die vom Außenbezirk zur Verfügung gestellt wurden. Die Bezugsfläche ist die in der Bedarfsermittlung nach DIN V 18599:2011 ermittelte Fläche von 314 m² (Nettogrundfläche nach EnEV). Es wird ein Endenergie-Verbrauch ermittelt von 180 kWh/m²a für Wärme und 140 kWh/m²a für Strom. Der Vergleichswert für diese Gebäudekategorie beträgt für Wärme 110 kWh/m²a und für Strom 20 kWh/m²a. Ungeachtet des guten Wärmedämmstandards liegt der Wärmeverbrauch ca. 63 % über dem Vergleichswert. Der Stromverbrauch liegt jedoch 700 % über dem Vergleichswert. Wie bei allen anderen Betriebsgebäuden wird auch in Neuss der elektrische Strom zwischen Betrieb des Gebäudes und sonstigen Verbrauchern nicht getrennt. Die angrenzenden Wagenhallen und Werkstätten werden über einen Zähler abgerechnet, sodass der tatsächliche Energieverbrauch des untersuchten Gebäudes nicht festgestellt werden kann.

Bei dieser Betrachtung wurde durch das Ingenieurbüro keine Anpassung der Verbrauchswerte zu den berechneten Bedarfswerten über die Anpassung von Berechnungsparametern, wie z.B. angepasste Nutzungsprofile vorgenommen. Hier wurde lediglich ein Faktor für die Abweichung berechnet, mit dem die ermittelten Einsparungen reduziert werden.

5.7.3 Zusammenfassung Untersuchungsvarianten ABz Wesel

Das Betriebsgebäude des Außenbezirk Wesel hat einen hohen Wärme- und Stromverbrauch, wenn man den ausgewiesenen Primärenergieverbrauch des Gebäudes zum Maßstab nimmt. Bei differenzierter Betrachtung kann festgestellt werden, dass die Betrachtung der Endenergieverbräuche wichtiger ist als der ausgewiesene Primärenergieverbrauch. Es wird festgestellt, dass ein großer Teil des Verbrauchs durch Strom erzeugt wird, der für andere Zwecke als die Beleuchtung oder Kühlung des Gebäudes verwendet wird. Daher wird empfohlen, die Verbräuche getrennt zu erfassen.

Das Gebäude wurde 2009 umfassend energetisch saniert. Es erfüllt die Standards nach „Altbau-Niveau“ der Energieeinsparverordnung (EnEV). Darüber hinausgehende Anforderungen nach Erneuerbare Energie Wärme Gesetz (EEWärmeG 2011) werden nicht erfüllt, weil keine regenerative Energie zum Einsatz kommt.

Ungeachtet des guten Wärmedämmstandards liegt der Wärmeverbrauch ca. 63 % über dem Vergleichswert aus der Bekanntmachung für Energieverbrauchswerte für Nichtwohngebäude (Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie 2015). Der Stromverbrauch liegt jedoch 700%

über dem Vergleichswert. Andererseits liegt der Wärme-Verbrauch 50% unter dem berechneten Bedarf.

So kann man einerseits annehmen, dass die Mitarbeiter sowieso schon schwach heizen und andererseits die Höhe des Verbrauchs mit der Art der Nutzung erklären. Man arbeitet nur vorübergehend in der Werkstatt und hat einen dauernden Bezug nach draußen. Es gibt keinen „Windfang“ und die Werkstätten öffnen sich direkt zum Hof. Hinzu kommt, dass die Werkstätten - gemessen an Ausstattung und Größe - unterbesetzt sind, aber dennoch betriebsbereit gehalten werden.

Die Möglichkeiten zur Sanierung sind eingeschränkt, weil die thermische Gebäudehülle bereits auf dem Stand der Technik ist. Es gibt Optimierungsmöglichkeiten durch den Einbau von programmierbaren Heizungsventilen sowie durch automatische Präsenzkontrollen.

Die EnEV - Neubaugrenzwerte können durch Optimierungen an der Gebäudehülle oder der Anlagentechnik nicht erreicht werden. Hierzu ist die Umstellung auf regenerative Energie erforderlich.

5.8 Bauhof Neckarsteinach

5.8.1 Bestandsaufnahme Bauhof Neckarsteinach

In Neckarsteinach wurden die Gebäude des Bauhofes energetisch untersucht. Die Liegenschaft mit Baujahr 1979 besteht aus einem Sozialgebäude, einem Werkstattgebäude mit Montagehalle, einer Fahrzeughalle mit Garagen sowie einem weiteren unbeheizten Gebäudeteil und zwei offenen Bauten mit Lagerflächen (Bild 49).

Im Jahre 2011 wurden bereits größere Sanierungsmaßnahmen an den Gebäudedächern, Fenstern und Toren vorgenommen. Die Innen- und Außenbeleuchtung wurde bereits teilweise durch LED ersetzt.

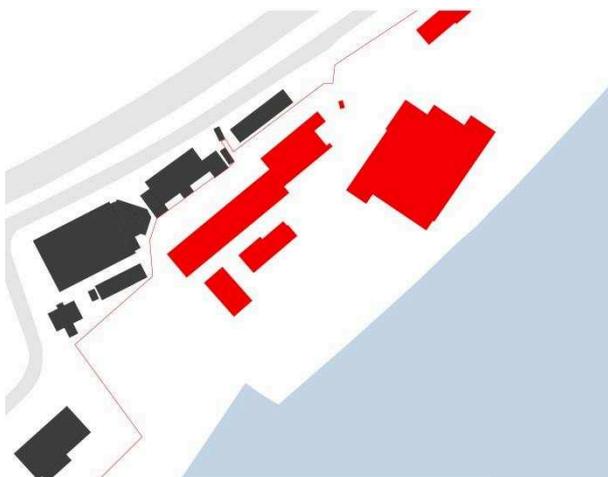


Bild 49: Lageplan Bauhof Neckarsteinach

Die Außenwände des Sozialgebäudes, der Werkstatt und der Fahrzeughalle bestehen aus 30 cm Kalksandstein-Mauerwerk. Der Mindestwärmeschutz für Bestandsgebäude nach EnEV 2014 wird bei allen Gebäuden nicht eingehalten. Nutzungsbedingte Schallschutzprobleme konnten bei der Begehung nicht festgestellt werden. Bei der Begehung wurden keine Auffälligkeiten bezüglich Brandschutz festgestellt.

Die Gebäude werden zentral über zwei Öl-Brennwertkessel beheizt. Das Warmwasser wird sowohl zentral als auch dezentral bereitgestellt. (Bild 50).

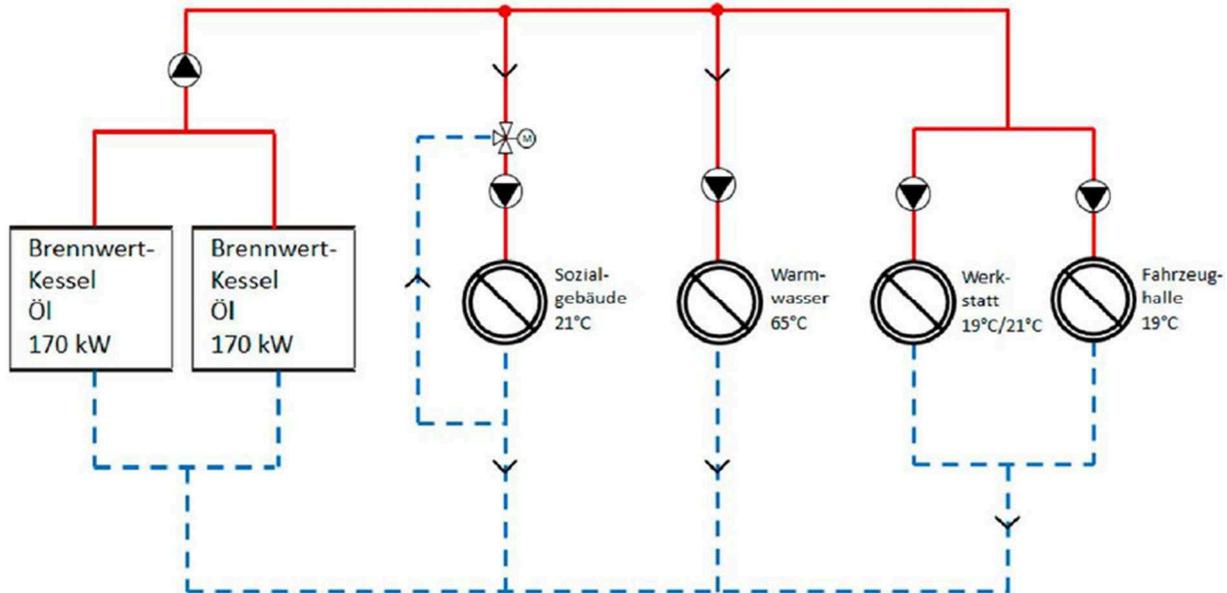


Bild 50: Schema Wärmeversorgung Bauhof Neckarsteinach

Für die Lackiererei gibt es eine separate Lufttrocknungsanlage. Die sanitären Anlagen haben dezentrale Ablüfter. Büro und Sozialbereiche sowie die Werkstätten und Lager werden natürlich über Fenster belüftet. Der Raum der Leitwarte wird separat klimatisiert und wird in der Untersuchung nicht weiter betrachtet.

Im Außenbereich wurden die bestehenden Natriumdampf-Hochdrucklampen (800 Watt/Lampe) bereits teilweise durch LED (90 Watt/Lampe) ausgetauscht.

5.8.2 Bedarfs-Verbrauchs-Abgleich Bauhof Neckarsteinach

Es gibt keinen übergeordneten Wärmemengenzähler oder separate Wärmemengenzähler für die einzelnen Gebäude. Es liegen lediglich die Rechnungen für die Öllieferung und Strom für die gesamte Liegenschaft der letzten 3 Jahre vor.

Der Energieverbrauch wurde anhand vorliegender Energierechnungen erfasst. Sowohl Heizölverbrauch als auch Stromverbrauch werden jeweils für die gesamte Liegenschaft gemeinsam erfasst. Das Heizöl wird jährlich auf Basis des geschätzten Bedarfes für die folgende Heizperiode bestellt und geliefert. Es erfolgt keine Wärmemengenzählung des tatsächlichen Verbrauches im jeweiligen Jahr.

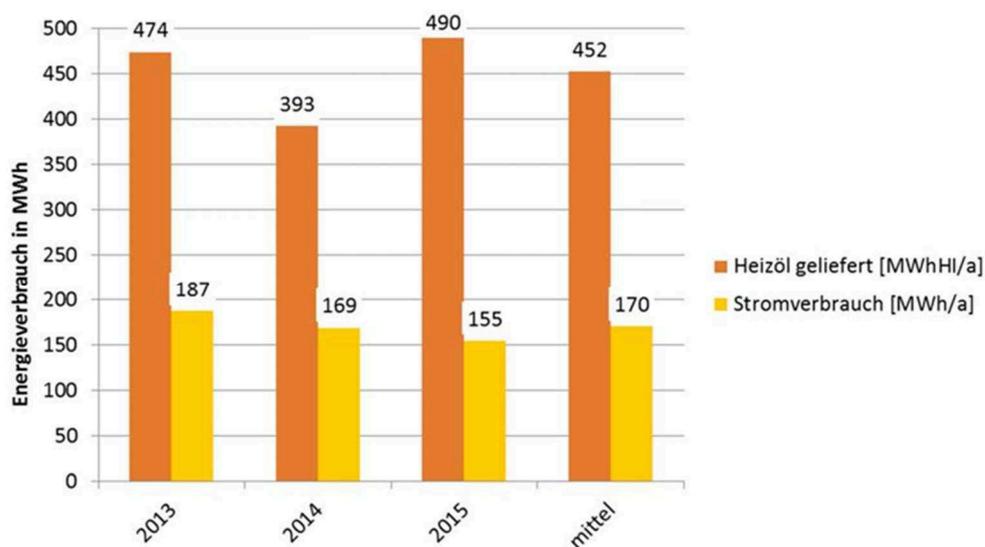


Bild 51: Jährlicher absoluter Energieverbrauch des Bauhof Neckarsteinach, gemessen.

Die Abschätzung der Aufteilung des Heizölverbrauchs für die Liegenschaft basiert auf dem mittleren Heizölverbrauch. Der Warmwasserverbrauch wurde anhand der Mitarbeiterbelegung und durchschnittlich 10 Duschen/ Tag und die Nahwärmeverluste aufgrund eines möglichen Netzverlaufs und Dimensionierung abgeschätzt (Bild 52).

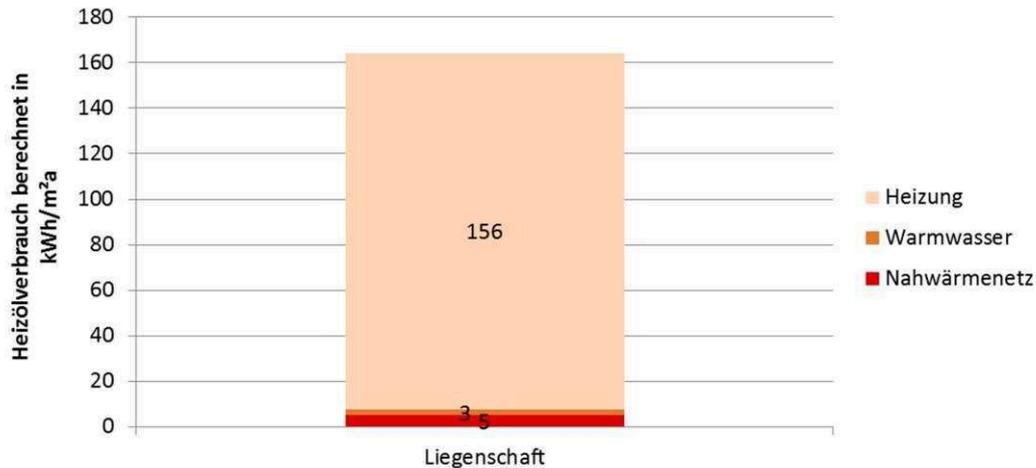


Bild 52: Jährlicher spezifischer Energieverbrauch des Bauhof Neckarsteinach (Anteile von Warmwasser über Berechnung abgeschätzt)

Nach der normierten Berechnung des Bestandes nach DIN V 18599:2011 überschreitet das Sozialgebäude mit 484 kWh/m²a den Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes um ca. 27 %. Das Werkstattgebäude überschreitet mit 301 kWh/m²a den Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes im Bestand um 46 %. Die Fahrzeughalle überschreitet mit 607 kWh/m²a den Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes im Bestand um 99 %.

Die errechneten Wärmebedarfe der Liegenschaft aufgrund der standardisierten Berechnungen nach DIN V 18599:2011 liegen 40 % über den tatsächlichen Verbrauchswerten (Tabelle 14). Der

Bedarfs-Verbrauchs-Abgleich wurde mit Hilfe des mittleren gemessenen Energieverbrauchs und der individuellen Anpassung der Nutzerprofile vorgenommen. Die Abweichung zwischen Bedarf und Verbrauch nach dem Abgleich liegt bei 16 %.

| | Verbrauch IST abzgl. Nah- wärmenetz | Bedarf DIN V 18599 normiert | Bedarf DIN V 18599 angepasst |
|---|--|-----------------------------------|------------------------------------|
| Endenergie Wärme [kWh/m ² a] | 159 | 223 | 184 |
| Abweichung [%] | 0 | 40 | 16 |

Tabelle 14: Bedarfs-Verbrauchs-Abgleich Endenergie Wärme, Bauhof Neckarsteinach

5.8.3 Zusammenfassung Untersuchungsvarianten Bauhof Neckarsteinach

Es wurden 20 Einzelmaßnahmen untersucht, welche zu vier Sanierungsvarianten zusammengefasst wurden (Tabelle 15). Für die einzelnen Varianten wurden der End- und Primärenergieeinsatz sowie die CO₂-Emissionen berechnet (Bild 54). Anschließend wurde eine Wirtschaftlichkeitsberechnung mit einem Zeitraum von 20 Jahren durchgeführt.

| Nr. | Beschreibung Sanierungsmaßnahme | Sanierungsvarianten | | | |
|-------------------------|--|---------------------------------|------------------------------|--|--|
| | | 1. Sanierung ENEV 2014 | 2. Neubau EnEV 2014 | 3. Regenera- tive Wärme- versor- gung | 4. Wirt- schaftl. Maßnah- menpaket |
| <i>Sozialgebäude</i> | | | | | |
| 1. | Außenwand Dämmung mit 100 mm Schaumglas AB = 0,041 | x | | | |
| 2. | Dach Sozialgebäude HWL mit 160 mm Zwi- schensparrendämmung AB = 0,035 | x | | | |
| 3. | Außenwand Dämmung mit 180 mm Schaumglas AB = 0,041 | | x | x | |
| 4. | Innenwand Dämmung mit 100 mm HWL AB = 0,033 | | x | x | |
| 5. | Decke über Keller unbeheizt Dämmung mit 100 mm HWL AB = 0,033 | | x | x | |
| 6. | Austausch Fenster U = 0,9 W/m ² K | | x | x | |
| 7. | Dach Sozialgebäude HWL mit 180 mm Zwi- schensparrendämmung AB = 0,035 | | x | x | |
| <i>Werkstattgebäude</i> | | | | | |
| 8. | Außenwand 1: Dämmung mit 60 mm Schaum- glas A < 0,041 | x | | | |
| 9. | Außenwand 2: Dämmung mit 80 mm Schaum- | x | | | |

| | | | | | |
|----------------------|--|---|---|---|---|
| | glas A < 0,041 | | | | |
| 10. | Großes Rolltor U = 2,0 W/m ² K | x | x | | |
| 11. | Außenwand 1: Dämmung mit 140 mm Schaumglas A > 0,041 | | x | | |
| 12. | Außenwand 2: Dämmung mit 140 mm Schaumglas A > 0,041 | | x | | |
| 13. | Dach Sandwichpaneel | | x | | |
| 14. | Fußboden Büro 70 mm Aufgleichsdämmung A < 0,035 | | x | | |
| <i>Fahrzeughalle</i> | | | | | |
| 15. | Außenwand Dämmung mit 100 mm Schaumglas A < 0,041 | x | x | x | |
| 16. | Dach Sandwichpaneel | | x | x | |
| 17. | Fußboden Dämmung mit 40 mm Schaumglas A < 0,041 | | x | x | |
| <i>Liegenschaft</i> | | | | | |
| 18. | Hydraulischer Abgleich | x | x | x | x |
| 19. | Erdöl-BHKW | x | | | |
| 20. | Holzpelletkessel | | x | x | |

Tabelle 15: Zuordnung der Einzelmaßnahmen zu den Maßnahmenpaketen, Bauhof Neckarsteinach

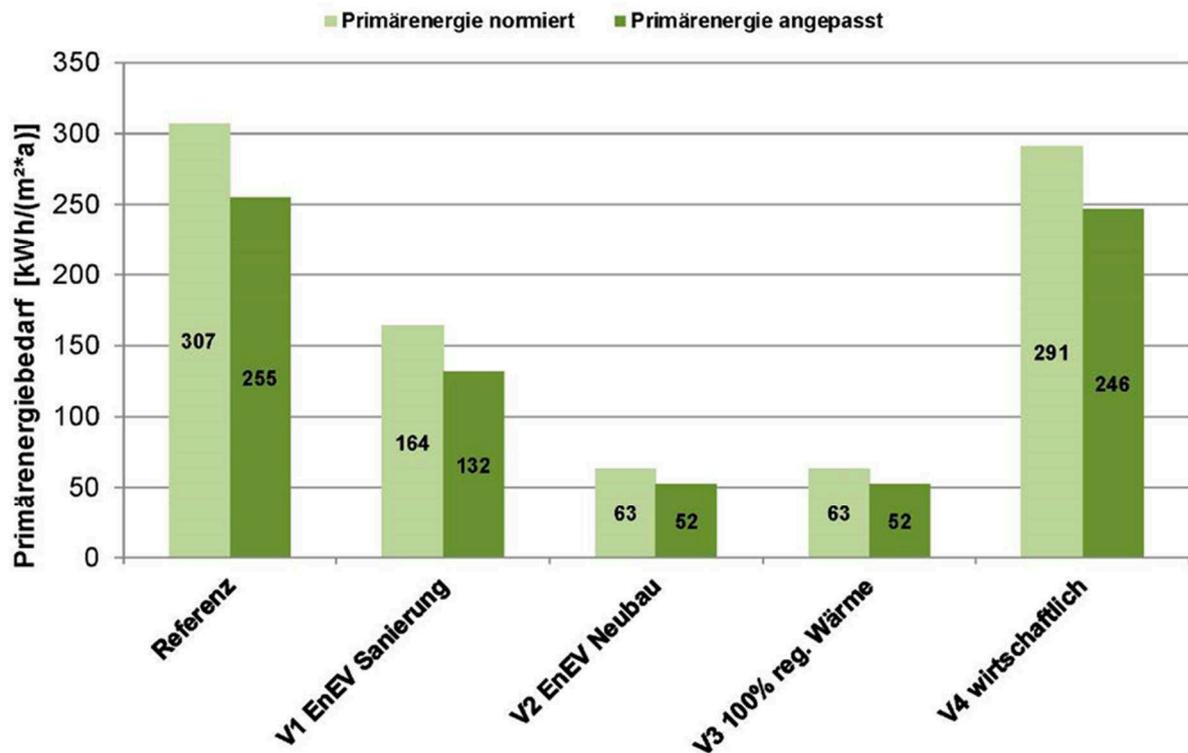


Bild 53: Primärenergiebedarf der Varianten nach DIN V 18599:2011, normiert und angepasst, ABz Niederkassel

Eine Sanierung auf EnEV 2014 für Bestandsgebäude wird unter anderem durch umfangreiche bauliche Maßnahmen an Außenwand, Fenster, Dach und Boden sowie eine effizientere Wärmeerzeugung durch einen Anteil an Kraft-Wärme-Kopplung erreicht. Aufgrund der Lage im Hochwassergebiet wird für die Außenwanddämmung eine Ausführung in Schaumglas empfohlen. Der Werkstoff ist wasserbeständig und es wird damit ausgeschlossen, dass Feuchteschäden im Dämmmaterial selbst auftreten. Variante 1 hat höhere Jahresgesamtkosten als das aktuelle Gebäude und ist nur mit hohem technischem und investivem Aufwand durchzuführen. Eine Sanierung auf Neubaustandard nach EnEV 2014 bzw. eine regenerative Wärmeversorgung sind nur mit weitaus höherem Aufwand an der Gebäudehülle und die komplette Umstellung der Wärmeerzeugung auf Biomasse zu erreichen.

Die Varianten 1 bis 3 sind aufgrund der Anforderungen an die Gebäudehülle technisch schwierig umzusetzen und wirtschaftlich ebenfalls nicht darstellbar. Sie werden daher nicht zur Umsetzung empfohlen. Die wirtschaftliche Variante 4 enthält lediglich die Durchführung eines hydraulischen Abgleichs (Bild 53).

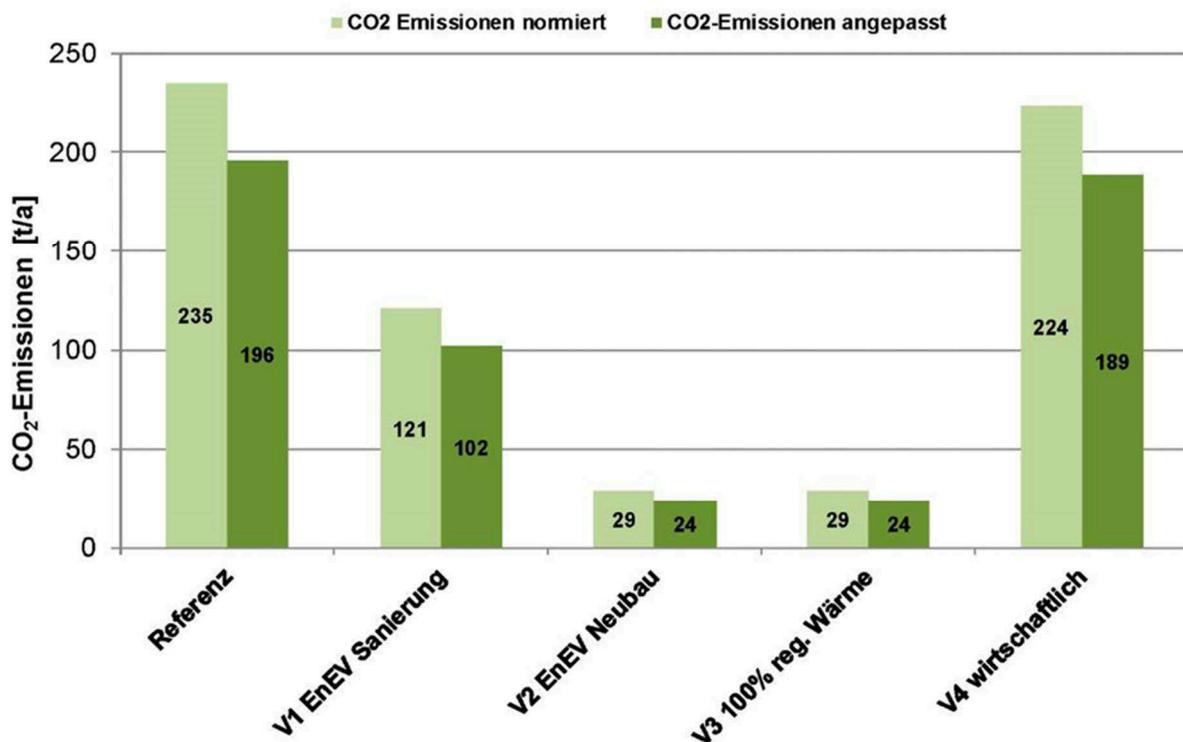


Bild 54: Berechnete CO₂-Emissionen der Varianten, normiert und angepasst, Bauhof Neckarsteinach

6 Sanierungsfahrplan Betriebswerkgebäude ABz Köln

Für das Betriebswerkgebäude des Außenbezirk Köln soll an dieser Stelle exemplarisch ein Sanierungsfahrplan aufgestellt werden. Bei der energetischen Untersuchung des Gebäudes wurden verschiedene Optimierungsmöglichkeiten aufgezeigt. Diese gilt es nun in sinnvolle Maßnahmenpakete zu bündeln, damit zum richtigen Zeitpunkt die richtigen Maßnahmen durchgeführt werden.

Zum einen ist darauf zu achten, dass die Maßnahmen in der richtigen Reihenfolge durchgeführt werden. Zum zweiten soll das richtige Zeitfenster für das Maßnahmenpaket definiert werden, um einen ersten Anhaltspunkt zu geben, wann die Maßnahmen mit größter Wahrscheinlichkeit wirtschaftlich sinnvoll umgesetzt werden können. Schließlich haben die energetischen Untersuchungen aufgezeigt, dass die wenigsten Maßnahmen sofort wirtschaftlich sinnvoll umzusetzen sind.

Da die energetische Untersuchung des Gebäudes von einem externen Ingenieurbüro durchgeführt wurde, liegen leider nur die Ergebnisse, aber nicht die Berechnungsdatei vor. Für die Erstellung des Sanierungsfahrplans wurde eine nochmalige Berechnung der Ergebnisse durch die BAW nicht durchgeführt, so dass die einzelnen Maßnahmenpakete nur beschrieben werden, aber ohne Angaben zur Energiebilanz. Die energetische Sinnhaftigkeit wurde im Bericht der energetischen Untersuchung durch das Ingenieurbüro bereits nachgewiesen.



Bild 55: Betriebswerkgebäude Außenbezirk Köln

6.1 Maßnahmenpaket 1 – Austausch der Heizung

Von den Modernisierungsempfehlungen würde als Maßnahmenpaket 1 die Variante 4 aus der energetischen Untersuchung (siehe Kap. 5.3.3) umgesetzt werden. Das Maßnahmenpaket 1 umfasst den Austausch des Heizkessels, die Erneuerung der Heizungsverteilung und die Durchführung eines hydraulischen Abgleichs. Der Niedertemperaturkessel hat seine rechnerische Lebensdauer von 18 Jahren bereits überschritten. Somit können für die Ersatzmaßnahmen, die Kosten für einen Ersatzkessel zu den Sowieso-Kosten hinzugerechnet werden.

Nach dem Wirtschaftlichkeitsgebot, kommt nur eine Gas-Brennwerttherme als Ersatz in Frage. Diese Anlage wäre in Kombination mit einem hydraulischen Abgleich sofort wirtschaftlich. Diese Maßnahme könnte sofort, spätestens jedoch wenn die Heizung erneuert werden muss, umgesetzt werden.

Diese Maßnahme verspricht eine Reduzierung des Brennstoffverbrauchs aufgrund der effizienteren Anlagentechnik. Dadurch sollten sich auch die Heizkosten entsprechend reduzieren.

Unter dem Begriff Heizungsoptimierung werden eine Reihe von Maßnahmen zusammengefasst, die zum einen zur Effizienzsteigerung führen und zum anderen die Energieverluste im Anlagensystem mindern helfen.

Große Wärmeverluste entstehen über ungedämmte Rohrleitungen im Heizungs- und Warmwassersystem. Deshalb sollten sie vollständig mit Dämmung ummantelt werden, dabei sind auch Armaturen und Pumpen einzubeziehen.

Der Austausch alter, unregelter Umwälzpumpen gegen hocheffiziente, selbstregelnde Pumpen sollte fester Bestandteil von Optimierungsmaßnahmen am Heizsystem sein. Gleichzeitig stellen die Effizienzpumpen einen wichtigen Baustein und die Voraussetzung für den hydraulischen Abgleich des gesamten Anlagensystems dar.

Mit dem hydraulischen Abgleich ist es möglich, die unterschiedlichen Strömungsverhältnisse im Heizsystem so zu verbessern, dass jedem Heizkörper im System eine ausreichende Wassermenge mit der notwendigen Vorlauftemperatur zur Beheizung der Räume zur Verfügung steht. Der hydraulische Abgleich wird vom Heizungsfachmann ausgeführt. Vor der Einstellung der Heizung ist eine Berechnung der Raumheizlast erforderlich. Anhand der Berechnungsergebnisse kann der Fachmann die erforderlichen voreinstellbaren Thermostatventile auswählen und die dazugehörigen Einstellungen festlegen und vornehmen.

Diese Maßnahmen sollten alle im Rahmen des Einbaus des neuen Heizkessels sofort bzw. zeitnah angegangen werden.

6.2 Maßnahmenpaket 2 – Türen, Tore und Fußboden

Im Maßnahmenpaket 2 würden die großen Undichtigkeiten in der Gebäudehülle geschlossen. Es würden die Außentüren und Rolltore ersetzt. In diesem Zusammenhang böte es sich an, dass die Maßnahmen an den Fußböden mit ausgeführt werden. So können Provisorien in den Bereichen der Türen und Tore vermieden werden.

Durch die Dämmung der Fußböden müssen evtl. auch die Innentüren angepasst werden. Es handelt sich dabei nur um die Lagertüren, da nur Fußboden 1 (FB1) gedämmt wird. Im Bereich des Fußboden 2 (FB2), der eine Vielzahl an Innentüren hätte, ist eine nachträgliche Dämmung nicht notwendig, da dieser bereits gedämmt ist. Im Aufschlagsbereich von Türen müsste die Dämmschicht gegebenenfalls dünner ausgeführt werden, damit sie den Türen nicht im Weg ist.

Die Außentüren und Rolltore sollten so eingebaut werden, dass in einem späteren Schritt problemlos ein Anschluss der Außendämmung möglich ist. Es ist auf eine luftdichte Ausführung der Anschlüsse zu achten.

Dieses Maßnahmenpaket sollte innerhalb der nächsten 5 Jahre umgesetzt werden.

6.3 Maßnahmenpaket 3 – Dachsanierung mit Lichtkuppeln

In einem nächsten Paket sollte das Dach (DA2) gedämmt und die Lichtkuppeln (LK1) ersetzt werden. Im Zuge der Dacharbeiten sollte der Dachüberstand bereits für die spätere Dämmung der Außenwände vorbereitet werden. Die Dachflächendämmung sollte bis auf die Mauerkronen der aufgehenden Außenwände gezogen werden, um spätere Wärmebrücken zu vermeiden. Die Herstellung der luftdichten Schicht ist lückenlos umzusetzen. Die Funktionstüchtigkeit der luftdichten Schicht sollte mittels eines Luftdichtheitstests im Anschluss überprüft werden.

Bei der Erneuerung des Dachs sollten alle Durchdringungen bzw. Installationen für die spätere Anlagentechnik beachtet werden. Die spätere Installation einer Solaranlage sollte vorbereitet werden, indem Anker und Leitungsdurchführungen schon installiert werden. So kann die Montage der Solaranlage einfach und ohne Beschädigung der vorhandenen Dachkonstruktion erfolgen.

Bei der Montage der Lichtkuppeln ist auf den lückenlosen Anschluss der Wärmedämmung und der luftdichten Ebene besonders zu achten.

Das Dach zeigt auf der Unterseite bereits erste Schädigungen durch Rost. Spätestens wenn es zu Undichtigkeiten in diesem Bereich oder der Lichtkuppeln kommt und diese ersetzt werden müssen, sollte das Gesamtpaket umgesetzt werden. Ansonsten sollte das Maßnahmenpaket in einem Zeitraum von 2020-2025 umgesetzt werden.

6.4 Maßnahmenpaket 4 – Außenwand und Fenster

In Maßnahmenpaket 4 würden die Außenwand (AW2) gedämmt und die Fenster ersetzt.

Der Untergrund der Außenwand ist gemäß Herstellervorschrift für die Aufbringung der Dämmung vorzubereiten. Auf die Außenwände wird ein Wärmedämmverbundsystem mit einer Dämmstärke von 8 cm (WLS 025) aufgebracht. Vorhandene Verkleidungen an der Traufe sind zu öffnen, um die Dämmung bis zum vorbereiteten Anschluss im Dachbereich zu führen. Im Bereich der Türen und Tore ist eine Laibungsdämmung vorzusehen. Wurden die Fenster bündig zur Außenwand montiert, bildet die Wanddämmung die Fensterlaibung. Die Fensterrahmen sollten so weit wie möglich überdämmt werden.

Bei den Anschlüssen zu Fenstern, Türen und Dach ist besonders auf eine wärmebrückenminimierende und luftdichte Ausführung zu achten. Die Außen- und Innenfugen sind sorgfältig auszubilden. Die Zu- und Abluftöffnungen für die bestehenden Lüftungsanlagen sind wärmebrückenfrei in die Außenwanddämmung zu integrieren.

Die neuen Fenster sollten so montiert werden, dass die Fensterrahmen möglichst bündig zum bestehenden Außenputz eingebaut werden. Damit werden im Endzustand tiefe Außenfensterlaibungen (sogenannte Schießscharten-Optik) und hohe Wärmebrückenverluste vermieden. Beim Einbau der neuen Fenster ist auf die luftdichte Ausführung der Innenfugen zum angrenzenden Mauerwerk zu achten.

Dieses Maßnahmenpaket sollte im Zeitraum 2025-2030 umgesetzt werden.

6.5 Maßnahmenpaket 5 – Regenerative Energieversorgung

Als letztes Maßnahmenpaket würde die regenerative Anlagentechnik umgesetzt. Die Heizung würde durch eine Grundwasser-Wärmepumpe ersetzt und auf dem Dach würde eine Photovoltaikanlage installiert.

Da diese Maßnahme erst in einem Zeitfenster 2033-2038 umgesetzt werden sollte, sollte hier nochmals eine Überprüfung der Heizungs-Konzeption erfolgen. Schließlich wird sich die Technik bis dahin weiterentwickelt haben und vielleicht sind noch effizientere Produkte / Systeme auf dem Markt verfügbar.

Das Gebäude ist zu diesem Zeitpunkt schon optimiert, so dass die Heizlast deutlich gesunken ist. Die Wärmepumpe kann nun wesentlich kleiner ausgelegt werden, wie es noch bei dem Gasbrennwertkessel der Fall war. In Verbindung mit der Heizlast stehen auch die Systemtemperaturen auf dem Prüfstand. Eine Absenkung der Vorlauftemperatur erschließt große Einsparpotenziale. Bei der schrittweisen energetischen Sanierung sollte nach Umsetzung von Maßnahmen an der Gebäudehülle geprüft werden, ob eine Absenkung der Vorlauftemperatur durchgeführt werden kann, ohne auf eine komfortable Raumtemperatur zu verzichten.

Die Photovoltaik-Anlage auf dem Dach ist der ideale Partner der Wärmepumpe. Der Strom kann aber natürlich auch Einsparungen für den Nutzerstrom ergeben.

7 Ausblick

Für die Gebäude der WSV wurde eine umfassende Datenbank entwickelt, die die Grundlage für den systematischen Aufbau eines Energiemanagements bzw. Gebäudemanagement sein kann. Die Ergebnisse zeigen teils schon gute Ergebnisse. Aber es gibt auch einen großen Gebäudebestand bei dem noch Handlungsbedarf herrscht.

Die Untersuchungen haben aufgezeigt, dass die energetische Optimierung der WSV-Gebäude nach einem Sanierungsfahrplan stattfinden muss. Bei den meisten Maßnahmen ist die Wirtschaftlichkeit nur in Kombination mit planmäßig anstehenden nicht-energetischen Sanierungsmaßnahmen gegeben, so dass in den meisten Fällen eine vorausschauende Planung möglich wird.

Nach einer Priorisierung der Gebäude auf der Grundlage des Energieverbrauchs sollten diese Fahrpläne nun für jedes Gebäude aufgestellt werden. Mit den Ergebnissen, die bei diesen weiteren Untersuchungen erstellt werden, sollte die Datenbank weiter zu einem funktionierenden kontinuierlichen Gebäudemanagement ausgebaut werden.

Um zukünftig Zugriff auf aktuelle Verbrauchsdaten zu erhalten, sollte angedacht werden, bei dem turnusmäßigen Ersatz von Zählern fernauslesbare digitale Zähler einzusetzen. Des Weiteren wird man in dem einen oder anderen Außenbezirk generell eine funktionierende Zählerinfrastruktur aufbauen müssen. Nur wenn man weiß, was man wo verbraucht, können Energieeinsparpotentiale generiert werden. Diese fernauslesbaren Zähler würden es auch deutlich vereinfachen, die notwendigen Daten ohne Mehraufwand an Personal zu generieren.

Das ein oder andere Gebäude eines Außenbezirk oder Bauhof wird sicherlich auch neu gebaut werden müssen. Hierbei sollte an die Vorbildfunktion des Bundes gedacht werden und nur noch Konzepte umgesetzt werden, die auf einem regenerativen Energiekonzept beruhen. Ein hoher wärmetechnischer Baustandard als Niedrigstenergiegebäude ist ab 2019 sowieso durch die europäische Gesetzgebung vorgegeben.

Die fossilen Energieträger sind endlich, weshalb deren fortgesetzte Nutzung unweigerlich zu steigenden Kosten und Versorgungsengpässen führen wird.

Langfristig und volkswirtschaftlich betrachtet werden diese Energieeffizienzmaßnahmen eine positive Rendite erwirtschaften. Dies ist aber nur möglich, wenn der Gebäudebestand vorausschauend und zielorientiert bewirtschaftet wird. Nur so lassen sich die schlummernden Potentiale zum richtigen Zeitpunkt effizient heben. Die Sanierungen bzw. auch der Neubau von Gebäuden ist daher in eine immobilienwirtschaftliche Gesamtstrategie einzubetten. Diese Strategie

funktioniert nur über die gebäudeindividuellen Sanierungsfahrpläne, in die die zukünftige Nutzungsstrategie der Gebäude mit einfließen muss.

Bundesanstalt für Wasserbau
Karlsruhe, November 2017

Literaturverzeichnis

Bahr, Carolin (2008): Realdatenanalyse zum Instandhaltungsaufwand öffentlicher Hochbauten. Ein Beitrag zu Budgetierung. Karlsruhe (Karlsruhe Reihe).

Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege (Hg.) (1992): Charta von Venedig. Arbeitsblätter des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2017): Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen - 1. BImSchV). 1. BImSchV.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hg.) (2017a): Forschungsinitiative Zukunft Bau. Online verfügbar unter <http://www.forschungsinitiative.de/>, zuletzt aktualisiert am 18.07.2017, zuletzt geprüft am 20.07.2017.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hg.) (2017b): Informationsportal Nachhaltiges Bauen. Online verfügbar unter <http://www.nachhaltigesbauen.de/>, zuletzt geprüft am 20.07.2017.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hg.) (2017c): Informationsportal Nachhaltiges Bauen: Nachhaltiges Bauen - Nachhaltiges Bauen - Begriffsbestimmung zur Nachhaltigkeit. Online verfügbar unter <http://www.nachhaltigesbauen.de/nachhaltiges-bauen/nachhaltiges-bauen/begriffsbestimmung-zur-nachhaltigkeit.html>, zuletzt geprüft am 20.07.2017.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Hg.) (2017): Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB). Online verfügbar unter <https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/>, zuletzt geprüft am 03.08.2017.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit; BMUB; www.bmub.bund.de (2016): Leitfaden Nachhaltiges Bauen. Zukunftsfähiges Planen, Bauen und Betreiben von Gebäuden. Ausgabe 2016. 2. Aufl. Berlin.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hg.) (2010): Energiekonzept. für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. Berlin.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hg.) (2015): Energieeffizienzstrategie Gebäude. Wege zu einem nahezu klimaneutralen Gebäudebestand. Berlin.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hg.) (2017): Handbuch für Energieberater. Anleitung mit Tipps und Tricks zur Umsetzung. Mein Sanierungsfahrplan. Berlin.

Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (Hg.) (2015): Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand. Berlin.

DIN 4108-2:2013-02: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz.

DIN 31051:2012-09: Grundlagen der Instandhaltung.

DIN EN ISO 7730:2006-05: Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit (ISO 7730:2005); Deutsche Fassung EN ISO 7730:2005.

DIN EN ISO 50001:2011-12: Energiemanagementsysteme - Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung.

DIN V 4108-6:2003-06: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs.

DIN V 18599 Beiblatt 1:2010-01: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Beiblatt 1: Bedarfs-/Verbrauchsabgleich.

DIN V 18599-1:2011-12: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger.

DIN V 18599-2:2011-12 Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 2: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen.

DIN V 18599-3:2011-12 Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 3: Nutzenergiebedarf für die energetische Luftaufbereitung.

DIN V 18599-4:2011-12 Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 4: Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung.

DIN V 18599-5:2011-12 Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 5: Endenergiebedarf von Heizsystemen.

DIN V 18599-6:2011-12 Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 6: Endenergiebedarf von Lüftungsanlagen, Luftheizungsanlagen und Kühlsystemen für den Wohnungsbau.

DIN V 18599-7:2011-12 Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 7: Endenergiebedarf von Raumlufttechnik- und Klimakältesystemen für den Nichtwohnungsbau.

DIN V 18599-8:2011-12 Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 8: Nutz- und Endenergiebedarf von Warmwasserbereitungssystemen.

DIN V 18599-9:2011-12 Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 9: End- und Primärenergiebedarf von stromproduzierenden Anlagen.

DIN V 18599-10:2011-12 Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten.

DIN V 18599-11:2011-12 Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 11: Gebäudeautomation.

Energieeinsparverordnung (2013): EnEV 2014.

Erhorn, Hans; Jagnow, Kati (2013): Bilanzierungsverfahren nach der neuen DIN V 18599 (DIN V 18599-1). In: Nabil A. Fouad (Hg.): Bauphysik-Kalender 2013. Nachhaltigkeit und Energieeffizienz. Berlin: Ernst, S. 209–249.

Europäische Union (2010): Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden.

Europäisches Parlament, Rat der Europäischen Union (2012): Richtlinie 2012/27/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Oktober 2012 zur Energieeffizienz, zur Änderung der Richtlinien 2009/125/EG und 2010/30/EU und zur Aufhebung der Richtlinien 2004/8/EG und 2006/32/EG Text von Bedeutung für den EWR.

Fachstelle 2000-Watt-Gesellschaft (Hg.) (2017): 2000-Watt-Gesellschaft. Online verfügbar unter <http://www.2000watt.ch/>.

FIZ Karlsruhe – Leibniz-Institut für Informationsinfrastruktur GmbH (Hg.) (2017): Forschung für energieoptimierte Gebäude und Quartiere - Forschungsinitiative Energie Wende Bauen. Online verfügbar unter <https://projektinfos.energiewendebauen.de/>, zuletzt aktualisiert am 19.07.2017, zuletzt geprüft am 19.07.2017.

Geilhausen, Marko; Bränzel, Juliane; Engelmann, Dirk; Schulze, Olaf (Hg.) (2015): Energiemanagement. Für Fachkräfte, Beauftragte und Manager. Wiesbaden: Springer Fachmedien.

Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden. (Energieeinsparungsgesetz - EnEG). (2013)

Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-WärmeG - EEWärmeG). (2011)

Girbig, Paul (2013): Energiemanagement gemäß DIN EN ISO 50001. Systematische Wege zu mehr Energieeffizienz. 1. Aufl. Berlin [u.a.]: Beuth (Beuth Praxis).

Hausladen, Gerhard; de Saldanha, Michael; Liedl, Petra (2006): ClimaSkin. Konzepte für Gebäudehüllen, die mit weniger Energie mehr leisten. München: Callwey.

Hausladen, Gerhard; de Saldanha, Michael; Liedl, Petra; (2012): Klimagerecht Bauen. Ein Handbuch. Basel: De Gruyter.

Hausladen, Gerhard; de Saldanha, Michael; Liedl, Petra; Sager, Christina (2005): ClimaDesign. Lösungen für Gebäude, die mit weniger Technik mehr können. München: Callwey.

Hegger, Manfred (Hg.) (2008): E life. Lebenszyklusbetrachtung und Optimierung von Instandsetzungsprozessen im Wohnungsbau. Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verl. (Bauforschung für die Praxis, 86).

Hegger, Manfred; Fuchs, Matthias; Stark, Thomas; Zeumer, Martin (Hg.) (2008): Energie Atlas. Nachhaltige Architektur. Basel: Birkhäuser.

Junghans, Antje (Hg.) (2009): Bewertung und Steigerung der Energieeffizienz kommunaler Bestandsgebäude. Entwicklung eines ganzheitlichen Verfahrens für die kommunale Praxis. 1. Aufl. Wiesbaden: Gabler (Gabler research).

Kalusche, Wolfdietrich; Herkel, Sebastian (2016): Bauen im Bestand – Regelwerke, Begriffe, Verfahren und Beispiele. 5. Aufl.

Minsiterium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (Hg.) (2015): Musterbericht: Der Sanierungsfahrplan Baden-Württemberg.

Projekträger Jülich (Hg.) (2017): Forschungsnetzwerk Energie in Gebäuden und Quartieren - Startseite. Online verfügbar unter <https://www.forschungsnetzwerke-energie.de/gebaeude-und-quartiere>, zuletzt geprüft am 20.07.2017.

SIA 2040, 01.05.2017: SIA-Effizienzpad Energie.

Streck, Stefanie (2011): Wohngebäudeerneuerung. Nachhaltige Optimierung von Wohnungsbestand. Berlin: Springer.

TECSON GmbH & Co. KG (Hg.) (2017): Historische Ölpreise. Entwicklung u. Verlauf der Ölpreise - TECSON. Online verfügbar unter <http://www.tecson.de/historische-oelpreise.html>, zuletzt geprüft am 21.07.2017.

Verordnung über die Honorare für Architekten- und Ingenieurleistungen – HOAI. (2013).

VDI 2067-1:2012-09: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen - Grundlagen und Kostenberechnung.

Anlage 1

Energetische Untersuchung Außenbezirk Duisburg

Energetische Untersuchung

Teil B2

Beratungsbericht Außenbezirk Duisburg

Objekt:

Wasser- und Schifffahrtsamt Duisburg - Rhein
Betriebsgebäude
Außenbezirk Duisburg
Ruhrorter Straße 44
47198 Duisburg

Auftraggeber:

Bundesanstalt für Wasserbau
Kußmaulstr. 17
76187 Karlsruhe

Der Sachverständige für Schall- und Wärmeschutz

Haake Planen und Bauen
Herr Jörg Haake
Heinrich – Gellissen – Str. 9
50769 Köln - Worringen

aufgestellt, Köln 11.11.2015

Inhaltsangabe

| | |
|--|-----------|
| Teil B2 | 3 |
| Zusammenfassung | 3 |
| Variantenübersicht | 4 |
| 1: Betriebswerksgebäude Duisburg | 5 |
| 2. Zonen..... | 5 |
| 3. Energieverbrauch..... | 9 |
| 4. Vergleich Bedarf / Verbrauch | 11 |
| 5. Energetische Mängel | 11 |
| 6. Erreichen der EnEV – Altbau-Grenzwerte..... | 12 |
| 7. Anwendung angepasster Nutzungsprofile | 12 |
| 8. Erreichen der EnEV-Neubau-Grenzwerte | 13 |
| 9. Nutzung von 100% regenerativer Energie | 14 |
| 10. Wirtschaftlichkeit | 15 |
| 11. Die wirtschaftlich sinnvolle Variante | 17 |
| 12. CO2 und Schadstoffe | 18 |
| Teil C2 | 19 |
| Teil D2 | 19 |
| Anhang | 20 |
| Bedarfsberechnung Endenergie Bestand vor Optimierung | 20 |
| Bedarfsberechnung Endenergie Altbau-Grenzwert | 21 |
| Bedarfsberechnung reduziertes beheiztes Volumen | 22 |
| Tabelle der verwendeten Bauteile, Bestand vor Optimierung..... | 23 |

Teil B2

Zusammenfassung

Das Betriebsgebäude Wasser- und Schifffahrtsamt Duisburg – Rhein Außenbezirk Duisburg hat einen hohen Wärme- und Stromverbrauch.

Eine wesentliche Ursache für hohe Verbrauchswerte ist in der Nettogrundrissfläche als Bezugsgröße zu sehen. Das Wasser- und Schifffahrtsamt gibt 360 qm an. Nach grafischer Ermittlung wird von einer Bezugsgröße von 910 qm ausgegangen.

Bei differenzierter Betrachtung kann festgestellt werden, dass die Betrachtung der Endenergieverbräuche wichtiger ist als der ausgewiesene Primärenergieverbrauch. Es wird festgestellt, dass ein großer Teil des Verbrauchs durch Strom erzeugt wird, der für andere Zwecke als die Beleuchtung oder Kühlung des Gebäudes verwendet wird. Daher wird empfohlen, die Verbräuche getrennt zu erfassen.

Das Gebäude verfehlt nur knapp die Altbaugrenzwerte der Energieeinsparverordnung (EnEV). Der mittlere Transmissionswärmekoeffizient der Gebäudehülle erfüllt den Altbau-Grenzwert. Durch Austausch des vorhandenen NT-Kessels gegen eine Brennwerttherme kann der für Altbauten vorgeschriebene max. Primärenergiebedarf eingehalten werden.

Eine Reduzierung des Energiebedarfs auf Neubau-Niveau scheitert an den Anforderungen an die thermische Gebäudehülle, die aus technischen und wirtschaftlichen Gründen nicht auf das geforderte Niveau gebracht werden kann.

Es wird empfohlen eine Beratung durch einen Fachplaner für Technische Gebäudeausrüstung (TGA) einzuholen.

Es wird festgestellt, dass das beheizte Volumen der dauerhaft genutzten Büros und Sozialräume etwa ein Drittel des gesamten Volumens ausmachen. Lagerräume und Werkstätten, die nur gelegentlich genutzt werden, brauchen keine dauerhafte Bereitstellung von Wärme und Licht. Es ist möglich, die Werkstätten über eine eigene Therme zu versorgen, sodass die gelegentliche Nutzung besser kontrollierbar ist. Darüber hinaus gibt es programmierbare Heizkörperventile, die den Bedarfsspitzen entsprechend Wärme abgeben.

Durch Reduzierung des beheizten Volumens und den Einsatz einer Brennwerttherme können jährlich 77 t CO₂ eingespart werden.

Variantenübersicht

Außenbezirk Duisburg
19.11.2015

| Einheit | Verbrauch vor Beginn Untersuchung kWh/m²a | Verbrauch nach Untersuchung kWh/m²a | EnEV Bestandsberechnung kWh/m²a | EnEV Altbau-grenzwert kWh/m²a | EnEV Neubau-grenzwert kWh/m²a | Bestand EEWärmeG n. eingehalten kWh/m²a | EEWärmeG eingehalten [1] kWh/m²a | EEWärmeG eingehalten [1] kWh/m²a |
|---|---|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---|----------------------------------|----------------------------------|
| Gebäude-nutzfläche | 360 qm | 909,8 qm | 909,8 qm | 909,8 qm | 909,8 qm | F-Wärme 314 qm | W-pumpe 314 qm | Holzpellet 314 qm |
| Primärenergie-bedarf Q _P bezogen auf Gebäudenutzfläche | 847 | 335 | 298 | 283 | 325 | 61,4 | 191 | 86 |
| maximal zulässiger Primärenergie-bedarf | - | - | 292 | 291 | 339 | ENEV: 224 EEWärmeG: 191 | 242 | 242 |
| Endenergie Wärme | 312 | 123 | 255 | 255 | 284 | - | - | - |
| Endenergie Strom | 210 | 83 | 20 | 20 | 19 | - | - | - |

[1] Austausch der Fenster gegen hochdämmende neue Konstruktionen erforderlich

1: Betriebswerksgebäude Duisburg

Das Gebäude wurde 1994 in Massivbauweise im Homberger Hafen errichtet. Der Baukörper ist stark gegliedert, der westlich gelegene Flügel enthält im Untergeschoss Sozialräume und im Obergeschoss Büros. Daran schließen sich östlich Werkstätten und Lagerräume an. Das Gebäude liegt im Schenkel von Brückenrampen relativ windgeschützt. Die Außenwände wurden als zweischaliges Mauerwerk mit Kerndämmung ausgeführt. Die Fenster sind als Kunststoff-Fenster gutdämmend und dichtschießend. Das Dach ist in Sparrenlage gedämmt.

| Bauteil | Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten bezogen auf die Mittelwerte der jeweiligen Bauteile | |
|---|--|-------------------------------|
| | Zonen >= 19°C | Zonen 12 bis < 19°C |
| 1 Opake Außenbauteile, soweit nicht in Bauteilen der Zeile 3 und 4 enthalten | Ist U = 0.36 W/(m²K) max U = 0.49 W/(m²K) ✓ | ----- max U = 0.70 W/(m²K) |
| 2 Transparente Außenbauteile, soweit nicht in Bauteilen der Zeile 3 und 4 enthalten | Ist U = 2.37 W/(m²K) max U = 2.66 W/(m²K) ✓ | ----- max U = 3.92 W/(m²K) |
| 3 Vorhangfassaden | ----- max U = 2.66 W/(m²K) | ----- max U = 4.20 W/(m²K) |
| 4 Glasdächer, Lichtbänder Lichtkuppeln | ----- max U = 4.34 W/(m²K) | ----- max U = 4.34 W/(m²K) |

Die thermische Gebäudehülle erfüllte die Anforderungen der EnEV 2014

2. Zonen

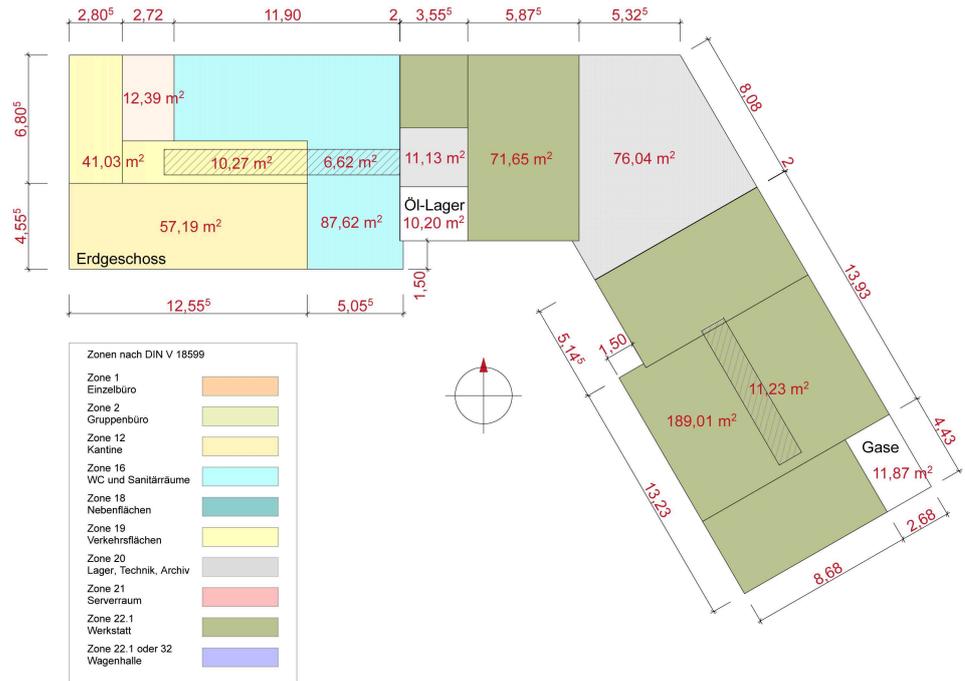
Im Betriebsgebäude des Außenbezirks Duisburg werden die in nachfolgender Tabelle aufgeführten Nutzungszonen unterschieden. Demnach ist die Nutzung „Lager + Technik“ als Hauptnutzung anzusehen.

Nutzungsanteile nach EnEV

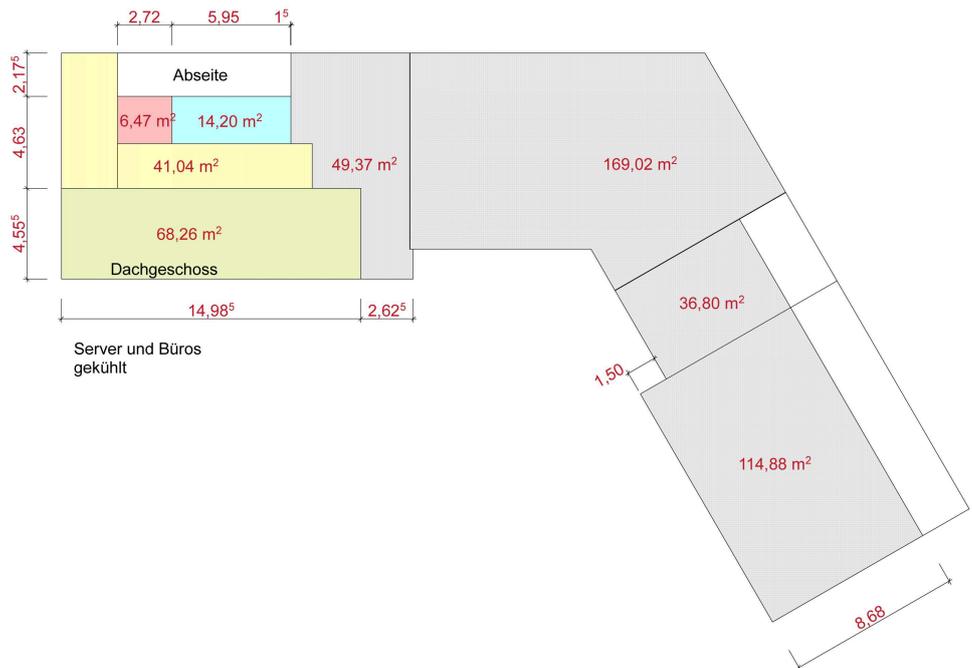
| | | | |
|-----------|---------------------------------------|--------------------------|-------------|
| Zone 1- 2 | Büronutzung OG | = | 68,26 qm |
| Zone 12 | Kantine (Pausenraum) | = | 57,19 qm |
| Zone 16 | Sanitärräume und Umkleiden | 87,62+14,20 | = 101,82 qm |
| Zone 18 | Nebenflächen EG | | = 12,39 qm |
| Zone 19 | Verkehr | 41,03+34,94 | = 75,97 qm |
| Zone 20 | Lager, Technik, Archiv / ausgebaut | 11,13+76,04+169,02+49,37 | = 305,56 qm |
| Zone 21 | Sererraum | | = 6,47 qm |
| Zone 22 | Werkstatt | 71,65+189,01 | = 260,66 qm |
| SUMME | | | 888,32 qm |

| | | | |
|---------|--|--------------|-------------|
| Zone 20 | Lager / Dachboden / nicht ausgebaut | 36,80+114,88 | = 151,68 qm |
|---------|--|--------------|-------------|

Hinweis: die angegebenen Flächen sind weder NGF noch BGF –Angaben, sondern Brutto – EnEV-Flächen mit Bezug auf die thermische Gebäudehülle!



Grundriss Erdgeschoss



Grundriss Obergeschoss

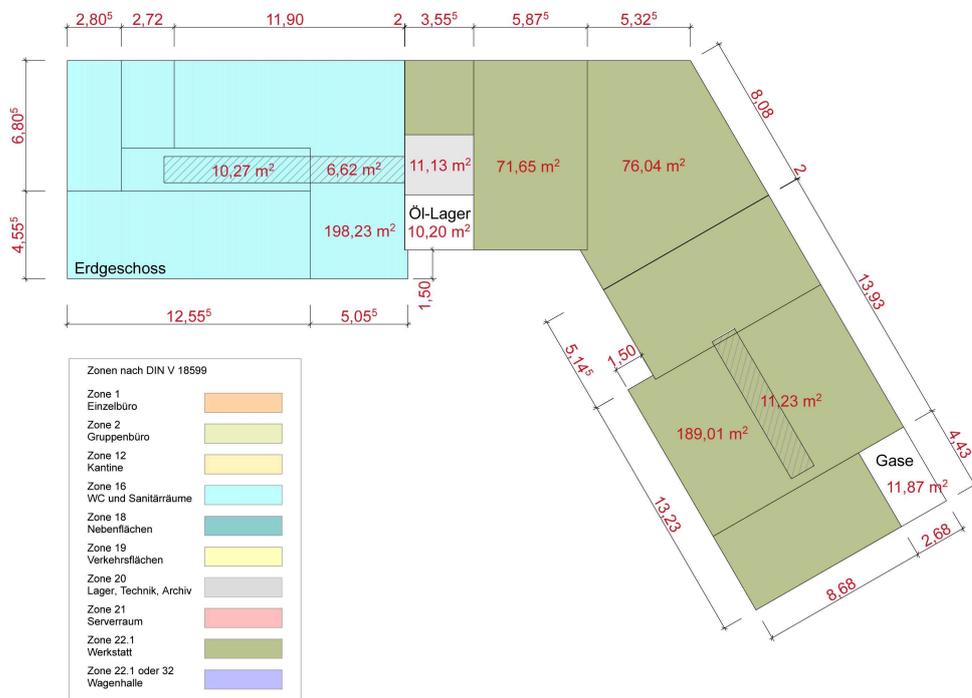
Im Betriebsgebäude Duisburg sind auf den ersten Blick sieben unterschiedliche Zonen zu unterscheiden. Die ausgebauten Lagerräume (Zone 20) in den Dächern über den Werkstätten liegen innerhalb des beheizten Volumens. Sie bilden 33% der gesamten Fläche. Zieht man die nicht ausgebauten Lagerräume hinzu, beträgt die Lagerfläche 43% der Gesamtfläche. Die Werkstätten machen 30 % aus. Sowohl die Werkstätten als auch die Lagerflächen werden nur gelegentlich genutzt. Die dauernd genutzten Büroräume machen nur einen Anteil von 8% der Fläche aus.

Das Öllager und das Gaslager sind direkt mit der Außenluft verbunden. Es handelt sich um unbeheizte Räume.

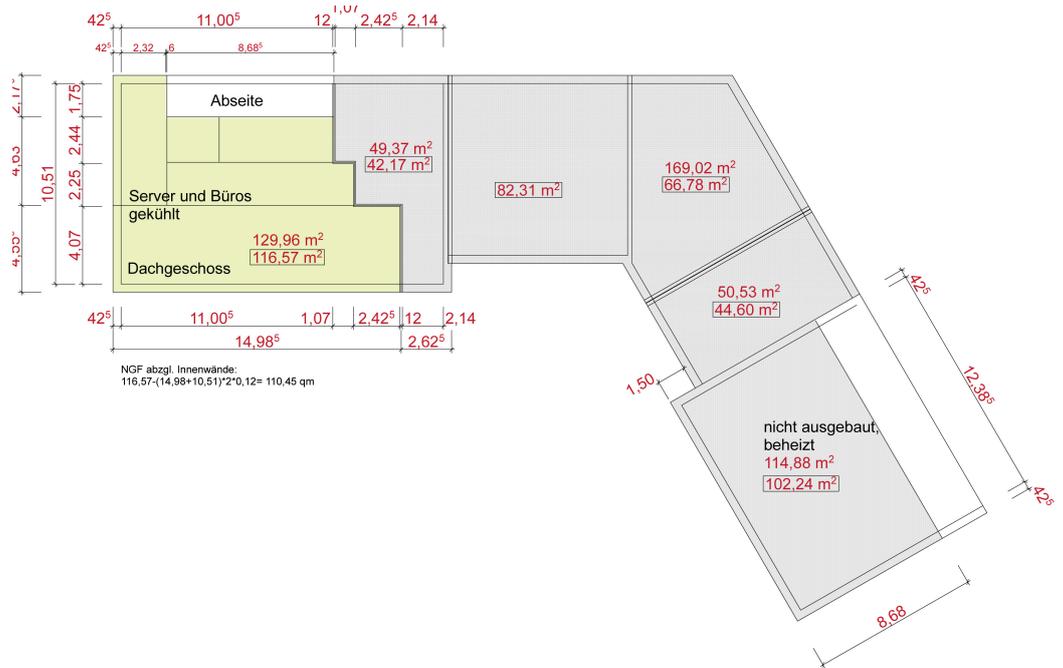
Die größte funktionale Aufsplitterung findet sich im letzten Drittel der beheizten Fläche – im Bereich der Büros und Sozialräume – statt. Die Sozialräume werden morgens und abends jeweils 1 – 1,5 Stunden genutzt. Die Büros werden ganztägig genutzt und sie verfügen über eine Kühlung.

Unter diesen Voraussetzungen ist es gerechtfertigt, die Zoneneinteilung in der hierunter dargestellten Weise zu vereinfachen.

| Zonenname | Profil | NGF/ | Anteil | Vol | netto Vol. |
|--|--|----------------|--------|----------------|----------------|
| | | EnEV | | | |
| | | m ² | % | m ³ | m ³ |
| Lager + Technik | 20 Lager, Technik, Archiv | 347.9 | 38.2 | 725.6 | 492.2 |
| 22 Werkstatt, Montage, Fertigung | 22 Werkstatt, Montage, Fertigung | 292.9 | 32.2 | 1214.0 | 976.5 |
| 2 Gruppenbüro (zwei bis sechs Arbeitsplätze) | 2 Gruppenbüro (zwei bis sechs Arbeitsplätze) | 110.4 | 12.1 | 334.2 | 269.9 |
| 16 WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden | 16 WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden | 158.6 | 17.4 | 545.1 | 425.7 |
| SUMME | | 909.8 | | | |
| Zum Vergleich | NGF-Angabe des Schifffahrtamtes | 360.0 | | | |



Grundriss Erdgeschoss



Grundriss Obergeschoss

Für dieses Gebäude werden die folgenden Grenzwerte errechnet:

| | |
|-----------------------------------|-----------------|
| Jahres-Primärenergiebedarf Q_p | |
| bezogen auf die Gebäudenutzfläche | 298.1 [kWh/m²a] |
| maximal zulässiger Jahres- | |
| Primärenergiebedarf: | 291.6 [kWh/m²a] |

Die Altbaugrenzwerte der EnEV werden um 2 % überschritten. Zum Neubauniveau müsste der Energiebedarf 44% niedriger sein. Durch andere Verordnungen werden insbesondere die Anforderungen an die Qualität der thermischen Gebäudehülle (mittlerer Transmissionswärmekoeffizient $H't$) weiter verschärft.

Die Detaillerggebnisse der Berechnungen zum IST – Bedarf liegen in einem gesonderten Teil vor. Der hier ermittelte Endenergiebedarf (siehe auch Tabelle in der Anlage) beträgt:

| | | |
|--------|------------------|---------------------------------|
| Wärme: | 232.033 / 910 qm | = 254.98 kWh/m²a |
| Strom: | 18.261 / 910 qm | = 20.06 kWh/m²a (inkl. Kühlung) |

3. Energieverbrauch

Der Energieverbrauch des Gebäudes wurde ermittelt auf der Basis der Verbrauchsabrechnungen der Jahre 2012-2014, die vom Außenbezirk zur Verfügung gestellt wurden.

Die Bezugsfläche ist die in der Bedarfsermittlung nach DIN 18599 ermittelte Fläche von 910 qm (Nettogrundfläche nach EnEV).

Die vorgeschriebene Klimabereinigung wird vom Programm „rowasoft“ automatisch übernommen.

ENERGIEAUSWEIS für Nichtwohngebäude

gemäß den §§ 16 ff. der Energieeinsparverordnung (EnEV) vom ¹ 18.11.2013

Erfasster Energieverbrauch des Gebäudes

Registriernummer ²
(oder: "Registriernummer wurde beantragt am ...")

3 N

Endenergieverbrauch

Endenergieverbrauch Wärme
[Pflichtangabe in Immobilienanzeigen]
123 kWh/(m²·a)

↑ Vergleichswert dieser Gebäudekategorie für Heizung und Warmwasser ³

Warmwasser enthalten

Endenergieverbrauch Strom
[Pflichtangabe in Immobilienanzeigen]
83 kWh/(m²·a)

↑ Vergleichswert dieser Gebäudekategorie für Strom ³

Der Wert enthält den Stromverbrauch für

Zusatzheizung
 Warmwasser
 Lüftung
 eingebaute Beleuchtung
 Kühlung
 Sonstiges

Verbrauchserfassung

| Zeitraum | | Energieträger ⁴ | Primär-energie-faktor | Energieverbrauch Wärme [kWh] | Anteil Warmwasser [kWh] | Anteil Heizung [kWh] | Klima-faktor | Energieverbrauch Strom [kWh] |
|------------|------------|----------------------------|-----------------------|------------------------------|-------------------------|----------------------|--------------|------------------------------|
| von | bis | | | | | | | |
| 01.01.2012 | 31.12.2014 | Erdgas | 1,10 | 281.421 | 14.071 | 267.350 | 1,21 | |
| 01.01.2012 | 31.12.2014 | Strom | 2,40 | | | | 1,00 | 226.703 |
| | | | | | | | | |

Primärenergieverbrauch dieses Gebäudes

335 kWh/(m²·a)

Gebäudenutzung

| Gebäudekategorie/ Nutzung | Flächen-anteil | Vergleichswerte ³ | |
|------------------------------|----------------|------------------------------|-------|
| | | Heizung und Warmwasser | Strom |
| Produktion, Lager bis 3500m² | 100 % | 110 | 20 |
| | | | |

Erläuterungen zum Verfahren

Das Verfahren zur Ermittlung von Energieverbrauchskennwerten ist durch die Energieeinsparverordnung vorgegeben. Die Werte sind spezifische Werte pro Quadratmeter beheizte/gekühlte Nettogrundfläche. Der tatsächliche Energieverbrauch eines Gebäudes weicht insbesondere wegen des Witterungseinflusses und sich ändernden Nutzerverhaltens von den angegebenen Kennwerten ab.

¹ siehe Fußnote 1 auf Seite 1 des Energieausweises
 ² siehe Fußnote 2 auf Seite 1 des Energieausweises
 ³ veröffentlicht unter www.bbsr-energieeinsparung.de durch das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung im Einvernehmen mit dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
 ⁴ gegebenenfalls auch Leerstandszuschläge in kWh

Es wird ein Endenergie-Verbrauch ermittelt von

Wärme 123 kWh/m²a

Strom 83 kWh/m²a

Der Vergleichswert für diese Gebäudekategorie beträgt nach [4]

Wärme 110 kWh/m²a

Strom 20 kWh/m²a

Der Wärmeverbrauch liegt ca. 12% über dem Vergleichswert. Diese Abweichung kann man noch als vertretbar ansehen, nachfolgend werden jedoch Einsparpotentiale aufgezeigt.

Der Stromverbrauch liegt jedoch 415% über dem Vergleichswert.

Dieser hohe Stromverbrauch lässt sich aus dem Bedarf des Gebäudes für

- Beleuchtung
 - Kälte/Klima
 - Hilfsenergie für den Betrieb von Pumpen
- nicht erklären.

Auf Seite 8 wurde bereits ermittelt, dass der Bedarf an elektrischer Energie einschließlich Beleuchtung und Kühlung

18.261 kWh/a = ca. 20.0 kWh/m²a.

Das entspricht dem angegebenen Vergleichswert.

Der übrige Bedarf entsteht durch Verbraucher, die mit dem Gebäude nichts zu tun haben, wie zum Beispiel

- die Hofbeleuchtung,
- die Rohrbegleitheizung der Steiger,
- die Fäkalienhebeanlagen,
- die Stromversorgung von Schiffen
- oder dem Betrieb von Arbeitsmaschinen und Schweißgeräten.
-

Ein wesentlicher Verbraucher kann die große Druckluftanlage sein, die nach Aussage eines Mitarbeiters dauernd in Betrieb ist, weil man immer mal wieder Druckluft benötigt.

Diese Verbräuche werden zurzeit nicht getrennt erfasst.

4. Vergleich Bedarf / Verbrauch

Wirtschaftlichkeitsberechnungen vergleichen den Aufwand mit dem zu erzielenden Gewinn bzw. mit den Einsparungen.

Die nachfolgenden Bedarfs-Optimierungen werden in ihrem Ergebnis gewichtet nach dem festgestellten Verbrauch:

| | |
|---|--------------------------|
| IST – Endenergie-Verbrauch Wärme: | 123 kWh/m ² a |
| IST – Endenergie-Bedarfsberechnung Wärme: | 255 kWh/m ² a |

Der Faktor beträgt: $123 / 255 = 0,482$

Alle auf dem Weg der Bedarfsberechnung ermittelten Einsparungen sind um diesen Faktor zu reduzieren.

Der Unterschied zwischen dem gemessenen Verbrauch und dem errechneten Bedarf erklärt sich aus den methodischen Schwächen des normativen Berechnungsverfahrens nach DIN 18599. Die angenommenen Profile gehen von einer dauerhaften Nutzung aus, die tatsächlich nicht gegeben ist. Hierauf soll in Abschnitt 7 weiter eingegangen werden.

5. Energetische Mängel

Bei der Ortsbegehung wurden verschiedene Mängel festgestellt, die nachfolgend aufgeführt werden:

1. Das Gebäude entspricht nach der personellen Schrumpfung des Betriebs nicht länger den tatsächlichen Erfordernissen. Es ist zu groß. Werkstätten und Lagerräume brauchen nicht mehr beheizt zu werden. Das beheizte Volumen kann reduziert werden auf den Westflügel mit den Sozialräumen.
2. Thermische Gebäudehülle
Die Tore der Werkstätten sind nicht dicht und nicht dämmend. Dies findet sich auch wieder in der hier Tabelle der verwendeten Bauteile am Ende des Berichts. Die Tore machen - wie in Neuss - einen Anteil von 20,5 % aller Energieverluste aus. Darüber hinaus konnten keine wesentlichen Mängel festgestellt werden. Die vorliegenden Pläne und der Vor-Ort-Termin zeigten, dass 1994 sorgfältig gearbeitet wurde.
3. Heizung
Die Heizungsanlage besteht aus einem Niedertemperaturkessel mit einem Warmwasserspeicher und Radiatoren, die über 4 Kreise die Wärme an die Räume abgeben. Die Lagerräume verfügen über keine eigenen Heizkörper, sondern werden durch die Decke indirekt mit geheizt.
Der Niedertemperaturkessel ist am Ende seiner Lebenszeit. Darüber hinaus konnten keine wesentlichen Mängel festgestellt werden.
4. Elektrische Energie
Die Räume sind mit alten Langfeldleuchten ausgestattet mit sogenannten „konventionellen Vorschaltgeräten“. Diese Geräte benötigen relativ viel Strom. Hierzu gibt es Alternativen (siehe Teil A).

Die Büros im Obergeschoß und der Serverraum werden mit Hilfe von Splitgeräten gekühlt. Die Außengeräte hängen an der Nordseite im Schatten. Die Kühlung wirkt sich mit ca. 0.7 % nur geringfügig in der Energiebilanz aus.

6. Erreichen der EnEV – Altbau-Grenzwerte

Die Energieeinsparverordnung sieht vor, dass der Energiebedarf von Altbauten maximal bei 140 % des Grenzwertes für Neubauten liegen darf. Beim Betriebsgebäude Duisburg reicht es aus die vorhandene Niedertemperaturheizung gegen eine Brennwerttherme auszutauschen.

Der Bedarf wird hierdurch um 5.3 % gesenkt

| | |
|---|--|
| Jahres-Primärenergiebedarf Q_p bezogen auf die Gebäudenutzfläche maximal zulässiger Jahres- Primärenergiebedarf: | 282.4 [kWh/m ² a] 290.7 [kWh/m ² a] |
|---|--|

7. Anwendung angepasster Nutzungsprofile

Die EnEV 2014 legt in §1 den Geltungsbereich der Vorschrift fest. Hier wird in Absatz (2) auch geklärt, wann die EnEV keine Anwendung findet:

[...]

(2) Mit Ausnahme der §§ 12 und 13 gilt diese Verordnung nicht für

[...]

8. Wohngebäude, die für eine Nutzungsdauer von weniger als vier Monaten jährlich bestimmt sind, und

9. sonstige handwerkliche, landwirtschaftliche, gewerbliche und industrielle Betriebsgebäude, die nach ihrer Zweckbestimmung auf eine Innentemperatur von weniger als 12 Grad Celsius oder jährlich weniger als vier Monate beheizt sowie jährlich weniger als zwei Monate gekühlt werden. [Zitatende]

Die im Auftrag enthaltene Aufforderung über die Anwendung angepasster Nutzungsprofile nachzudenken, kann beim Gebäude des Außenbezirks Duisburg dazu führen, dass man die Beheizung der Werkstätten ganz in Frage stellt. Man benötigt keine dauernde Bereitstellung von Wärme und Licht in Räumen, die nur gelegentlich genutzt werden. Dann entfällt auch ein Nachweis nach EnEV für diese Bereiche.

Wenn diese Räume aus der Berechnung fallen reduziert sich die Nettogrundfläche nach EnEV auf 321 qm. Reduziert man das beheizte Volumen auf den Bereich der Sozialräume und der Büros erhält man ein Endergebnis, das auf den ersten Blick schlechter ist:

| | |
|---|--|
| Jahres-Primärenergiebedarf Q_p bezogen auf die Gebäudenutzfläche maximal zulässiger Jahres- Primärenergiebedarf: | 324.8 [kWh/m ² a] 338.6 [kWh/m ² a] |
|---|--|

Sowohl der ermittelte Primärenergiebedarf als auch der zulässige Grenzwert steigen. Die Altbaugrenzwerte werden auch unter den Bedingungen des EEWärmeG 2011 eingehalten.

Tatsächlich wird der Energiebedarf gegenüber dem Bestand wie folgt reduziert:

Wärme

232.033 kWh/a – 91.254.5 kWh/a = 140.778 kWh/a Einsparung (154 %)

Strom

18.261 kWh/a – 6.138 kWh/a = 12.123 kWh/a Einsparung (197%)

In Euro umgerechnet:

140.778 x 0,0866 + 12.123 x 0,2935 = 15.749 €/a

Gewichtet nach Verbrauch:

15.749 x 0,482 = 7.591 € brutto Einsparungen / a.

Solche Einsparungen lassen sich durch bauliche Maßnahmen nicht erzielen.

8. Erreichen der EnEV-Neubau-Grenzwerte

Für die nachfolgenden Überlegungen wird vom reduzierten Gebäude nach Abschnitt 7. ausgegangen. Die Nutzfläche nach EnEV beträgt 321 qm bei einem beheizten Volumen von 1.031 cbm.

Das Gebäude des Außenbezirks Duisburg hat eine hochwertige Klinkerfassade, eine gute Dämmung der Bodenplatte und ein ordentlich gedämmtes Dach. Dennoch werden die Grenzwerte für den Transmissionswärmebedarf überschritten, wenn man den Neubaugrenzwert zum Maßstab nimmt.

| Bauteil | | Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten bezogen auf die Mittelwerte der jeweiligen Bauteile | |
|---------|---|--|-------------------------------|
| | | Zonen >= 19°C | Zonen 12 bis < 19°C |
| 1 | Opake Außenbauteile, soweit nicht in Bauteilen der Zeile 3 und 4 enthalten | Ist U = 0.29 W/(m²K) max U = 0.35 W/(m²K) ✓ | ----- max U = 0.50 W/(m²K) |
| 2 | Transparente Außenbauteile, soweit nicht in Bauteilen der Zeile 3 und 4 enthalten | Ist U = 2.34 W/(m²K) max U = 1.90 W/(m²K) ! | ----- max U = 2.80 W/(m²K) |
| 3 | Vorhangfassaden | ----- max U = 1.90 W/(m²K) | ----- max U = 3.00 W/(m²K) |
| 4 | Glasdächer, Lichtbänder Lichtkuppeln | ----- max U = 3.10 W/(m²K) | ----- max U = 3.10 W/(m²K) |

Der Anforderungen an den mittleren Transmissionswärmeverlustkoeffizient erfordern jetzt den Austausch von Fenstern.

| Bauteil | Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten bezogen auf die Mittelwerte der jeweiligen Bauteile | |
|---|--|---|
| | Zonen $\geq 19^{\circ}\text{C}$ | Zonen 12 bis $< 19^{\circ}\text{C}$ |
| 1 Opake Außenbauteile, soweit nicht in Bauteilen der Zeile 3 und 4 enthalten | Ist U = 0.29 W/(m ² K) max U = 0.35 W/(m ² K) ✓ | ---- max U = 0.50 W/(m ² K) |
| 2 Transparente Außenbauteile, soweit nicht in Bauteilen der Zeile 3 und 4 enthalten | Ist U = 1.55 W/(m ² K) max U = 1.90 W/(m ² K) ✓ | ---- max U = 2.80 W/(m ² K) |
| 3 Vorhangfassaden | ---- max U = 1.90 W/(m ² K) | ---- max U = 3.00 W/(m ² K) |
| 4 Glasdächer, Lichtbänder Lichtkuppeln | ---- max U = 3.10 W/(m ² K) | ---- max U = 3.10 W/(m ² K) |

Durch den Austausch aller Kunststoff-Fenster gegen hochwertige Fenster mit einer Verglasung $U_g=0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ wird die EnEV- Anforderung erfüllt. Gemäß Erneuerbare Energie und Wärmegesetz (EEWärmeG 2011) werden an öffentliche Gebäude zusätzliche Anforderungen gestellt. Der H_T-Wert muss $< 0,381 \text{ W/m}^2\text{K}$ sein. Durch eine zusätzliche Dämmung von 200mm im Bereich der nördlich gelegenen Abseite und 400mm im Spitzboden kann dieser Wert auf $0,377 \text{ W/m}^2\text{K}$ gebracht werden. Es sind zur Einhaltung der EnEV-Neubau-Vorgaben weitere Dämm-Maßnahmen an den Außenwänden notwendig, die technisch und wirtschaftlich nicht sinnvoll erscheinen.

Die Untersuchung zeigt, dass die Einhaltung der EnEV-Neubau-Grenzwerte durch reine Optimierungsmassnahmen nicht möglich ist.

9. Nutzung von 100% regenerativer Energie

Im Rahmen der Untersuchung soll festgestellt werden, welche Möglichkeiten zur Nutzung erneuerbarer Energien bestehen. Hierzu gibt es im Allgemeinen verschiedene Systeme:

- Wärmepumpenanlagen
- Kraftwärmekopplungen
- Biokessel

Die erforderliche Nennleistung der Kesselanlage für das reduzierte Gebäude wird mit ca. 32 KW berechnet. Diese Leistungsanforderung kann auch durch Zuschaltung von Wasser-Wasser-Wärmepumpenanlagen erreicht werden, wie dies bereits im Betriebsgebäude des Außenbezirks Neuss untersucht wurde. Hier wurde auch nachgewiesen, dass mit einer solchen Anlage das Neubau-Niveau nach EnEV eingehalten wird, aber die Wirtschaftlichkeit nicht darstellbar ist.

Anlagen zur Kraftwärmekopplung werden nach Anforderung von Wärmeleistung betrieben. Beim Betriebsgebäude fallen sie im Sommer aus, denn die Wärmeanforderung durch den Betrieb der Duschen (ca. 5 -7 Mann jeweils 5 min. am Abend) reicht nicht aus. Beide Systeme sind geeignet Grundlasten abzudecken. Üblicherweise werden Brennwertthermen zur Spitzenlastabdeckung zugeschaltet.

Eine mögliche Option ist der Einsatz von Fernwärme. Fernwärme wird gewonnen durch die Abwärme von Müllverbrennungsanlagen und Kraftwerken. Man unterscheidet Fernwärme aus regenerativer Energie von Fernwärme aus fossiler Energie. Die Duisburger Versorgungs- und Verkehrsgesellschaft mbH wirbt zur Zeit für die Umstellung auf Fernwärme und bestätigt auf ihrer Website, dass im Bereich Alt-Homburg Fernwärme verfügbar ist. Es sind keine Informationen über den zertifizierten Primärenergiefaktor verfügbar.

Der Einsatz von Fernwärme aus fossiler Energie führt zu einer Verschlechterung des Bedarfs. Statt 324.8 kWh/m²a wird ein Primärenergiebedarf von 349.7 kWh/m²a errechnet. Bei Umstellung auf Fernwärme aus erneuerbarer Energie wird 65.3 kWh/m²a ausgewiesen. Dieser Wert liegt deutlich unter dem Neubaugrenzwert. Ein Holzpellet-Kesse wird mit einem Primärenergiebedarf von 91.0 kWh/m²a belohnt. Für beide Systeme gilt, dass der Endenergiebedarf nicht reduziert wird.

| | |
|--|------------------------------|
| Jahres-Primärenergiebedarf Q _p bezogen auf die Gebäudenutzfläche | 61.4 [kWh/m ² a] |
| maximal zulässiger Jahres-Primärenergiebedarf nach EnEV: | 241.8 [kWh/m ² a] |
| maximal zulässiger Jahres-Primärenergiebedarf nach EEWärmeG: | 205.5 [kWh/m ² a] |

Diese Werte stellen den Bestand dar unter Verwendung einer Fernwärmebeheizung. Der für einen Neubau erforderliche Transmissionswärmeverlustkoeffizient H_T wird erst nach Austausch aller Fenster gegen hochwärmedämmende Fenster erreicht.

10. Wirtschaftlichkeit

Die Kosten für den Austausch des NT-Kessels gegen eine Brennwerttherme sind aufgrund des Alters der vorhandenen Anlage als „Sowieso“-Kosten anzusehen. Allerdings ist die Entscheidung welche Kesselgröße zum Einsatz kommt abhängig von der Art der zukünftigen Nutzung. Unter der Voraussetzung der vollständigen Werkstattnutzung nach Profil 22 wird eine Anlage benötigt mit einer Leistung von ca. 67 kW. Beschränkt man die Vollbeheizung auf die Büros und Sozialräume, kommt man mit einer Leistung von 32 KW aus. Alternativ kann man zwei Geräte anbringen, von denen ein Gerät nach Bedarf zugeschaltet wird.

| 421.31.00 Heizkesselanlagen gasförmige/flüssige Brennstoffe | | | | |
|---|---|-----------|-----------|-----------|
| 01 | Gasheizkessel, Nennleistung 15,6-38kW, Warmwasserbereiter, Umwälzpumpe, Heizkreisverteiler, Zubehör (4 Objekte) | 160,00 | 180,00 | 210,00 |
| | Einheit: kW Kesselleistung | | | |
| | 040 Wärmeversorgungsanlagen - Betriebseinrichtungen | | | 100,0% |
| 02 | Gasheizkessel, Nennleistung 130-330kW, Gebläsebrenner, Zubehör (5 Objekte) | 27,00 | 38,00 | 55,00 |
| | Einheit: kW Kesselleistung | | | |
| | 040 Wärmeversorgungsanlagen - Betriebseinrichtungen | | | 100,0% |
| 03 | Gas-Brennwertkessel, 26-48kW, Regelung, Wandheizkessel mit Trinkwassererwärmung (8 Objekte) | 120,00 | 140,00 | 170,00 |
| | Einheit: kW Kesselleistung | | | |
| | 040 Wärmeversorgungsanlagen - Betriebseinrichtungen | | | 100,0% |
| 05 | Gas-Brennwertkessel, Kompaktgerät mit Trinkwassererwärmung, 3,4-35kW, Regelung, Druckausgleichsgefäß, Gasleitung, Abgasrohr, Elektroarbeiten (7 Objekte) | 5.780,00 | 6.380,00 | 7.680,00 |
| | Einheit: St Heizkessel | | | |
| | 040 Wärmeversorgungsanlagen - Betriebseinrichtungen | | | 100,0% |
| 421.32.00 Heizkesselanlagen feste Brennstoffe | | | | |
| 01 | Holzpelletkessel, Leistung 3-10kW, Brennersteuerung, Zubehör (3 Objekte) | 8.770,00 | 9.020,00 | 9.450,00 |
| | Einheit: St Kessel | | | |
| | 040 Wärmeversorgungsanlagen - Betriebseinrichtungen | | | 100,0% |
| 03 | Holzpellet-Kessel mit Wärmetauscher, 2-10kW, in Kombination mit Solarkollektoren für WW; Speicher; Zubehör (7 Objekte) | 19.650,00 | 22.190,00 | 26.310,00 |
| | Einheit: St Anlage | | | |
| | 040 Wärmeversorgungsanlagen - Betriebseinrichtungen | | | 100,0% |

Auszug aus dem BKI Baukostenkatalog „Bauelemente“ 2013

Die Kosten eines Brennwertkessels werden mit 6.380 € brutto angegeben. Zuvor wurden die möglichen Einsparungen bei Verzicht auf die vollständige Werkstattnutzung errechnet mit 7.638 € brutto. Der reine Wärmeanteil beträgt hiervon 5.912€. Die Refinanzierung einer Anlage mit ca. 35kW dauert etwas länger als ein Jahr. Eine zweite Therme zur gelegentlichen Beheizung der Werkstätten wäre nach Ablauf des dritten Jahres refinanziert.

Die Wirtschaftlichkeit des Austauschs von Langfeldröhren durch LED-Tubes wurde bereits im Beratungsbericht zum Außenbezirk Neuss dargestellt. Dies ist in jedem Fall empfehlenswert. Die LED-Tubes geben obendrein mehr Licht ab als vorhandene Langfeldleuchten.

11. Die wirtschaftlich sinnvolle Variante

Das Betriebswerksgebäude Duisburg erfüllt die Anforderungen, die aus dem Altbau-Grenzwert der EnEV entstehen, sobald der NT-Kessel ausgetauscht wird, der sowieso das Ende seiner Lebensdauer erreicht hat. Es erscheint wirtschaftlich nicht sinnvoll, ein Neubauniveau anzustreben oder gar den Anforderungen des EEWärmeG entsprechen zu wollen.

Es scheint sinnvoll zu untersuchen, ob ein Anschluss an das Fernwärmenetz der Stadt Duisburg möglich ist. Darüber hinaus sollten wesentliche Teile des Gebäudes (Werkstätten und Lager) umgestellt werden auf eine Versorgung auf Anforderung. Hierdurch soll die dauernde Beheizung der Räume vermieden werden.

Weiterhin werden folgende Empfehlungen ausgesprochen:

- Die für die EnEV relevanten Verbraucher „Licht, Kälte und Hilfsenergie“ sollten separat gezählt werden.
- es sollte geprüft werden, ob es sinnvoll ist, die Zugangstüren zu den Werkstätten mit zusätzlichen Vorhängen aus Kunststoffstreifen auszurüsten
- die Radiatoren sollten mit programmierbaren Steuerungen ausgestattet werden
- Austausch der Langfeldleuchten gegen LED-Tubes

Diese Steuerungen machen es möglich, die Räume unbeheizt zu halten ohne den Mitarbeitern die Möglichkeit zum Eingriff zu nehmen.

12. CO2 und Schadstoffe

CO2- Ausstoß Bestand vor Optimierung

| | | absolut | | | bezogen auf die Nutzfläche 321 m² | |
|--------------|-----------|---------|---------------|--------------|-----------------------------------|--------------|
| Endenergie | | CO2 | Bedarf | CO2 | Bedarf | CO2 |
| | | kg/kWh | kWh/a | kg/a | kWh/m²a | kg/m²a |
| 1 | Strom-Mix | 0.617 | 18262 | 11267 | 0.00 | 12.38 |
| 2 | Erdgas H | 0.244 | 229453 | 55987 | 0.00 | 61.54 |
| Summe | | | 247715 | 67254 | 0.00 | 73.92 |

Als Berechnungsgrundlage des CO₂ Ausstoßes wurden GEMIS 4.13 Werte (www.gemis.de) verwendet

CO2 - Ausstoß , nach Reduzierung auf voll genutzte Bereiche

| | | absolut | | | bezogen auf die Nutzfläche 321 m² | |
|--------------|-----------|-----------------|--------------|-----------------|-----------------------------------|-----------------|
| Endenergie | | CO ₂ | Bedarf | CO ₂ | Bedarf | CO ₂ |
| | | kg/kWh | kWh/a | kg/a | kWh/m²a | kg/m²a |
| 1 | Strom-Mix | 0.617 | 5595 | 3452 | 0.00 | 10.75 |
| 2 | Erdgas H | 0.244 | 90766 | 22147 | 0.00 | 69.00 |
| Summe | | | 96361 | 25599 | 0.00 | 79.75 |

Als Berechnungsgrundlage des CO₂ Ausstoßes wurden GEMIS 4.13 Werte (www.gemis.de) verwendet

CO2 - Ausstoß , nach Reduzierung auf voll genutzte Bereiche, Brennwerttherme

| | | absolut | | | bezogen auf die Nutzfläche 321 m² | |
|--------------|-----------|-----------------|--------------|-----------------|-----------------------------------|-----------------|
| Endenergie | | CO ₂ | Bedarf | CO ₂ | Bedarf | CO ₂ |
| | | kg/kWh | kWh/a | kg/a | kWh/m²a | kg/m²a |
| 1 | Strom-Mix | 0.617 | 5594 | 3451 | 0.00 | 10.75 |
| 2 | Erdgas H | 0.244 | 83070 | 20269 | 0.00 | 63.15 |
| Summe | | | 88663 | 23720 | 0.00 | 73.90 |

Als Berechnungsgrundlage des CO₂ Ausstoßes wurden GEMIS 4.13 Werte (www.gemis.de) verwendet

Durch die Reduzierung des beheizten Bereichs auf vollgenutzte Zonen und Austausch der NT-Kesselanlage gegen eine Brennwerttherme kann eine CO₂-Einsparung erzielt werden in Höhe von:

$$247.715 - 88.663 = 159.052 \text{ kg/a}$$

Nach Verbrauchswichtung bleibt:

$$159.052 \times 0,482 = 76.663 \text{ kg/a} \rightarrow 77 \text{ to/a}$$

Teil C2

Berechnungen mit CAD - Plänen zur Flächenermittlung
siehe gesonderter Band

Teil D2

Dokumentation, siehe gesonderter Band

Anhang

Außenbezirk Duisburg
Bedarfsberechnung Endenergie Bestand vor Optimierung
10.11.2015

| Gebäude | Total | Jan. | Feb. | März | April | Mai | Juni | Juli | Aug. | Sept. | Okt. | Nov. | Dez. |
|------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| Endenergie | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] |
| Gesamtenergie | 247715 | 39774 | 34135 | 30532 | 18787 | 9715 | 5110 | 2724 | 3209 | 10114 | 20766 | 32335 | 40514 |
| Referenzgebäude | 159689 | 26195 | 22393 | 19616 | 11367 | 5699 | 3086 | 2109 | 2350 | 5974 | 13018 | 21095 | 26787 |
| Heizung | 224459 | 37815.73 | 32391.55 | 28615.29 | 16921.15 | 7764.11 | 3173.17 | 638.39 | 1143.38 | 8222.07 | 18820.91 | 30436.16 | 38517.27 |
| Referenzgebäude | 136935 | 24123.54 | 20571.31 | 17712.58 | 9711.09 | 3873.09 | 1325.73 | 227.70 | 407.07 | 4177.64 | 11078.96 | 19103.44 | 24623.01 |
| ->Raumwärme | 221917 | 37414.01 | 32045.58 | 28300.79 | 16719.88 | 7651.58 | 3116.43 | 625.56 | 1120.30 | 8106.13 | 18600.70 | 30106.31 | 38109.25 |
| Referenzgebäude | 135716 | 23929.36 | 20404.69 | 17563.64 | 9623.84 | 3824.98 | 1294.66 | 212.01 | 388.37 | 4126.61 | 10976.29 | 18945.95 | 24425.37 |
| ->Hilfseng. Heizung | 2542.67 | 401.72 | 345.98 | 314.50 | 201.28 | 112.53 | 56.74 | 12.83 | 23.08 | 115.93 | 220.21 | 329.85 | 408.02 |
| Referenzgebäude | 1219.40 | 194.18 | 166.63 | 148.93 | 87.25 | 48.11 | 31.08 | 15.69 | 18.70 | 51.03 | 102.67 | 157.49 | 197.64 |
| Warmwasser | 7573.98 | 645.68 | 582.16 | 640.98 | 614.78 | 629.05 | 618.94 | 671.96 | 660.19 | 608.51 | 634.89 | 621.04 | 645.80 |
| Referenzgebäude | 5889.37 | 673.40 | 584.48 | 543.40 | 311.16 | 388.33 | 326.78 | 350.78 | 416.77 | 402.15 | 534.42 | 627.40 | 730.30 |
| ->Hilfseng. Warmwasser | 37.34 | 3.23 | 2.91 | 3.20 | 3.07 | 3.14 | 3.03 | 3.11 | 3.11 | 3.04 | 3.17 | 3.10 | 3.23 |
| Referenzgebäude | 214.26 | 8.98 | 9.14 | 14.68 | 23.74 | 23.82 | 25.57 | 30.62 | 26.52 | 20.43 | 14.77 | 9.60 | 6.39 |
| Licht | 14886.31 | 1297.65 | 1148.50 | 1251.98 | 1198.96 | 1230.23 | 1188.44 | 1232.41 | 1241.10 | 1215.80 | 1278.07 | 1264.21 | 1338.97 |
| Referenzgebäude | 15909.11 | 1388.17 | 1227.67 | 1337.49 | 1280.33 | 1313.36 | 1268.66 | 1315.77 | 1325.43 | 1299.02 | 1366.45 | 1352.73 | 1434.02 |
| Kühlung | 795.35 | 14.66 | 12.72 | 23.55 | 52.57 | 91.65 | 129.42 | 181.09 | 164.23 | 68.00 | 31.76 | 13.60 | 12.11 |
| Referenzgebäude | 955.77 | 10.26 | 9.06 | 22.24 | 64.56 | 124.36 | 165.29 | 215.22 | 200.55 | 95.46 | 37.76 | 10.99 | 0.00 |
| ->Raumkühlung | 795.35 | 14.66 | 12.72 | 23.55 | 52.57 | 91.65 | 129.42 | 181.09 | 164.23 | 68.00 | 31.76 | 13.60 | 12.11 |
| Referenzgebäude | 592.91 | 6.02 | 5.32 | 12.99 | 37.06 | 72.47 | 104.54 | 141.36 | 130.66 | 54.13 | 21.91 | 6.45 | 0.00 |
| Referenzgebäude | 362.85 | 4.24 | 3.74 | 9.25 | 27.50 | 51.90 | 60.75 | 73.86 | 69.90 | 41.33 | 15.84 | 4.54 | 0.00 |

Außenbezirk Duisburg
Bedarfsberechnung Endenergie Altbau-Grenzwert
10.11.2015

| Gebäude | Total | Jan. | Feb. | März | April | Mai | Juni | Juli | Aug. | Sept. | Okt. | Nov. | Dez. |
|------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| Endenergie | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] |
| Gesamtenergie | 233268 | 37619 | 32231 | 28657 | 17505 | 9083 | 4841 | 2660 | 3103 | 9444 | 19360 | 30421 | 38344 |
| Referenzgebäude | 159155 | 26101 | 22313 | 19548 | 11331 | 5679 | 3084 | 2109 | 2349 | 5952 | 12975 | 21023 | 26692 |
| Heizung | 210025 | 35661.28 | 30487.87 | 26740.77 | 15638.90 | 7132.69 | 2905.96 | 578.99 | 1040.03 | 7552.15 | 17415.26 | 28522.75 | 36347.94 |
| Referenzgebäude | 136401 | 24029.22 | 20491.84 | 17644.48 | 9674.52 | 3853.01 | 1322.98 | 227.29 | 406.29 | 4155.76 | 11036.04 | 19031.86 | 24527.23 |
| ->Raumwärme | 207484 | 35259.91 | 30142.18 | 26426.51 | 15437.75 | 7020.22 | 2849.28 | 566.24 | 1017.05 | 7436.28 | 17195.19 | 28193.17 | 35940.28 |
| Referenzgebäude | 135184 | 23835.51 | 20325.62 | 17495.89 | 9587.43 | 3804.99 | 1291.92 | 211.60 | 387.59 | 4104.83 | 10933.59 | 18874.72 | 24330.07 |
| ->Hilfseng. Heizung | 2540.52 | 401.37 | 345.68 | 314.26 | 201.15 | 112.46 | 56.68 | 12.75 | 22.98 | 115.87 | 220.07 | 329.59 | 407.66 |
| Referenzgebäude | 1216.75 | 193.71 | 166.23 | 148.59 | 87.09 | 48.02 | 31.06 | 15.69 | 18.70 | 50.93 | 102.45 | 157.13 | 197.16 |
| Warmwasser | 7561.61 | 645.28 | 581.80 | 640.59 | 614.40 | 628.67 | 617.44 | 667.42 | 657.30 | 608.14 | 634.50 | 620.66 | 645.40 |
| Referenzgebäude | 5889.36 | 673.40 | 584.48 | 543.40 | 311.16 | 388.33 | 326.78 | 350.78 | 416.77 | 402.15 | 534.42 | 627.40 | 730.30 |
| ->Hilfseng. Warmwasser | 37.34 | 3.23 | 2.91 | 3.20 | 3.07 | 3.14 | 3.03 | 3.11 | 3.11 | 3.04 | 3.17 | 3.10 | 3.23 |
| Referenzgebäude | 214.26 | 8.98 | 9.14 | 14.68 | 23.74 | 23.82 | 25.57 | 30.62 | 26.52 | 20.43 | 14.77 | 9.60 | 6.39 |
| Licht | 14886.31 | 1297.65 | 1148.50 | 1251.98 | 1198.96 | 1230.23 | 1188.44 | 1232.41 | 1241.10 | 1215.80 | 1278.07 | 1264.21 | 1338.97 |
| Referenzgebäude | 15909.11 | 1388.17 | 1227.67 | 1337.49 | 1280.33 | 1313.36 | 1268.66 | 1315.77 | 1325.43 | 1299.02 | 1366.45 | 1352.73 | 1434.02 |
| Kühlung | 795.35 | 14.66 | 12.72 | 23.55 | 52.57 | 91.65 | 129.42 | 181.09 | 164.23 | 68.00 | 31.76 | 13.60 | 12.11 |
| Referenzgebäude | 955.57 | 10.24 | 9.04 | 22.21 | 64.53 | 124.35 | 165.28 | 215.22 | 200.55 | 95.44 | 37.73 | 10.97 | 0.00 |
| ->Raumkühlung | 795.35 | 14.66 | 12.72 | 23.55 | 52.57 | 91.65 | 129.42 | 181.09 | 164.23 | 68.00 | 31.76 | 13.60 | 12.11 |
| Referenzgebäude | 592.80 | 6.01 | 5.31 | 12.97 | 37.05 | 72.46 | 104.53 | 141.36 | 130.65 | 54.12 | 21.90 | 6.44 | 0.00 |
| Referenzgebäude | 362.77 | 4.23 | 3.74 | 9.24 | 27.49 | 51.89 | 60.75 | 73.85 | 69.89 | 41.32 | 15.83 | 4.54 | 0.00 |

Außenbezirk Duisburg
Bedarfsberechnung reduziertes beheiztes Volumen
10.11.2015

| Gebäude | Total | Jan. | Feb. | März | April | Mai | Juni | Juli | Aug. | Sept. | Okt. | Nov. | Dez. |
|------------------------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|--------|--------|---------|---------|----------|----------|
| Endenergie | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] |
| Gesamtenergie | 96493 | 15006 | 12951 | 11607 | 7321 | 4104 | 2464 | 1581 | 1726 | 4094 | 7971 | 12323 | 15345 |
| Referenzgebäude | 67436 | 10775 | 9269 | 8056 | 4686 | 2663 | 1612 | 1135 | 1277 | 2655 | 5393 | 8790 | 11124 |
| Heizung | 83712.48 | 13953.59 | 12008.94 | 10563.65 | 6291.84 | 3012.01 | 1370.86 | 393.29 | 560.69 | 3050.74 | 6918.59 | 11305.92 | 14282.37 |
| Referenzgebäude | 56052.93 | 9684.52 | 8316.56 | 7101.24 | 3938.44 | 1788.04 | 769.87 | 220.63 | 307.65 | 1786.68 | 4421.08 | 7755.06 | 9963.16 |
| ->Raumwärme | 82868.05 | 13818.94 | 11892.63 | 10459.23 | 6226.11 | 2976.76 | 1352.93 | 387.27 | 552.08 | 3014.97 | 6847.03 | 11195.28 | 14144.83 |
| Referenzgebäude | 55370.82 | 9585.09 | 8230.52 | 7023.78 | 3887.82 | 1754.57 | 745.31 | 202.08 | 287.35 | 1753.84 | 4366.16 | 7672.87 | 9861.42 |
| ->Hilfseng. Heizung | 844.43 | 134.66 | 116.31 | 104.42 | 65.73 | 35.25 | 17.93 | 6.01 | 8.60 | 35.77 | 71.56 | 110.64 | 137.54 |
| Referenzgebäude | 682.11 | 99.44 | 86.04 | 77.47 | 50.62 | 33.46 | 24.55 | 18.55 | 20.30 | 32.83 | 54.92 | 82.19 | 101.74 |
| Warmwasser | 7542.27 | 650.31 | 586.33 | 645.55 | 619.12 | 633.45 | 609.77 | 638.60 | 631.09 | 612.76 | 639.37 | 625.47 | 650.44 |
| Referenzgebäude | 5802.19 | 675.67 | 586.42 | 545.12 | 312.09 | 371.81 | 311.40 | 319.73 | 385.98 | 395.53 | 536.10 | 629.49 | 732.83 |
| ->Hilfseng. Warmwasser | 55.07 | 4.76 | 4.29 | 4.72 | 4.53 | 4.63 | 4.46 | 4.59 | 4.59 | 4.48 | 4.68 | 4.58 | 4.76 |
| Referenzgebäude | 212.68 | 10.26 | 10.26 | 15.77 | 24.49 | 22.80 | 24.01 | 27.22 | 23.03 | 20.47 | 15.84 | 10.80 | 7.75 |
| Licht | 4452.06 | 388.07 | 343.48 | 374.44 | 358.59 | 367.95 | 355.45 | 368.59 | 371.19 | 363.61 | 382.23 | 378.06 | 400.40 |
| Referenzgebäude | 4599.66 | 403.38 | 355.35 | 385.94 | 368.67 | 377.64 | 364.65 | 378.47 | 381.79 | 375.10 | 395.91 | 393.59 | 419.16 |
| Kühlung | 786.49 | 14.20 | 12.33 | 22.93 | 51.52 | 90.36 | 128.41 | 180.41 | 163.46 | 66.90 | 31.07 | 13.19 | 11.72 |
| Referenzgebäude | 981.20 | 11.84 | 10.41 | 24.15 | 66.96 | 125.71 | 166.21 | 216.04 | 201.47 | 97.31 | 39.52 | 12.33 | 9.26 |
| ->Raumkühlung | 786.49 | 14.20 | 12.33 | 22.93 | 51.52 | 90.36 | 128.41 | 180.41 | 163.46 | 66.90 | 31.07 | 13.19 | 11.72 |
| Referenzgebäude | 608.36 | 6.96 | 6.12 | 14.11 | 38.42 | 73.68 | 105.32 | 141.83 | 131.17 | 55.14 | 22.93 | 7.24 | 5.45 |
| Referenzgebäude | 372.84 | 4.88 | 4.29 | 10.04 | 28.55 | 52.03 | 60.89 | 74.22 | 70.30 | 42.17 | 16.58 | 5.09 | 3.82 |

Außenbezirk Duisburg

11.11.2015

Tabelle der verwendeten Bauteile, Bestand vor Optimierung

| | Bauteil | Bezeich | Ri. | Fläche [m²] | U-Wert [W/m²K] | Fak | Gewinn in % | Verlust in % |
|------|----------------|---------|-----|----------------|-------------------|------|----------------|-----------------|
| 1 | Wand | | | | | | | |
| 1.1 | 24 KS-Kli 6/40 | AwN01 | N | 8.56 | 0.457 | 1.00 | 0.001% | 0.374% |
| 1.2 | 24 KS-Kli 6/40 | AwN02 | N | 37.31 | 0.457 | 1.00 | 0.006% | 1.631% |
| 1.3 | 24 KS-Kli 6/40 | AwN03 | N | 41.23 | 0.457 | 1.00 | 0.006% | 1.802% |
| 1.4 | 24 KS-Kli 6/40 | AwN04 | N | 2.16 | 0.457 | 1.00 | 0.000% | 0.094% |
| 1.5 | 24 KS-Kli 6/40 | AwO01 | O | 2.26 | 0.457 | 1.00 | 0.008% | 0.099% |
| 1.6 | 24 KS-Kli 6/40 | AwO02 | O | 6.15 | 0.457 | 1.00 | 0.023% | 0.269% |
| 1.7 | 24 KS-Kli 6/40 | AwS01 | S | 36.07 | 0.457 | 1.00 | 0.185% | 1.577% |
| 1.8 | 24 KS-Kli 6/40 | AwS02 | S | 30.61 | 0.457 | 1.00 | 0.157% | 1.338% |
| 1.9 | 24 KS-Kli 6/40 | AwS03 | S | 5.51 | 0.457 | 1.00 | 0.028% | 0.241% |
| 1.10 | 24 KS-Kli 6/40 | AwS04 | S | 7.09 | 0.457 | 1.00 | 0.036% | 0.310% |
| 1.11 | 24 KS-Kli 6/40 | AwS05 | S | 12.90 | 0.457 | 1.00 | 0.066% | 0.564% |
| 1.12 | 24 KS-Kli 6/40 | AwW01 | W | 24.28 | 0.457 | 1.00 | 0.071% | 1.061% |
| 1.13 | 24 KS-Kli 6/40 | AwW02 | W | 23.59 | 0.457 | 1.00 | 0.069% | 1.031% |
| 1.14 | 24 KS-Kli 6/40 | AwNO01 | NO | 3.58 | 0.457 | 1.00 | 0.005% | 0.156% |
| 1.15 | 24 KS-Kli 6/40 | AwNO02 | NO | 64.44 | 0.457 | 1.00 | 0.096% | 2.816% |
| 1.16 | 24 KS-Kli 6/40 | AwSW01 | SW | 8.45 | 0.457 | 1.00 | 0.037% | 0.369% |
| 1.17 | 24 KS-Kli 6/40 | AwSW02 | SW | 29.52 | 0.457 | 1.00 | 0.131% | 1.290% |
| 1.18 | 24 KS-Kli 6/40 | AwSO01 | SO | 11.50 | 0.457 | 1.00 | 0.059% | 0.502% |
| 1.19 | 24 KS-Kli 6/40 | AwSO02 | SO | 42.30 | 0.457 | 1.00 | 0.218% | 1.849% |
| 1.20 | 24 KS-Kli 6/40 | AwNW01 | NW | 5.19 | 0.457 | 1.00 | 0.006% | 0.227% |
| 1.21 | 24 KS-Kli 6/40 | AwNW02 | NW | 6.32 | 0.457 | 1.00 | 0.007% | 0.276% |
| 1.22 | 14.1 FW 14/40 | Abs02 | O | 2.76 | 0.321 | 0.80 | --- | 0.068% |
| 1.23 | 14.1 FW 14/40 | Abs03 | W | 2.76 | 0.321 | 0.80 | --- | 0.068% |
| 1.24 | 14.1 FW 14/40 | Abs04 | N | 15.94 | 0.321 | 0.80 | --- | 0.391% |
| 1.25 | 11.5 KS 0/0 | AwS06 | S | 11.60 | 2.991 | 1.00 | --- | 3.316% |
| 1.26 | 24 KS 0/0 | AwW05 | W | 9.33 | 1.538 | 1.00 | --- | 1.371% |
| 1.27 | 24 KS 0/0 | AwSO03 | SO | 11.26 | 1.538 | 1.00 | --- | 1.655% |
| 1.28 | 24 KS 0/0 | AwNO03 | NO | 18.61 | 1.538 | 1.00 | --- | 2.735% |
| 1.29 | 24 KS 0/0 | AwO03 | O | 9.33 | 1.538 | 1.00 | --- | 1.371% |

| | | | | 490.58 | 0.616 | | 1.22% | | 28.85% |
|------|--|---------|----|---------------|--------------|------|---------------|--------|---------------|
| 2 | Fenster, Fenstertüren | | | | | | g | | |
| 2.1 | Kunststoff Bj 90-95 Ug=2,3W/m²K g=0,65 | AwN02 | N | 2.02 | 2.365 | 1.00 | 0.65 | 0.145% | 0.457% |
| 2.2 | Kunststoff Bj 90-95 Ug=2,3W/m²K g=0,65 | AwN02 | N | 8.59 | 2.372 | 1.00 | 0.65 | 0.682% | 1.946% |
| 2.3 | Kunststoff Bj 90-95 Ug=2,3W/m²K g=0,65 | AwN03 | N | 6.69 | 2.376 | 1.00 | 0.65 | 0.491% | 1.519% |
| 2.4 | Stahltür 3 | AwO01 | O | 1.87 | 3.000 | 1.00 | --- | ---- | 0.537% |
| 2.5 | Kunststoff Bj 90-95 Ug=2,3W/m²K g=0,65 | AwS01 | S | 12.36 | 2.364 | 1.00 | 0.65 | 3.041% | 2.791% |
| 2.6 | Kunststoff Bj 90-95 Ug=2,3W/m²K g=0,65 | AwS02 | S | 10.60 | 2.364 | 1.00 | 0.65 | 2.608% | 2.394% |
| 2.7 | Kunststoff Bj 90-95 Ug=2,3W/m²K g=0,65 | AwS03 | S | 1.71 | 2.363 | 1.00 | 0.65 | 0.420% | 0.385% |
| 2.8 | Stahltür 3 | AwS05 | S | 3.83 | 3.000 | 1.00 | --- | ---- | 1.098% |
| 2.9 | Stahltür 3 | AwS05 | S | 12.19 | 3.000 | 1.00 | --- | ---- | 3.494% |
| 2.10 | Kunststoff Bj 90-95 Ug=2,3W/m²K g=0,65 | AwW01 | W | 2.12 | 2.367 | 1.00 | 0.65 | 0.337% | 0.480% |
| 2.11 | AWS65 Uf=2,2 Ug=1,5 g=68 | AwW01 | W | 4.84 | 1.721 | 1.00 | 0.68 | 0.994% | 0.796% |
| 2.12 | Kunststoff Bj 90-95 Ug=2,3W/m²K g=0,65 | AwW02 | W | 1.55 | 2.392 | 1.00 | 0.65 | 0.142% | 0.353% |
| 2.13 | Kunststoff Bj 90-95 Ug=2,3W/m²K g=0,65 | AwW02 | W | 2.08 | 2.368 | 1.00 | 0.65 | 0.329% | 0.470% |
| 2.14 | Kunststoff Bj 90-95 Ug=2,3W/m²K g=0,65 | AwNO02 | NO | 28.15 | 2.341 | 1.00 | 0.65 | 2.869% | 6.296% |
| 2.15 | Stahltür 3 | AwSW02 | SW | 50.55 | 3.000 | 1.00 | --- | ---- | 14.489% |
| 2.16 | Stahltür 3 | AwSO01 | SO | 2.38 | 3.000 | 1.00 | --- | ---- | 0.683% |
| 2.17 | Kunststoff Bj 90-95 Ug=2,3W/m²K g=0,65 | AwSO02 | SO | 4.97 | 2.374 | 1.00 | 0.65 | 0.995% | 1.128% |
| 2.18 | zertifiziertes Dachfenster 3,00 | SDN01 | N | 3.15 | 3.000 | 1.00 | 0.70 | 0.320% | 0.903% |
| 2.19 | zertifiziertes Dachfenster 3,0 | SDNO01 | NO | 1.60 | 3.000 | 1.00 | 0.70 | 0.178% | 0.457% |
| 2.20 | zertifiziertes Dachfenster 3,00 | SDSW01 | SW | 1.60 | 3.000 | 1.00 | 0.70 | 0.343% | 0.457% |
| | | | | 162.85 | 2.644 | | 13.90% | | 41.14% |
| 3 | Decke zum Dachge., Dach | | | | | | | | |
| 3.1 | 18 SD 14/40 | SDN012 | | 91.54 | 0.296 | 1.00 | | 0.041% | 2.585% |
| 3.2 | 18 SD 14/40 | SDN01 | | 26.47 | 0.296 | 1.00 | | 0.012% | 0.748% |
| 3.3 | 18 SD 14/40 | SDS01 | | 50.76 | 0.296 | 1.00 | | 0.177% | 1.433% |
| 3.4 | 18 SD 14/40 | SDNO02 | | 31.04 | 0.296 | 1.00 | | 0.034% | 0.876% |
| 3.5 | 18 SD 14/40 | SDNO01 | | 135.90 | 0.296 | 1.00 | | 0.148% | 3.838% |
| 3.6 | 18 SD 14/40 | SDSW01 | | 114.72 | 0.296 | 1.00 | | 0.337% | 3.240% |
| 3.7 | 14 Bn 14/40 SpiBo | SpiBo01 | | 27.13 | 0.264 | 0.35 | | --- | 0.240% |
| 3.8 | 14 Bn 14/40 SpiBo | SpiBo02 | | 103.66 | 0.264 | 0.35 | | --- | 0.917% |
| 3.9 | 15 B 14/40 Abseite | Abs01 | | 18.89 | 0.264 | 0.35 | | --- | 0.167% |
| | | | | 600.11 | 0.245 | | 0.75% | | 14.04% |
| 4 | Grundfläche, Kellerdecke | | | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|-----|-----------------------------|----------|---------------|----------------|--------------|------|-------|---------------|
| 4.1 | 14.2 Bn 8/35 | GruFlä01 | | 198.23 | 0.363 | 0.50 | --- | 3.434% |
| 4.2 | 14.1 Bn 10/35 Wrkstatt | GruFlä02 | | 11.13 | 0.366 | 0.50 | --- | 0.195% |
| 4.3 | 14.1 Bn 10/35 Wrkstatt | GruFlä03 | | 368.30 | 0.366 | 0.50 | --- | 6.441% |
| | | | | 577.66 | 0.182 | | ----- | 10.07% |
| 5 | Decke gegen Außenluft unten | | | | | | | |
| 5.1 | 20 Bn 4/35 | Öl+Gas | | 22.07 | 0.669 | 1.00 | --- | 1.411% |
| | | | | 22.07 | 0.669 | | ----- | 1.41% |
| 7 | Zwischenwände | | | | | | | |
| 7.1 | 24 KS 0/0 | Zw01 | | 19.07 | 1.351 | 1.00 | --- | 0.000% |
| 7.2 | 11.5 KS 0/0 | Zw02 | | 11.60 | 2.357 | 1.00 | --- | 0.000% |
| 7.3 | 24 KS 0/0 | Zw03 | | 4.93 | 1.351 | 1.00 | --- | 0.000% |
| 7.4 | 24 KS 0/0 | Zw04 | | 10.61 | 1.351 | 1.00 | --- | 0.000% |
| 7.5 | 11.5 KSPP Zw 0/0 | Zw05 | | 34.87 | 2.088 | 1.00 | --- | 0.000% |
| | | | | 81.09 | 1.812 | | ----- | ----- |
| 8 | Zwischendecken | | | | | | | |
| 8.1 | 14.1 Bn 4/35 swEstr | Zd01 | | 148.85 | 0.723 | 1.00 | --- | 0.000% |
| 8.2 | 14.1 Bn 4/35 swEstr | Zd02 | | 49.37 | 0.723 | 1.00 | --- | 0.000% |
| 8.3 | 20.1 Bn 4/40 swEstr | Zd03 | | 334.43 | 0.714 | 1.00 | --- | 0.000% |
| | | | | 532.65 | 0.717 | | ----- | ----- |
| | | | Summe: | 1853.27 | | | | |

Anlage 2

Energetische Untersuchung Außenbezirk Emmerich

Energetische Untersuchung

Teil B4

Beratungsbericht Außenbezirk Emmerich

Objekt:

Wasser- und Schifffahrtsamt Duisburg - Rhein
Betriebsgebäude
Außenbezirk Emmerich
Am Fiskalischen Hafen 4
46446 Emmerich

Auftraggeber:

Bundesanstalt für Wasserbau
Kußmaulstr. 17
76187 Karlsruhe

Der Sachverständige für Schall- und Wärmeschutz

Haake Planen und Bauen
Herr Jörg Haake
Heinrich – Gellissen – Str. 9
50769 Köln - Worringen

aufgestellt, Köln 18.11.2015

Inhaltsangabe

| | |
|--|-----------|
| Teil B4 | 3 |
| Zusammenfassung | 3 |
| Variantenübersicht | 4 |
| 1. Betriebswerksgebäude Emmerich | 5 |
| 2. Zonen..... | 5 |
| 3. Energieverbrauch..... | 8 |
| 4. Vergleich Bedarf / Verbrauch | 9 |
| 5. Energetische Mängel | 10 |
| 6. Sommerlicher Wärmeschutz..... | 11 |
| 7. Erreichen der EnEV – Altbau-Grenzwerte..... | 11 |
| 8. Anwendung angepasster Nutzungsprofile | 11 |
| 9. Erreichen der EnEV-Neubau-Grenzwerte | 12 |
| 10. Biomasse oder Wärmepumpe | 12 |
| 11. Wirtschaftlichkeit | 13 |
| 12. Die wirtschaftlich sinnvolle Variante | 14 |
| 13. CO2 und Schadstoffe | 15 |
| Teil C4 | 16 |
| Teil D4 | 16 |
| Anhang | 17 |
| Bedarfsberechnung Endenergie Bestand vor Optimierung..... | 17 |
| Bedarfsberechnung Endenergie, optimiert | 18 |
| Bedarfsberechnung Endenergie, Reduziertes Volumen | 19 |
| Bedarfsberechnung Endenergie, Einhaltung des EEWärmeG..... | 20 |
| Tabelle der verwendeten Bauteile | 21 |

Teil B4

Zusammenfassung

Der Energiebedarf des Betriebsgebäudes Außenbezirk Emmerich der Wasser- und Schifffahrtsamt Duisburg – Rhein erfüllt die Grenzwerte der Energieeinsparverordnung für Altbauten.

Bei der Bewertung des Energiebedarfs bzw. des Energieverbrauchs ist eine Differenz aufgefallen zwischen der Nettogrundfläche, die auf dem Datenblatt des Wasser- und Schifffahrtsamtes genannt wurde und der NGF nach EnEV, die grafisch ermittelt wurde.

Der Unterschied zwischen dem niedrigeren Energieverbrauchswert und dem hohen Energiebedarf ist auf Beschränkungen des normativen Berechnungsverfahrens zurückzuführen. Es kann aber auch so verstanden werden, dass die Mitarbeiter bereits sparsam heizen. Inwieweit der vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie angegebene Vergleichswert - der noch deutlich unter dem Verbrauch liegt - angemessen ist, kann nicht beurteilt werden.

Wie bei allen anderen Betriebsgebäuden wird auch in Emmerich der elektrische Strom für die oben genannten Leistungsbereiche nicht getrennt von den sonstigen Verbrauchern. Wenn Außenbeleuchtung, Rohrbegleitheizung am Steiger oder Prozeßenergie für Schweißarbeiten nicht gesondert erfasst werden, entsteht bei der Analyse des Energieverbrauchs des Gebäudes ein verzerrtes Bild.

Die Möglichkeiten zur Sanierung sind eingeschränkt, weil die thermische Gebäudehülle bereits auf dem Stand der Technik ist. Es gibt Optimierungsmöglichkeiten durch den Einbau von programmierbaren Steuerungen für Heizkörper und Deckenheizer. Diese werden aber derzeit nicht von den Rechenmodellen der DIN 18599 erfasst.

Es wurde versucht Modelle zur Einhaltung der Neubau-Grenzwerte zu entwickeln. Diese Werte können nur mit Austausch vorhandener Fenster und der Sektionaltore erreicht werden und durch einen vollständigen Umbau des Wärmeversorgungssystems. Es wird nicht erwartet, dass eine solche Lösung wirtschaftlich ist.

Rechnerisch werden erhebliche Einsparpotentiale erzielt, indem man auf die Einbeziehung der Lagerräume und Werkstätten im Erdgeschoss verzichtet.

Variantenübersicht

Außenbezirk Emmerich
19.11.2015

| Einheit | Verbrauch Vor Beginn Untersuchung kWh/m²a | Verbrauch nach Untersuchung kWh/m²a | EnEV Altbau- grenzwert kWh/m²a | EnEV Neubau- grenzwert kWh/m²a | EnEV Altbau- grenzwert kWh/m²a | EEWärmeG Eingehalten [1] kWh/m²a |
|--|--|--|---|---|---|---|
| Gebäudenutz- fläche | 329 qm | 559.3 qm | 559.3 qm | 559.3 qm | Reduziert 304 qm | WP 559.3 qm |
| Primärenergie- bedarf Q'p bezogen auf die Gebäudenutz- fläche | 680 | 400 | 262.4 | - | 325.4 [kWh/m²a] | Ohne Austausch der Fenster 173.1 W/m²Ka Mit Austausch der Fenster 161.4 W/m²Ka |
| maximal zulässiger Primärenergie- bedarf | - | - | 288.7 | 175.3 kWh/m²a | 380.6 [kWh/m²a] | o. Austausch 212 W/m²Ka Mit Austausch 191.0 W/m²a |
| Endenergie Wärme | 270 | 159 | 235.4 | | 196 | |
| Endenergie Strom | 160 | 94 | 12.1 | | 15 | |

[1] Austausch von Fenstern und Sektionalstoren ist Voraussetzung für das Einhalten der Grenzwerte

1. Betriebswerksgebäude Emmerich

Der langgestreckte Baukörper des Betriebsgebäudes ist zweigeschossig und Nord-Süd orientiert. Im Osten liegt es am Betriebshof. Vorgelagert ist der Hafen. Im Westen liegt ein großer städtischer Park. Die hohen Bäume schützen das Gebäude vor Wind und zu starker Erwärmung im Sommer.

Der südliche Teil des Gebäudes ist ein Altbau, der ca. 1970 errichtet wurde. 2004 wurde der nördliche Teil errichtet. Der Altbau wurde mit einem zweischaligen Klinkermauerwerk errichtet, während der Neubau mit einem Wärmedämmverbundsystem ausgestattet ist. Beim Neubau 2004 wurde auch der Altbau energetisch saniert. Es wurde eine hochwertige Dämmung der obersten Geschossdecke eingebaut und für die Fenster wurde ein einheitliches Aluminiumsystem vorgesehen. Altbau und Neubau haben zwei getrennte Wärmeversorgungssysteme. Die Nutzung des Gebäudes ist klar gegliedert. Im Erdgeschoss befinden sich Werkstätten und Lagerräume. Der Altbau beherbergt im Obergeschoss die Umkleiden, Duschen und den Pausenraum. Im Obergeschoss des Neubaus befinden sich Büros. Die oberste Geschossdecke ist nicht begehbar.

| Bauteil | | Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten bezogen auf die Mittelwerte der jeweiligen Bauteile | |
|---------|---|--|--|
| | | Zonen >= 19°C | Zonen 12 bis < 19°C |
| 1 | Opake Außenbauteile, soweit nicht in Bauteilen der Zeile 3 und 4 enthalten | Ist U = 0.28 W/(m²K) ✓ max U = 0.49 W/(m²K) | Ist U = 0.26 W/(m²K) ✓ max U = 0.70 W/(m²K) |
| 2 | Transparente Außenbauteile, soweit nicht in Bauteilen der Zeile 3 und 4 enthalten | Ist U = 2.32 W/(m²K) ✓ max U = 2.66 W/(m²K) | Ist U = 2.07 W/(m²K) ✓ max U = 3.92 W/(m²K) |
| 3 | Vorhangfassaden | ----- max U = 2.66 W/(m²K) | ----- max U = 4.20 W/(m²K) |
| 4 | Glasdächer, Lichtbänder Lichtkuppeln | ----- max U = 4.34 W/(m²K) | ----- max U = 4.34 W/(m²K) |

Die thermische Gebäudehülle erfüllte die Anforderungen der EnEV 2014

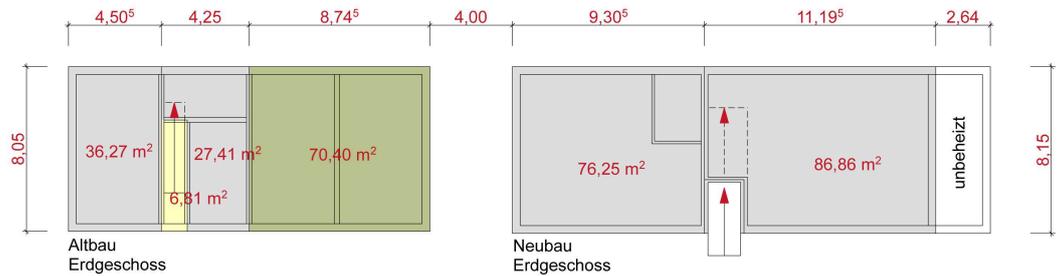
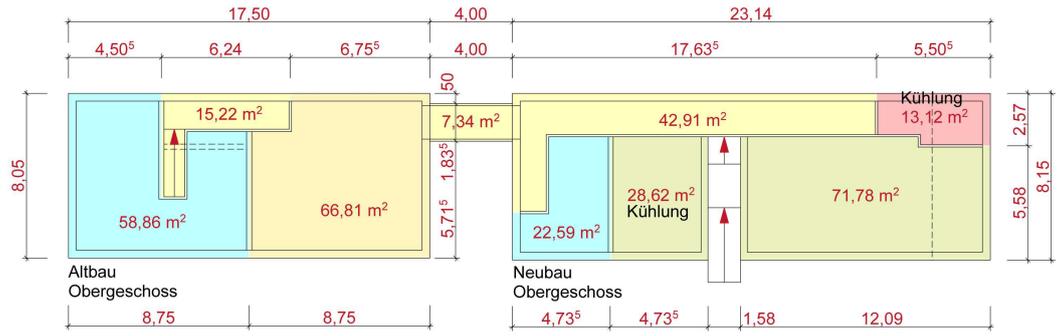
2. Zonen

Im Betriebsgebäude des Außenbezirks Emmerich werden die in nachfolgender Tabelle aufgeführten Nutzungszonen unterschieden. Demnach ist die Nutzung „Werkstatt“ als Hauptnutzung anzusehen.

Nutzungsanteile nach EnEV

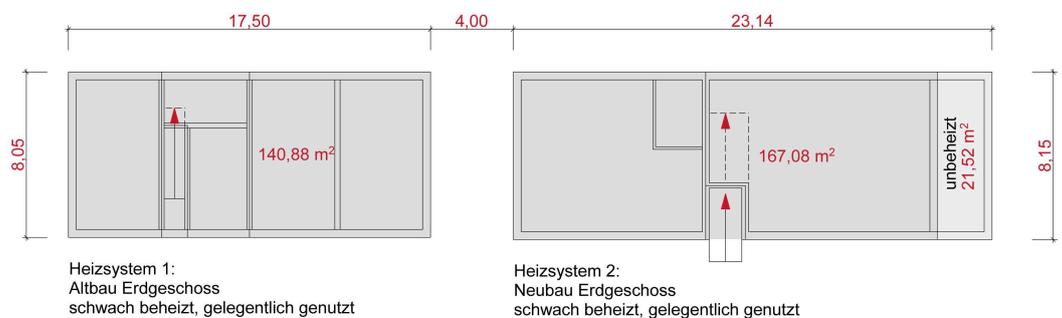
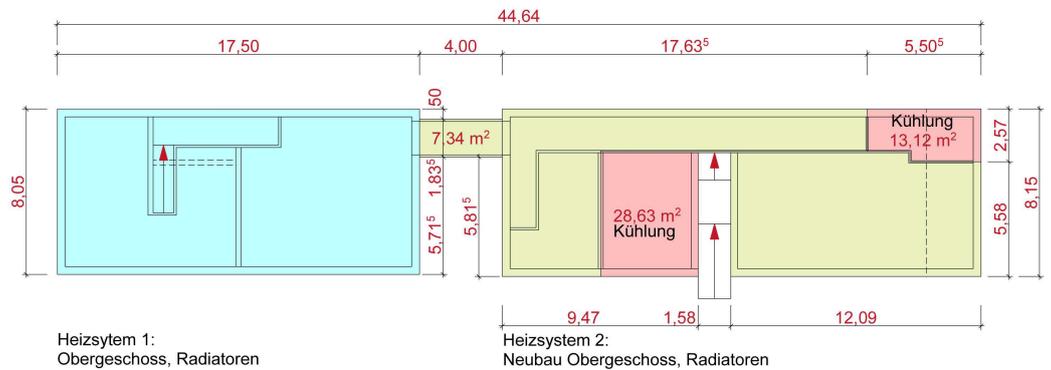
| | | | | |
|------------|----------------------------|-------------------------|---|-----------|
| Zone 1 / 2 | Büronutzung | 28,62+71,78 | = | 100,40 qm |
| Zone 12 | Kantine / Pausenraum | 66,81 | = | 66,81 qm |
| Zone 16 | WC, Umkleiden; Sozialräume | 58,86+22,59 | = | 81,45 qm |
| Zone 19 | Verkehr | 6,81+15,22+42,91 | = | 64,94 qm |
| Zone 20 | Lager, Technik, Archiv | 36,27+27,41+76,25+86,86 | = | 226,79 qm |
| Zone 21 | Server | 13,12 | = | 13,12 qm |
| Zone 22 | Werkstatt | 70,40 | = | 70,40 qm |
| SUMME | | | | 623,91 qm |
| | Nettogrundfläche nach EnEV | | | 559,93 qm |

Hinweis: die angegebenen Flächen sind weder NGF noch BGF –Angaben, sondern Brutto – EnEV-Flächen mit Bezug auf die thermische Gebäudehülle!



Grundriss Erdgeschoss und Obergeschoss, Bestand

Die klare Gliederung des Gebäudes lässt eine vereinfachte Zoneneinteilung zu:



Demnach ergibt sich die folgende Einteilung

| Zonenname | Profil | NGF/EnEV m ² | Anteil % | Vol m ³ | netto Vol. m ³ |
|----------------------|--|----------------------------|-------------|-----------------------|---------------------------------|
| Sozialräume | 16 WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden | 118.1 | 21.1 | 507.2 | 321.3 |
| Altbau_Lager_Technik | 20 Lager, Technik, Archiv | 116.8 | 20.9 | 481.8 | 366.9 |
| Büro | 2 Gruppenbüro (zwei bis sechs Arbeitsplätze) | 152.1 | 27.2 | 520.8 | 413.6 |
| Büro_gekühlt | 2 Gruppenbüro (zwei bis sechs Arbeitsplätze) | 33.8 | 6.0 | 150.3 | 92.0 |
| Neubau_Lager_Technik | 20 Lager, Technik, Archiv | 139.1 | 24.8 | 571.4 | 436.6 |
| SUMME | | 559.9 | | | |
| Zum Vergleich | angegebene NGF des WSV | 329.0 | | | |

Für dieses Gebäude werden die folgenden Grenzwerte errechnet:

Jahres-Primärenergiebedarf Q_p
bezogen auf die Gebäudenutzfläche 262.4 [kWh/m²a]
maximal zulässiger Jahres-
Primärenergiebedarf: 288.7 [kWh/m²a]

Der errechnete Energiebedarf liegt 10 % unter den zulässigen Altbau-Grenzwerten der Energieeinsparverordnung.
Zum Neubauniveau der EnEV müsste der Energiebedarf 27.2% niedriger sein. Durch andere Verordnungen werden insbesondere die Anforderungen an die Qualität der thermischen Gebäudehülle (mittlerer Transmissionswärmekoeffizient H_t) weiter verschärft.

Die Detaillergebnisse der Berechnungen zum IST – Bedarf liegen im Teil C4 vor. Der hier ermittelte Endenergiebedarf (siehe auch Tabelle in der Anlage) beträgt:

Wärme: $131.775 / 559.9 \text{ qm} = 235.4 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (inkl. WW)
Strom: $6.791 / 559.9 \text{ qm} = 12.1 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (inkl. Kühlung)

3. Energieverbrauch

Der Energieverbrauch des Gebäudes wurde ermittelt auf der Basis der Verbrauchsabrechnungen der Jahre 2012-2014, die vom Außenbezirk zur Verfügung gestellt wurden.

Die Bezugsfläche ist die in der Bedarfsermittlung nach DIN 18599 ermittelte Fläche von 559.9 qm (Nettogrundfläche nach EnEV).

Die vorgeschriebene Klimabereinigung wird vom Programm „rowasoft“ automatisch übernommen.

ENERGIEAUSWEIS für Nichtwohngebäude

gemäß den §§ 16 ff. der Energieeinsparverordnung (EnEV) vom ¹ 18.11.2013

Erfasster Energieverbrauch des Gebäudes

Registriernummer ²

(oder: "Registriernummer wurde beantragt am ...")

3

Endenergieverbrauch

Endenergieverbrauch Wärme
[Pflichtangabe in Immobilienanzeigen]
159 kWh/(m²·a)

↑ Vergleichswert dieser Gebäudekategorie für Heizung und Warmwasser ³

Warmwasser enthalten

Endenergieverbrauch Strom
[Pflichtangabe in Immobilienanzeigen]
94 kWh/(m²·a)

↑ Vergleichswert dieser Gebäudekategorie für Strom ³

Der Wert enthält den Stromverbrauch für

Zusatzheizung Warmwasser Lüftung eingebaute Beleuchtung Kühlung Sonstiges

Verbrauchserfassung

| Zeitraum | | Energieträger ⁴ | Primär-energie-faktor | Energieverbrauch Wärme [kWh] | Anteil Warmwasser [kWh] | Anteil Heizung [kWh] | Klima-faktor | Energieverbrauch Strom [kWh] |
|------------|------------|----------------------------|-----------------------|------------------------------|-------------------------|----------------------|--------------|------------------------------|
| von | bis | | | | | | | |
| 01.01.2012 | 31.12.2014 | Erdgas | 1,10 | 226.232 | 11.311 | 214.921 | 1,19 | |
| 01.01.2012 | 31.12.2014 | Strom | 2,40 | | | | 1,00 | 157.706 |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

Primärenergieverbrauch dieses Gebäudes

400 kWh/(m²·a)

Gebäudenutzung

| Gebäudekategorie/ Nutzung | Flächen-anteil | Vergleichswerte ³ | |
|--|----------------|------------------------------|-------|
| | | Heizung und Warmwasser | Strom |
| Produktion, Lager bis 3500m ² | 100 % | 110 | 20 |
| | | | |

Erläuterungen zum Verfahren

Das Verfahren zur Ermittlung von Energieverbrauchskennwerten ist durch die Energieeinsparverordnung vorgegeben. Die Werte sind spezifische Werte pro Quadratmeter beheizte/gekühlte Nettogrundfläche. Der tatsächliche Energieverbrauch eines Gebäudes weicht insbesondere wegen des Witterungseinflusses und sich ändernden Nutzerverhaltens von den angegebenen Kennwerten ab.

¹ siehe Fußnote 1 auf Seite 1 des Energieausweises unter www.bbsr-energieeinsparung.de durch das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung im Einvernehmen mit dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie

² siehe Fußnote 2 auf Seite 1 des Energieausweises

³ veröffentlicht

⁴ gegebenenfalls auch Leerstandszuschläge in kWh

530.04 Brcht Teil B4 151118.doc

Seite 8 von 24

Jörg Haake
eah@j-haake.de

Heinrich – Gellissen – Str. 9
50769 Köln

Fon: 0221 - 86 940 87
Fax: 0221 - 86 940 88

Es wird ein Endenergie-Verbrauch ermittelt von

Wärme 159 kWh/m²a

Strom 94 kWh/m²a

Der Vergleichswert für diese Gebäudekategorie beträgt nach [4]

Wärme 110 kWh/m²a

Strom 20 kWh/m²a

Ungeachtet des guten Wärmedämmstandards liegt der Wärmeverbrauch ca. 44 % über dem Vergleichswert. Der Stromverbrauch liegt jedoch 470 % über dem Vergleichswert.

Dieser hohe Stromverbrauch lässt sich aus dem Bedarf des Gebäudes für

- Beleuchtung
- Kälte/Klima
- Hilfsenergie für den Betrieb von Pumpen

nicht erklären.

Auf Seite 6 wurde bereits ermittelt, dass der Bedarf an elektrischer Energie einschließlich Beleuchtung und Kühlung

$6.791 / 559.9 \text{ qm} = 12.1 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ beträgt.

Das ist weniger als der vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie angegebene Vergleichswert, desto größer wird die Diskrepanz zum ermittelten Verbrauch.

Wie bei allen anderen Betriebsgebäuden wird auch in Emmerich der elektrische Strom für die oben genannten Leistungsbereiche nicht getrennt von den sonstigen Verbrauchern. Wenn Außenbeleuchtung, Rohrbegleitheizung am Steiger oder Prozeßenergie für Schweißarbeiten nicht gesondert erfasst werden, entsteht bei der Analyse des Energieverbrauchs des Gebäudes ein verzerrtes Bild.

4. Vergleich Bedarf / Verbrauch

Wirtschaftlichkeitsberechnungen vergleichen den Aufwand mit dem zu erzielenden Gewinn bzw. mit den Einsparungen.

Die nachfolgenden Bedarfs-Optimierungen werden in ihrem Ergebnis gewichtet nach dem festgestellten Verbrauch:

IST – Endenergie-Verbrauch Wärme: 159 kWh/m²a

IST – Endenergie-Bedarfsberechnung Wärme: 235 kWh/m²a

Der Faktor beträgt: $159 / 235 = 0,6766$

Alle auf dem Weg der Bedarfsberechnung ermittelten Einsparungen sind um diesen Faktor zu reduzieren.

Der Unterschied zwischen dem niedrigen Energieverbrauch und dem hohen Energiebedarf ist auf Beschränkungen des normativen Berechnungsverfahrens zurückzuführen. Es kann aber auch so verstanden werden, dass die Mitarbeiter bereits sparsam heizen. Inwieweit der vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie angegebene Vergleichswert, der noch deutlich unter dem Verbrauch liegt angemessen ist, kann nicht beurteilt werden.

5. Energetische Mängel

Das Gebäude entspricht dem Stand der Technik von 2004 und ist gut gedämmt. Die räumliche Unterteilung zwischen niedrig beheizten Räumen im Erdgeschoss und dauerhaft beheizten Räumen im Obergeschoss ist eine funktionale Notwendigkeit und energetisch sinnvoll.

1. Thermische Gebäudehülle

Es konnten keine wesentlichen Mängel an der thermischen Gebäudehülle festgestellt werden, jedoch werden die Aluminiumfenster heute wegen des hohen Wärmeverlustes über die Rahmen nur ungerne verwendet.

2. Sommerlicher Wärmeschutz

Die außen liegenden Jalousien sind teilweise schadhaft.

3. Heizung

Es gibt zwei getrennte Heizungsanlagen mit zwei Brennwertthermen, die unterschiedliche Anforderungen erfüllen. Radiatoren geben die Wärme in den obergeschossigen Räumen ab, während im Erdgeschoss Deckenheizer bei Bedarf zugeschaltet werden und für eine schnelle Erwärmung der Luft sorgen. Diese Deckenheizer sollten mit einer Zeitschaltuhr und einer automatischen Abschaltung bei geöffnetem Tor ausgerüstet werden.

4. Elektrische Energie

Es wird empfohlen, die für Beleuchtung, Kühlung und den Betrieb von Pumpen erforderliche elektrische Energie entsprechend den Vorschriften der DIN 18599 separat zu zählen.

Die Räume sind mit alten Langfeldleuchten ausgestattet mit sogenannten „konventionellen Vorschaltgeräten“. Diese Geräte benötigen relativ viel Strom. Hierzu gibt es Alternativen (siehe Teil A). Durch automatische Präsenzkontrolle und Einbau von LED-Tubes kann der Bedarf jährlich um 1.427 kWh (effektiv 956 kWh) gesenkt werden.

Es gibt im Gebäude zwei Kühlgeräte (Splitgeräte), je eines für die Büros und für den Server. Der gesamte Jahresbedarf wird auf 141 kWh/a veranschlagt. Das sind im Verhältnis zum Gesamtenergiebedarf 1,7%, also ein geringer Anteil.

6. Sommerlicher Wärmeschutz

Der sommerliche Wärmeschutz des gekühlten Büroraums neben dem Eingang wurde überprüft. Die vorhandene Verschattung müsste demnach ausreichen um eine Überhitzung des Raums zu vermeiden.

7. Erreichen der EnEV – Altbau-Grenzwerte

Die Altbaugrenzwerte der EnEV werden eingehalten. Wie in Wesel wird darüber hinaus empfohlen programmierbare Thermostatventile einzubauen in gelegentlich genutzten Räumen (Sozialräume). Ein Beispiel hierfür ist im Anhang von Teil A zu finden. Diese Geräte sind bedarfsprogrammierbar und können so eingerichtet werden, dass sie in den Sozialräumen kurz vor dem Eintreffen der Kollegen die Heizung automatisch hochfahren und nach einer Stunde wieder absenken. Solche Veränderungen der Steuerung sind in der EnEV – Berechnung zur Zeit nicht erfassbar.

8. Anwendung angepasster Nutzungsprofile

Wie bereits im Betriebswerksgebäude Duisburg dargestellt, kann man auf der Basis von EnEV § 1, Abs. 2 Satz 9 in Frage stellen, ob es sich bei den schwach beheizten Lagerräumen und Werkstätten überhaupt um Räume handelt, die eine dauernde Bereitstellung von Wärme und Licht benötigen. Dann entfällt auch ein Nachweis nach EnEV für diese Bereiche.

Wenn diese Räume aus der Berechnung fallen reduziert sich die Nettogrundfläche nach EnEV auf 304 qm. Reduziert man das beheizte Volumen auf den Bereich der Sozialräume und der Büros erhält man ein Endergebnis, das auf den ersten Blick schlechter ist:

| | |
|---|--|
| Jahres-Primärenergiebedarf Q_p bezogen auf die Gebäudenutzfläche maximal zulässiger Jahres- Primärenergiebedarf: | 325.4 [kWh/m ² a] 380.6 [kWh/m ² a] |
|---|--|

Sowohl der ermittelte Primärenergiebedarf als auch der zulässige Grenzwert steigen. Die Altbaugrenzwerte werden eingehalten.

Tatsächlich wird der Energiebedarf gegenüber dem Bestand wie folgt reduziert:

Wärme

$$133.198.8 \text{ kWh/a} - 89.582.2 \text{ kWh/a} = 43.616.6 \text{ kWh/a Einsparung (32 \%)}$$

Strom

$$6.483.5 \text{ kWh/a} - 4.577.7 \text{ kWh/a} = 1.905.8 \text{ kWh/a Einsparung (29\%)}$$

In Euro umgerechnet:

$$43.617 \times 0,0866 + 1.906 \times 0,2935 = 4.336.64 \text{ €/a}$$

Gewichtet nach Verbrauch:

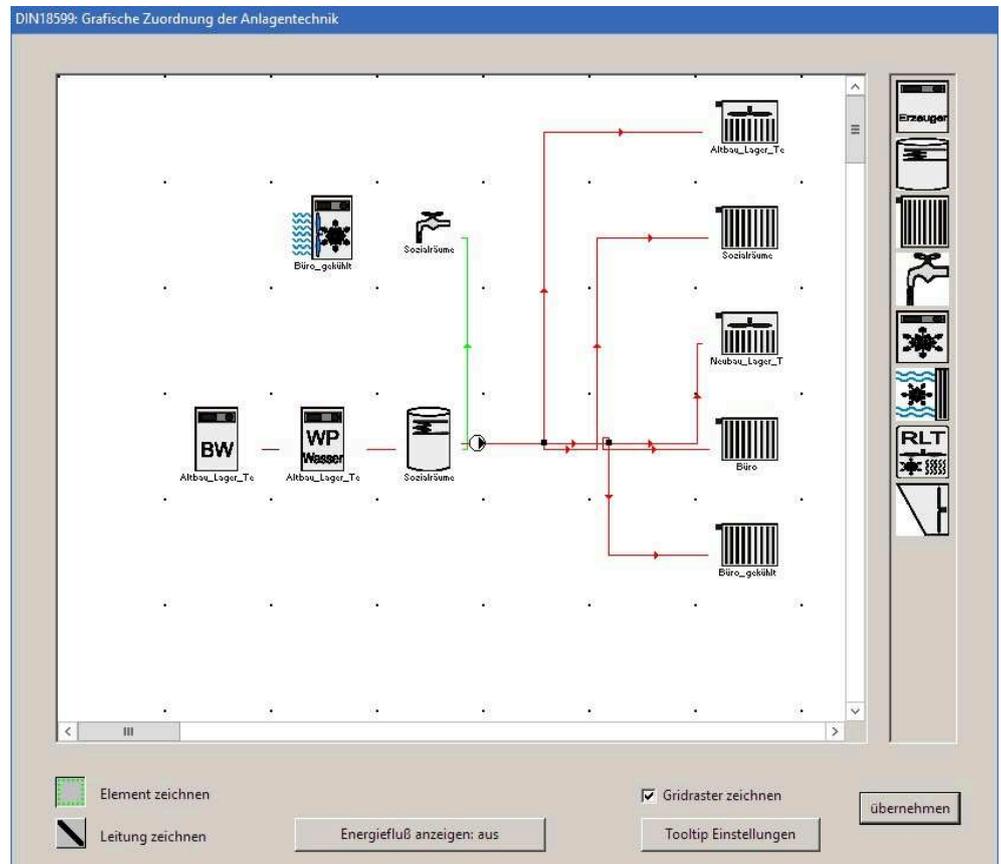
$$4.336.64 \times 0,6766 = 2.934.17 \text{ € brutto Einsparungen / a.}$$

9. Erreichen der EnEV-Neubau-Grenzwerte

Das Erreichen der Neubau-Grenzwerte – Einhalten der Grenzwerte für Primärenergie UND Transmissionswärmekoeffizient - wird erschwert durch die zusätzlichen Anforderungen des Erneuerbare Energien Wärme Gesetzes (EEWärmeG) für öffentliche Gebäude. Das gilt unabhängig davon, ob man das beheizte Volumen reduziert oder nicht. Betrachtet man das Gebäude so wie es ist, wird der Grenzwert für die Primärenergie abgesenkt von 288.7 [kWh/m²a] (Altbau) auf 175.3 kWh/m²a. Das ist eine Reduktion um 39%. Wie bereits bei den anderen Betriebsgebäuden dargestellt, kann man eine solche Veränderung nicht durch „Optimierungen“ erreichen. Sobald man für dieses Gebäude den Einsatz regenerativer Energie vorsieht, werden alle Grenzwerte eingehalten.

10. Biomasse oder Wärmepumpe

Bei den energetischen Untersuchungen zu den Betriebsgebäuden in Neuss und Duisburg wurde bereits festgestellt, dass regenerativer Energie einen hohen Grundlastanteil (ca. 80%) liefert und durch einen Spitzenlastkessel ergänzt werden muss. Hierdurch wird verhindert, dass unwirtschaftlich große Anlagen erforderlich sind. Im Betriebswerksgebäude Emmerich gibt es bereits zwei Heizzentralen. Diese Zentralen müssen miteinander zu einem System verbunden werden.



Man kann an dem oben wiedergegebenen Schema bereits erahnen, mit welchem Aufwand eine solche Umstellung verbunden ist.

Hinzu kommt, dass die Einhaltung der Neubau-Grenzwerte für den Transmissionswärmeverlustkoeffizienten H_T den Austausch sämtlicher Aluminiumfenster und der Sektionaltore erfordern würde. Man kann also hier nur von einem theoretischen, konzeptionellen Ansatz sprechen.

Bedarfwerte bei Einsatz einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe

| | |
|--|--|
| Jahres-Primärenergiebedarf Q_p bezogen auf die Gebäudenutzfläche maximal zulässiger Jahres-Primärenergiebedarf nach EnEV: | 161.4 [kWh/m ² a] 191.0 [kWh/m ² a] |
|--|--|

Der höhere zulässige Primärenergiebedarf der Wärmepumpe erklärt sich aus dem Strombedarf.

Auch beim Einsatz einer Holzpelletheizung müsste nach dem gleichen Schema vorgegangen werden.

Die erzielbaren Bedarfwerte bei Einsatz eines Holzpelletkessels

| | |
|--|---|
| Jahres-Primärenergiebedarf Q_p bezogen auf die Gebäudenutzfläche maximal zulässiger Jahres-Primärenergiebedarf nach EnEV: | 57.2 [kWh/m ² a] 191.0 [kWh/m ² a] |
|--|---|

11. Wirtschaftlichkeit

Die Kosten für den Einsatz einer Wärmepumpe werden ausführlich im Beratungsbericht zum Außenbezirk Neuss erläutert. Der Einsatz von regenerativer Energie ist ökologisch sinnvoll. Es ist aber bei den derzeitigen Marktbedingungen nicht zu erwarten, dass man einen wirtschaftlichen Vorteil erzielt.

Der Einsatz einer Photovoltaikanlage kommt in Emmerich wegen der Ausrichtung des Gebäudes und der Verschattung durch den angrenzenden Stadtpark nicht in Betracht.

Die Wirtschaftlichkeit des Austauschs von Langfeldröhren durch LED-Tubes wurde bereits im Beratungsbericht zum Außenbezirk Neuss dargestellt.

12. Die wirtschaftlich sinnvolle Variante

Das Betriebswerksgebäude Emmerich ist ein solides Gebäude mit einer Qualität, die den Anforderungen an den Altbau-Grenzwert der EnEV entspricht. Es erscheint wirtschaftlich nicht sinnvoll, ein Neubauniveau anzustreben oder gar den Anforderungen des EEWärmeG entsprechen zu wollen.

Die vorangegangenen Untersuchungen zeigen, dass Veränderungen im Kleinen möglich sind. Folgende Empfehlungen werden gemacht:

- Die für die EnEV relevanten Verbraucher „Licht, Kälte und Hilfsenergie“ sollten separat gezählt werden.
- Ausstattung der Deckenheizer mit programmierbaren Steuerungen
- Ausstattung der Radiatoren in den Sozialräumen mit programmierbaren Steuerungen
- Austausch der Langfeldleuchten gegen LED-Tubes
- automatische Präsenzschtaltung Licht

Diese Steuerungen machen es möglich, die Räume unbeheizt zu halten ohne den Mitarbeitern die Möglichkeit zum Eingriff zu nehmen.

Darüber hinaus kann die Frage gestellt werden, ob es nicht ausreicht ein Dienstfahrzeug mit einer Standheizung auszustatten, statt einen ganzen Raum auf Temperatur zu bringen, damit man morgens bequem einsteigen kann.

Der Einfluss dieser Maßnahmen kann groß sein, ist aber nicht in Form von Berechnungen nach DIN 18599 darstellbar.

13. CO2 und Schadstoffe

CO2- Ausstoß Bestand vor Optimierung

| | | absolut | | | bezogen auf die Nutzfläche 314.3 m ² | |
|--------------|-----------|---------|---------------|--------------|---|---------------------|
| Endenergie | | CO2 | Bedarf | CO2 | Bedarf | CO2 |
| | | kg/kWh | kWh/a | kg/a | kWh/m ² a | kg/m ² a |
| 1 | Strom-Mix | 0.617 | 6791 | 4190 | 0.00 | 7.48 |
| 2 | Erdgas H | 0.244 | 131752 | 32148 | 0.00 | 57.41 |
| Summe | | | 138543 | 36338 | 0.00 | 64.90 |

Als Berechnungsgrundlage des CO₂ Ausstoßes wurden GEMIS 4.13 Werte (www.gemis.de) verwendet

Schadstoffausstoß

| Energieträger | NOx | NOx | CO | SO ₂ | Staub |
|---------------|---------------------|--------------|--------------|-----------------|-------------|
| | kg/m ² a | kg/a | kg/a | kg/a | kg/a |
| Strom-Mix | 0.008 | 4.29 | 1.39 | 2.61 | 0.37 |
| Erdgas H | 0.047 | 26.48 | 19.10 | 1.84 | 1.19 |
| SUMME | 0.055 | 30.77 | 20.49 | 4.46 | 1.55 |

CO2 - Ausstoß , Wärmepumpeneinsatz

| | | absolut | | | bezogen auf die Nutzfläche 314.3 m ² | |
|--------------|-----------|-----------------|--------------|-----------------|---|---------------------|
| Endenergie | | CO ₂ | Bedarf | CO ₂ | Bedarf | CO ₂ |
| | | kg/kWh | kWh/a | kg/a | kWh/m ² a | kg/m ² a |
| 1 | Strom-Mix | 0.617 | 36371 | 22441 | 0.00 | 40.08 |
| 2 | Erdgas H | 0.244 | 3093 | 755 | 0.00 | 1.35 |
| Summe | | | 39464 | 23196 | 0.00 | 41.43 |

Als Berechnungsgrundlage des CO₂ Ausstoßes wurden GEMIS 4.13 Werte (www.gemis.de) verwendet

Schadstoffausstoß, Wärmepumpeneinsatz

| Energieträger | NOx | NOx | CO | SO ₂ | Staub |
|---------------|---------------------|--------------|-------------|-----------------|-------------|
| | kg/m ² a | kg/a | kg/a | kg/a | kg/a |
| Strom-Mix | 0.041 | 22.95 | 7.42 | 14.00 | 1.96 |
| Erdgas H | 0.001 | 0.62 | 0.45 | 0.04 | 0.03 |
| SUMME | 0.042 | 23.57 | 7.87 | 14.05 | 1.99 |

Verbrauchsgewichtet wird durch den Einsatz einer Wärmepumpe der CO₂-Anteil um $0,6766 \times 13,1 = 8,9 \text{ to/a}$ reduziert, jedoch steigt durch den höheren Stromanteil der Anteil der Stick + Schwefeloxide.

Die Reduktion der Stickoxide beträgt $0,6766 \times (30,77-23,57) = 4,8 \text{ kg/a}$

Die Reduktion der Schwefeloxide beträgt $0,6766 \times (14,05-4,46) = 9,59 \text{ kg/a}$

Teil C4

Berechnungen mit CAD - Plänen zur Flächenermittlung
siehe gesonderter Band

Teil D4

Dokumentation, siehe gesonderter Band

Anhang

Außenbezirk Emmerich

Bedarfsberechnung Endenergie Bestand vor Optimierung

18.11.2015

| Gebäude | Total | Jan. | Feb. | März | April | Mai | Juni | Juli | Aug. | Sept. | Okt. | Nov. | Dez. |
|------------------------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|----------|----------|----------|
| Endenergie | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] |
| Gesamtenergie | 138543 | 23863 | 20266 | 17460 | 9282 | 3813 | 1675 | 930 | 1121 | 4759 | 11781 | 19213 | 24379 |
| Referenzgebäude | 103427 | 18349 | 15549 | 13135 | 6367 | 2348 | 939 | 588 | 710 | 3086 | 8756 | 14774 | 18825 |
| Heizung | 129895 | 23124.49 | 19613.76 | 16751.01 | 8601.81 | 3106.77 | 963.69 | 144.81 | 358.58 | 4066.76 | 11055.56 | 18492.94 | 23614.61 |
| Referenzgebäude | 96753.55 | 17686.11 | 14983.94 | 12580.37 | 5950.33 | 1862.41 | 470.80 | 55.45 | 155.65 | 2597.68 | 8180.21 | 14135.76 | 18094.86 |
| ->Raumwärme | 128471 | 22879.86 | 19404.88 | 16567.18 | 8500.18 | 3066.93 | 950.81 | 142.92 | 353.56 | 4016.17 | 10929.63 | 18293.71 | 23365.55 |
| Referenzgebäude | 95730.77 | 17520.63 | 14842.65 | 12456.39 | 5879.74 | 1827.35 | 447.57 | 42.86 | 140.50 | 2554.65 | 8091.94 | 14000.38 | 17926.11 |
| ->Hilfseng. Heizung | 1423.42 | 244.63 | 208.89 | 183.83 | 101.63 | 39.85 | 12.88 | 1.89 | 5.03 | 50.59 | 125.94 | 199.23 | 249.05 |
| Referenzgebäude | 1022.79 | 165.48 | 141.29 | 123.98 | 70.58 | 35.05 | 23.23 | 12.59 | 15.15 | 43.03 | 88.26 | 135.39 | 168.74 |
| Warmwasser | 3303.81 | 275.77 | 248.96 | 275.23 | 265.72 | 274.41 | 276.10 | 308.33 | 297.52 | 265.01 | 274.54 | 266.44 | 275.78 |
| Referenzgebäude | 1673.51 | 225.14 | 191.18 | 158.10 | 41.22 | 90.18 | 58.85 | 82.70 | 114.38 | 93.64 | 156.09 | 206.69 | 255.34 |
| ->Hilfseng. Warmwasser | 23.09 | 1.97 | 1.78 | 1.97 | 1.90 | 1.96 | 1.89 | 1.95 | 1.95 | 1.89 | 1.96 | 1.90 | 1.97 |
| Referenzgebäude | 116.09 | 4.22 | 4.35 | 7.19 | 11.92 | 13.32 | 14.02 | 19.33 | 16.59 | 10.46 | 7.25 | 4.57 | 2.87 |
| Licht | 5203.02 | 462.98 | 403.27 | 434.10 | 412.11 | 420.34 | 405.45 | 421.72 | 427.22 | 422.76 | 450.60 | 453.37 | 489.11 |
| Referenzgebäude | 4799.45 | 437.80 | 374.09 | 396.45 | 372.23 | 376.76 | 362.70 | 378.73 | 386.61 | 387.48 | 420.08 | 431.30 | 475.21 |
| Kühlung | 141.64 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.47 | 11.54 | 29.85 | 55.01 | 38.13 | 4.64 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Referenzgebäude | 200.75 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.25 | 18.39 | 47.09 | 70.96 | 53.78 | 7.27 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| ->Raumkühlung | 141.64 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.47 | 11.54 | 29.85 | 55.01 | 38.13 | 4.64 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Referenzgebäude | 121.81 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.91 | 10.64 | 27.38 | 44.98 | 32.65 | 4.25 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Referenzgebäude | 78.94 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.34 | 7.76 | 19.71 | 25.98 | 21.13 | 3.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

Außenbezirk Emmerich
 Bedarfsberechnung Endenergie, optimiert
 Einsparung durch LED und Präsenzkontrolle
 18.11.2015

| Gebäude Endenergie | Total [kWh] | Jan. [kWh] | Feb. [kWh] | März [kWh] | April [kWh] | Mai [kWh] | Juni [kWh] | Juli [kWh] | Aug. [kWh] | Sept. [kWh] | Okt. [kWh] | Nov. [kWh] | Dez. [kWh] |
|---|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| Gesamtenergie Referenzgebäude | 138510 103427 | 23927 18349 | 20322 15549 | 17515 13135 | 9305 6367 | 3760 2348 | 1574 939 | 807 588 | 1004 710 | 4755 3086 | 11826 8756 | 19270 14774 | 24444 18825 |
| Heizung Referenzgebäude | 131305 96753.55 | 23309.11 17686.11 | 19779.38 14983.94 | 16926.98 12580.37 | 8742.49 5950.33 | 3177.76 1862.41 | 984.29 470.80 | 148.58 55.45 | 366.85 155.65 | 4181.35 2597.68 | 11221.93 8180.21 | 18666.81 14135.76 | 23799.21 18094.86 |
| ->Raumwärme Referenzgebäude | 129869 95730.77 | 23062.96 17520.63 | 19569.12 14842.65 | 16741.65 12456.39 | 8639.60 5879.74 | 3137.10 1827.35 | 971.20 447.57 | 146.65 42.86 | 361.74 140.50 | 4129.60 2554.65 | 11094.52 8091.94 | 18466.12 14000.38 | 23548.64 17926.11 |
| ->Hilfsg. Heizung Referenzgebäude | 1435.84 1022.79 | 246.15 165.48 | 210.26 141.29 | 185.33 123.98 | 102.89 70.58 | 40.66 35.05 | 13.09 23.23 | 1.93 12.59 | 5.11 15.15 | 51.75 43.03 | 127.40 88.26 | 200.69 135.39 | 250.57 168.74 |
| Warmwasser Referenzgebäude | 3303.85 1673.51 | 275.77 225.14 | 248.96 191.18 | 275.23 158.10 | 265.72 41.22 | 274.44 90.18 | 276.11 58.85 | 308.32 82.70 | 297.55 114.38 | 265.01 93.64 | 274.54 156.09 | 266.44 206.69 | 275.78 255.34 |
| ->Hilfsg. Warmwasser Referenzgebäude | 23.09 116.09 | 1.97 4.22 | 1.78 4.35 | 1.97 7.19 | 1.90 11.92 | 1.96 13.32 | 1.89 14.02 | 1.95 19.33 | 1.95 16.59 | 1.89 10.46 | 1.96 7.25 | 1.90 4.57 | 1.97 2.87 |
| Licht Referenzgebäude | 3776.29 4799.45 | 342.25 437.80 | 293.91 374.09 | 312.76 396.45 | 294.51 372.23 | 298.71 376.76 | 287.72 362.70 | 300.12 378.73 | 305.74 386.61 | 305.39 387.48 | 329.61 420.08 | 336.64 431.30 | 368.93 475.21 |
| Kühlung Referenzgebäude | 125.05 200.75 | 0.00 0.00 | 0.00 0.00 | 0.00 0.00 | 1.94 3.25 | 9.58 18.39 | 26.20 47.09 | 50.17 70.96 | 33.64 53.78 | 3.52 7.27 | 0.00 0.00 | 0.00 0.00 | 0.00 0.00 |
| ->Raumkühlung Referenzgebäude | 125.05 121.81 | 0.00 0.00 | 0.00 0.00 | 0.00 0.00 | 1.94 1.91 | 9.58 10.64 | 26.20 27.38 | 50.17 44.98 | 33.64 32.65 | 3.52 4.25 | 0.00 0.00 | 0.00 0.00 | 0.00 0.00 |
| Referenzgebäude | 78.94 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.34 | 7.76 | 19.71 | 25.98 | 21.13 | 3.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

Außenbezirk Emmerich
 Bedarfsberechnung Endenergie, Reduziertes Volumen
 Einsparung durch LED und Präsenzkontrolle
 18.11.2015

| Gebäude | Total | Jan. | Feb. | März | April | Mai | Juni | Juli | Aug. | Sept. | Okt. | Nov. | Dez. |
|------------------------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|---------|----------|----------|
| Endenergie | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] |
| Gesamtenergie | 93308 | 15904 | 13524 | 11638 | 6202 | 2728 | 1252 | 729 | 850 | 3373 | 7955 | 12876 | 16276 |
| Referenzgebäude | 72294 | 12652 | 10731 | 9056 | 4405 | 1800 | 817 | 549 | 643 | 2313 | 6108 | 10220 | 12999 |
| Heizung | 86338.25 | 15305.57 | 12998.06 | 11069.11 | 5656.75 | 2152.61 | 690.77 | 105.87 | 241.28 | 2804.96 | 7370.14 | 12292.09 | 15651.05 |
| Referenzgebäude | 65953.65 | 12011.80 | 10186.66 | 8523.35 | 4002.47 | 1348.59 | 393.58 | 63.48 | 135.75 | 1838.44 | 5553.18 | 9604.26 | 12292.09 |
| ->Raumwärme | 85508.78 | 15162.30 | 12875.67 | 10962.44 | 5600.15 | 2130.31 | 683.22 | 104.82 | 238.67 | 2775.49 | 7296.11 | 12174.82 | 15504.78 |
| Referenzgebäude | 65134.20 | 11880.80 | 10074.62 | 8424.95 | 3948.49 | 1318.62 | 372.72 | 50.73 | 120.82 | 1804.75 | 5482.48 | 9496.74 | 12158.49 |
| ->Hilfseng. Heizung | 829.47 | 143.27 | 122.39 | 106.67 | 56.60 | 22.29 | 7.55 | 1.05 | 2.61 | 29.48 | 74.04 | 117.28 | 146.26 |
| Referenzgebäude | 819.45 | 131.00 | 112.04 | 98.40 | 53.97 | 29.97 | 20.86 | 12.76 | 14.93 | 33.69 | 70.70 | 107.53 | 133.60 |
| Warmwasser | 3244.06 | 267.42 | 241.45 | 266.99 | 260.63 | 282.92 | 269.20 | 299.32 | 292.29 | 271.52 | 266.42 | 258.44 | 267.44 |
| Referenzgebäude | 1581.60 | 215.41 | 182.65 | 149.75 | 43.37 | 81.01 | 51.18 | 69.86 | 100.81 | 97.14 | 147.85 | 197.54 | 245.02 |
| ->Hilfseng. Warmwasser | 22.41 | 1.91 | 1.73 | 1.91 | 1.84 | 1.90 | 1.84 | 1.90 | 1.90 | 1.84 | 1.90 | 1.85 | 1.91 |
| Referenzgebäude | 118.74 | 4.47 | 4.55 | 7.29 | 12.92 | 13.23 | 13.88 | 18.93 | 16.12 | 12.01 | 7.35 | 4.78 | 3.19 |
| Licht | 3648.63 | 331.20 | 284.07 | 301.99 | 284.17 | 288.08 | 277.44 | 289.47 | 295.04 | 294.94 | 318.68 | 325.90 | 357.63 |
| Referenzgebäude | 4643.39 | 424.32 | 362.08 | 383.28 | 359.57 | 363.74 | 350.12 | 365.70 | 373.51 | 374.70 | 406.73 | 418.19 | 461.44 |
| Kühlung | 77.22 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.83 | 14.96 | 34.35 | 21.20 | 1.89 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Referenzgebäude | 115.12 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 6.64 | 22.48 | 49.95 | 33.43 | 2.62 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| ->Raumkühlung | 77.22 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.83 | 14.96 | 34.35 | 21.20 | 1.89 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Referenzgebäude | 67.06 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.89 | 12.95 | 29.65 | 19.03 | 1.54 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Referenzgebäude | 48.06 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.75 | 9.53 | 20.30 | 14.40 | 1.08 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

Außenbezirk Emmerich
 Bedarfsberechnung Endenergie, Einhaltung des EEWärmeG
 vorhandenes Volumen, Einsparung durch LED und Präsenzkontrolle
 18.11.2015

| Gebäude | Total | Jan. | Feb. | März | April | Mai | Juni | Juli | Aug. | Sept. | Okt. | Nov. | Dez. |
|------------------------|----------|----------|----------|----------|---------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|----------|----------|
| Endenergie | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] |
| Gesamtenergie | 39464 | 7167 | 5669 | 4796 | 2228 | 1031 | 671 | 640 | 645 | 1234 | 3017 | 5373 | 6993 |
| Referenzgebäude | 95305 | 17502 | 14726 | 11648 | 4352 | 1752 | 1083 | 1059 | 1117 | 2295 | 7551 | 14035 | 18186 |
| Heizung | 32462.31 | 6558.71 | 5137.22 | 4224.16 | 1688.15 | 463.09 | 104.17 | 8.96 | 26.19 | 683.79 | 2431.86 | 4781.63 | 6354.38 |
| Referenzgebäude | 81817.63 | 16200.62 | 13592.35 | 10497.17 | 3411.72 | 732.93 | 96.35 | 16.85 | 26.39 | 1267.12 | 6386.40 | 12789.82 | 16799.91 |
| ->Raumwärme | 28482.83 | 5832.75 | 4512.22 | 3705.15 | 1450.55 | 393.16 | 87.74 | 7.56 | 22.03 | 581.13 | 2101.84 | 4193.09 | 5595.60 |
| Referenzgebäude | 80922.60 | 16044.28 | 13459.91 | 10388.14 | 3365.78 | 707.77 | 82.52 | 5.86 | 15.07 | 1238.29 | 6313.18 | 12663.14 | 16638.66 |
| ->Hilfseng. Heizung | 3979.48 | 725.96 | 624.99 | 519.01 | 237.59 | 69.93 | 16.43 | 1.40 | 4.16 | 102.66 | 330.02 | 588.54 | 758.78 |
| Referenzgebäude | 895.03 | 156.34 | 132.43 | 109.03 | 45.94 | 25.16 | 13.83 | 10.99 | 11.32 | 28.83 | 73.23 | 126.69 | 161.25 |
| Warmwasser | 3273.24 | 277.46 | 249.74 | 273.16 | 259.41 | 276.90 | 271.30 | 301.44 | 297.52 | 255.45 | 267.87 | 265.09 | 277.93 |
| Referenzgebäude | 8538.75 | 866.98 | 763.17 | 758.54 | 569.55 | 628.41 | 582.47 | 598.07 | 655.64 | 637.07 | 748.18 | 817.22 | 913.43 |
| ->Hilfseng. Warmwasser | 244.38 | 21.76 | 19.56 | 21.30 | 20.09 | 20.22 | 19.26 | 19.65 | 19.71 | 19.56 | 20.75 | 20.70 | 21.82 |
| Referenzgebäude | 228.79 | 11.15 | 10.87 | 15.58 | 24.29 | 23.46 | 27.67 | 30.45 | 27.69 | 21.42 | 15.64 | 11.48 | 9.12 |
| Licht | 3622.01 | 331.15 | 282.46 | 298.91 | 280.36 | 283.56 | 272.93 | 285.10 | 291.24 | 292.24 | 317.33 | 326.41 | 360.31 |
| Referenzgebäude | 4751.85 | 434.38 | 370.56 | 392.18 | 367.86 | 372.09 | 358.14 | 374.10 | 382.14 | 383.42 | 416.29 | 428.14 | 472.55 |
| Kühlung | 106.71 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 7.26 | 22.22 | 44.57 | 29.87 | 2.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Referenzgebäude | 196.58 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.03 | 18.08 | 45.82 | 70.00 | 52.66 | 6.99 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| ->Raumkühlung | 106.71 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 7.26 | 22.22 | 44.57 | 29.87 | 2.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Referenzgebäude | 121.12 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.78 | 10.44 | 27.23 | 44.98 | 32.60 | 4.09 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Referenzgebäude | 75.45 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.25 | 7.64 | 18.59 | 25.02 | 20.06 | 2.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

Tabelle der verwendeten Bauteile

Hinweis: auf die Darstellung der Zwischenwände wurde verzichtet, weil die vorangegangenen Berechnungen gezeigt haben, dass zwischen den Zonen „Büro“, „Lager“, „Werkstatt“, „Sanitär“ keine nachweisbaren Wärmeströme entstehen.

| | Bauteil | Bezeich | Ri. | Fläche [m ²] | U-Wert [W/m ² K] | Fak | Gewinn in % | Verlust in % |
|------|----------------------|----------|-----|-----------------------------|------------------------------------|------|----------------|-----------------|
| 1 | Wand | | | | | | | |
| 1.1 | 24 KSP 10/40 Klinker | AwO_A01 | OSO | 44.70 | 0.298 | 1.00 | 0.149% | 1.734% |
| 1.2 | 24 KSP 10/40 Klinker | AwO_A02 | OSO | 28.10 | 0.298 | 1.00 | 0.094% | 1.090% |
| 1.3 | 24 KSP 10/40 Klinker | AwW_A01 | WNW | 54.00 | 0.298 | 1.00 | 0.051% | 2.095% |
| 1.4 | 24 KSP 10/40 Klinker | AwW_A02 | WNW | 47.73 | 0.298 | 1.00 | 0.045% | 1.851% |
| 1.5 | 24 KSP 10/40 Klinker | AwS_A01 | SSW | 28.34 | 0.298 | 1.00 | 0.111% | 1.099% |
| 1.6 | 24 KSP 10/40 Klinker | AwS_A02 | SSW | 27.53 | 0.298 | 1.00 | 0.108% | 1.068% |
| 1.7 | 24 KSP 10/40 Klinker | AwN_A01 | NNO | 19.95 | 0.298 | 1.00 | --- | 0.774% |
| 1.8 | 24 KSP 10/40 Klinker | AwN_A02 | NNO | 27.53 | 0.298 | 1.00 | --- | 1.068% |
| 1.9 | 24 KS 12/35 pur | AwO_N01 | OSO | 54.34 | 0.241 | 1.00 | 0.147% | 1.707% |
| 1.10 | 24 KS 12/35 pur | AwO_N02 | OSO | 12.97 | 0.241 | 1.00 | 0.035% | 0.407% |
| 1.11 | 24 KS 12/35 pur | AwO_N03 | OSO | 30.78 | 0.241 | 1.00 | 0.083% | 0.967% |
| 1.12 | 24 KS 12/35 pur | AwW_N01 | WNW | 60.47 | 0.241 | 1.00 | 0.046% | 1.899% |
| 1.13 | 24 KS 12/35 pur | AwW_N02 | WNW | 18.18 | 0.241 | 1.00 | 0.014% | 0.571% |
| 1.14 | 24 KS 12/35 pur | AwW_N03 | WNW | 63.48 | 0.241 | 1.00 | 0.049% | 1.994% |
| 1.15 | 24 KS 12/35 pur | AwS_N01 | SSW | 22.73 | 0.241 | 1.00 | --- | 0.714% |
| 1.16 | 24 KS 12/35 pur | AwS_N02 | SSW | 27.87 | 0.241 | 1.00 | --- | 0.875% |
| 1.17 | 24 KS 12/35 pur | AwN_N01 | NNO | 18.45 | 0.241 | 1.00 | 0.002% | 0.580% |
| 1.18 | 24 KS 12/35 pur | AwN_N02 | NNO | 8.42 | 0.241 | 1.00 | 0.001% | 0.264% |
| 1.19 | 24 KS 12/35 pur | AwN_N03 | NNO | 27.87 | 0.241 | 1.00 | 0.003% | 0.875% |
| 1.20 | 24 KS 6/35 pur | AwEing01 | NNO | 21.67 | 0.429 | 1.00 | --- | 1.210% |
| 1.21 | 24 KS 6/35 pur | AwEing02 | NNO | 6.82 | 0.429 | 1.00 | --- | 0.381% |
| 1.22 | 24 KS 6/35 pur | AwEing03 | SSW | 21.67 | 0.429 | 1.00 | --- | 1.210% |
| 1.23 | 24 KS 6/35 pur | AwEing04 | SSW | 6.82 | 0.429 | 1.00 | --- | 0.381% |
| | | | | 680.44 | 0.280 | | 0.94% | 24.82% |

| | Bauteil | Bezeich | Ri. | Fläche [m²] | U-Wert [W/m²K] | Fak | Gewinn in % | | Verlust in % |
|------|---------------------------------------|-----------------|-----|----------------|-----------------------|------|----------------|---------------|-----------------|
| 2 | Fenster, Fenstertüren | | | | | | g | | |
| 2.1 | AWS65 Uf=2,2 Ug=1,5 g=68 | AwO_A01 | OSO | 18.30 | 2.316 | 1.00 | 0.68 | 5.046% | 5.513% |
| 2.2 | Garagentor / Sectionaltor gedämmt 1,5 | AwO_A02 | OSO | 29.38 | 1.500 | 1.00 | --- | ---- | 5.731% |
| 2.3 | AWS65 Uf=2,2 Ug=1,5 g=68 | AwO_A02 | OSO | 2.37 | 2.532 | 1.00 | 0.68 | 0.587% | 0.781% |
| 2.4 | AWS65 Uf=2,2 Ug=1,5 g=68 | AwW_A01 | WNW | 9.00 | 2.629 | 1.00 | 0.68 | 1.275% | 3.078% |
| 2.5 | AWS65 Uf=2,2 Ug=1,5 g=68 | AwW_A02 | WNW | 12.12 | 1.958 | 1.00 | 0.68 | 1.723% | 3.087% |
| 2.6 | AWS65 Uf=2,2 Ug=1,5 g=68 | AwS_A01 | SSW | 0.64 | 3.070 | 1.00 | 0.68 | 0.132% | 0.255% |
| 2.7 | AWS65 Uf=2,2 Ug=1,5 g=68 | AwN_A01 | NNO | 2.42 | 2.395 | 1.00 | 0.68 | 0.244% | 0.753% |
| 2.8 | AWS65 Uf=2,2 Ug=1,5 g=68 | AwO_N01 | OSO | 11.28 | 2.696 | 1.00 | 0.68 | 0.763% | 3.955% |
| 2.9 | AWS65 Uf=2,2 Ug=1,1 g=68 | AwO_N01 | OSO | 4.30 | 1.914 | 1.00 | 0.68 | 1.243% | 1.070% |
| 2.10 | AWS65 Uf=2,2 Ug=1,5 g=68 | AwO_N01 | OSO | 10.84 | 1.958 | 1.00 | 0.68 | 3.498% | 2.760% |
| 2.11 | AWS65 Uf=2,2 Ug=1,5 g=68 | AwO_N02 | OSO | 3.99 | 2.669 | 1.00 | 0.68 | 0.275% | 1.386% |
| 2.12 | Garagentor / Sectionaltor gedämmt 2,0 | AwO_N03 | OSO | 39.48 | 2.000 | 1.00 | --- | ---- | 10.270% |
| 2.13 | AWS65 Uf=2,2 Ug=1,5 g=68 | AwW_N01 | WNW | 6.59 | 2.761 | 1.00 | 0.68 | 0.258% | 2.365% |
| 2.14 | AWS65 Uf=2,2 Ug=1,5 g=68 | AwW_N01 | WNW | 10.84 | 1.958 | 1.00 | 0.68 | 2.115% | 2.760% |
| 2.15 | AWS65 Uf=2,2 Ug=1,5 g=68 | AwW_N02 | WNW | 1.64 | 2.597 | 1.00 | 0.68 | 0.071% | 0.553% |
| 2.16 | AWS65 Uf=2,2 Ug=1,5 g=68 | AwW_N03 | WNW | 6.63 | 2.074 | 1.00 | 0.68 | 0.777% | 1.787% |
| 2.17 | AWS65 Uf=2,2 Ug=1,5 g=68 | AwN_N01 | NNO | 1.64 | 2.597 | 1.00 | 0.68 | 0.193% | 0.553% |
| 2.18 | AWS65 Uf=2,2 Ug=1,5 g=68 | AwN_N02 | NNO | 0.83 | 2.923 | 1.00 | 0.68 | 0.079% | 0.315% |
| | | | | 172.25 | 2.096 | | | 18.28% | 46.97% |
| 3 | Decke zum Dachge., Dach | | | | | | | | |
| 3.1 | 20 Hz 20/35 oDecke | oGd_Alt | | 140.88 | 0.227 | 1.00 | | 0.373% | 4.167% |
| 3.2 | 20 Hz 20/35 oDecke | oGd_Neu | | 144.68 | 0.227 | 1.00 | | 0.383% | 4.279% |
| 3.3 | 20 Hz 20/35 oDecke | oGd_NeuK ühl | | 41.75 | 0.227 | 1.00 | | 0.110% | 1.235% |
| | | | | 327.31 | 0.227 | | | 0.87% | 9.68% |
| 4 | Grundfläche, Kellerdecke | | | | | | | | |
| 4.1 | 18.1 Bn 4/35 Wrkstatt | Grüflä_alt | | 140.88 | 0.627 | 0.50 | | --- | 5.744% |
| 4.2 | 18.1 Bn 4/35 Wrkstatt | Grüflä_neu | | 167.08 | 0.627 | 0.50 | | --- | 6.812% |
| | | | | 307.96 | 0.313 | | | ----- | 12.56% |

| | Bauteil | Bezeich | Ri. | Fläche [m²] | U-Wert [W/m²K] | Fak | Gewinn in % | Verlust in % |
|---|-------------------------------|---------------|-----|----------------|-----------------------|------|----------------|-----------------|
| 5 | Decke gegen Außenluft unten | | | | | | | |
| 5.1 | 18.1 Bn 5/35 SchwEstrFliTekta | Brücke | | 22.08 | 0.361 | 1.00 | --- | 1.037% |
| 5.2 | 18.1 Bn 5/35 SchwEstrFliTekta | Server | | 6.78 | 0.361 | 1.00 | --- | 0.319% |
| | | | | 28.86 | 0.361 | | ----- | 1.36% |
| 8 | Zwischendecken | | | | | | | |
| 8.1 | 18.1 Bn 5/35 SchwEstrFli | Zw_alt | | 140.88 | 0.647 | 1.00 | --- | 0.000% |
| 8.2 | 18.1 Bn 5/35 SchwEstrFli | Zw_neu | | 137.34 | 0.647 | 1.00 | --- | 0.000% |
| 8.3 | 18.1 Bn 5/35 SchwEstrFli | Zw_neuKühl | | 34.97 | 0.647 | 1.00 | --- | 0.000% |
| | | | | 313.19 | 0.647 | | ----- | ----- |
| | | Summe: | | 1516.82 | | | | |
| Jahresprimärenergiebedarf Q"P = 262.4 [kWh/m²a] Q"Pmax = 288.7 [kWh/m²a] | | | | | | | | |

Anlage 3

Energiekonzept Bürogebäude Außenbezirk Köln

Energiekonzept

im Auftrag der Bundesanstalt für Wasserbau



Bürogebäude Köln

Stand: 11.12.2015

EGS-plan Ingenieurgesellschaft für Energie-, Gebäude- und Solartechnik mbH
Gropiusplatz 10 . D-70563 Stuttgart
Tel. +49 711 99 007 - 5 . Fax +49 711 99 007 - 99
info@egs-plan.de . www.egs-plan.de

NordLB Braunschweig . BLZ 250 500 00 . Kto.-Nr. 20 740 60
IBAN-Nr. DE48 2505 0000 0002 0740 60 . BIC-/SWIFT-Code: NOLADE 2HXXX
Ust.-IdNr. DE218431901 . Registergericht Stuttgart . HRB 22434

Geschäftsführer:
Dipl.-Ing. Jörg Baumgärtner
Dr.-Ing. Boris Mahler
Direktor:
Univ. Prof. Dr.-Ing. M. Norbert Fisch

151211_Bericht Köln Bürogebäude.docx

Auftraggeber / Bauherr Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)
Kußmaulstraße 17
76187 Karlsruhe

Daniel Erndwein
Tel.: 0721 9726-5980
Email: daniel.erndwein@baw.de

Auftragnehmer EGS-Plan Ingenieurgesellschaft für
Energie-, Gebäude- und Solartechnik mbH
Gropiusplatz 10
70563 Stuttgart

Tel. +49 711 99 007 - 5
Fax +49 711 99 007 - 99
www.egs-plan.de
info@egs-plan.de

Bearbeitung Simone Idler, M.Sc.
Bernd Bauer

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Zusammenfassung | 4 |
| 2 | Liegenschaftsdaten | 5 |
| 3 | Bestandsaufnahme | 6 |
| 3.1 | Sichtbare Mängel | 6 |
| 3.2 | Gebäudehülle | 7 |
| 3.3 | Anlagentechnik | 9 |
| 4 | Energieverbrauch | 11 |
| 5 | Energiebedarf | 13 |
| 5.1 | Zonierung | 13 |
| 5.2 | Normierte Berechnung des Bestandes nach DIN V 18599 | 13 |
| 5.3 | Bedarfs-/Verbrauchsabgleich Wärme | 14 |
| 6 | Modernisierungsempfehlungen | 15 |
| 6.1 | Untersuchte Varianten | 15 |
| 6.2 | End- und Primärenergiebedarf bzw. CO ₂ -Emissionen | 18 |
| 6.3 | Wirtschaftlichkeitsberechnung | 20 |
| 7 | Anlagen | 24 |

1 Zusammenfassung

EGS-plan hat gemeinsam mit dem Gebäudeeigentümer und Vertreter der Bundesanstalt für Wasserbau und dem Gebäudenutzer das Gebäude in einer Begehung besichtigt. Dabei wurden das Gebäude und die für die Energieversorgung relevante Anlagentechnik besichtigt und Bauteile und Technik aufgenommen. Die Begehungen wurden in einer Fotodokumentation festgehalten. Zusätzlich zur Begehung wurden Pläne und Revisionsunterlagen gesichtet. Gespräche mit Gebäudeeigentümer und Nutzer fanden im Rahmen der Begehungen sowie telefonisch und per email statt. Sie dienten der Klärung offener Fragen zu Bauteilen, Nutzung, Anlagen und deren Betriebsführung und dem Austausch von Energierechnungen.

Bei der Bestandsaufnahme wurden Mängel an der Gebäudehülle festgestellt. Aufgrund des Baualters ist der Fußbodenbelag eventuell asbesthaltig. Die Holzrahmen der Außenfenster im Obergeschoss sind sanierungsbedürftig. Die Unterspannbahn des Kaltdaches ist beschädigt. Es gibt keinen separaten Gaszähler für das Bürogebäude.

Es wurden 24 Einzelmaßnahmen untersucht, welche zu vier Sanierungsvarianten zusammengefasst wurden. Für die einzelnen Varianten wurden der End- und Primärenergieeinsatz sowie die CO₂-Emissionen berechnet. Anschließend wurde eine Wirtschaftlichkeitsberechnung mit einem Zeitraum von 20 Jahren durchgeführt.

Eine Sanierung auf EnEV 2014 für Bestandsgebäude wird unter anderem durch umfangreiche bauliche Maßnahmen an Außenwand, Fenster, Dach und Boden sowie einer effizienteren Wärmeerzeugung durch einen Gas-Brennwertkessel erreicht. Aufwändig ist hier unter anderem die Dämmung des Kellerbereiches mit Freilegung der Kellerwand, Abdichtung und Ausführung der Perimeterdämmung. Im höher gelegenen Bürogebäude wird im Vergleich zum Betriebsgebäude von einer geringeren Hochwassergefahr ausgegangen und daher für die Dämmung der Innenwände im Untergeschoss preisgünstige Holzwolle-Dämmplatten vorgeschlagen. Zudem müssen für die Erfüllung des EEWärmeG 25% des Gasbedarfs für die Wärmeerzeugung durch Biomethan gedeckt werden. Die Variante 1 hat höhere Jahresgesamtkosten als das aktuelle Gebäude, ist technisch möglich aber nur mit hohem investivem Aufwand durchzuführen.

Eine Sanierung auf Neubaustandard nach EnEV 2014 und eine regenerative Wärmeversorgung sind mit etwas höherem Aufwand an der Gebäudehülle und die Umstellung der Wärmeerzeugung zu erreichen. Die Varianten 2 bis 3 sind vor allem aus Sicht der Anlagentechnik technisch schwierig umzusetzen und wirtschaftlich ebenfalls nicht darstellbar. Sie werden daher nicht zur Umsetzung empfohlen.

Die wirtschaftliche Variante 4 enthält lediglich die Durchführung eines hydraulischen Abgleichs. Zusätzlich zur Umsetzung der Variante 4 werden nicht-investive Maßnahmen zur Betriebsoptimierung wie die Anpassung der Heizkurve und der Nachtabsenkung empfohlen.

2 Liegenschaftsdaten

| | |
|------------------------------------|--|
| Bezeichnung der Liegenschaft | Bürogebäude ABz. Köln |
| Adresse | Sachsenbergstraße 2 51063 Köln |
| Ansprechpartner vor Ort | Herr Neumann, Tel.: 0221-8887923-500 |
| Hauptnutzung | Büro- und Sozialräume, Lager |
| Nettogrundfläche beheizt | 210 m ² |
| Baujahr | 1948/49, Umbau 1960/61, seit 2001 Büronutzung |
| Konditionierung | beheizt |
| Nutzungszeiten | Mo-Do: 06:45-15:30 Uhr Fr: 06:45-12:45 Uhr |
| Anforderung an die Raumkonditionen | Büro- und Sozialbereiche: ca. 21 °C |
| Besonderheiten | Niedrig beheizte Bereiche vorhanden |

Tabelle 1 Angaben zur Liegenschaft und Ansprechpartner

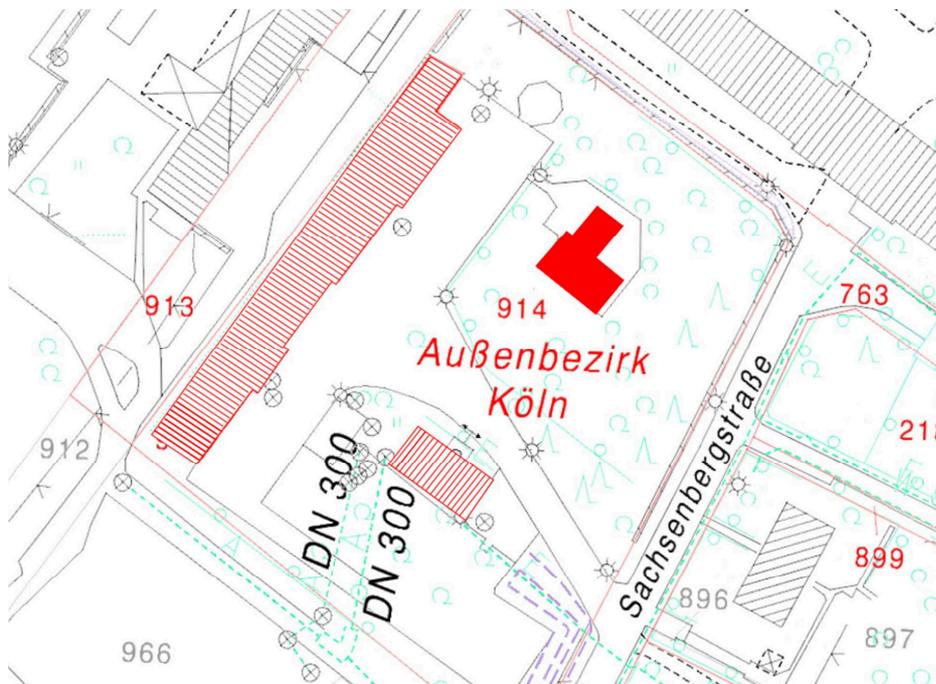


Abbildung 1 Lage des Gebäudes

3 Bestandsaufnahme

3.1 Sichtbare Mängel

| Nr. | Bauteil | Foto und Beschreibung |
|-----|---|--|
| 1. | Außenfenster |  <p data-bbox="879 651 1394 703">Holzrahmen der Außenfenster im Obergeschoss sind sanierungsbedürftig</p> |
| 2. | Dach |  <p data-bbox="879 1003 1185 1032">Unterspannbahn ist beschädigt.</p> |
| 3. | Fußbodenbelag Büro- und Sozialräume |  <p data-bbox="879 1160 1394 1339">Aufgrund des Baualters ist der Vinyl/ PVC Bodenbelag (Floor Flex) eventuell asbesthaltig. Seit Ende 1991 sind diese Fußbodenbeläge verboten. Bei einer Entfernung des Bodenbelags muss ein Fachmann für eine genaue Beurteilung hinzugezogen werden.</p> |

Tabelle 2 sichtbare Mängel Gebäudehülle und Technik

3.2 Gebäudehülle

Die U-Werte wurden anhand der aufgenommenen Bauteilspezifikationen berechnet. Die der Berechnung zugrunde liegende λ – Werte wurden abgeschätzt. Detaillierte Bauteildaten sind im Anlage 1.1 bis 1.2 beigefügt.

| Bauteil | Foto | Typ | U-Wert [W/(m²K)] |
|----------------|---|--|------------------|
| Außenwand AW 1 |  | 34,5 cm Ziegelmauerwerk | 1,616 |
| Außenwand AW 2 |  | 24 cm Schwemmstein Mauerwerk | 0,718 |
| Außenwand AW 3 | | Wand zu unbeheizten Keller | 1,798 |
| Außenwand AW 4 | | Schwemmstein Mauerwerk zu Drempe | 1,198 |
| Außenwand AW 5 | | Gipskarton Ständerwand an zu Drempe | 2,143 |
| Außenwand AW 6 | | 34,5 cm Ziegelmauerwerk gegen Erdreich | 1,670 |
| Dach DA 1 |  | Steildach Hauptgebäude | 0,468 |
| Dach DA 2 | | Gauben Außenwand | 0,901 |
| Dach DA 3 | | Gauben Dach | 0,932 |

| | | | |
|-------------------------|--|-----------------------------------|-------|
| Fenster (Glas + Rahmen) |  | Holzfenster mit Isolierglas | 3,000 |
| Außentür AT 1 | | Außentür | 3,500 |
| Decke DE 1 | | Decke EG | 0,428 |
| Decke DE 2 | | Decke 1. OG | 0,519 |
| Decke DE 3 | | Treppenlauf zu unbeheizten Keller | 2,475 |
| Fußboden FB 1 |  | Fußboden EG | 0,914 |
| Fußboden FB 2 | | Fußboden Keller gegen Erdreich | 3,448 |

Tabelle 3 Übersicht Gebäudehülle

Der Mindestwärmeschutz des eingeschossigen Bestandsgebäudes nach EnEV 2014 wird nicht eingehalten. Detaillierte Bauteildaten mit Angabe von Wärmebrücken sind im Anhang 1 beigefügt.

3.3 Anlagentechnik

| Heizung | |
|--|--|
|  | <p>Erzeugung + Verteilung: Gas-Niedertemperaturkessel Cerastar, Fa. Junkers Baujahr 2001, Nennwärmeleistung: 24 kW 1 Heizkreis, Verteilleitungen sind gedämmt</p> <p>Vorschlag - Raumtemperatur: 05:00 - 17:30 Uhr : 21°C Nachtabsenkung 17:30 - 05:00 Uhr: 19°C</p> <p>IST - Einstellung (Stand 30.10.15) 05:10 - 17:30 Uhr : 25°C Nachtabsenkung 17:30 - 05:10 Uhr: 20°C</p> |
|  | <p>Übergabe: statische Heizung mit Radiatoren Thermostatventile und Einzelraumregelung</p> <p>IST - Raumtemperatur: Die Raumtemperaturen in Büro- und Sozialräumen sind ausreichend. Die Lagerbereiche werden niedrig beheizt.</p> |

Tabelle 4 Techn. Daten Heizwärmeversorgung

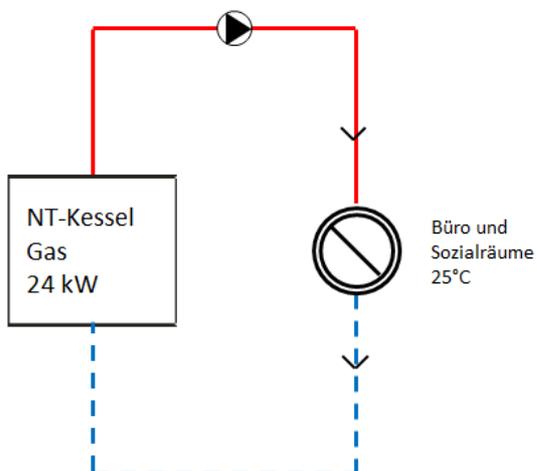


Abbildung 2 Schema bestehende Wärmeversorgung

| dezentrale Warmwasserbereitung | | |
|---|---|--|
|  |  | <p>Elektrischer Durchlauferhitzer Nenninhalt: ca. 5 l Leistung: 2 kW Je 1x in WC</p> |

Tabelle 5 Techn. Daten Warmwasserbereitung

Das Gebäude wird natürlich über Fenster belüftet. Die Luftqualität ist in Ordnung.

| Beleuchtung und Sonnenschutz | | |
|------------------------------|--|---|
| Beleuchtung |  |  |
| | Büro- und Sozialbereiche, WC Leuchtstofflampen mit KVG, direkte Beleuchtung Steuerung: manuell | Lager (ehem. Wohnräume), teilw. WC Glühbirnen, Steuerung: manuell |
| Sonnenschutz | Rollläden, kein weiterer Sonnenschutz vorhanden | |

Tabelle 6 Techn. Daten Beleuchtung und Sonnenschutz

Die Beleuchtungsstärken sind ausreichend.

4 Energieverbrauch

Der Energieverbrauch wurde anhand vorliegender Energierechnungen erfasst. Der Gasverbrauch wird für das Dienstwerk- und das Bürogebäude gemeinsam erfasst. Es gibt keinen Unterzähler. Der Stromverbrauch wird für das Bürogebäude separat erfasst. Die Witterungsberreinigung für den Heizwärmeverbrauch erfolgte anhand von Klimafaktoren des deutschen Wetterdienst, s. Abbildung 3.

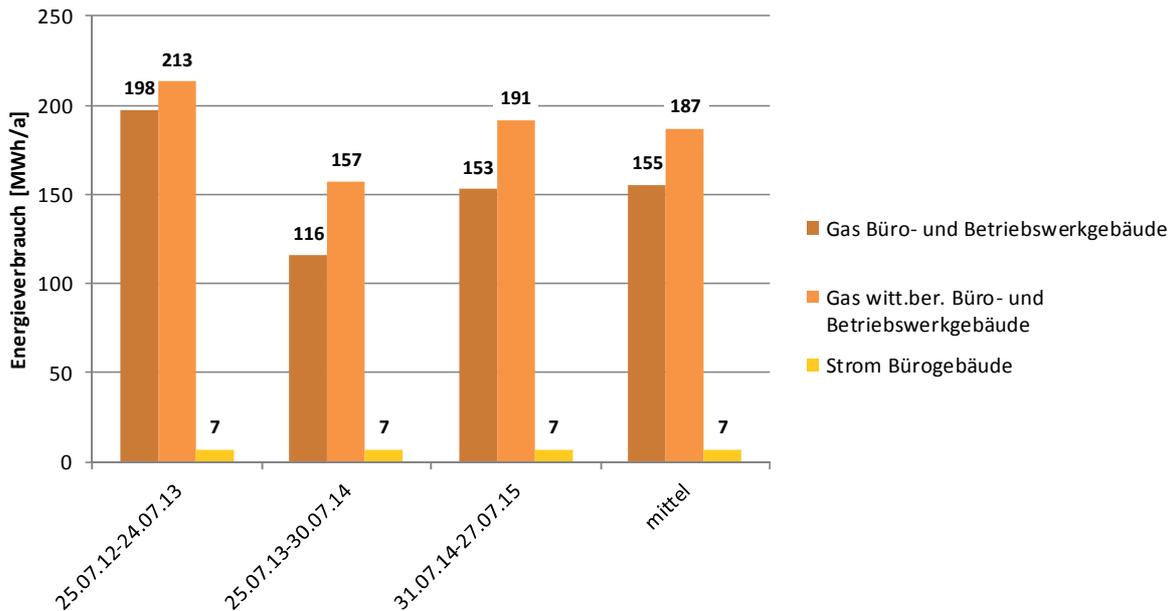


Abbildung 3 jährlicher absoluter Energieverbrauch gemessen

Die Abschätzung des Heizwärmeverbrauchs für beide Gebäude erfolgte anhand der normierten Berechnung des Bedarfes nach DIN V 18599. Der Warmwasserverbrauch für das Betriebswerkgebäude wurde nach Absprache mit dem Gebäudenutzer abgeschätzt, s. Abbildung 4.

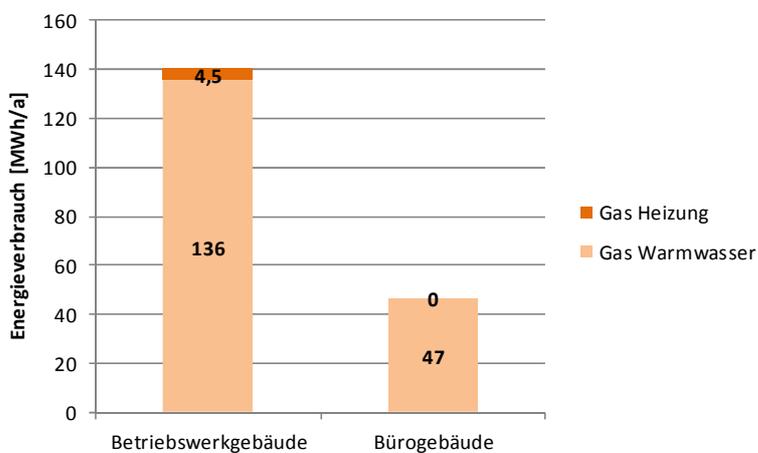


Abbildung 4 jährlicher absoluter Energieverbrauch (berechnet)

In Abbildung 6 ist der berechnete spezifische Gasverbrauch in kWh/m²*a für das Bürogebäude dargestellt.

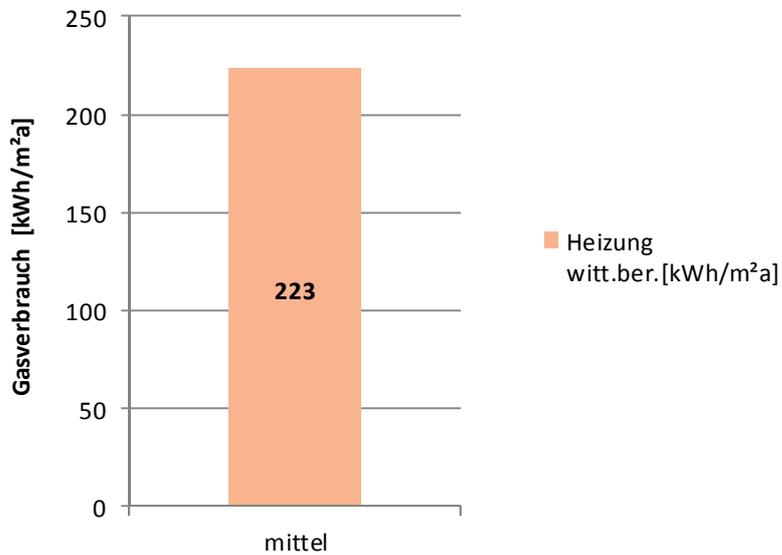


Abbildung 5 jährlicher spezifischer Gasverbrauch Bürogebäude (berechnet)

5 Energiebedarf

5.1 Zonierung

Die Zonierung des Gebäudes erfolgt anhand der Nutzungsprofile nach DIN V 18599 Teil 10.

| Zone | Nutzungsprofil | NGF [m ²] |
|---------------------------|----------------|-----------------------|
| Einzelbüro | 1 | 67,29 |
| Sonstige Aufenthaltsräume | 17 | 16,69 |
| Verkehrsflächen | 19 | 30,58 |
| Sanitäräume | 16 | 9,23 |
| Lager/ Technik, Archiv | 20 | 86,41 |

Tabelle 7 Zonierung nach DIN V 18599

Grundrisspläne mit Zonierung der einzelnen Räume sind in der Anlage 2 beigefügt.

5.2 Normierte Berechnung des Bestandes nach DIN V 18599

Die Berechnungen wurden mit der Software Solar Computer der Version 5.13.03 durchgeführt. Es liegen die standardisierten Nutzerprofile nach DIN V 18599 Teil 10 zugrunde.

| Energiebedarf | Gebäude normiert | Referenzgebäude | Gebäude normiert | Referenzgebäude |
|------------------------|------------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| | [kWh/m ² a] | | [MWh/a] | |
| Endenergiebedarf Wärme | 456 | | 96 | |
| Endenergiebedarf Strom | 23 | | 5 | |
| Primärenergiebedarf | 493 | 212 | 104 | 44 |

Tabelle 8 Normierte Berechnung nach DIN V 18599

Das Gebäude überschreitet den Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes im Bestand um 133 %.

5.3 Bedarfs-/Verbrauchsabgleich Wärme

| Energie | Bedarf DIN V 18599 normiert | Bedarf DIN V 18599 angepasst | Verbrauch IST berechnet |
|---|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| Endenergie Wärme [kWh/m ² a] | 456 | 260 | 223 |
| Abweichung [%] | 105% | 17% | 0% |

Tabelle 9 Bedarfs-/Verbrauchsabgleich Wärme Bürogebäude

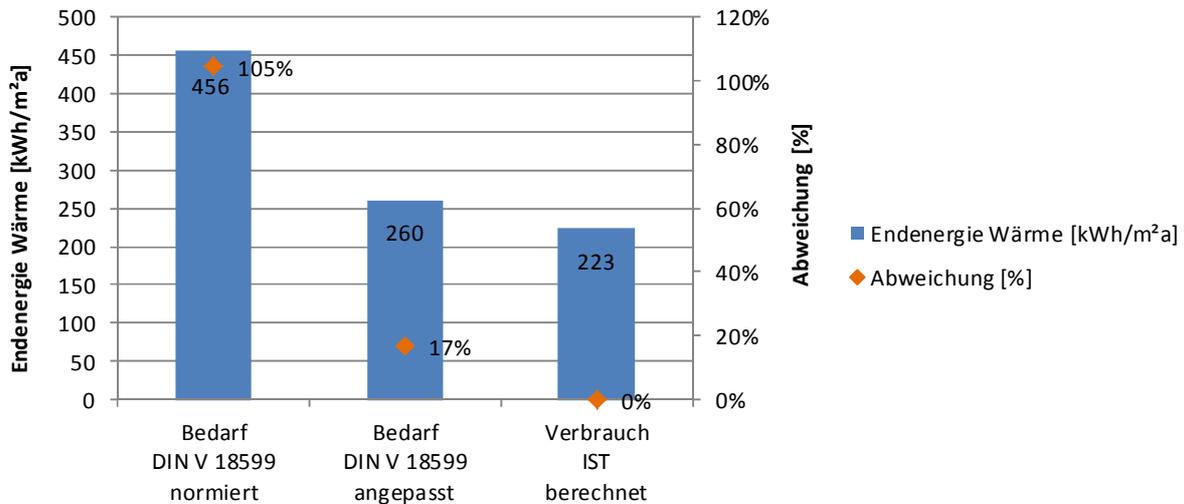


Abbildung 6 Bedarfs-/Verbrauchsabgleich Wärme Bürogebäude

Die angepassten Nutzungsprofile sind im Anhang beigefügt. Die Abweichung zwischen Bedarf und Verbrauch liegt bei 17%.

6 Modernisierungsempfehlungen

6.1 Untersuchte Varianten

Die untersuchten Sanierungsmaßnahmen werden zu sinnvollen Maßnahmenpaketen zusammengefasst. Es werden die folgenden Einzelmaßnahmen untersucht:

| Nr. | Beschreibung Sanierungsmaßnahme | Sanierungsvarianten | | | |
|-----|--|------------------------|---------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| | | 1. Sanierung ENEV 2014 | 2. Neubau EnEV 2014 | 3. Regenerative Wärmeversorgung | 4. Wirtschaftl. Maßnahmenpaket |
| 1. | Türen ersetzen U = 1,5 | x | x | x | |
| 2. | AW 1 EG Dämmung mit 100 mm WDVS | x | | | |
| 3. | AW 2 OG Dämmung mit 100 mm WDVS | x | | | |
| 4. | AW 3 Innenwand UG Dämmung mit 50 mm Holzwolle-Dämmplatten | x | | | |
| 5. | FB01 EG Dämmung mit 75 mm Holzwolle-Dämmplatten | x | | | |
| 6. | FB02 UG 50 mm Wärmedämmung mit schw. Estrich | x | | | |
| 7. | DA01 160 mm Zwischensparrendämmung | x | | | |
| 8. | DA04 100 mm Zwischensparrendämmung | x | | | |
| 9. | Sanierung der Fenster U = 0,9 | x | x | x | |
| 10. | AW 1 EG Dämmung mit 120 mm WDVS | | x | x | |
| 11. | AW 2 OG Dämmung mit 120 mm WDVS | | x | x | |
| 12. | AW 3 Innenwand UG Dämmung mit 100 mm Holzwolle-Dämmplatten | | x | x | |
| 13. | AW 6 UG mit 60 mm Perimeterdämmung | x | x | x | |
| 14. | DE03 Gaube mit 60 mm Holzwolle-Dämmplatten | x | x | x | |
| 15. | FB01 EG Dämmung mit 100 mm Holzwolle-Dämmplatten | | x | x | |
| 16. | FB02 UG mit 60 mm Wärmedämmung mit schw. Estrich $\lambda \leq 0,035$ [W/(mK)] | | x | x | |
| 17. | DA01 mit 160 mm Zwischensparrendämmung + 60 mm Aufsparrendämmung | | x | x | |
| 18. | DA02 Gaube mit 40 mm Aufsparrendämmung | | x | x | |
| 19. | DA03 Gaube mit 40 mm Aufsparrendämmung | | x | x | |
| 20. | DA04 mit 100 mm Zwischensparrendämmung + 60 mm Aufsparrendämmung | | x | x | |
| 21. | Hydraulischer Abgleich | x | x | x | x |
| 22. | Austausch Heizkessel durch Gasbrennwertkessel 15 kWth | x | | | |
| 23. | Grundwasser-Wärmepumpe 10 kWth mit Wärmequelle Brunnen | | x | x | |
| 24. | Photovoltaikanlage Dach 3 kWp (25 m ²) | | | x | |

Tabelle 10 Zuordnung der Einzelmaßnahmen zu den Maßnahmenpakete

Grundrisse und Schnitte mit Bauteilzuordnung sind in Anlage 1 beigefügt.

Variante 1: Sanierung nach EnEV 2014

Der Jahres-Primärenergiebedarf und der Transmissionswärmetransferkoeffizient des Referenzgebäudes nach EnEV 2014 (Randbedingungen ab 1.1.2016) werden um nicht mehr als 40% überschritten. Es werden Maßnahmen an der Gebäudehülle und der Anlagentechnik durchgeführt, s. Tabelle 10. Durch einen resultierenden niedrigeren Heizwärmebedarf wird der bestehende Niedertemperaturgaskessel durch einen kleineren Gasbrennwertkessel ersetzt s. Abbildung 7. Um die Anforderungen des EEWärmeG einzuhalten werden 25 % der Wärmeenergie aus Biomethan erzeugt.

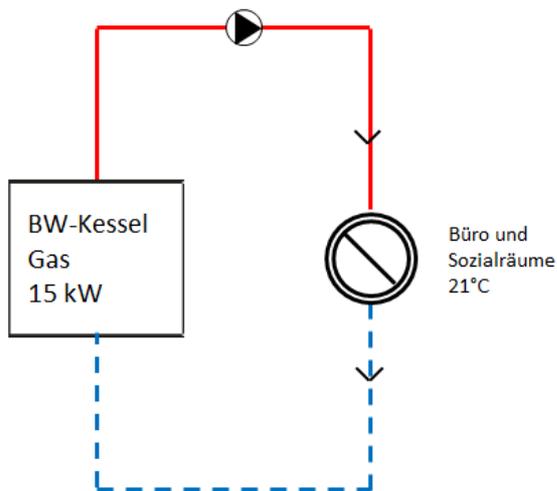


Abbildung 7 Schema Wärmeversorgung V1 Sanierung nach EnEV 2014

Variante 2: Sanierung nach Neubaustandard EnEV 2014

Der Jahres-Primärenergiebedarf und der Transmissionswärmetransferkoeffizient des Referenzgebäudes nach EnEV 2014 (Randbedingungen ab 1.1.2016) werden eingehalten. Um die Anforderungen an die Gebäudehülle einzuhalten, werden umfangreiche Maßnahmen an der Gebäudehülle durchgeführt. Der Wärmebedarf für Heizung und Warmwasser wird über eine Grundwasserwärmepumpe mit Wärmequelle Brunnen erzeugt, s. Abbildung 8. Das EEWärmeG wird durch einen Anteil von 50% Umweltwärme am Wärmeenergieverbrauch eingehalten. Die durch das EEWärmeG vorgeschriebene Jahresarbeitszahl der Wärmepumpen von 3,6 kann jedoch durch die immer noch verbleibend hohen Vorlauftemperaturen der Radiatoren nicht eingehalten werden.

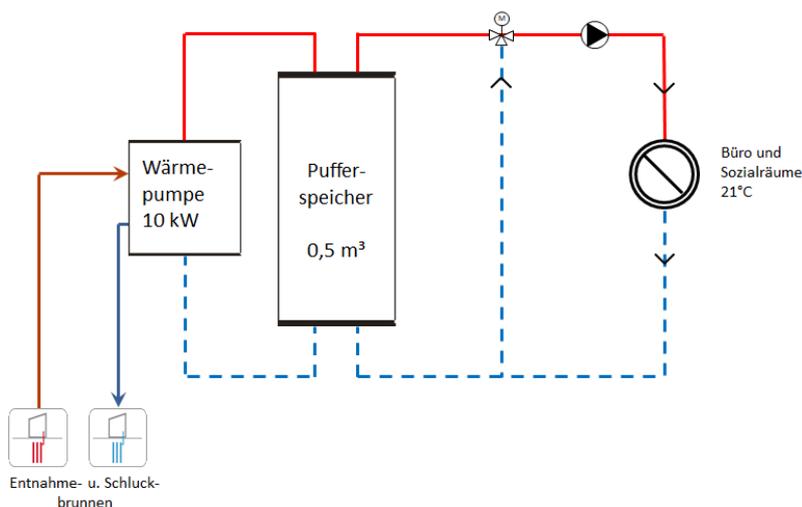


Abbildung 8 Schema Wärmeversorgung V2 Sanierung nach Neubaustandard EnEV 2014

Variante 3: Variante mit vollständiger regenerativer Wärmeversorgung

Der Jahres-Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes nach EnEV 2014 für Heizung und Warmwasserbereitung beträgt in der Jahresbilanz = 0 kWh/m²a. Die Gebäudehülle und Wärmeerzeugung wird wie in Variante 2 ausgeführt. Zusätzlich wird auf dem Gebäudedach eine 3,5 kWp Photovoltaikanlage installiert. Diese deckt bilanziell über das Jahr gesehen den Strombedarf der Wärmepumpe, s. Abbildung 9.

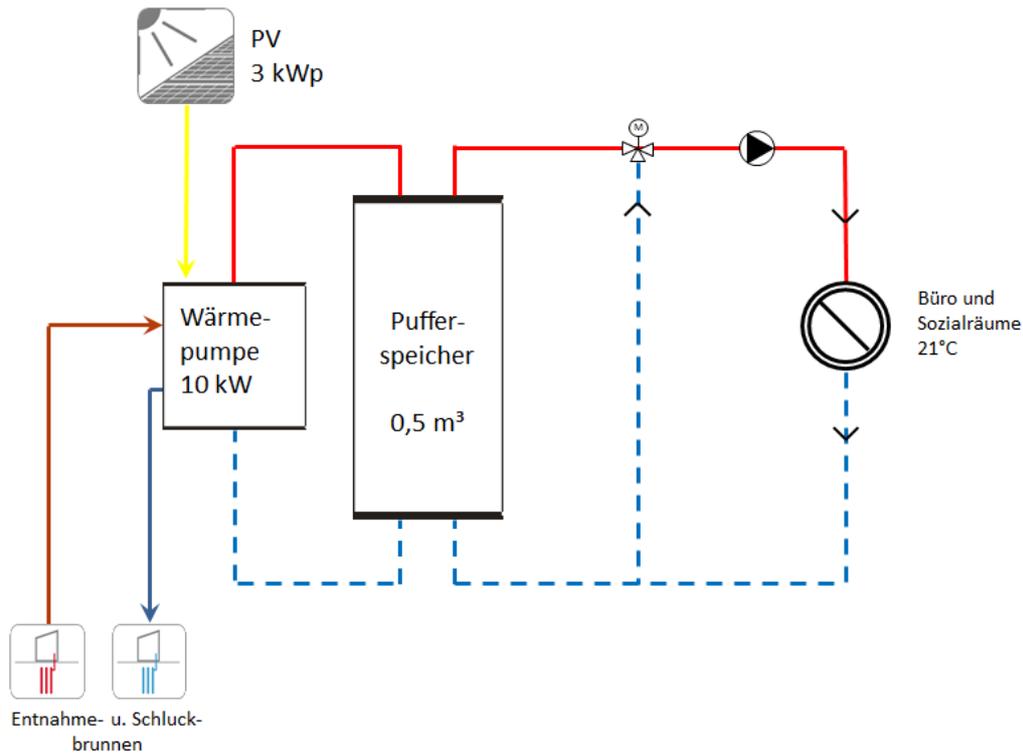


Abbildung 9 Schema Wärmeversorgung V3 Sanierung 100% regenerativer Wärmeversorgung

Variante 4: das aktuell wirtschaftlich sinnvollsten Maßnahmenpaket

Variante 4 enthält die Durchführung eines hydraulischen Abgleichs. Weitere investive Maßnahmen sind über einen Zeitraum von 20 Jahren nicht wirtschaftlich darzustellen.

6.2 End- und Primärenergiebedarf bzw. CO₂-Emissionen

Die angesetzten Primärenergiefaktoren und CO₂-Äquivalente sind in Tabelle 11 dargestellt.

| Energieträger | Primärenergiefaktor (Quelle: EnEV 2016) | CO ₂ -Äquivalent (Quelle: Gemis) |
|---------------------------------|--|--|
| Erdgas | 1,1 | 243 g/kWh _{End} |
| Biogas | 1,1 | 87 g/kWh _{End} |
| Strom | 1,8 | 563 g/kWh _{End} |
| PV-Strom (Verdrängungsstrommix) | 2,8 | 821 g/kWh _{End} |

Tabelle 11 Energieträger

Die folgenden Abbildungen zum End- und Primärenergiebedarf stellen die Ergebnisse der DIN V 18599 Berechnungen dar. Der CO₂-Emissionen wurden auf Basis von Gemis-Daten berechnet. Sie enthalten den Energiebedarf für Heizung, Warmwasser und Beleuchtung. Der Nutzerstromverbrauch ist in der Bilanzierung nicht enthalten.

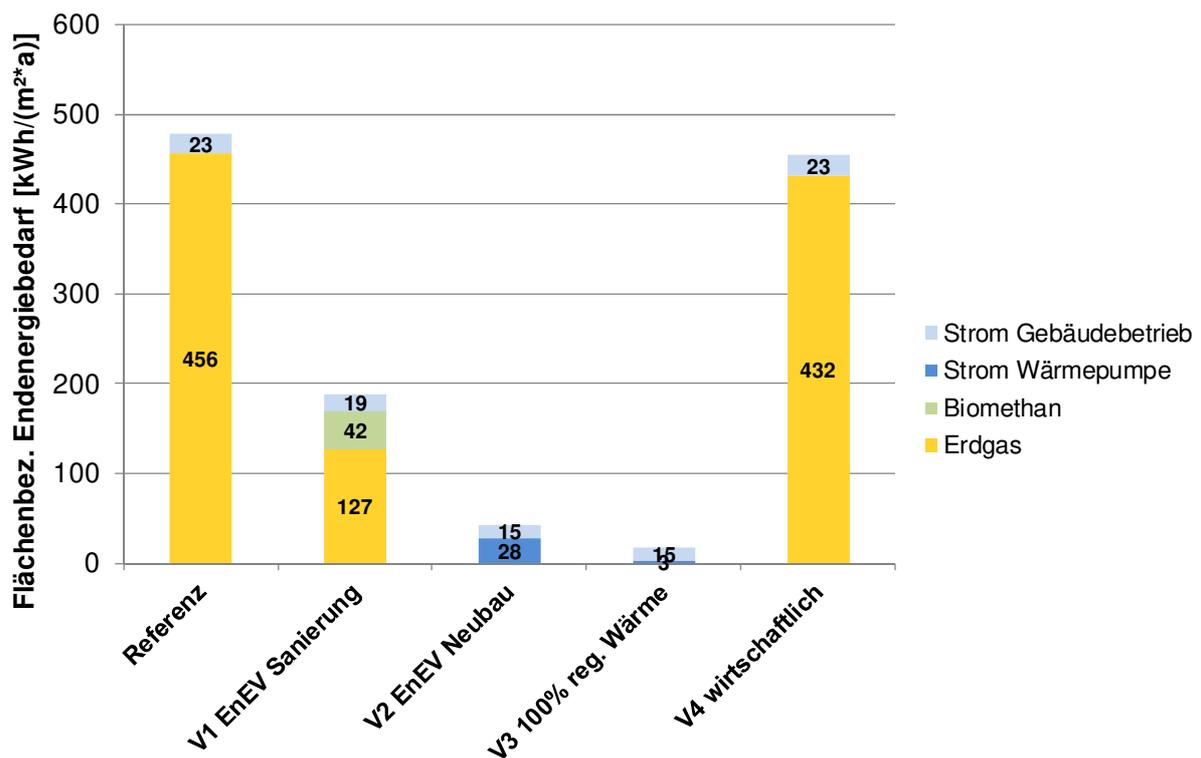


Abbildung 10 spez. Endenergiebedarf der Varianten, normiert

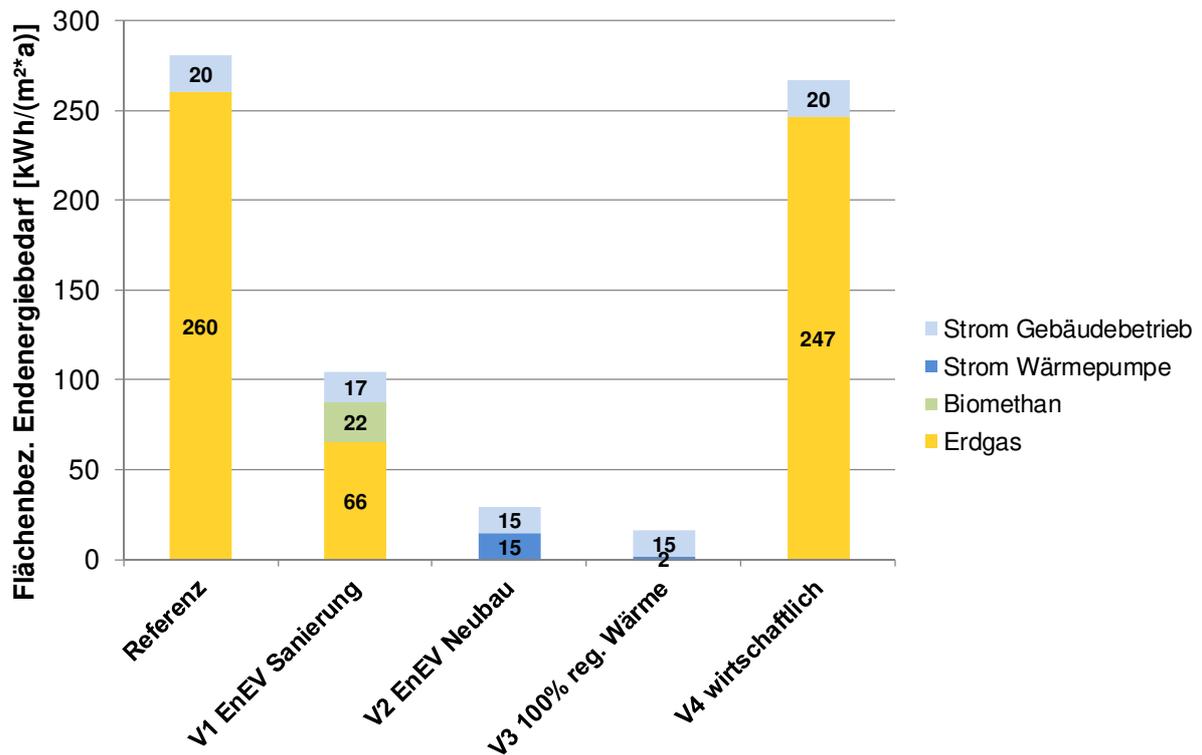


Abbildung 11 spez. Endenergiebedarf der Varianten, angepasst

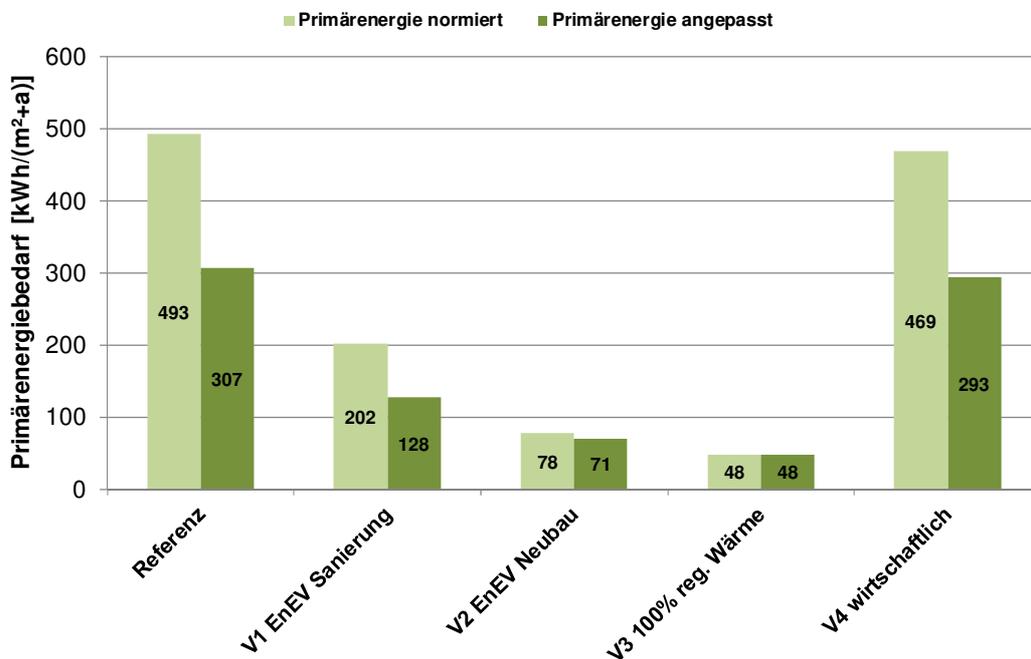


Abbildung 12 Primärenergiebedarf der Varianten, normiert und angepasst

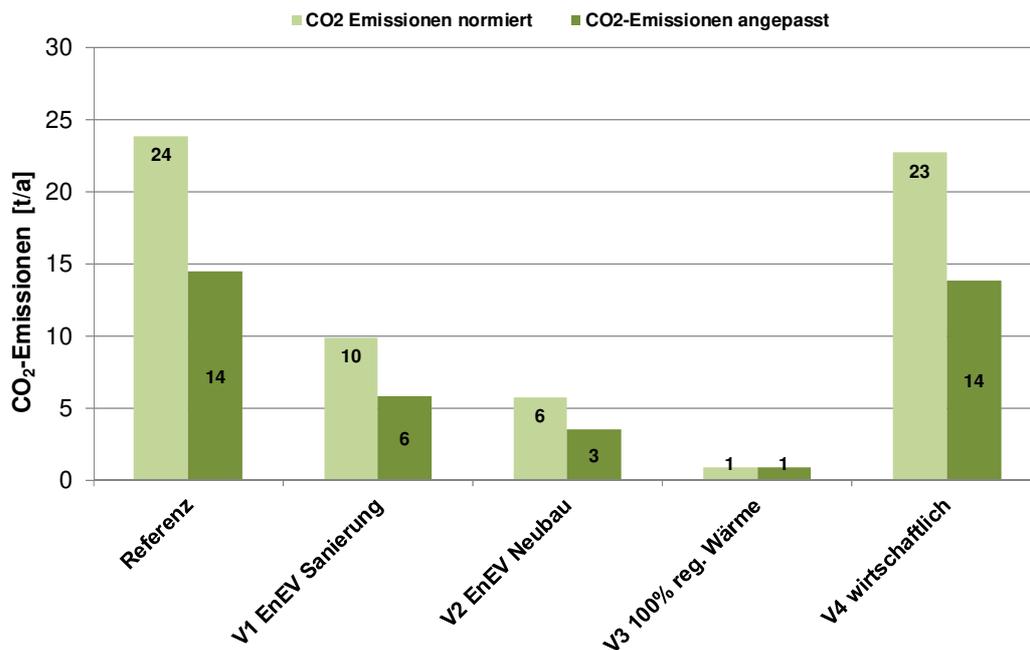


Abbildung 13 CO₂-Emissionen der Varianten, normiert und angepasst

6.3 Wirtschaftlichkeitsberechnung

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung wird in Anlehnung an die VDI 2067 über einen Zeitraum von 20 Jahren durchgeführt und betrachtet die Jahresgesamtkosten, d.h. die Kosten für die Investitionen, Instandsetzung, Wartung, Betrieb und Energie sowie Vergütungen und Zuschüsse über Förderungen. Es wird ein Zinssatz von 2,5% angesetzt. Preissteigerungen für Energie-, Instandsetzungs-, Wartungs- und Betriebskosten werden nicht berücksichtigt.

Basis für die Wirtschaftlichkeitsberechnung sind folgende Kostenkennwerte:

| Energieträger | Grundpreis | Arbeitspreis |
|--|------------|---------------------------|
| Erdgas | 124,80 €/a | 54,38 €/MWh _{HS} |
| Erdgas mit 30% Biomethan | 216,00 €/a | 51,00 €/MWh _{HS} |
| Strom | 90,00 €/a | 219,63 €/MWh |
| EEG-Umlage ab 01.01.2016* ¹ | | 63,5 €/MWh |
| EEG Vergütung PV ² | | 11,50 €/MWh |

Tabelle 12 Energiekosten

¹ 40% der EEG-Umlage für Eigenstromverbrauch

² Für die Vergütung nach EEG des PV-Stroms wird mit einer Inbetriebnahme ab 01.01.2017 gerechnet.

| Bauteil | Kosten |
|--|----------|
| Türen ersetzen $U = 1,5$ | 7.200 € |
| AW 1 EG Dämmung mit 100 mm WDVS | 24.480 € |
| AW 2 OG Dämmung mit 100 mm WDVS | 3.200 € |
| AW 3 Innenwand UG Dämmung mit 50 mm Holzwolle-Dämmplatten | 3.060 € |
| FB01 EG Dämmung mit 75 mm Holzwolle-Dämmplatten | 8.000 € |
| FB02 UG 50 mm Wärmedämmung mit schw. Estrich | 5.500 € |
| DA01 160 mm Zwischensparrendämmung | 27.540 € |
| DA04 100 mm Zwischensparrendämmung | 8.710 € |
| Sanierung der Fenster $U = 0,9$ | 18.860 € |
| AW 1 EG Dämmung mit 120 mm WDVS | 27.540 € |
| AW 2 OG Dämmung mit 120 mm WDVS | 3.600 € |
| AW 3 Innenwand UG Dämmung mit 100 mm Holzwolle-Dämmplatten | 5.610 € |
| AW 6 UG mit 60 mm Perimeterdämmung | 38.070 € |
| DE03 Gaube mit 60 mm Holzwolle-Dämmplatten | 400 € |
| FB01 EG Dämmung mit 100 mm Holzwolle-Dämmplatten | 11.000 € |
| FB02 UG mit 60 mm Wärmedämmung mit schw. Estrich $\lambda \leq 0,035$ [W/(mK)] | 7.000 € |
| DA01 mit 160 mm Zwischensparrendämmung + 60 mm Aufsparrendämmung | 33.660 € |
| DA02 Gaube mit 40 mm Aufsparrendämmung | 580 € |
| DA03 Gaube mit 40 mm Aufsparrendämmung | 780 € |
| DA04 mit 100 mm Zwischensparrendämmung + 60 mm Aufsparrendämmung | 12.060 € |

Tabelle 13: Kostenkennwerte Bauteile Gebäudehülle

| Anlagen/Komponenten | Kosten |
|--|----------|
| hydraulischer Abgleich | 2.000 € |
| Gas-Brennwertkessel (15 kW _{th}) inkl. Abgasanlage | 7.000 € |
| Rückbau bestehender NT-Heizkessel | 500 € |
| Wasser/Wasser - Wärmepumpe (10 kW _{th}) | 10.000 € |
| Stromanschluss Wärmepumpe inkl. Zähler | 2.000 € |
| Grundwasserbrunnen-Anlage mit Entnahme- und Schluckbrunnen | 16.000 € |
| Einbindung Entnahme- und Schluckbrunnen | 9.000 € |
| Pufferspeicher / Kombispeicher | 1.000 € |
| Photovoltaikanlage (3 kWp à 1.300 €) | 3.900 € |

Tabelle 14: Kostenkennwerte Anlagentechnik

Auf die Investitionskosten für Bauteile und Anlagentechnik werden 10% Sonstige Kosten berücksichtigt. Als Planungskosten werden 16% der Investitionskosten angesetzt. Die Wasser/Wasser-Wärmepumpe kann im Rahmen einer Basis-Förderung durch die bafa mit 4.000 € bezuschusst werden. Dazu muss eine Jahresarbeitszahl von mindestens 3,8 und die Durchführung eines hydraulischen Abgleich der Heizungsanlage nachgewiesen werden.

Als Referenz für die Investitions- und die Jahresgesamtkosten der Varianten 1 – 4 dient der aktuelle Gebäudebestand.

Die Investitionskosten sind in Abbildung 14 dargestellt. Sowieso-Kosten sind derzeit nicht abzusehen. Die Investitionskosten reichen von ca. 2.500 € für einen hydraulischen Abgleich in Variante 4 bis zu ca. 265.000 € für eine 100% regenerative Wärmeversorgung.

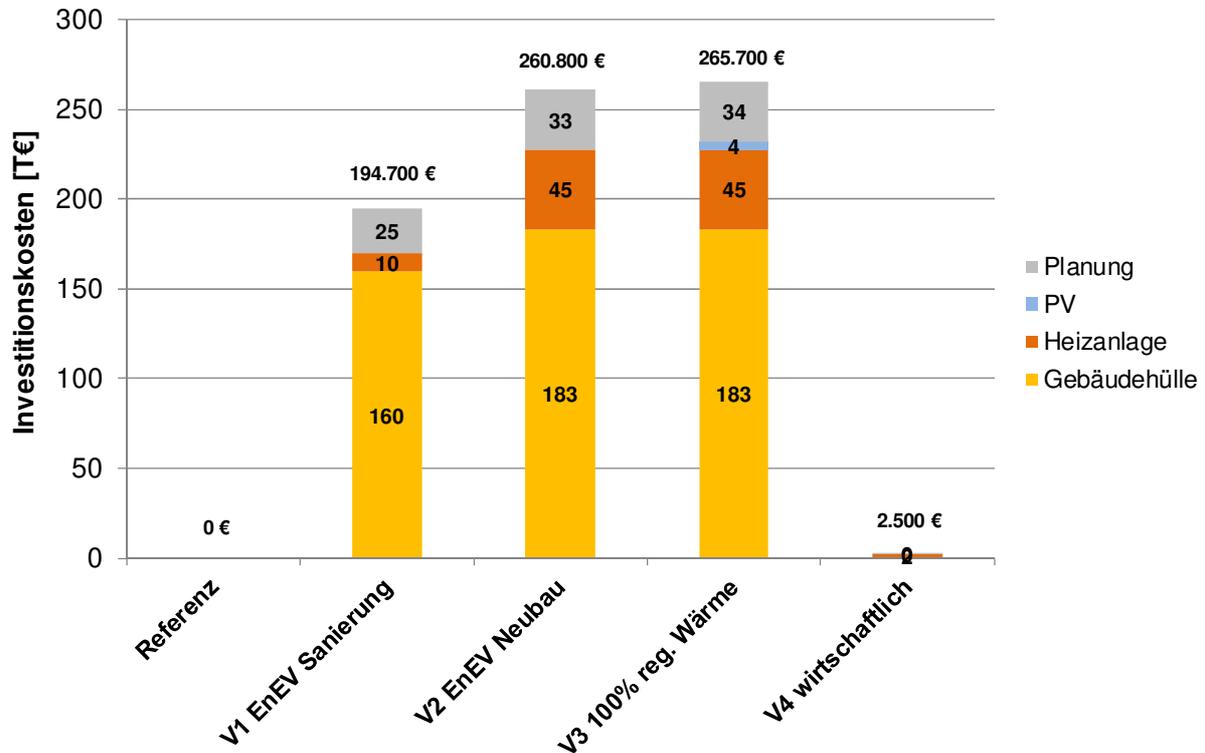


Abbildung 14 Investitionskosten der Varianten 1-4

Die Jahresgesamtkosten der Gebäudeenergieversorgung ohne Nutzerstrom sind in Abbildung 15 dargestellt. Ohnehin anfallende Instandsetzungs-, Wartungs- und Betriebskosten für die bestehende Gebäudehülle und die Wärmeversorgung sowie die Energiekosten des Bestandes bilden die Referenz.

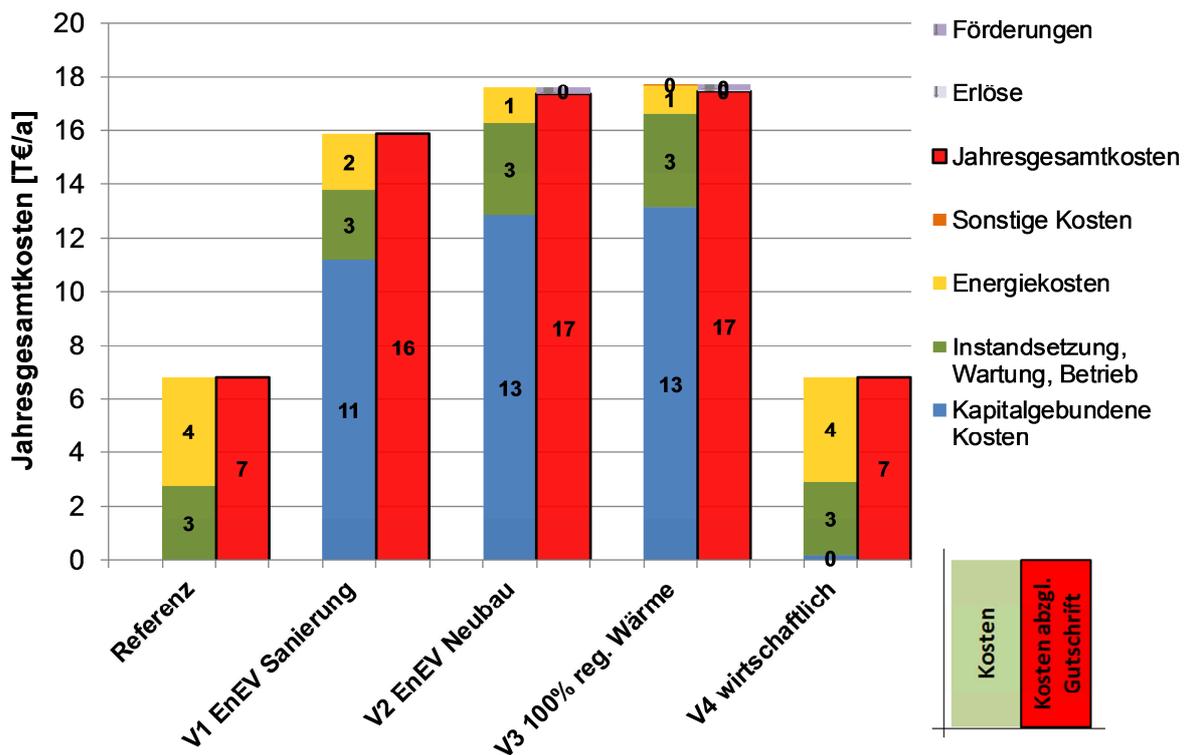


Abbildung 15 Jahresgesamtkosten der Varianten 1-4

Die momentanen Jahresgesamtkosten für den reinen Gebäudebetrieb ohne Nutzerstrom betragen ca. 7.000 €. Eine Sanierung auf EnEV 2014 hat weitaus höhere Kapitalkosten und niedrigere Energiekosten und resultiert mit ca. 16.000 €/a in höheren Jahresgesamtkosten. Variante 2 und 3 sind mit Jahresgesamtkosten von ca. 17.000 nicht wirtschaftlich darstellbar. Die Durchführung der einzelnen Baumaßnahmen ist umfangreich, aber möglich. Variante 4 hat mit ca. 7.000 € ähnliche Jahresgesamtkosten als die Referenz und wird zur Umsetzung als wirtschaftliche Maßnahme empfohlen.

7 Anlagen

Anlage 1 Bauteildaten IST-Zustand (U-Werte, Plandarstellung)

Anlage 2 Zonierung des Gebäudes

Anlage 3 Bauteildaten für Sanierungsvarianten (U-Werte)

Anlage 4 Anpassung der Zonenprofile

Anlage 4

Energiekonzept Betriebswerkgebäude Außenbezirk Köln

Energiekonzept

im Auftrag der Bundesanstalt für Wasserbau



Betriebswerkgebäude Köln

Stand: 11.12.2015

EGS-plan Ingenieurgesellschaft für Energie-, Gebäude- und Solartechnik mbH
Gropiusplatz 10 . D-70563 Stuttgart
Tel. +49 711 99 007 - 5 . Fax +49 711 99 007 - 99
info@egs-plan.de . www.egs-plan.de

NordLB Braunschweig . BLZ 250 500 00 . Kto.-Nr. 20 740 60
IBAN-Nr. DE48 2505 0000 0002 0740 60 . BIC-/SWIFT-Code: NOLADE 2HXXX
Ust.-IdNr. DE218431901 . Registergericht Stuttgart . HRB 22434

Geschäftsführer:
Dipl.-Ing. Jörg Baumgärtner
Dr.-Ing. Boris Mahler
Direktor:
Univ. Prof. Dr.-Ing. M. Norbert Fisch

151211_Bericht Köln.docx

Auftraggeber / Bauherr Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)
Kußmaulstraße 17
76187 Karlsruhe

Daniel Erndwein
Tel.: 0721 9726-5980
Email: daniel.erndwein@baw.de

Auftragnehmer EGS-Plan Ingenieurgesellschaft für
Energie-, Gebäude- und Solartechnik mbH
Gropiusplatz 10
70563 Stuttgart

Tel. +49 711 99 007 - 5
Fax +49 711 99 007 - 99
www.egs-plan.de
info@egs-plan.de

Bearbeitung Simone Idler, M.Sc.
Bernd Bauer

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Zusammenfassung | 4 |
| 2 | Liegenschaftsdaten | 6 |
| 3 | Bestandsaufnahme | 7 |
| 3.1 | Sichtbare Mängel | 7 |
| 3.2 | Gebäudehülle | 9 |
| 3.3 | Anlagentechnik | 11 |
| 4 | Energieverbrauch | 14 |
| 5 | Energiebedarf | 15 |
| 5.1 | Zonierung | 15 |
| 5.2 | Normierte Berechnung des Bestandes nach DIN V 18599 | 15 |
| 5.3 | Bedarfs-/Verbrauchsabgleich Wärme | 16 |
| 6 | Modernisierungsempfehlungen | 17 |
| 6.1 | Untersuchte Varianten | 17 |
| 6.2 | End- und Primärenergiebedarf bzw. CO ₂ -Emissionen | 20 |
| 6.3 | Wirtschaftlichkeitsberechnung | 22 |
| 7 | Anlagen | 26 |

1 Zusammenfassung

EGS-plan hat gemeinsam mit dem Gebäudeeigentümer und Vertreter der Bundesanstalt für Wasserbau und dem Gebäudenutzer das Gebäude in einer Begehung besichtigt. Dabei wurden das Gebäude und die für die Energieversorgung relevante Anlagentechnik besichtigt und Bauteile und Technik aufgenommen. Die Begehungen wurden in einer Fotodokumentation festgehalten. Zusätzlich zur Begehung wurden Pläne und Revisionsunterlagen gesichtet. Gespräche mit Gebäudeeigentümer und Nutzer fanden im Rahmen der Begehungen sowie telefonisch und per email statt. Sie dienten der Klärung offener Fragen zu Bauteilen, Nutzung, Anlagen und deren Betriebsführung und dem Austausch von Energierechnungen.

Bei der Bestandsaufnahme wurden Mängel an der Gebäudehülle festgestellt. Teilweise sind Fensterscheiben beschädigt und angelaufen und im Bereich der Stützen wurde eine Rostbildung des Daches festgestellt. Die Tragfähigkeit des Daches ist zu prüfen. Das Bestandsgebäude weist durch die Tore und bedingt durch den Niedertemperaturkessel Undichtigkeiten auf. Zudem ist laut geltender Trinkwasserverordnung eine durchgehende Zirkulation der Warmwasserbereitung vorgeschrieben. Zum Zeitpunkt der Gebäudebegehung war die Zirkulationspumpe aus. Aufgrund des Baualters ist der Fußbodenbelag eventuell asbesthaltig. Es gibt keinen separaten Gaszähler für das Betriebswerkgebäude. Das Gebäude wird über einen Niedertemperaturgaskessel beheizt und mit Warmwasser versorgt. Dieser hat die rechnerische Lebensdauer nach VDI 2067 von 18 Jahren bereits überschritten und muss in absehbarer Zeit ausgetauscht werden.

Es wurden 18 Einzelmaßnahmen untersucht, welche zu vier Sanierungsvarianten zusammengefasst wurden. Für die einzelnen Varianten wurden der End- und Primärenergieeinsatz sowie die CO₂-Emissionen berechnet. Anschließend wurde eine Wirtschaftlichkeitsberechnung mit einem Zeitraum von 20 Jahren durchgeführt.

Eine Sanierung auf EnEV 2014 für Bestandsgebäude wird unter anderem durch umfangreiche bauliche Maßnahmen an Außenwand, Fenster, Dach und Boden sowie eine effizientere Wärmeerzeugung durch einen Gas-Brennwertkessel erreicht. Die Umsetzung der Fußbodendämmung im Werkstattbereich ist sehr aufwändig da hier der bestehende Verbundestrich entfernt und eine wasserfeste und druckbeständige Dämmung eingelegt werden muss. Des Weiteren müsste mit einem Tragwerksplaner die Auslegung dieser Dämmung und des neu zu verlegenden Estrichs abgestimmt werden, um spätere Schäden zu vermeiden. Zudem müssen für die Erfüllung des EEWärmeG 25 % des Gasbedarfs durch Biomethan gedeckt werden. Die Variante 1 hat höhere Jahresgesamtkosten als das aktuelle Gebäude und ist nur mit hohem technischem und investivem Aufwand durchzuführen. Eine Sanierung auf Neubaustandard nach EnEV 2014 und eine regenerative Wärmeversorgung sind nur mit weitaus höherem Aufwand an der Gebäudehülle und die Umstellung der Wärmeerzeugung zu erreichen. Die Varianten 1 bis 3 sind technisch schwierig umzusetzen und wirtschaftlich ebenfalls nicht darstellbar. Sie werden daher nicht zur Umsetzung empfohlen.

Die wirtschaftliche Variante 4 enthält den Austausch des Niedertemperaturkessels durch einen Brennwertkessel und die Durchführung eines hydraulischen Abgleichs. Zusätzlich zur Umsetzung der Variante 4 werden nicht-investive Maßnahmen zur Betriebsoptimierung wie die Anpassung der Heizkurve und der Nachtabenkung empfohlen.

2 Liegenschaftsdaten

| | |
|------------------------------------|--|
| Bezeichnung der Liegenschaft | Betriebswerkgebäude ABz. Köln |
| Adresse | Sachsenbergstraße 2 51063 Köln |
| Ansprechpartner vor Ort | Herr Neumann, Tel.: 0221-8887923-500 |
| Hauptnutzung | Büro-, Sozialräume, Lager, Werkstätten |
| Nettogrundfläche beheizt | 600 m ² |
| Baujahr | 1981/1987 |
| Konditionierung | beheizt, teilw. belüftet |
| Nutzungszeiten | Mo-Do: 06:45-15:30 Uhr Fr: 06:45-12:45 Uhr |
| Anforderung an die Raumkonditionen | Büro- und Sozialbereiche: ca. 21 °C Lager- und Werkstätten: frostfrei 12-17°C |
| Besonderheiten | gering beheizte Bereiche vorhanden |

Tabelle 1 Angaben zur Liegenschaft und Ansprechpartner

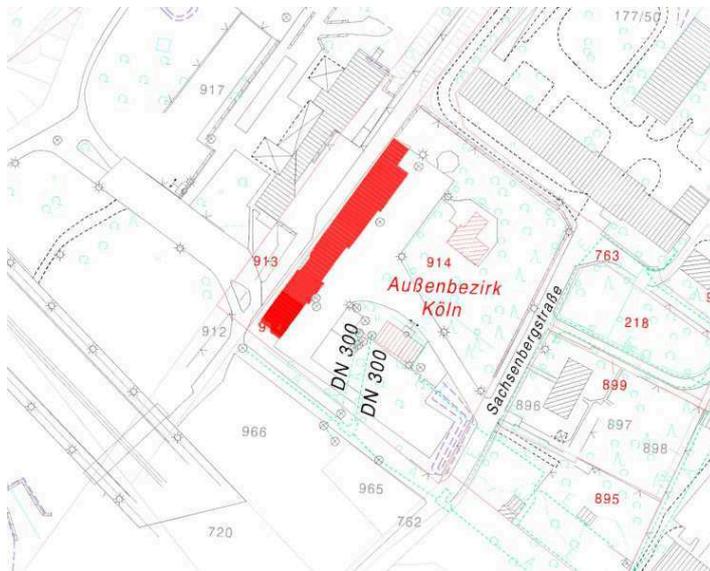


Abbildung 1 Lage des Gebäudes

3 Bestandsaufnahme

3.1 Sichtbare Mängel

| Nr. | Bauteil | Foto und Beschreibung | |
|-----|--|--|--|
| 1. | Außenfenster Werkstattbereich |  <p data-bbox="464 734 740 763">Fenster teilweise angelaufen</p> |  <p data-bbox="879 734 1098 763">Scheibe ist beschädigt</p> |
| 2. | Dach |  | <p data-bbox="879 954 1382 1039">Rostbildung des Daches im Bereich der Auflagerung an Stützen. Die Tragfähigkeit des Daches ist zu prüfen.</p> |
| 3. | Boden |  | <p data-bbox="879 1308 1086 1337">Risse im Bodenbelag</p> |
| 4. | offensichtliche Undichtigkeiten in der Fassade |  <p data-bbox="464 1621 828 1706">Undichtigkeiten Fassade durch Zuluft- öffnung der Heizungsanlage (für momentane Heizkessel notwendig)</p> |  <p data-bbox="879 1621 1326 1677">Undichte Tore in Werkstatt- und Lagerbereich, Lüftungselemente in Tor Lager</p> |

| | | | |
|----|---|--|---|
| 5. | Fußbodenbelag Büro- und Sozialräume |  | <p>Aufgrund des Baualters ist der Vinyl/ PVC Bodenbelag (Floor Flex) eventuell asbesthaltig. Seit Ende 1991 sind diese Fußbodenbeläge verboten.</p> <p>Bei einer Entfernung des Bodenbelags muss ein Fachmann für eine genaue Beurteilung hinzugezogen werden.</p> |
| 6. | Radiatoren |  | <p>Teilweise sind Thermostatventile ohne Temperaturangabe vorhanden. Es wurde kein hydraulischer Abgleich durchgeführt.</p> |
| 7. | Trinkwarmwasser- bereitung |  | <p>Die momentane Temperatur der Warmwasserzirkulation von 45°C ist aus hygienischen Gründen gemäß geltender Trinkwasserverordnung nicht zulässig. Maßgabe für die hygienische Bewertung von Trinkwasseranlagen bildet die DIN 1988-300. Da hier die längste Rohrleitung mehr als 3 l Inhalt aufweist gelten die Mindesttemperaturen für den Warmwasseraustritt aus dem Warmwasserbereiter mit 60°C und 55°C für den Zirkulationseintritt in den Speicher. Formal nach Norm ist für die Warmwasseraustritttemperatur aus dem Warmwasserbereiter eine kurzzeitige Unterschreitung bei Spitzenvolumenströmen toleriert wird. Dem gegenüber ist eine Unterschreitung der Zirkulationstemperatur, auch kurzzeitig, nicht zulässig. Die Zirkulation muss immer in Betrieb sein.</p> |

Tabelle 2 sichtbare Mängel Gebäudehülle und Technik

3.2 Gebäudehülle

Die U-Werte wurden anhand der aufgenommenen Bauteilspezifikationen berechnet. Die der Berechnung zugrunde liegende λ – Werte wurden abgeschätzt. Detaillierte Bauteildaten mit Angabe von Wärmebrücken sind in der Anlage 1.1 und 1.2 beigefügt.

| Bauteil | Foto | Typ | U-Wert [W/(m ² K)] |
|-------------------------|---|--|-------------------------------|
| Außenwand 1 |  | hinterlüftetes zweischaliges Kalksand-Lochstein-Mauerwerk mit 100 mm Dämmung | 0,336 |
| Außenwand 2 |  | Monolithisches Kalksand-Lochstein -Mauerwerk | 1,819 |
| Außenwand 3 |  | hinterlüftetes Kalksand-Lochstein-Mauerwerk mit 60mm Dämmung | 0,486 |
| Dach 1 |  | Extensiv begrüntes Stahlbeton-Flachdach (Kaldach) | 0,669 |
| Dach 2 |  | Extensiv begrüntes Trapezblechdach | 0,719 |
| Fenster (Glas + Rahmen) |  | Kunststoffrahmen mit zweischeiben Isolierverglasung | 1,700 |

| | | | |
|------------------------------|---|---|-------|
| Dachgaube (Glas + Rahmen) |  | Lichtkuppel | 2,700 |
| Boden gegen Erdreich 1 |  | Verbundestrich auch StB Bodenplatte | 3,318 |
| Boden gegen Erdreich 2 | | Schwimmender Estrich auf StB Bodenplatte | 0,395 |

Tabelle 3 Übersicht Gebäudehülle

Der Mindestwärmeschutz des eingeschossigen Bestandsgebäudes nach EnEV 2014 wird nicht eingehalten. Ein Schimmelpilzbefall in den Duschräumen konnte durch den Einbau einer Abluftanlage bereits beseitigt werden. Nutzungsbedingte Schallschutzprobleme konnten bei der Begehung nicht festgestellt werden. Die ehemaligen Werkstätten werden nur noch selten für handwerkliche Tätigkeiten (Schreinerei, Schlosserei) genutzt. Bei der Begehung wurden keine Auffälligkeiten bezüglich Brandschutz festgestellt.

3.3 Anlagentechnik

Die Anlagentechnik wurde bei der Gebäudebegehung aufgenommen und in den folgenden Tabellen dokumentiert. Das Gebäude wird zentral über einen atmosphärischen Gas-Niedertemperaturkessel beheizt. Die Warmwasserbereitung erfolgt zentral über einen weiteren Gas-Niedertemperaturkessel. Die sanitären Anlagen haben dezentrale Ablüfter. Das Gebäude wird nicht gekühlt.

| Heizung | |
|--|---|
|  | <p>Erzeugung + Verteilung: Gas-Niedertemperaturkessel ohne Gebläse Baujahr 1995, Nennwärmeleistung: 90 kW 2 Heizkreise: Werkstatt und Büro/Lackiererei, Verteilleitungen sind gedämmt Soll - Raumtemperatur: 06:00 - 22:00 Uhr : 21°C Nachtabsenkung 22:00 - 06:00 Uhr: 17°C</p> |
|  | <p>Übergabe: statische Heizung mit Radiatoren Thermostatventile</p> <p>IST - Raumtemperatur: Die Raumtemperaturen in Büro- und Sozialräumen sind ausreichend. Werkstatt- und Lagerbereiche werden frostfrei gehalten.</p> |

Tabelle 4 Techn. Daten Heizwärmeversorgung

| Zentrale Warmwasserbereitung | |
|---|--|
|  | <p>Gas-Niedertemperaturkessel ohne Gebläse Baujahr 2003, Heiznennleistung: 7 kW Speicherinhalt: 155 l</p> <p>Warmwasserverbrauch: Duschen werden regelmäßig benutzt, ca. 5-6 Duschen/Tag.</p> <p><i>Die geltenden Trinkwasserverordnung wird derzeit nicht eingehalten s. 3.1 sichtbare Mängel!</i></p> |

Tabelle 5 Techn. Daten Warmwasserbereitung

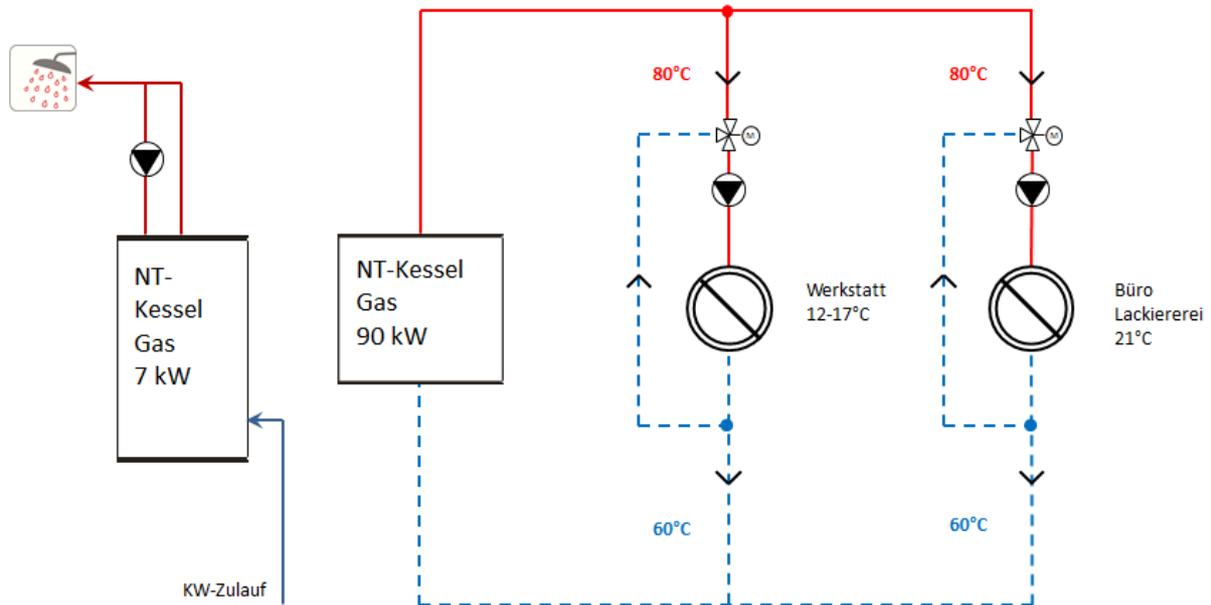


Abbildung 2 Schema bestehende Wärmeversorgung

| Mechanische Lüftung | |
|--|--|
| | |
| <p>dezentrale Abluft WC und Duschräume Regelung: manuell über Lichtschalter</p> | <p>dezentrale Abluft in Aufenthaltsraum außer Betrieb</p> |

Tabelle 6 Techn. Daten Lüftung

Büro und Sozialbereiche sowie die Werkstätten und Lager werden natürlich über Fenster belüftet. Die Luftqualität ist in Ordnung.

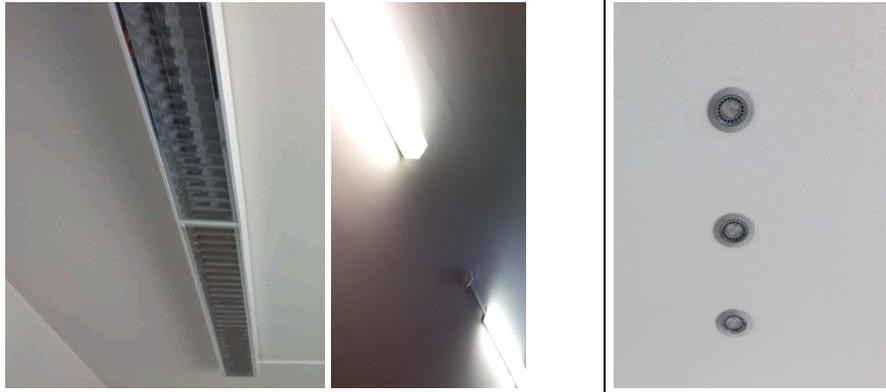
| Beleuchtung und Sonnenschutz | | |
|---|--|---|
| Beleuchtung |  | |
| | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; padding: 5px;"> Leuchtstofflampen mit KVG, direkte Beleuchtung Steuerung: manuell, Präsenzmelder im Umkleide- und Sanitärbereich </td> <td style="width: 50%; padding: 5px;"> LED (Aufenthaltsraum) Steuerung: manuell </td> </tr> </table> | Leuchtstofflampen mit KVG, direkte Beleuchtung Steuerung: manuell, Präsenzmelder im Umkleide- und Sanitärbereich |
| Leuchtstofflampen mit KVG, direkte Beleuchtung Steuerung: manuell, Präsenzmelder im Umkleide- und Sanitärbereich | LED (Aufenthaltsraum) Steuerung: manuell | |
| Sonnenschutz | Rollläden, kein weiterer Sonnenschutz vorhanden | |

Tabelle 7 Techn. Daten Beleuchtung und Sonnenschutz

Die Beleuchtungsstärken sind ausreichend.

4 Energieverbrauch

Der Energieverbrauch wurde anhand vorliegender Energierechnungen erfasst. Der Gasverbrauch wird für das Dienstwerk- und das Bürogebäude gemeinsam erfasst. Es gibt keinen Unterzähler. Der Stromverbrauch wird für beide Gebäude separat erfasst. Die Witterungsberreinigung für den Heizwärmeverbrauch erfolgte anhand von Klimafaktoren des deutschen Wetterdienst, s. Abbildung 3.

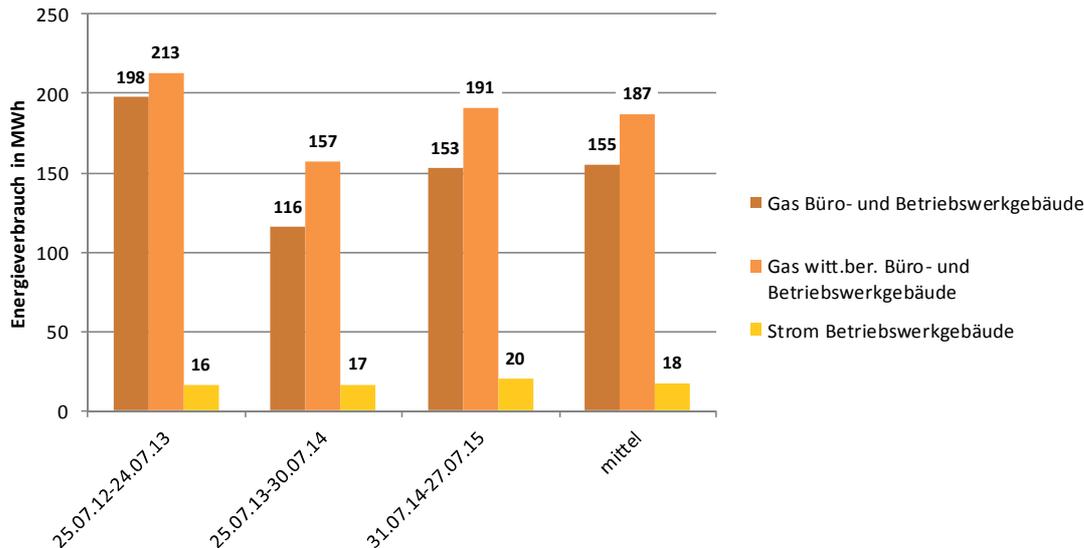


Abbildung 3 jährlicher absoluter Energieverbrauch gemessen

Die Abschätzung des Heizwärmeverbrauchs für beide Gebäude erfolgte anhand der normierten Berechnung des Bedarfes nach DIN V 18599. Der Warmwasserverbrauch wurde nach Absprache mit dem Gebäudenutzer abgeschätzt, s. Abbildung 4.

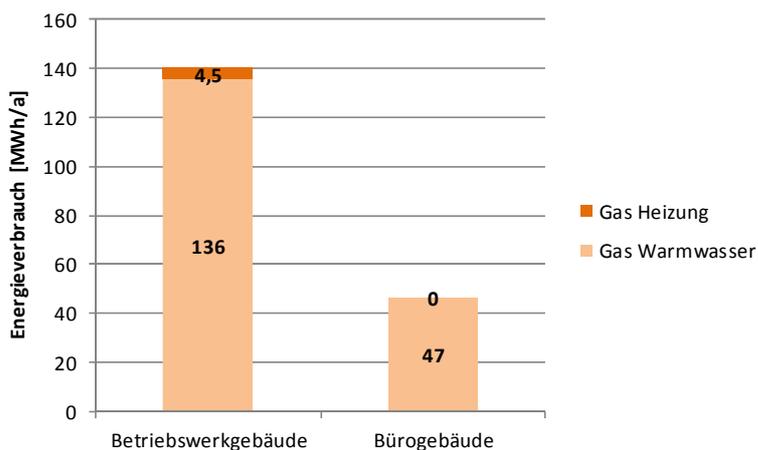


Abbildung 4 jährlicher absoluter Energieverbrauch (berechnet)

In Abbildung 5 ist der berechnete spezifische Gasverbrauch in kWh/m²a für das Dienstwerkgebäude dargestellt.

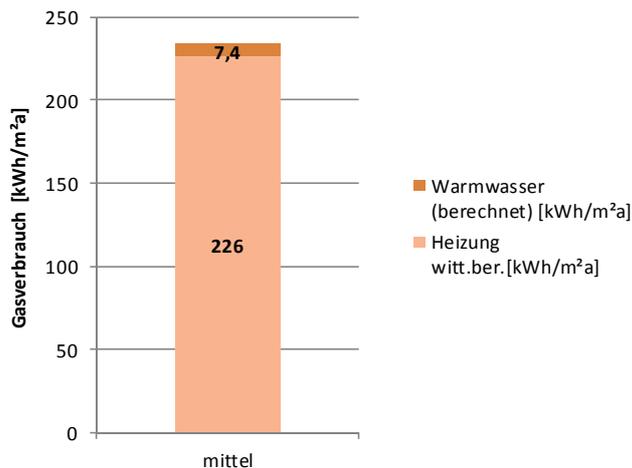


Abbildung 5 jährlicher spezifischer Gasverbrauch Dienstwerkgebäude (berechnet)

5 Energiebedarf

5.1 Zonierung

Die Zonierung des Gebäudes erfolgt anhand der Nutzungsprofile nach DIN V 18599 Teil 10.

| Zone | Nutzungsprofil | NGF [m²] |
|---|----------------|----------|
| Einzelbüro | 1 | 30,42 |
| Sonstige Aufenthaltsräume | 17 | 39,44 |
| Werkstätten, niedrig beheizt | 24 | 177,47 |
| Verkehrsflächen | 19 | 22,67 |
| Verkehrsflächen, niedrig beheizt | 19 | 9,82 |
| Sanitäräume | 16 | 75,56 |
| Lager/ Technik, Archiv | 20 | 224,32 |
| Lager/ Technik, Archiv, niedrig beheizt | 20 | 19,37 |

Tabelle 8 Zonierung nach DIN V 18599

Grundrisspläne mit Zonierung der einzelnen Räume sind in der Anlage 2 beigefügt.

5.2 Normierte Berechnung des Bestandes nach DIN V 18599

Die Berechnungen wurden mit der Software Solar Computer der Version 5.13.03 durchgeführt. Es liegen die standardisierten Nutzerprofile nach DIN V 18599 Teil 10 zugrunde.

| Energiebedarf | Gebäude normiert | Referenzgebäude | Gebäude normiert | Referenzgebäude |
|------------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| | [kWh/m²a] | | [MWh/a] | |
| Endenergiebedarf Wärme | 482 | | 289 | |
| Endenergiebedarf Strom | 16 | | 10 | |
| Primärenergiebedarf | 506 | 295 | 304 | 177 |

Tabelle 9 Normierte Berechnung nach DIN V 18599

Das Gebäude überschreitet den Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes im Bestand um 72 %.

5.3 Bedarfs-/Verbrauchsabgleich Wärme

Der errechnete Wärmebedarf aufgrund der standardisierten Berechnungen nach DIN V 18599 liegt über 100% über den tatsächlichen Verbrauchswerten, s. Abbildung 6. Der Bedarfs-Verbrauchs-Abgleich wurde mit Hilfe des mittleren gemessenen Energieverbrauchs und der individuellen Anpassung der Nutzerprofile vorgenommen. Die angepassten Nutzungsprofile sind in Anlage 4 beigefügt. Die Abweichung zwischen Bedarf und Verbrauch nach dem Abgleich liegt bei 20%.

| Energie | Bedarf DIN V 18599 normiert | Bedarf DIN V 18599 angepasst | Verbrauch IST berechnet |
|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------|
| Endenergie Wärme [kWh/m²a] | 482 | 282 | 234 |
| Abweichung [%] | 106% | 20% | 0% |

Tabelle 10 Bedarfs-/Verbrauchsabgleich Wärme Betriebswerkgebäude

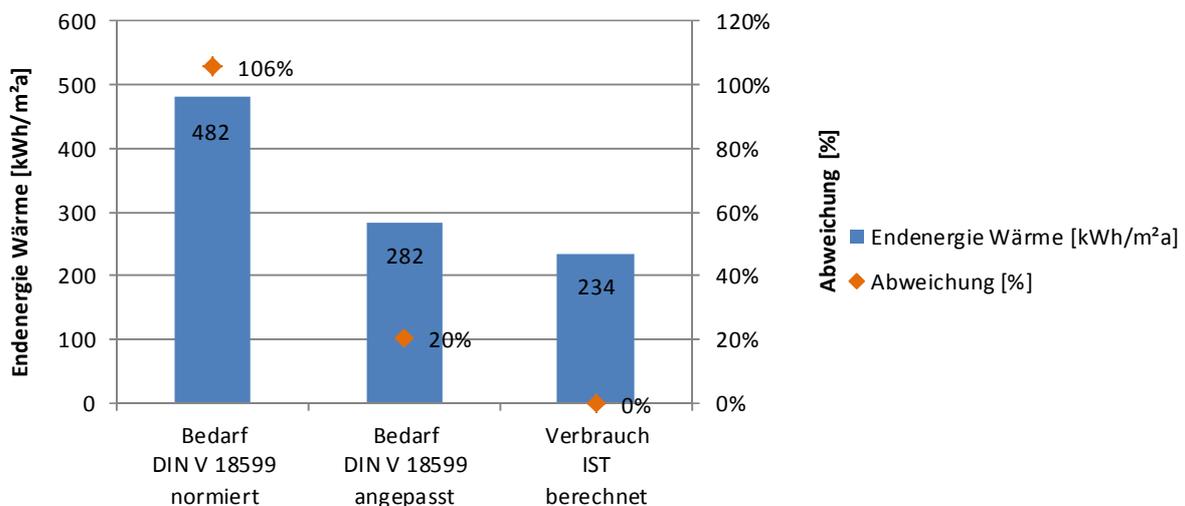


Abbildung 6 Bedarfs-/Verbrauchsabgleich Wärme Betriebswerkgebäude

6 Modernisierungsempfehlungen

6.1 Untersuchte Varianten

Die untersuchten Sanierungsmaßnahmen werden zu sinnvollen Maßnahmenpaketen zusammengefasst. Es werden die folgenden Einzelmaßnahmen untersucht:

| Nr. | Beschreibung Sanierungsmaßnahme | Sanierungsvarianten | | | |
|-----|--|------------------------|---------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| | | 1. Sanierung ENEV 2014 | 2. Neubau EnEV 2014 | 3. Regenerative Wärmeversorgung | 4. Wirtschaftl. Maßnahmenpaket |
| 1. | Dämmung Außenwand AW2: WDVS mit Schaumglas 60mm | x | | | |
| 2. | Fußbodendämmung FB1 mit 40mm druckfesten Schaumglas | x | | | |
| 3. | Stahltür zu Schreinerei und Tür Bürotrakt ersetzt mit Tür $U = 1,500 [W/(m^2K)]$ | x | x | x | |
| 4. | Sanierung Fenster: Fensteraustausch mit $U = 1,100 [W/(m^2K)]$ | x | | | |
| 5. | Dachdämmung DA02 teilweise mit 100mm WLG 025 | x | | | |
| 6. | Dämmung Außenwand AW2: WDVS mit Schaumglas 80mm | | x | x | |
| 7. | Fußbodendämmung FB1 mit 80mm Druckfesten Schaumglas | | x | x | |
| 8. | Dachdämmung gesamt mit 100mm WLG 025 | | x | x | |
| 9. | Sanierung Fenster: Fensteraustausch mit $U = 0,900 [W/(m^2K)]$ | | x | x | |
| 10. | Sanierung Lichtkuppeln DF01: Fensteraustausch mit $U = 1,700 [W/(m^2K)]$ | x | x | x | |
| 11. | Ersetzen von Toren | x | x | x | |
| 12. | Austausch Heizkessel durch Gasbrennwertkessel 90 kWth | | | | x |
| 13. | Austausch Heizkessel durch Gasbrennwertkessel 50 kWth | x | | | |
| 14. | Erneuerung Heizverteilung der 2 bestehenden Heizkreise | x | | | |
| 15. | Hydraulischer Abgleich | x | x | x | x |
| 16. | Grundwasser-Wärmepumpe 40 kWth mit Wärmequelle Brunnen | | x | x | |
| 17. | Erneuerung Heizverteilung mit Einbindung Warmwasserbereitung | | x | x | |
| 18. | Photovoltaikanlage Dach 18 kWp (130 m ²) | | | x | |

Tabelle 11 Zuordnung der Einzelmaßnahmen zu den Maßnahmenpaketen

Grundrisse und Schnitte mit Bauteilzuordnung sind in Anlage 1 beigelegt.

Variante 1: Sanierung nach EnEV 2014

Der Jahres-Primärenergiebedarf und der Transmissionswärmetransferkoeffizient des Referenzgebäudes nach EnEV 2014 (Randbedingungen ab 1.1.2016) werden um nicht mehr als 40% überschritten. Es werden Maßnahmen an der Gebäudehülle und der Anlagentechnik durchgeführt, s. Tabelle 11. Durch einen resultierenden niedrigeren Heizwärmebedarf wird der bestehende Niedertemperaturgaskessel durch einen kleineren Gasbrennwertkessel ersetzt und die Heizkreise der Heizverteilung neu aufgebaut, s. Abbildung 7. Um die Anforderungen des EEWärmeG einzuhalten werden 25 % der Wärmeenergie aus Biomethan erzeugt.

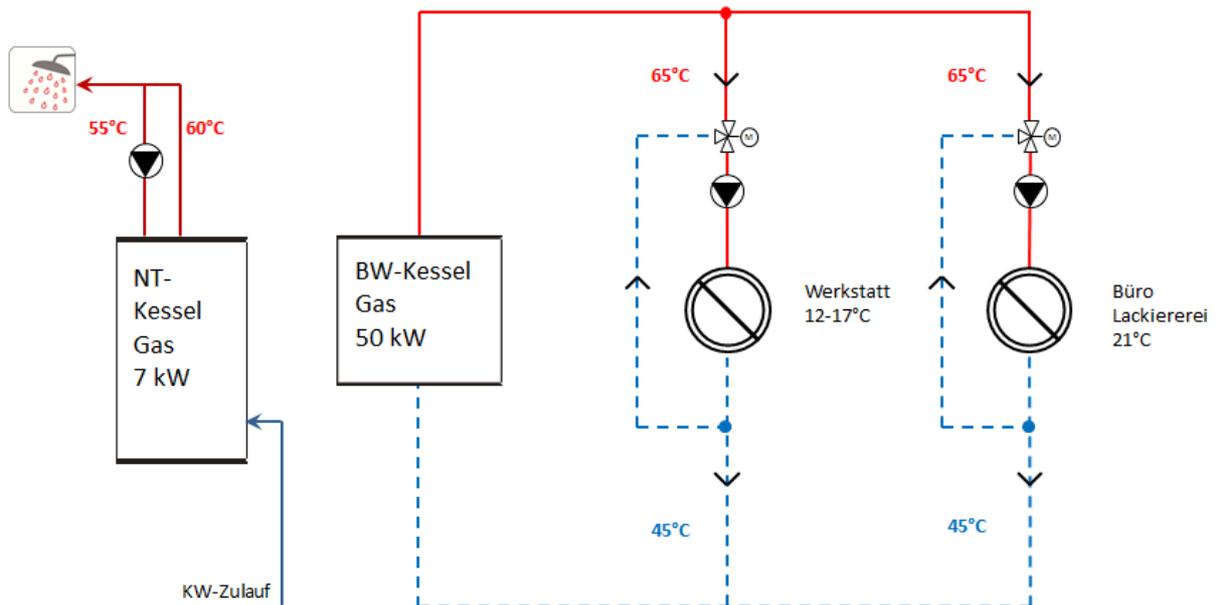


Abbildung 7 Schema Wärmeversorgung V1 Sanierung nach EnEV 2014

Variante 2: Sanierung nach Neubaustandard EnEV 2014

Der Jahres-Primärenergiebedarf und der Transmissionswärmetransferkoeffizient des Referenzgebäudes nach EnEV 2014 (Randbedingungen ab 1.1.2016) werden eingehalten. Um die Anforderungen an die Gebäudehülle einzuhalten, werden umfangreiche Maßnahmen an der Gebäudehülle durchgeführt. Der Wärmebedarf für Heizung und Warmwasser wird über eine Grundwasserwärmepumpe mit Wärmequelle Brunnen erzeugt, s. Abbildung 8. Dazu wird eine neue Heizungsverteilung der Heizkreise mit Warmwasserbereitung aufgebaut und an die bestehende Warmwasserverteilung angebunden. Die bestehende Warmwasserbereitung über den Niedertemperaturkessel wird zurückgebaut. Die Maßnahme macht nur Sinn bei einer Renovierung der sanitären Anlagen. Das EEWärmeG wird durch einen Anteil von 50% Umweltwärme am Wärmeenergieverbrauch eingehalten. Die durch das EEWärmeG vorgeschriebene Jahresarbeitszahl der Wärmepumpen von 3,6 kann jedoch durch die immer noch verbleibend hohen Vorlauftemperatur der Radiatoren nicht eingehalten werden.

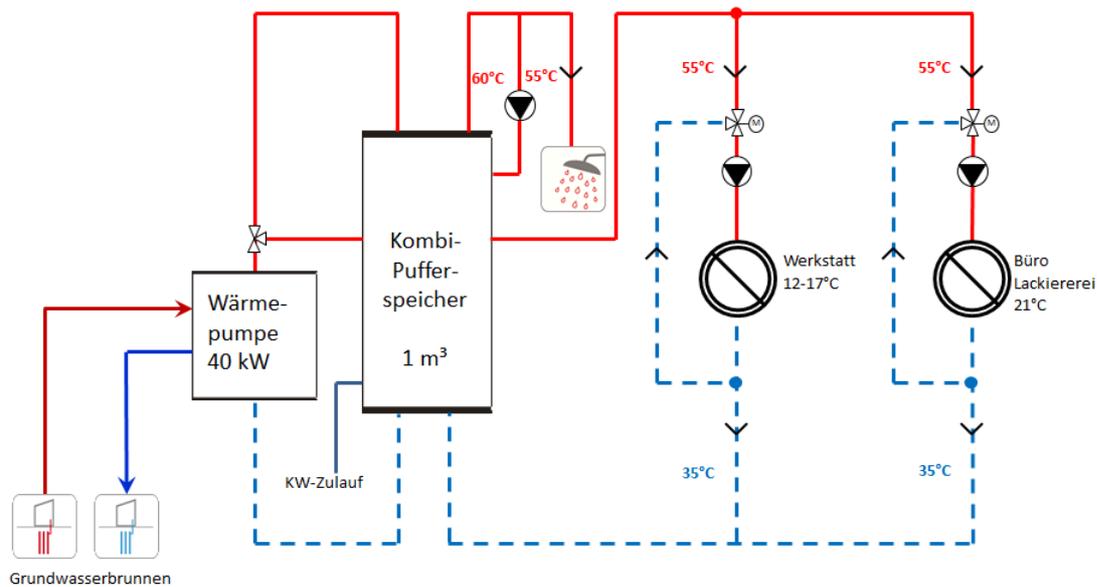


Abbildung 8 Schema Wärmeversorgung V2 Sanierung nach Neubaustandard EnEV 2014

Variante 3: Variante mit vollständiger regenerativer Wärmeversorgung

Der Jahres-Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes nach EnEV 2014 für Heizung und Warmwasserbereitung beträgt in der Jahresbilanz = 0 kWh/m²a. Die Gebäudehülle und Wärmeerzeugung wird wie in Variante 2 ausgeführt. Zusätzlich wird auf dem Gebäudedach eine 18 kWp Photovoltaikanlage installiert. Diese deckt bilanziell über das Jahr gesehen den Strombedarf der Wärmepumpe, s. Abbildung 9.

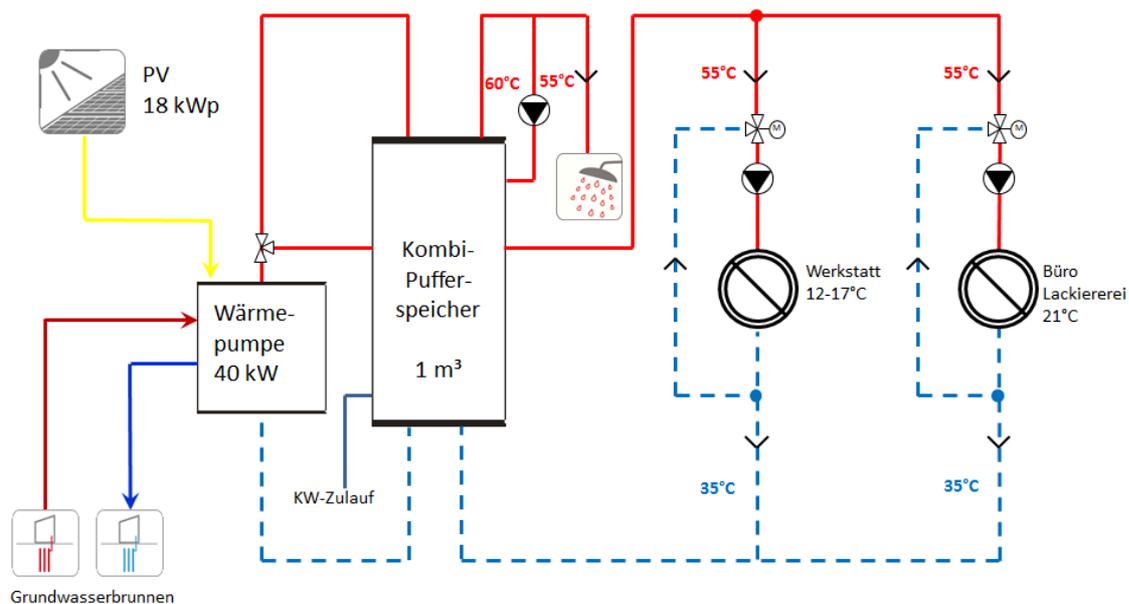


Abbildung 9 Schema Wärmeversorgung V3 Sanierung 100% regenerativer Wärmeversorgung

Variante 4: das aktuell wirtschaftlich sinnvollste Maßnahmenpaket

Variante 4 enthält den Austausch des Niedertemperaturkessels durch einen Brennwertkessel und die Durchführung eines hydraulischen Abgleichs. Weitere investive Maßnahmen sind über einen Zeitraum von 20 Jahren nicht wirtschaftlich darzustellen.

6.2 End- und Primärenergiebedarf bzw. CO₂-Emissionen

Die angesetzten Primärenergiefaktoren und CO₂-Äquivalente sind in Tabelle 12 dargestellt.

| Energieträger | Primärenergiefaktor (Quelle: EnEV 2016) | CO ₂ -Äquivalent (Quelle: Gemis) |
|---------------|--|--|
| Erdgas | 1,1 | 243 g/kWh _{End} |
| Biogas | 1,1 | 87 g/kWh _{End} |
| Strom | 1,8 | 563 g/kWh _{End} |
| PV-Strom | 2,8 | 821 g/kWh _{End} |

Tabelle 12 Energieträger

Die folgenden Abbildungen zum End- und Primärenergiebedarf stellen die Ergebnisse der DIN V 18599 Berechnungen dar. Der CO₂-Emissionen wurden auf Basis von Gemis-Daten berechnet. Sie enthalten den Energiebedarf für Heizung, Warmwasser, Lüftung, Kälte und Beleuchtung. Der Nutzerstromverbrauch ist in der Bilanzierung nicht enthalten.

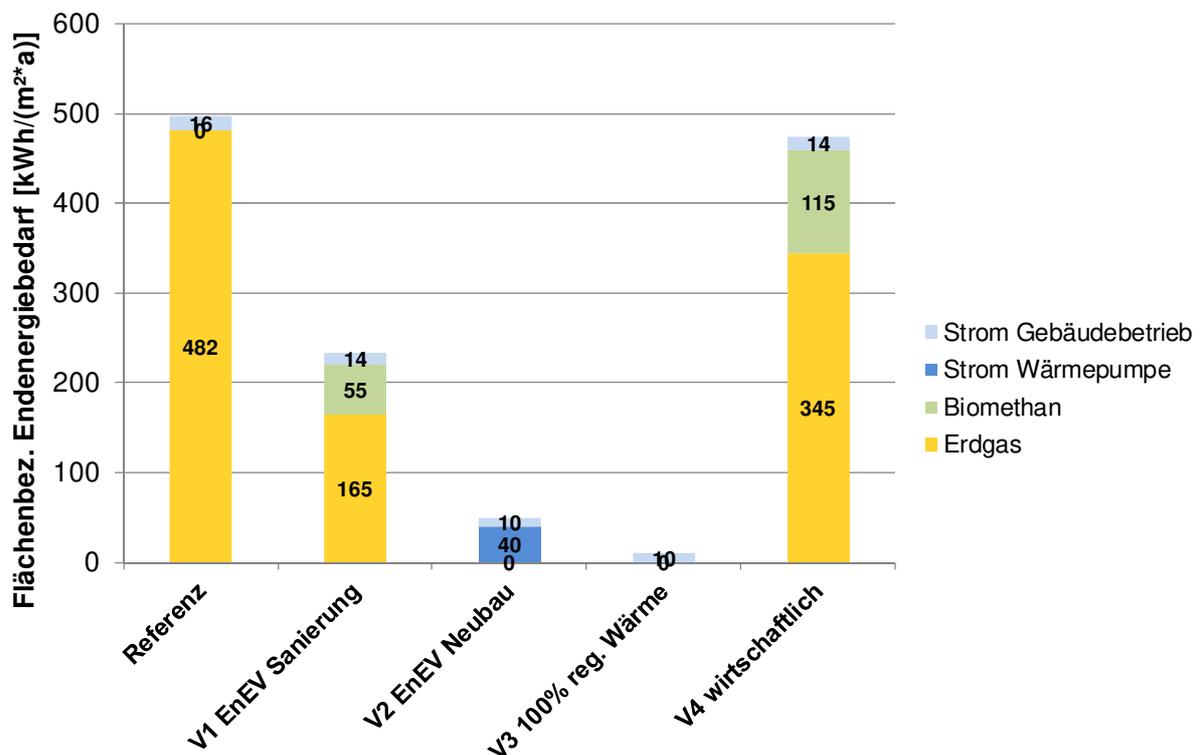


Abbildung 10 spez. Endenergiebedarf der Varianten nach DIN V 18599, normiert

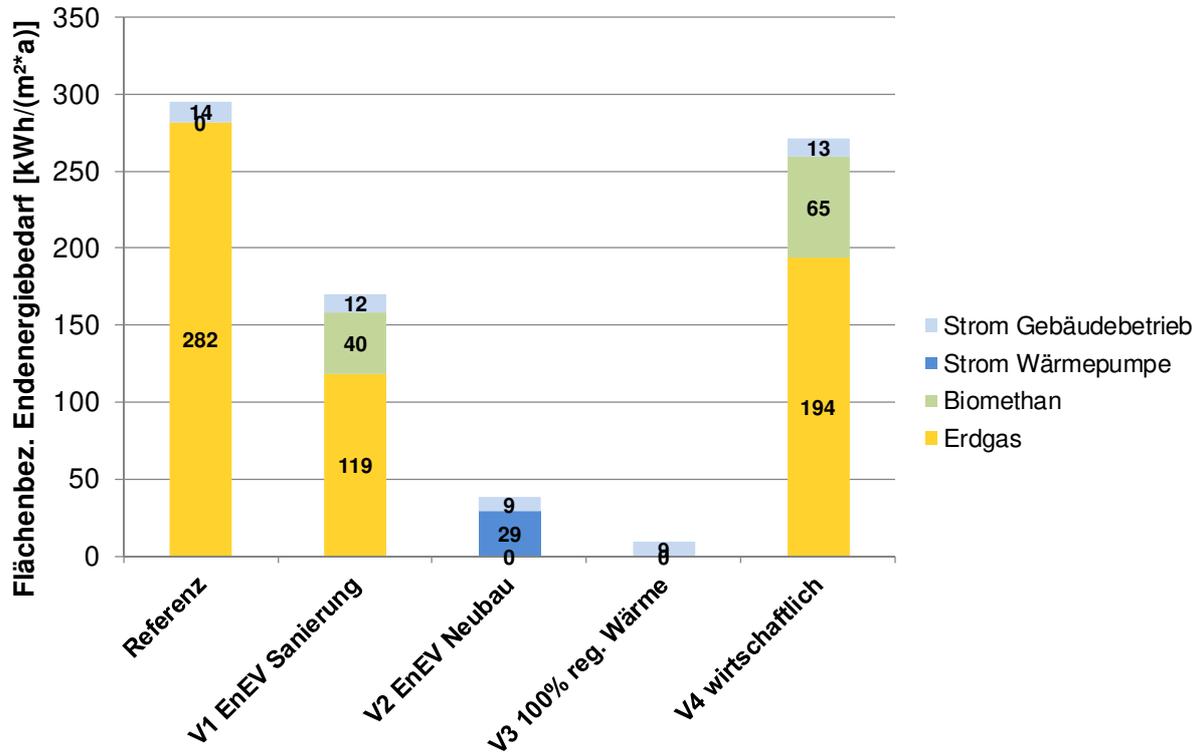


Abbildung 11 spez. Endenergiebedarf der Varianten nach DIN V 18599, angepasst

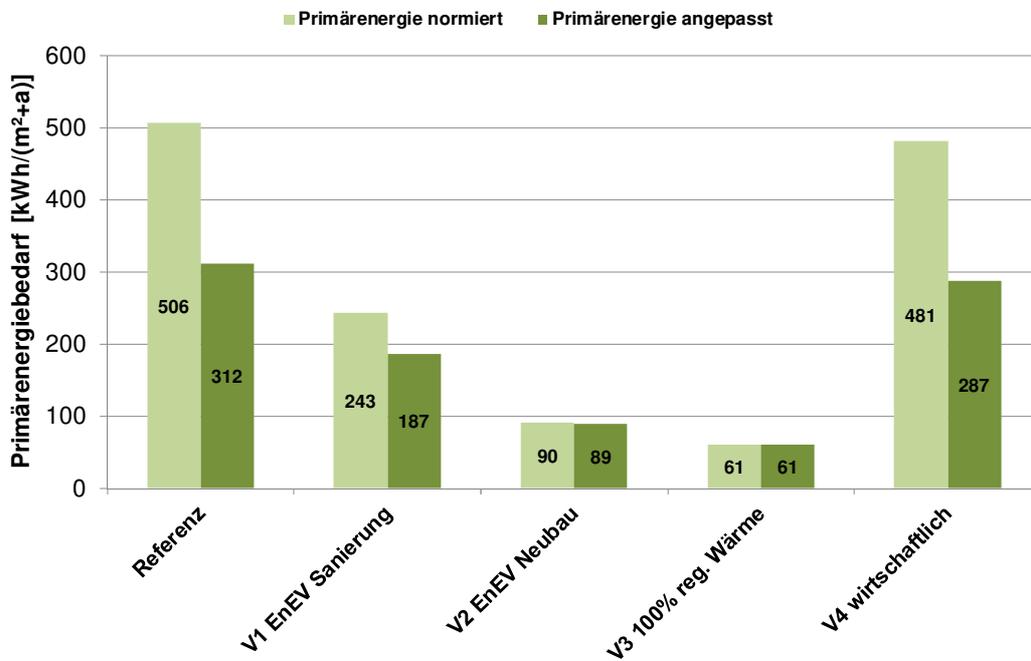


Abbildung 12 Primärenergiebedarf der Varianten nach DIN V 18599, normiert und angepasst

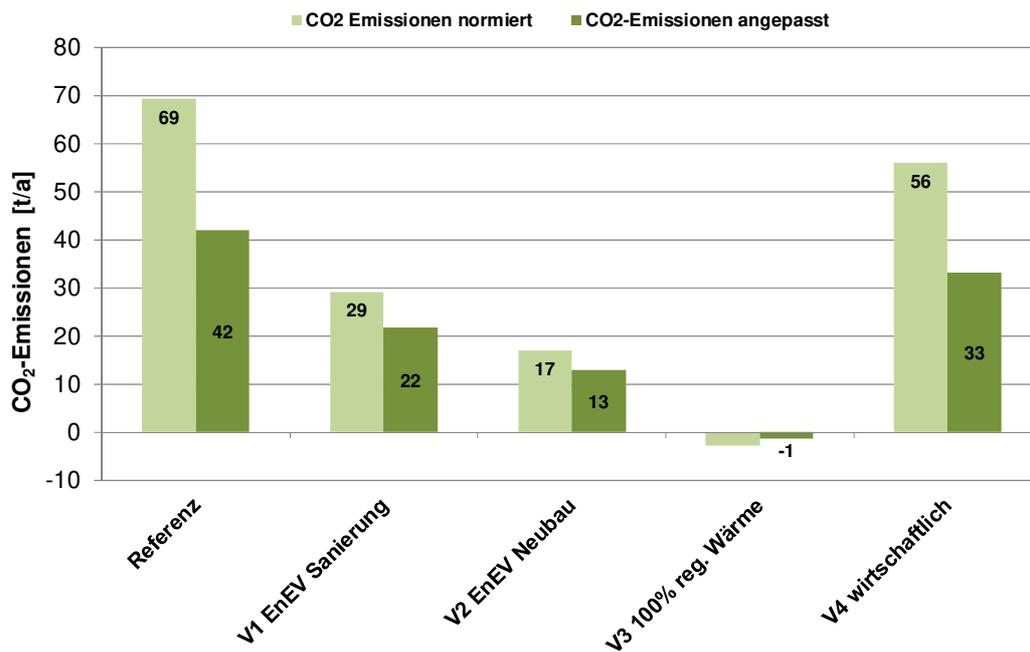


Abbildung 13 CO₂-Emissionen der Varianten berechnet, normiert und angepasst

6.3 Wirtschaftlichkeitsberechnung

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung wird in Anlehnung an die VDI 2067 über einen Zeitraum von 20 Jahren durchgeführt und betrachtet die Jahresgesamtkosten, d.h. die Kosten für die Investitionen, Instandsetzung, Wartung, Betrieb und Energie sowie Vergütungen und Zuschüsse über Förderungen. Es wird ein Zinssatz von 2,5% angesetzt. Preissteigerungen für Energie-, Instandsetzungs-, Wartungs- und Betriebskosten werden nicht berücksichtigt.

Basis für die Wirtschaftlichkeitsberechnung sind folgende Kostenkennwerte:

| Energieträger | Grundpreis | Arbeitspreis |
|--|------------|---------------------------|
| Erdgas | 124,80 €/a | 54,38 €/MWh _{HS} |
| Erdgas mit 30% Biomethan | 216,00 €/a | 51,00 €/MWh _{HS} |
| Strom | 90,00 €/a | 201,83 €/MWh |
| EEG-Umlage ab 01.01.2016* ¹ | | 63,5 €/MWh |
| EEG Vergütung PV ² | | 11,50 €/MWh |

Tabelle 13 Energiekosten

¹ 40% der EEG-Umlage für Eigenstromverbrauch

² Für die Vergütung nach EEG des PV-Stroms wird mit einer Inbetriebnahme ab 01.01.2017 gerechnet.

| Bauteil | spez. Kosten pro Bauteil | Spezifikation | Bezugsgröße | Kosten |
|---|---------------------------|---------------------------------|--------------------|----------|
| Dämmung Außenwand AW2: WDVS mit Schaumglas 60mm | 180 [€/m ²] | U = 0,51 [W/(m ² K)] | 300 m ² | 54.000 € |
| Fußbodendämmung FB1 mit 40mm druckfesten Schaumglas | 110 [€/m ²] | U = 0,93 [W/(m ² K)] | 460 m ² | 50.600 € |
| Stahltür zu Schreinerei und Tür Bürotrakt ersetzen | 350 [€/m ²] | U = 1,50 [W/(m ² K)] | 15 m ² | 5.250 € |
| Sanierung Fenster | 320 [€/m ²] | U = 1,10 [W/(m ² K)] | 85 m ² | 27.200 € |
| Dachdämmung DA02 teilweise mit 100mm WLG 025 | 250 [€/m ²] | U = 0,29 [W/(m ² K)] | 390 m ² | 97.500 € |
| Dämmung Außenwand AW2: WDVS mit Schaumglas 80mm | 190 [€/m ²] | U = 0,34 [W/(m ² K)] | 300 m ² | 57.000 € |
| Sanierung Lichtkuppel DF01 | 540 [€/m ²] | U = 1,70 [W/(m ² K)] | 26 m ² | 14.040 € |
| Ersetzen von Toren | 1.030 [€/m ²] | U = 3,00 [W/(m ² K)] | 44 m ² | 45.320 € |
| Fußbodendämmung FB1 mit 80mm Druckfesten Schaumglas | 140 [€/m ²] | U = 0,53 [W/(m ² K)] | 460 m ² | 64.400 € |
| Trapezdach gesamt mit 100mm WLG 025 | 250 [€/m ²] | U = 0,25 [W/(m ² K)] | 390 m ² | 97.500 € |
| StB Dach gesamt mit 100mm WLG 025 | 250 [€/m ²] | U = 0,24 [W/(m ² K)] | 240 m ² | 60.000 € |
| Sanierung Fenster | 460 [€/m ²] | U = 0,90 [W/(m ² K)] | 85 m ² | 39.100 € |

Tabelle 14: Kostenkennwerte Bauteile Gebäudehülle

| Anlagen/Komponenten | Kosten |
|--|----------|
| hydraulischer Abgleich | 3.500 € |
| Gas-Brennwertkessel (50 kW _{th}) inkl. Abgasanlage | 15.000 € |
| Erneuerung bestehende Heizungsverteilung | 3.000 € |
| Rückbau bestehender NT-Heizkessel und Heizungsverteilung | 1.000 € |
| Wasser/Wasser - Wärmepumpe (40 kW _{th}) | 32.000 € |
| Stromanschluss Wärmepumpe inkl. Zähler | 2.000 € |
| Grundwasserbrunnen-Anlage mit Entnahme- und Schluckbrunnen | 23.000 € |
| Einbindung Entnahme- und Schluckbrunnen | 12.000 € |
| Erneuerung Heizungsverteilung mit Einbindung der Warmwasserbereitung | 8.000 € |
| Pufferspeicher / Kombispeicher | 2.000 € |
| Rückbau bestehende Heizungsverteilung und Warmwasserbereitung | 1.200 € |
| Photovoltaikanlage (18 kW _p à 1.300 €) | 23.400 € |

Tabelle 15: Kostenkennwerte Anlagentechnik

Auf die Investitionskosten für Bauteile und Anlagentechnik werden 10% Sonstige Kosten berücksichtigt. Als Planungskosten werden 16% der Investitionskosten angesetzt. Die Wasser/Wasser-Wärmepumpe kann im Rahmen einer Basis-Förderung durch die bafa mit 4.000 € bezuschusst werden. Dazu muss eine Jahresarbeitszahl von mindestens 3,8 und die Durchführung eines hydraulischen Abgleich der Heizungsanlage nachgewiesen werden.

Als Referenz für die Investitions- und die Jahresgesamtkosten der Varianten 1 – 4 dient der aktuelle Gebäudebestand.

Die Investitionskosten sind in Abbildung 14 dargestellt. Da der Niedertemperaturkessel die rechnerische Lebensdauer der Anlage von 18 Jahren bereits überschritten hat, werden die Kosten für einen Ersatzkessel fällig und in der Referenz angesetzt. Weitere Sowieso-Kosten sind die Sanierung einiger beschädigter Fenster. Die Investitionskosten reichen von ca.

28.000 € Sowieso-Kosten bis zu ca. 620.000 € für eine 100% regenerative Wärmeversorgung.

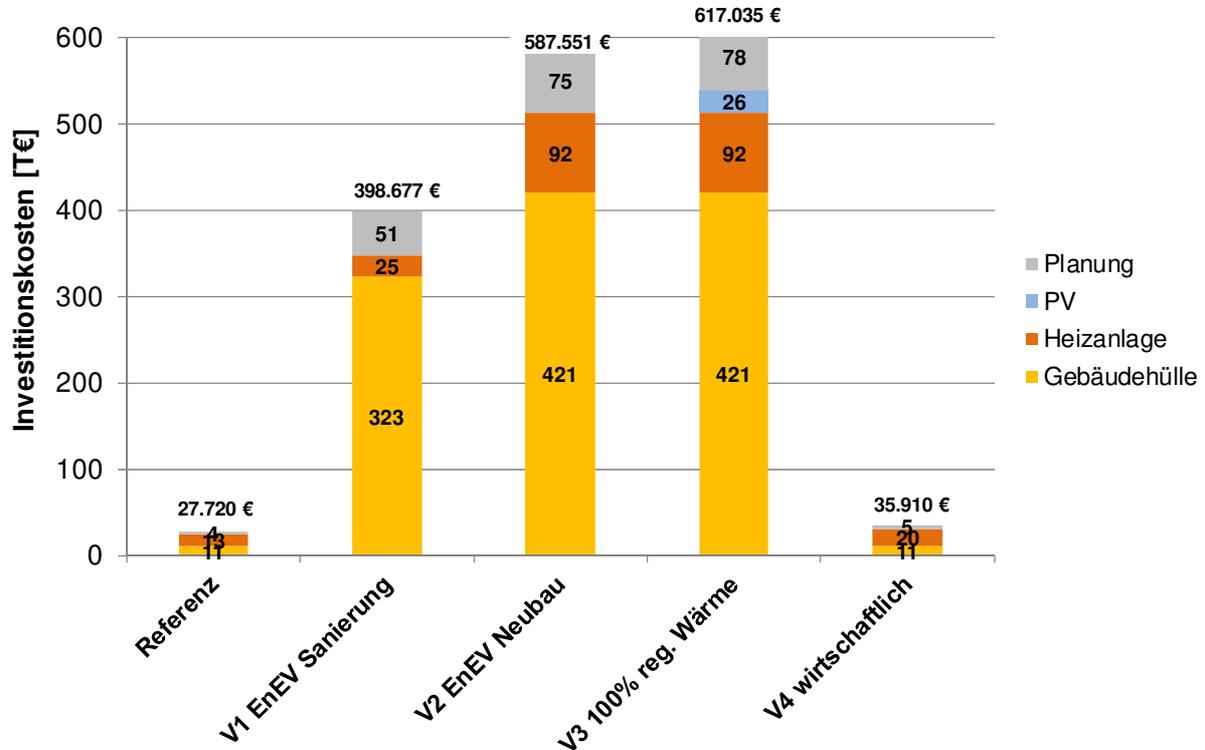


Abbildung 14 Investitionskosten der Varianten 1-4 im Vergleich zur Referenz

Die Jahresgesamtkosten der Gebäudeenergieversorgung ohne Nutzerstrom sind in Abbildung 15 dargestellt. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** Ohnehin anfallende Instandsetzungs-, Wartungs- und Betriebskosten für die bestehende Gebäudehülle und die Wärmeversorgung sowie die Energiekosten des Bestandes bilden die Referenz.

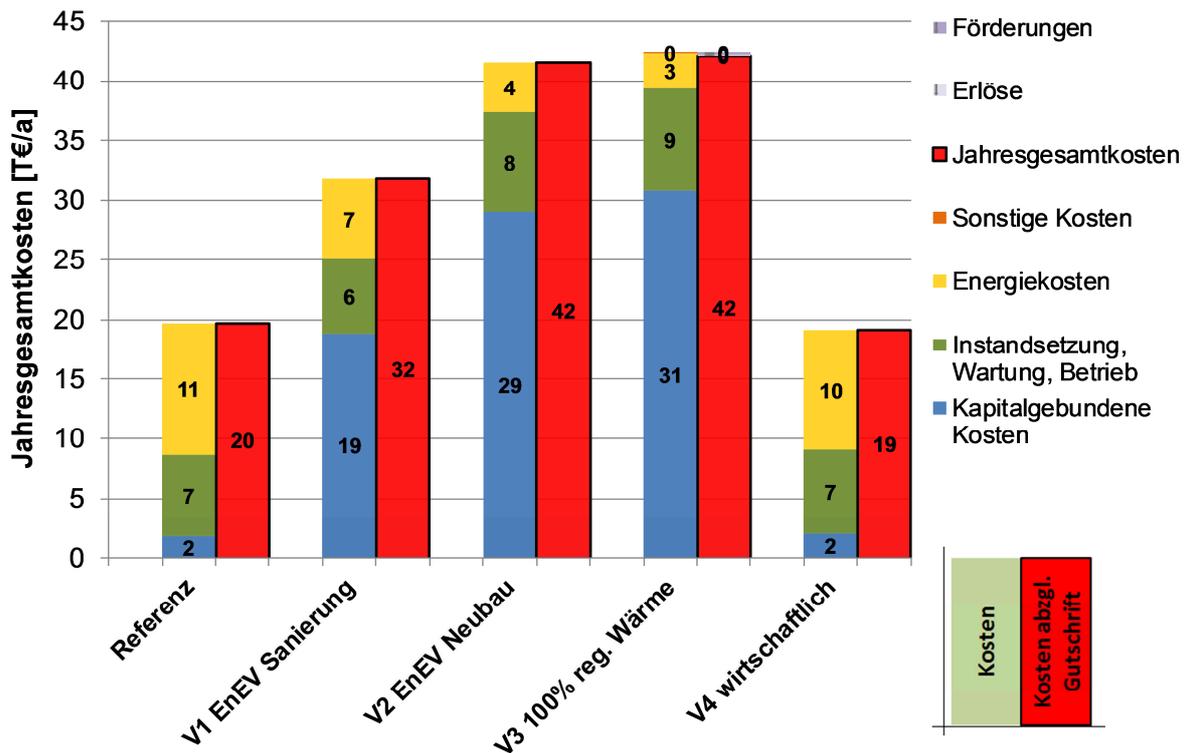


Abbildung 15 Jahresgesamtkosten der Varianten 1-4 im Vergleich zur Referenz

Die momentanen Jahresgesamtkosten betragen ca. 20.000 €. Eine Sanierung auf EnEV 2014 hat weitaus höhere Kapitalkosten und niedrigere Energiekosten und resultiert mit ca. 32.000€/a in höheren Jahresgesamtkosten. Variante 2 und 3 sind mit mehr als doppelt so hohen Jahresgesamtkosten von ca. 42.000 € nicht wirtschaftlich darstellbar. Da zudem die Durchführung einzelner Baumaßnahmen schwierig ist und eine effiziente Betriebsweise der Wärmepumpen nach EEWärmeG nicht gewährleistet werden kann, werden Variante 2 und 3 nicht empfohlen. Variante 4 hat mit ca. 19.000 € geringere Jahresgesamtkosten als die Referenz und wird daher als wirtschaftliche Maßnahme empfohlen.

7 Anlagen

Anlage 1 Bauteildaten IST-Zustand (U-Werte, Plandarstellung)

Anlage 2 Zonierung des Gebäudes

Anlage 3 Bauteildaten für Sanierungsvarianten (U-Werte)

Anlage 4 Anpassung der Zonenprofile

Anlage 5

Energiekonzept Außenbezirk Meppen

Energiekonzept

im Auftrag der Bundesanstalt für Wasserbau



Außenbezirk Meppen

Stand: 11.12.2015

EGS-plan Ingenieurgesellschaft für Energie-, Gebäude- und Solartechnik mbH
Gropiusplatz 10 . D-70563 Stuttgart
Tel. +49 711 99 007 - 5 . Fax +49 711 99 007 - 99
info@egs-plan.de . www.egs-plan.de

NordLB Braunschweig . BLZ 250 500 00 . Kto.-Nr. 20 740 60
IBAN-Nr. DE48 2505 0000 0002 0740 60 . BIC-/SWIFT-Code: NOLADE 2HXXX
Ust.-IdNr. DE218431901 . Registergericht Stuttgart . HRB 22434

Geschäftsführer:
Dipl.-Ing. Jörg Baumgärtner
Dr.-Ing. Boris Mahler
Direktor:
Univ. Prof. Dr.-Ing. M. Norbert Fisch

151211 Bericht Meppen.docx

Auftraggeber / Bauherr Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)
Kußmaulstraße 17
76187 Karlsruhe

Daniel Erndwein
Tel.: 0721 9726-5980
Email: daniel.erndwein@baw.de

Auftragnehmer EGS-Plan Ingenieurgesellschaft für
Energie-, Gebäude- und Solartechnik mbH
Gropiusplatz 10
70563 Stuttgart

Tel. +49 711 99 007 - 5
Fax +49 711 99 007 - 99
www.egs-plan.de
info@egs-plan.de

Bearbeitung Simone Idler, M.Sc.
Bernd Bauer

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Vorgehensweise und Zusammenfassung | 4 |
| 2 | Liegenschaftsdaten | 5 |
| 3 | Bestandsaufnahme | 6 |
| 3.1 | Sichtbare Mängel | 6 |
| 3.2 | Gebäudehülle | 6 |
| 3.3 | Anlagentechnik | 8 |
| 4 | Energieverbrauch | 12 |
| 5 | Energiebedarf | 12 |
| 5.1 | Zonierung | 12 |
| 5.2 | Normierte Berechnung des Bestandes nach DIN V 18599 | 13 |
| 5.3 | Bedarfs-/Verbrauchsabgleich | 13 |
| 6 | Modernisierungsempfehlungen | 13 |
| 6.1 | Untersuchte Varianten | 13 |
| 6.2 | End- und Primärenergiebedarf bzw. CO ₂ -Emissionen | 16 |
| 6.3 | Wirtschaftlichkeitsberechnung | 19 |
| 7 | Anlagen | 22 |

1 Vorgehensweise und Zusammenfassung

EGS-plan hat gemeinsam mit dem Gebäudebetreiber und Vertreter der Bundesanstalt für Wasserbau und dem Gebäudenutzer das Gebäude in einer Begehung besichtigt. Dabei wurden das Gebäude und die für die Energieversorgung relevante Anlagentechnik besichtigt und Bauteile und Technik aufgenommen. Die Begehungen wurden in einer Fotodokumentation festgehalten. Zusätzlich zur Begehung wurden Pläne gesichtet.

Das Gebäude ist in guten Zustand und es wurden bei der Bestandsaufnahme kaum Mängel festgestellt. Die Luftführung der Serverkühlung ist nicht optimal. Es gibt keinen separaten Gaszähler für das Betriebswerkgebäude. Das Gebäude wird über eine Gasbrennwerttherme beheizt, deren rechnerische Lebensdauer nach VDI 2067 von 18 Jahren 2017 ausläuft.

Es wurden 6 Einzelmaßnahmen untersucht, welche zu drei Sanierungsvarianten zusammengefasst wurden. Für die einzelnen Varianten wurden der End- und Primärenergieeinsatz sowie die CO₂-Emissionen berechnet. Anschließend wurde eine Wirtschaftlichkeitsberechnung mit einem Zeitraum von 20 Jahren durchgeführt.

Das Bestandsgebäude hält bereits den Standard EnEV 2014 für Bestandsgebäude ein. Eine Sanierung auf Neubaustandard nach EnEV 2014 ist nur mit hohem Aufwand an der Gebäudehülle mit Innendämmung der Außenwände zu erreichen. Eine 100% regenerative Wärmeversorgung ist nicht umsetzbar da nicht genug geeignete Dachfläche für die Photovoltaiknutzung zur Verfügung steht. Die Varianten 1 und 2 werden daher nicht empfohlen.

Die wirtschaftliche Variante 3 enthält eine Ergänzung der Wärmeversorgung durch Nutzung der Serverabwärme zur Gebäudeheizung und eine Sanierung der Fenster. Da keine Wärmeverbräuche für die Gebäudeheizung oder Stromverbräuche für die Kälteversorgung vorliegen, beruht der rechnerische Ansatz für Variante 3 auf normierten Bedarfen und Berechnungsansätzen. Das Ergebnis stellt daher nicht die Realität sondern nur ein mögliches Szenario dar. Bei möglicher Umsetzung der Variante 3 müssen die realen Verbräuche für Strom und Heizung sowie die Laufzeiten der Kälteversorgung in die Planung einfließen und die Wirtschaftlichkeit überprüft werden. Die Nutzung der Serverabwärme kann zudem nur im Zusammenhang mit einer Sanierung der Kälteversorgung der Server vorgenommen werden. Vorgeschlagen wird hier eine luftbasierte Kühlung. Serverabwärme kann auch durch ein wasserbasiertes System genutzt werden. Dies schließt allerdings auch den Umbau der Serveranlagen mit ein.

Unabhängig der Umsetzung von investiven Maßnahmen der Variante 3 wird empfohlen die Einstellungen der Heizkurve und der Nachtabsenkung zu überprüfen.

2 Liegenschaftsdaten

| | |
|------------------------------------|---|
| Bezeichnung der Liegenschaft | Außenbezirk Meppen |
| Adresse | Hüttenstraße 1a 49716 Meppen |
| Ansprechpartner vor Ort | Herr Geers, Tel.: 05931-848-171 |
| Hauptnutzung | Büro- und Sozialräume, Lager |
| Nettogrundfläche beheizt | 391 m ² |
| Baujahr | 1999 |
| Konditionierung | beheizt, teilw. gekühlt |
| Nutzungszeiten Büro | Mo-Do: 06:45-15:30 Uhr Fr: 06:45-12:45 Uhr |
| Nutzungszeiten Leitwarte | Mo-Sa: 05:45 – 22:00 Uhr So: 05:45 - 14:00 Uhr |
| Anforderung an die Raumkonditionen | Büro- und Sozialbereiche, Leitwarte: 21 °C |
| Besonderheiten | Leitwarte |

Tabelle 1 Angaben zur Liegenschaft und Ansprechpartner

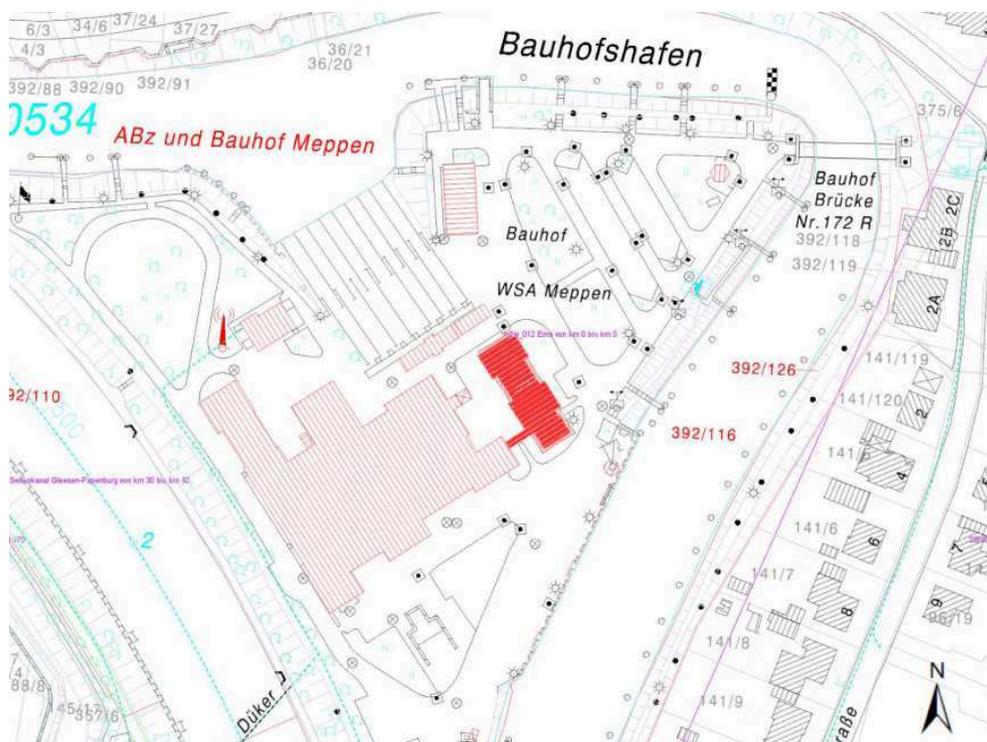


Abbildung 1 Lage des Gebäudes

3 Bestandsaufnahme

3.1 Sichtbare Mängel

| Nr. | Bauteil | Foto | Beschreibung |
|-----|-----------------|---|--|
| 1. | Wärmeversorgung | | Kein Unterzähler Gas für Gebäude vorhanden |
| 2. | Kälteversorgung |  | Die Luftführung zur Kühlung des Serverraums ist nicht optimal s. dazu auch Anhang 4 Leitfaden für Energieeinsparung in Serverräumen. |

Tabelle 2 sichtbare Mängel Gebäudehülle und Technik

3.2 Gebäudehülle

Die U-Werte wurden anhand der aufgenommenen Bauteilspezifikationen berechnet. Die der Berechnung zugrunde liegende λ – Werte wurden abgeschätzt.

| Bauteil | Foto | Typ | U-Wert [W/(m ² K)] |
|----------------|---|--|-------------------------------|
| Außenwand AW 1 |  | Kerngedämmtes Mauerwerk mit Hinterlüftung | 0,346 |
| Außenwand AW 2 |  | Mauerwerk mit vorgehängter Fassade | 0,528 |
| Dach DA 1 |  | Satteldach mit Zwischensparrendämmung | 0,197 |
| Decke | | Holzträgerdecke nicht begehbar mit eingelegter Dämmung | 0,437 |

| | | | |
|-------------------------|--|---|-------|
| Fenster (Glas + Rahmen) |  | Zweischeiben Isolierverglasung mit Metallrahmen | 1,600 |
| Außentür AT 1 |  | Zweischeiben Isolierverglasung mit Kunststoffrahmen | 2,500 |
| Fußboden FB 1 | | Fußboden mit Perimeterdämmung und Doppelboden | 0,578 |
| Fußboden FB 2 |  | Fußboden mit Doppelboden | 4,348 |
| Fußboden FB 3 | | Schwimmender Estrich mit Perimeterdämmung | 0,491 |

Tabelle 3 Übersicht Gebäudehülle

Der Mindestwärmeschutz des Bestandsgebäudes nach EnEV 2014 wird eingehalten. Detaillierte Bauteildaten sind in Anlage 1.1 bis 1.4 beigefügt. Es konnten keine sichtbaren Mängel oder Schimmelpilzbefall an der Gebäudehülle festgestellt werden. Nutzungsbedingte Schallschutzprobleme konnten bei der Begehung nicht festgestellt werden. Bei der Begehung wurden keine Auffälligkeiten bezüglich Brandschutz oder gesundheitlich kritischen Baumaterialien festgestellt.

3.3 Anlagentechnik

Die Anlagentechnik wurde bei der Gebäudebegehung aufgenommen und in den folgenden Tabellen dokumentiert. Das Gebäude wird zentral über eine Gas-Brennwerttherme beheizt. Die Warmwasserbereitung erfolgt dezentral über Elektrodurchlauferhitzer. Die WC-Anlagen haben dezentrale Ablüfter. Die Leitwarte und Serverräume werden über einzelne Split-Kälteanlagen gekühlt.

| Heizung | |
|---|--|
|  | <p>Erzeugung + Verteilung: Gas-Brennwerttherme, Buderus, Logamax plus GB112:24 G25 Baujahr 1999 Heiznennleistung: 22 kW</p> <p>Soll - Raumtemperatur: 06:00 - 22:00 Uhr : 21°C Nachtabsenkung 21:00 - 05:00 Uhr: 20°C</p> |
|  | <p>Übergabe: statische Heizung mit Radiatoren Thermostatventile</p> <p>IST - Raumtemperatur: 21°C</p> |

Tabelle 4 Techn. Daten Heizwärmeversorgung

Die rechnerische Lebensdauer der Gas-Brennwerttherme nach VDI 2067 beträgt 18 Jahre und endet 2017.

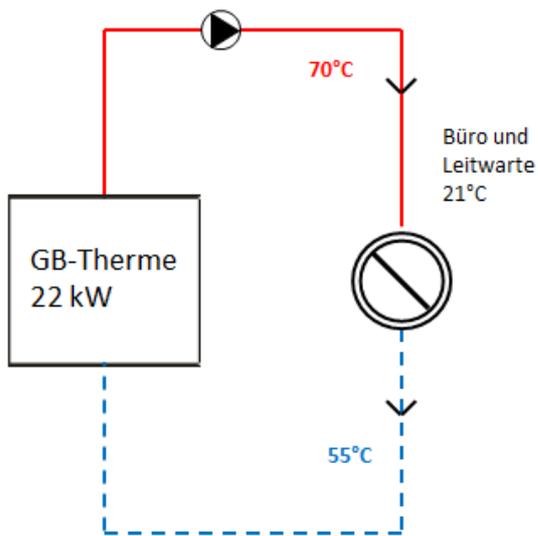


Abbildung 2 Schema bestehende Wärmeversorgung

| dezentrale Warmwasserbereitung | |
|---|--|
|  | <p>Elektrischer Durchlauferhitzer Stiebel Eltron, Typ: SNU 5 S Nenninhalt: 5 l Leistung: 2 kW Je 1x in Damen- und Herren WC</p> |

Tabelle 5 Techn. Daten Warmwasserbereitung

| Mechanische Lüftung | |
|---|---|
|  | <p>dezentrale Abluft WC Regelung: manuell über Lichtschalter</p> |

Tabelle 6 Techn. Daten Lüftung

Büro und Sozialbereiche, Serverraum und Leitwarte werden natürlich über Fenster belüftet. Die Luftqualität ist in Ordnung.

| Dezentrale Kühlung | |
|---|---|
|  | <p>Split-Kältegerät Daikin, RP200B7W1, Bj. 2005 Inneneinheit: 2x Serverraum Außeneinheit: NW-Fassade Kälteleistung: 20 kW Kältemittel: R407C</p> |
|  | <p>Split-Kältegerät Daikin, RZQ7188V38, Bj. 2005 Inneneinheit: Leitwarte Außeneinheit: NW-Fassade Kältemittel: R410A</p> |

| | |
|---|--|
|  | Split-Kältegerät Daikin, RXS25L2V1B, Bj.:2014 Inneneinheit: Serverraum klein Außeneinheit: NW-Fassade Kältemittel: R410A |
|---|--|

Tabelle 7 Techn. Daten Kälte

Die rechnerische Lebensdauer Kälteanlagen für den Serverraum und die Leitwarte nach VDI 2067 beträgt 15 Jahre und endet 2020.

| Beleuchtung und Sonnenschutz | | |
|------------------------------|---|--|
| Beleuchtung |  |  |
| | Büro: Leuchtstofflampen (58W) mit KVG, direkte Beleuchtung Steuerung: manuell | Leitwarte: Leuchtstofflampen T5, (54W) mit EVG, direkte/indirekte Beleuchtung Steuerung: manuell |
| Sonnenschutz | Innenliegender Sonnenschutz | |

Tabelle 8 Techn. Daten Beleuchtung und Sonnenschutz

Die Beleuchtungsstärken sind ausreichend. In der Leitwarte wurde durch Messung der künstlichen Beleuchtung 500 Lux nachgewiesen.

4 Energieverbrauch

Es gibt keinen separaten Gaszähler für die Liegenschaft, daher liegen keine Verbrauchsdaten vor.

5 Energiebedarf

5.1 Zonierung

Die Zonierung des Gebäudes erfolgt anhand der Nutzungsprofile nach DIN V 18599 Teil 10.

| Zone | Nutzungsprofil | NGF [m ²] |
|------------------------|----------------|-----------------------|
| Einzelbüro | 1 | 113,36 |
| Aufenthaltsraum | 17 | 33,37 |
| Besprechung | 4 | 23,35 |
| Verkehrsflächen | 19 | 73,82 |
| Sanitärräume | 16 | 10,93 |
| Großraumbüro | 8 | 100,81 |
| Lager/ Technik, Archiv | 20 | 34,95 |

Tabelle 9 Zonierung nach DIN V 18599

Der Serverraum im Erdgeschoss wird durch die Abwärme der Serverkälte d.h. Prozesskälte beheizt. Da dem Raum keine weitere Heizwärme zugeführt werden muss, ist dieser nicht Teil der beheizten Fläche nach DIN V 18599. Der Wärmeübergang zwischen den an diesen Raum angrenzenden Innenräumen ist adiabat, da keine Wärmeübertragung stattfindet.

Die Klimatisierung des Serverraums ist prozessbedingt und nicht nutzerabhängig. Der Strom für diese Kälteerzeugung geht nicht in die Gebäudebilanzierung für einen EnEV Nachweis ein und wird daher auch nicht in der vorliegenden Bilanzierung berücksichtigt. Grundrisspläne mit Zonierung der einzelnen Räume sind im Anhang 2 beigefügt.

5.2 Normierte Berechnung des Bestandes nach DIN V 18599

Die Berechnungen wurden mit der Software Solar Computer der Version 5.13.03 durchgeführt. Es liegen die standardisierten Nutzerprofile nach DIN V 18599 Teil 10 zugrunde.

| Energiebedarf | Gebäude normiert | Referenzgebäude | Gebäude normiert | Referenzgebäude |
|------------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| | [kWh/m²a] | | [MWh/a] | |
| Endenergiebedarf Wärme | 215 | | 84 | |
| Endenergiebedarf Strom | 24 | | 9 | |
| Primärenergiebedarf | 256 | 262 | 100 | 102 |

Tabelle 10 Normierte Berechnung nach DIN V 18599

Das Gebäude unterschreitet den Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes im Bestand um 2%.

5.3 Bedarfs-/Verbrauchsabgleich

Da keine Verbrauchsdaten für die Liegenschaft vorliegen, kann kein Bedarfs-/Verbrauchsabgleich durchgeführt werden.

6 Modernisierungsempfehlungen

6.1 Untersuchte Varianten

Die untersuchten Sanierungsmaßnahmen werden zu sinnvollen Maßnahmenpaketen zusammengefasst. Es werden die folgenden Einzelmaßnahmen untersucht:

| Nr. | Beschreibung Sanierungsmaßnahme | | | |
|-----|---------------------------------|---------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| | | 1. Neubau EnEV 2014 | 2. Regenerative Wärmeversorgung | 3. Wirtschaftl. Maßnahmenpaket |
| 1. | Austausch Fenster | x | x | x |
| 2. | Innendämmung Außenwand AW 1 | x | x | |
| 3. | Innendämmung Außenwand AW 2 | x | x | |
| 4. | Hydraulischer Abgleich | x | x | x |
| 5. | Wärme- und Kälteverbund | x | x | x |
| 6. | Photovoltaikanlage Dach | | x | x |

Tabelle 10 Zuordnung der Einzelmaßnahmen zu den Maßnahmenpaketen

Da das Gebäude bereits die Grenzwerte für Bestandsgebäude nach EnEV 2014 einhält, entfällt diese Variante.

Variante 1: Sanierung nach Neubaustandard EnEV 2014

Der Jahres-Primärenergiebedarf und der Transmissionswärmetransferkoeffizient des Referenzgebäudes nach EnEV 2014 (Randbedingungen ab 1.1.2016) werden eingehalten. Die Anforderungen an die Gebäudehülle sind nur mit großem Aufwand und im Bereich der Außenwand nur mit Innendämmung zu erreichen. Dies ist kann bei nicht sachgerechter Ausführung Schäden am Bauwerk verursachen und hat zur Folge, dass Heizkörper umgesetzt werden müssen. Der Wärme- und Kälteerzeugung erfolgt über ein VRV-System. Gebäudeheizungsseitig wird über das System die Abwärme der Serverkühlung in der Heizperiode nicht nach außen abgeführt sondern ausgekoppelt und in einen Pufferspeicher eingespeist, s. Abbildung 3. Zusätzlich ist eine Luft-Wärmepumpe als Redundanzsystem vorgesehen. Das EEWärmeG wird durch einen Anteil von mehr als 50% an Umwelt- bzw. Abwärme am Wärmeenergieverbrauch eingehalten.

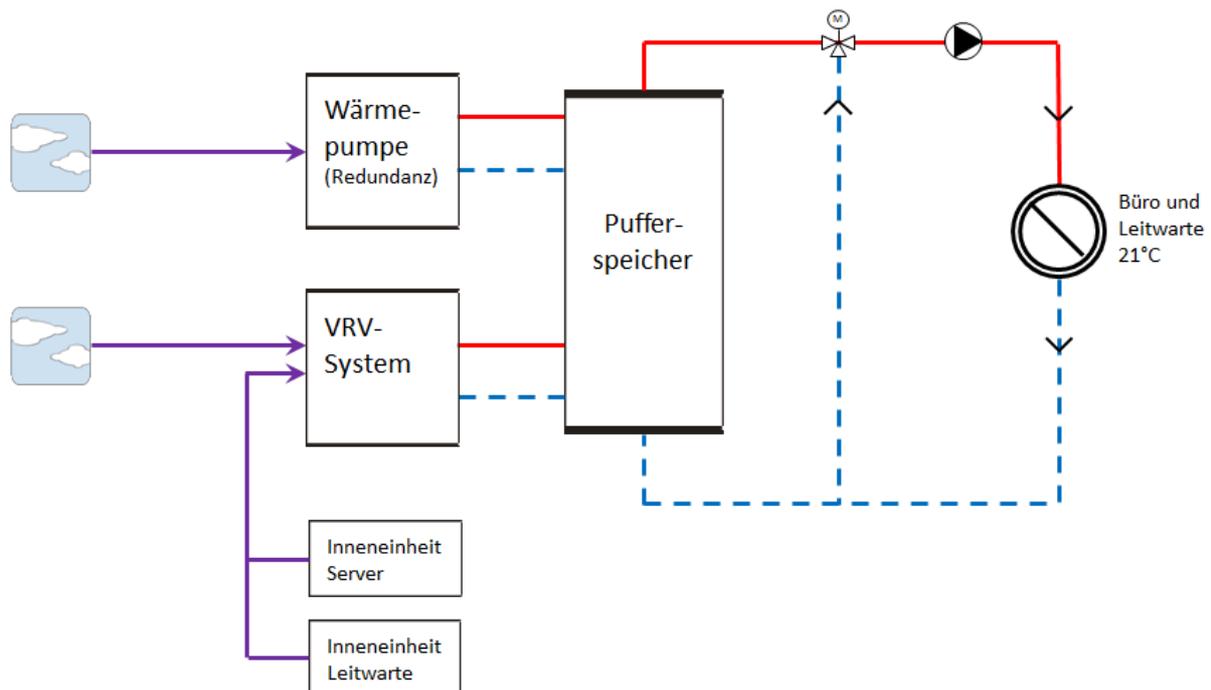


Abbildung 3 Schema Wärmeversorgung V1 Sanierung nach Neubaustandard EnEV 2014

Variante 2: Variante mit vollständiger regenerativer Wärmeversorgung

Der Jahres-Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes nach EnEV 2014 für Heizung und Warmwasserbereitung beträgt in der Jahresbilanz = 0. Die Gebäudehülle und Wärmeerzeugung werden wie in Variante 1 ausgeführt. Zusätzlich wird auf dem

Gebäudedach eine 19 kWp Photovoltaikanlage installiert. Diese deckt bilanziell über das Jahr gesehen den Strombedarf der Wärmepumpen, s. Abbildung 4. Der Platzbedarf der Photovoltaikanlage ist mit ca. 140 m² jedoch größer als die vorhandene geeignete Dachfläche des Gebäudes von ca. 110 m². Daher ist die Umsetzung dieser Variante in die Praxis nicht möglich.

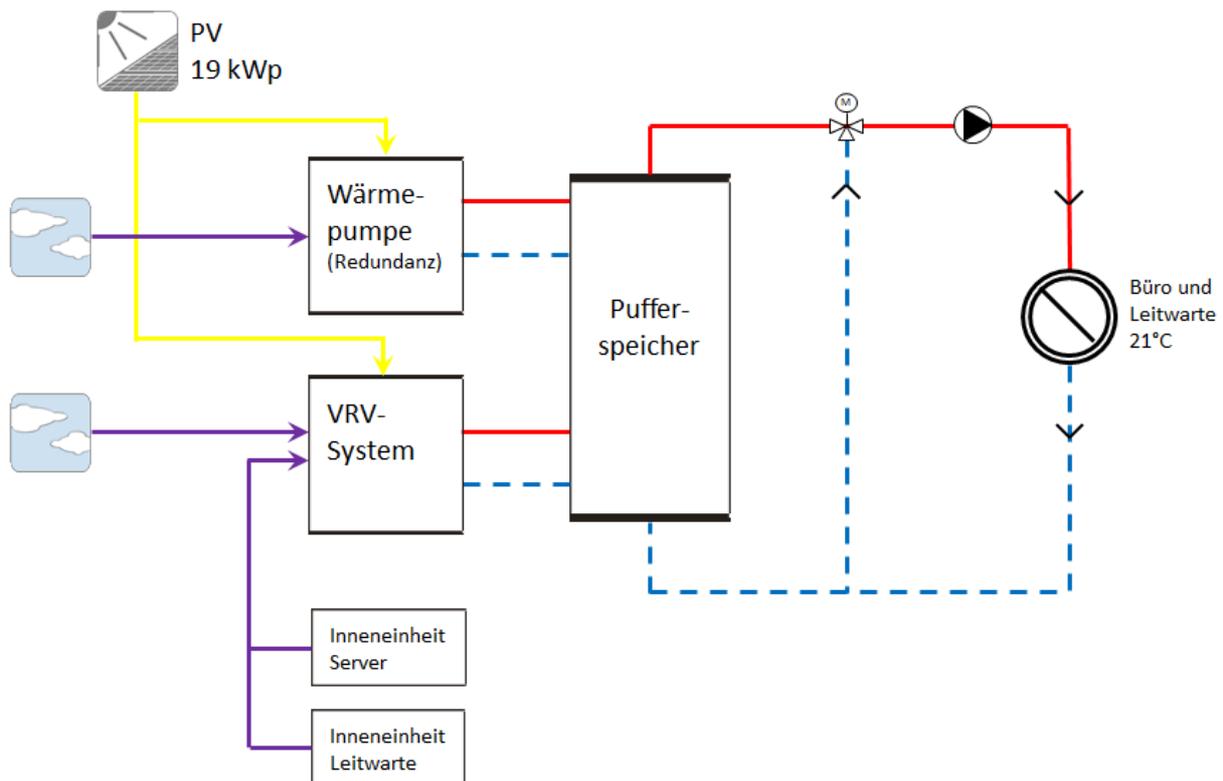


Abbildung 4 Schema Wärmeversorgung V2 Sanierung 100% regenerativer Wärmeversorgung

Variante 3: das aktuell wirtschaftlich sinnvollsten Maßnahmenpaket

Die Variante enthält auf baulicher Seite den Austausch der Fenster. Die Wärme- und Kälteversorgung wird wie in Variante 1 und 2 auf ein VRV-System umgestellt, welches die Heizwärmeversorgung in der Übergangszeit übernimmt. Als Spitzenlastwärmeerzeuger kommt eine Gasbrennwertherme zu Einsatz, s. Abbildung 5. Zusätzlich wird auf dem Gebäudedach eine 14 kWp Photovoltaikfläche installiert. Der erzeugte Strom kann nach Bedarfsabschätzungen fast vollständig selbst direkt im Gebäude verbraucht werden.

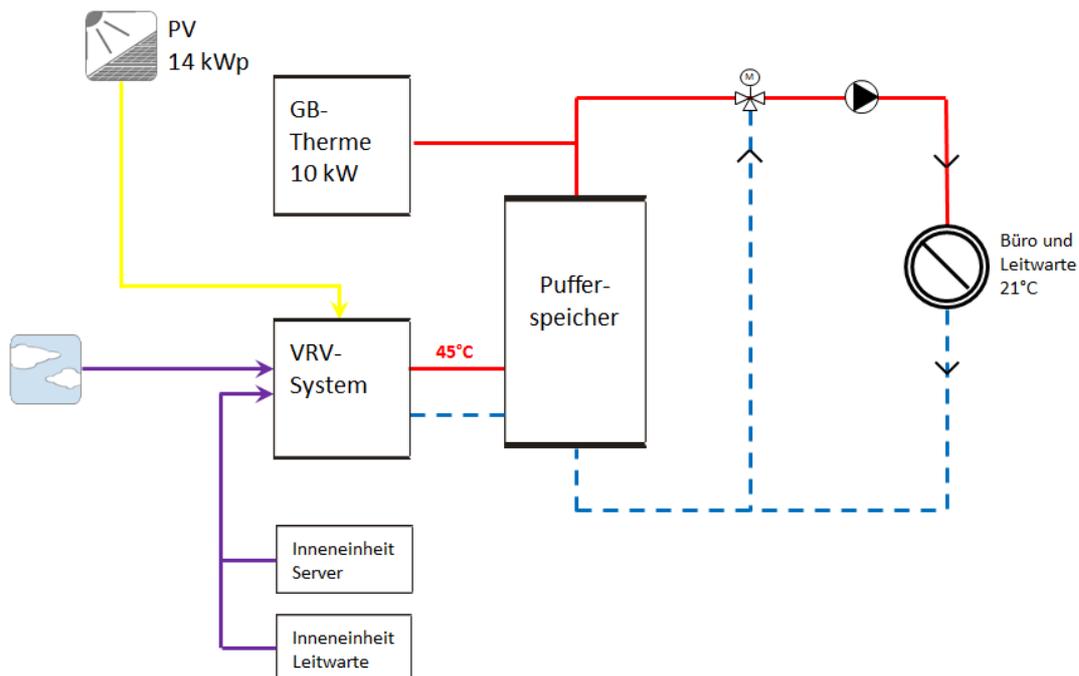


Abbildung 5 Schema Wärmeversorgung V3 Sanierung wirtschaftlich

6.2 End- und Primärenergiebedarf bzw. CO₂-Emissionen

Die angesetzten Primärenergiefaktoren und CO₂-Äquivalente sind in Tabelle 11 dargestellt.

| Energieträger | Primärenergiefaktor (Quelle: EnEV 2014) | CO ₂ -Äquivalent (Quelle: Gemis) |
|---------------|--|--|
| Erdgas | 1,1 | 243 g/kWhEnd |
| Biogas | 1,1 | 87 g/kWhEnd |
| Strom | 1,8 | 563 g/kWhEnd |
| PV-Strom | 2,8 | 821 g/kWhEnd |

Tabelle 11 Energieträger

Die folgenden Abbildungen zum End- und Primärenergiebedarf stellen die Ergebnisse der DIN V 18599 Berechnungen dar. Der CO₂-Emissionen wurden auf Basis von Gemis-Daten berechnet. Sie enthalten den Energiebedarf für Heizung, Warmwasser, Lüftung, Kälte und Beleuchtung. Der Nutzerstromverbrauch d.h. auch der zur Serverkühlung notwendige Prozessstrom ist in der Bilanzierung nicht enthalten. Da VRV-Systeme im Heizbetrieb durch die EnEV Berechnung nach DIN V 18599 nicht abgebildet werden können, wird das System ersatzweise durch eine Wärmepumpe mit der Wärmequelle Außenluft abgebildet.¹

¹ http://www.daikin.de/fachinformationen/fachaufsatze/VRV_Fachbeitrag/

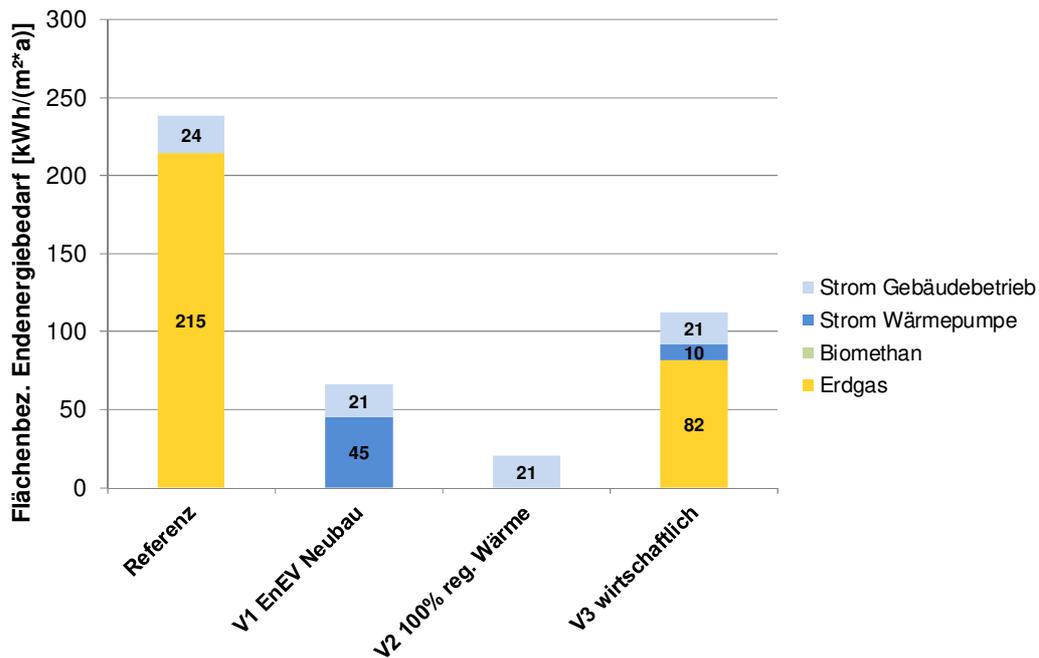


Abbildung 6 spez. Endenergiebedarf der Varianten, normiert

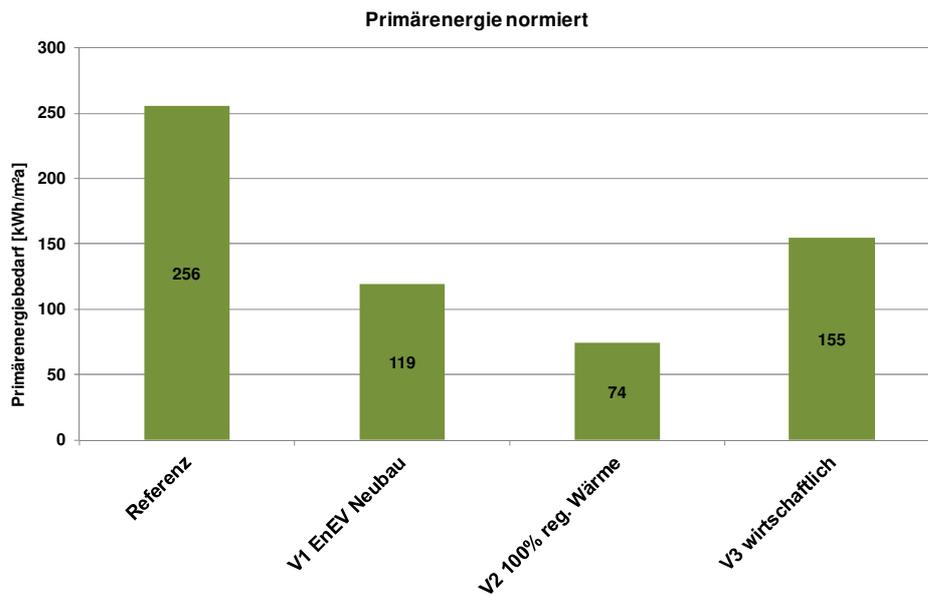


Abbildung 7 Primärenergiebedarf der Varianten, normiert

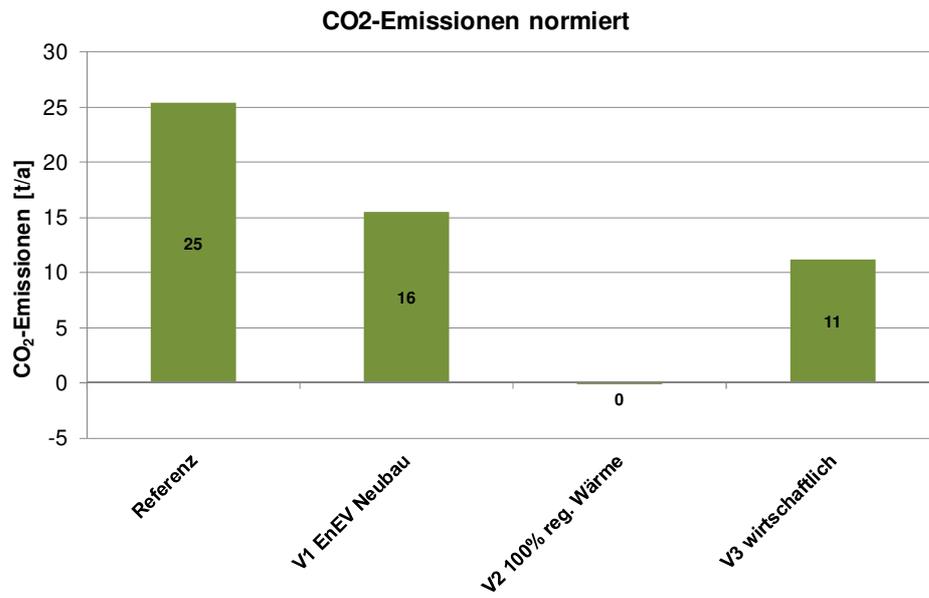


Abbildung 8 CO₂-Emissionen der Varianten, normiert

6.3 Wirtschaftlichkeitsberechnung

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung wird in Anlehnung an die VDI 2067 über einen Zeitraum von 20 Jahren durchgeführt und betrachtet die Jahresgesamtkosten, d.h. die Kosten für die Investitionen, Instandsetzung, Wartung, Betrieb und Energie sowie Vergütungen und Zuschüsse über Förderungen. Es wird ein Zinssatz von 2,5% angesetzt. Preissteigerungen für Energie-, Instandsetzungs-, Wartungs- und Betriebskosten werden nicht berücksichtigt.

Basis für die Wirtschaftlichkeitsberechnung sind folgende Kostenkennwerte (netto):

| Energieträger | Grundpreis | Arbeitspreis |
|--|------------|---------------------------|
| Erdgas ² | 120,00 €/a | 53,00 €/MWh _{HS} |
| Strom ³ | 0,00 €/a | 245,54 €/MWh |
| Strom WP-Tarif ⁴ | 74,00 €/a | 157,70 €/MWh |
| EEG-Umlage ab 01.01.2016* ⁵ | | 63,5 €/MWh |
| EEG Vergütung PV ⁶ | | 11,50 €/MWh |

Tabelle 12 Energiekosten

| Bauteil | spez. Kosten pro Bauteil | Spezifikation | Bezugsgröße | Kosten |
|-----------------------------|--------------------------|---------------------------------|--------------------|----------|
| Austausch Fenster | 460 [€/m ²] | U = 0,90 [W/(m ² K)] | 50 m ² | 23.000 € |
| Innendämmung Außenwand AW 1 | 120 [€/m ²] | U = 0,24 [W/(m ² K)] | 326 m ² | 39.120 € |
| Innendämmung Außenwand AW 2 | 120 [€/m ²] | U = 0,31 [W/(m ² K)] | 31 m ² | 3.720 € |

Tabelle 13: Kostenkennwerte Bauteile Gebäudehülle

| Anlagen/Komponenten | Kosten |
|--|----------|
| hydraulischer Abgleich | 2.500 € |
| VRV-System inkl. Einbindung | 22.500 € |
| Redundanz Luft-Wärmepumpe (10 kW) | 8.000 € |
| Stromanschluss Wärmepumpe inkl. Zähler | 2.000 € |
| Pufferspeicher / Kombispeicher | 2.000 € |
| Rückbau bestehende Gastherme | 500 € |
| Versetzen von Heizkörpern | 6.000 € |
| Photovoltaikanlage (19 kWp à 1.300 €) | 24.700 € |
| Photovoltaikanlage (14kWp à 1.300 €) | 18.200 € |

² Gaspreis des örtlichen Energieversorgers EWE, da keine Verbrauchsabrechnung vorliegt

³ Strompreis des örtlichen Energieversorgers RWE, da keine Verbrauchsabrechnung vorliegt

⁴ Strompreis des örtlichen Energieversorgers RWE, da keine Verbrauchsabrechnung vorliegt

⁵ 40% der EEG-Umlage für Eigenstromverbrauch

⁶ Für die Vergütung nach EEG des PV-Stroms wird mit einer Inbetriebnahme ab 01.01.2017 gerechnet.

Tabelle 14: *Kostenkennwerte Anlagentechnik*

Auf die Investitionskosten für Bauteile und Anlagentechnik werden als Sicherheitszuschlag 10% Sonstige Kosten aufgeschlagen. Als Planungskosten werden 16% der Investitionskosten angesetzt.

Als Referenz für die Investitions- und die Jahresgesamtkosten der Varianten 1 – 3 dient der aktuelle Gebäudebestand.

Die Investitionskosten sind in Abbildung 9 dargestellt. Die rechnerische Lebensdauer der Gasbrennwerttherme von 18 Jahren ist 2017 überschritten. Die rechnerische Lebensdauer der Split-Kälteanlagen von Serverraum und Leitstand von 15 Jahren ist 2020 zu Ende. Als mögliches Szenario für 2020 werden diese fälligen Ersatzinvestitionen in der Referenz angesetzt. Die Investitionskosten reichen daher von ca. 28.000 € Sowieso-Kosten bis hin zu ca. 170.000 € für eine 100% regenerative Wärmeversorgung.

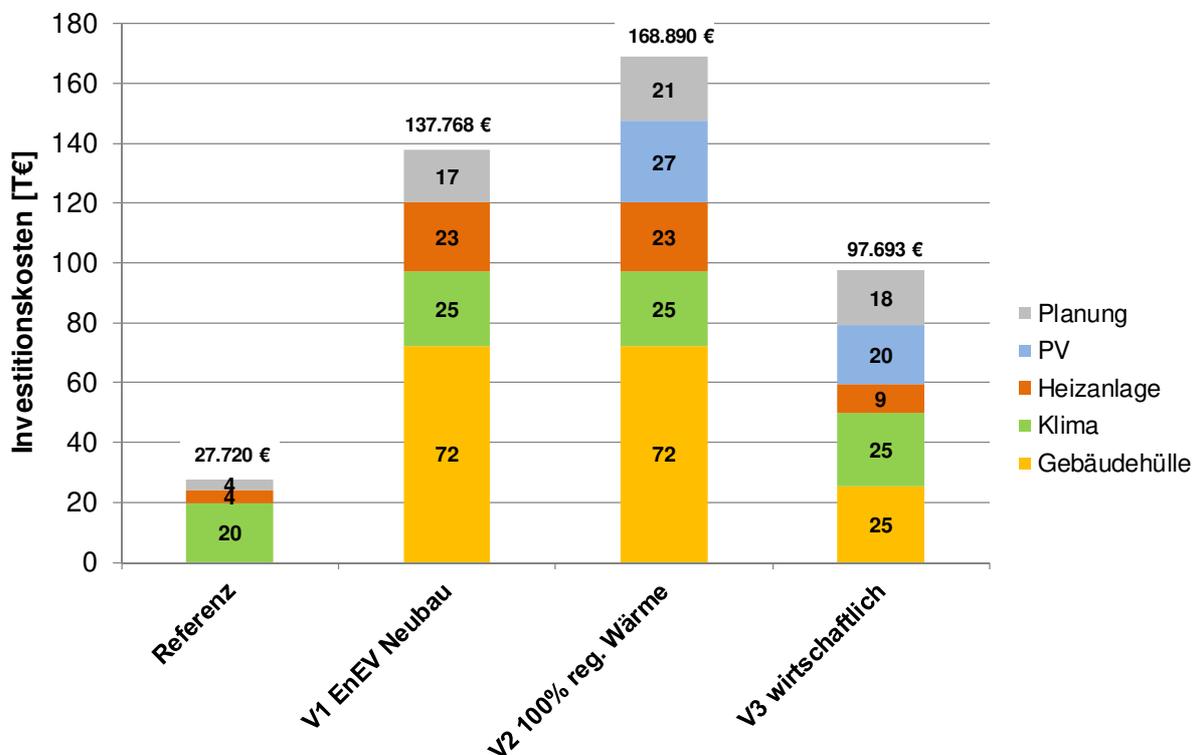


Abbildung 9 *Investitionskosten der Varianten 1-3 im Vergleich zur Referenz*

Die Jahresgesamtkosten der Gebäudeenergieversorgung ohne Nutzerstrom (d.h. auch ohne Prozessstrom für Serverkühlung) sind in Abbildung 10 dargestellt. Eine Besonderheit ist hier die Abbildung des VRV-Systems, welches primär für die Serverkühlung eingesetzt wird. Die Abwärme zu Heizzwecken steht hier bis auf Pumpen kostenfrei zur Verfügung. Daher wird der Strombedarf für das VRV-System (bzw. Wärmepumpe mit der Wärmequelle Außenluft) hier nur zu 10% angesetzt. Ohnehin anfallende Instandsetzungs-, Wartungs- und Betriebskosten für die bestehende Gebäudehülle und die Wärmeversorgung sowie Energiekosten des Bestandes bilden die Referenz.

Die momentanen Jahresgesamtkosten betragen ca. 12.000 €. Eine Sanierung auf EnEV Neubaustandard hat höhere Kapitalkosten und niedrigere Energiekosten, da durch die Nutzung der Serverabwärme ein Teil der Wärme fast umsonst zur Verfügung steht und kommt insgesamt auf etwas höhere Jahresgesamtkosten von 14.000 €. Variante 2 hat theoretisch ähnliche Jahresgesamtkosten durch eine hohe Eigenstromnutzung des erzeugten Photovoltaikstroms. Die notwendigen 140 m² Photovoltaikfläche sind jedoch nicht allein auf dem Gebäudedach unterzubringen. Da zudem die Durchführung einzelner Maßnahmen schwierig ist, werden Variante 1 und 2 nicht empfohlen. Variante 3 liegt theoretisch mit ca. 11.000 € unter den aktuellen Jahresgesamtkosten und ist damit wirtschaftlich interessant. Es wird daher empfohlen bei einer Sanierung der Anlagentechnik für Heizung oder Kälte bzw. der Serveranlage eine Nutzung der Serverabwärme zu untersuchen.

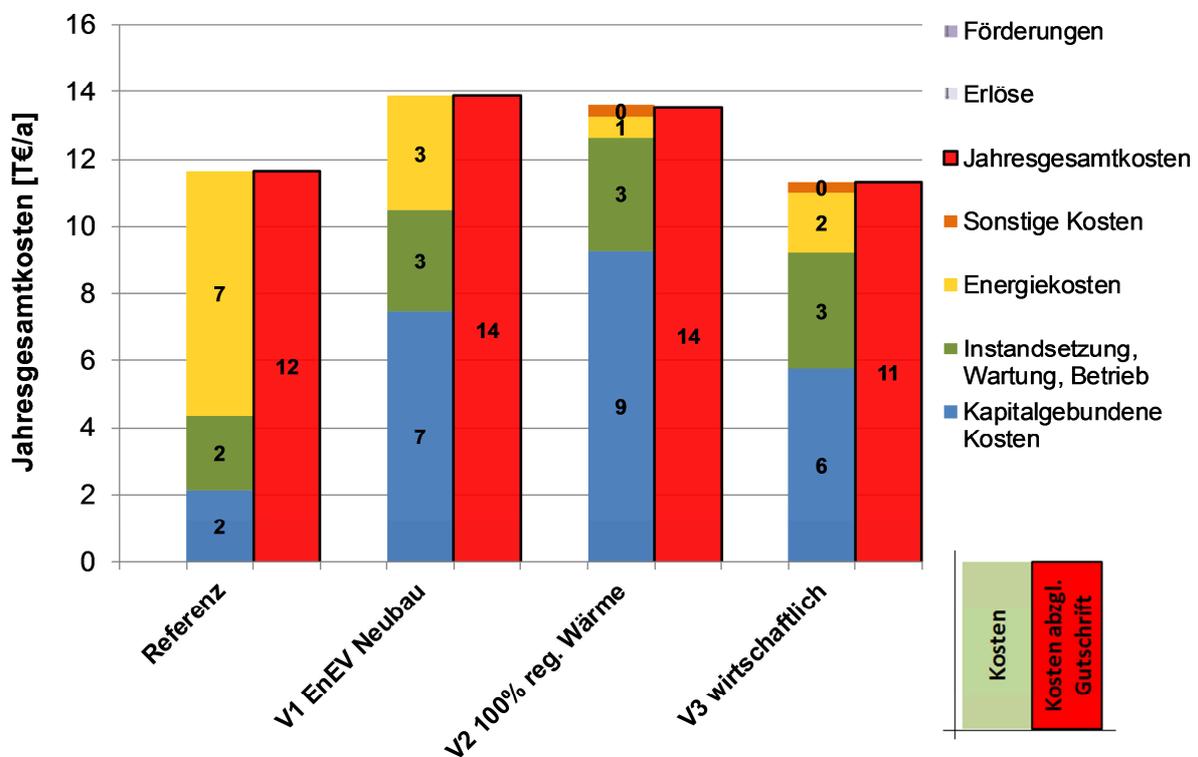


Abbildung 10 Jahresgesamtkosten der Varianten 1-3 im Vergleich zur Referenz

Da keine Wärmeverbräuche für die Gebäudeheizung oder Stromverbräuche für die Kälteversorgung vorliegen, beruht der Bedarfsansatz auf den normierten Standardprofilen und der Anteil der einzelnen Wärmeerzeuger auf Berechnung nach DIN V 18599. Das Ergebnis stellt daher nicht die Realität sondern nur ein mögliches Szenario dar. Bei möglicher Umsetzung der Variante 3 müssen die realen Verbräuche für Strom und Heizung sowie die Laufzeiten der Kälteversorgung in die Planung einfließen und die Wirtschaftlichkeit überprüft werden.

7 Anlagen

Anlage 1 Bauteildaten IST-Zustand

Anlage 2 Zonierung des Gebäudes

Anlage 3 Bauteildaten für Sanierungsvarianten

Anlage 4 Leitfaden Serverkühlung

Anlage 6

Energetische Untersuchung Außenbezirk Neuss

Energetische Untersuchung

Teil B1

Beratungsbericht Außenbezirk Neuss

Objekt:

Wasser- und Schifffahrtsdirektion Köln
Betriebsgebäude
Außenbezirk Neuss
Am Hochofen 9
41460 Neuss

Auftraggeber:

Bundesanstalt für Wasserbau
Kußmaulstr. 17
76187 Karlsruhe

Der Sachverständige für Schall- und Wärmeschutz

Haake Planen und Bauen
Herr Jörg Haake
Heinrich – Gellissen – Str. 9
50769 Köln - Worringen

aufgestellt, Köln 11.11.2015

Inhaltsangabe

| | |
|--|-----------|
| Teil B1 | 3 |
| Zusammenfassung | 3 |
| Variantenübersicht | 5 |
| 1: Betriebswerksgebäude Neuss..... | 6 |
| 2. Zonen..... | 6 |
| 3. Energieverbrauch..... | 9 |
| 4. Vergleich Bedarf / Verbrauch | 11 |
| 5. Energetische Mängel | 11 |
| 6. Erreichen der EnEV – Altbau-Grenzwerte..... | 12 |
| 7. Anwendung angepasster Nutzungsprofile | 13 |
| 8. Erreichen der EnEV-Neubau-Grenzwerte | 14 |
| 9. Nutzung von 100% regenerativer Energie | 16 |
| 10. Wirtschaftlichkeit Altbau - Niveau..... | 18 |
| 11. Wirtschaftlichkeit regenerative Energie, Photovoltaik..... | 20 |
| 12. Wärmepumpen | 21 |
| 13. Die wirtschaftlich sinnvolle Variante | 24 |
| 14. CO2 und Schadstoffe | 25 |
| Teil C1 | 26 |
| Teil D1 | 26 |
| Anhang | 27 |
| Bedarfsberechnung Endenergie Bestand vor Optimierung | 29 |
| Bedarfsberechnung Energiearten Bestand vor Optimierung | 30 |
| Bedarfsberechnung Energiearten Bestand vor Optimierung | 31 |
| Bedarfsberechnung Endenergie Altbau-Grenzwert | 32 |
| Bedarfsberechnung Variante Wärmepumpe, Endenergie | 33 |
| Bedarfsberechnung Variante Wärmepumpe, Energiearten | 34 |
| Bedarfsberechnung Endenergie Holz-pellet-Kessel | 35 |
| Tabelle der verwendeten Bauteile, Bestand vor Optimierung..... | 36 |

Teil B1

Zusammenfassung

Das Betriebsgebäude der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Köln, Außenbezirk Neuss hat einen hohen Wärme- und Stromverbrauch.

Eine wesentliche Ursache für hohe Verbrauchswerte ist in der Nettogrundrissfläche als Bezugsgröße zu sehen. Das Wasser- und Schifffahrtsamt gibt 341 qm an. Nach grafischer Ermittlung wird von einer energetisch wirksamen Bezugsgröße von 841 qm ausgegangen.

Die Analyse zeigt, dass die Betrachtung der differenzierten Endenergieverbräuche wichtiger ist als der ausgewiesene Primärenergieverbrauch. Es wird festgestellt, dass ein großer Teil des Verbrauchs durch Strom erzeugt wird, der für andere Zwecke als die Beleuchtung oder Kühlung des Gebäudes verwendet wird. Daher wird empfohlen, die Verbräuche getrennt zu erfassen.

Die Gebäudehülle als Ganzes erfüllt die Altbau- Grenzwerte der Energieeinsparverordnung (EnEV). Allerdings gibt es zusätzliche Anforderungen, die aus dem Erneuerbare Energie Wärme Gesetz (EEWärmeG) entstehen. Demnach werden die Anforderungen nicht erfüllt. Der hohe Wärmebedarf wird zum Teil auf Mängel in der thermischen Gebäudehülle (Hallentore) zurückgeführt und auf Mängel in der Heizanlage. Die Anlage ist teilweise stillgelegt (Umkleiden) und entspricht nicht den Anforderungen an eine sparsame Heizung (Luftheizung der Halle).

Der hohe Stromverbrauch ist darauf zurückzuführen, dass Verbrauchsstellen nicht gesondert gemessen und abgerechnet werden. Der tatsächliche Verbrauch an elektrischer Energie kann derzeit nicht festgestellt werden. Es ist anzunehmen, dass ein wesentlicher Verbraucher die Hofbeleuchtung ist.

Durch eine Vielzahl von Optimierungsmaßnahmen kann der Energiebedarf auf das Altbauniveau nach Energieeinsparverordnung (EnEV) gesenkt werden. Die Untersuchung zeigt, dass die Einhaltung der EnEV-Neubau-Grenzwerte auf diesem Weg nicht möglich ist. Allerdings ändern sich die zulässigen Grenzwerte, wenn man den Einsatz regenerativer Energien vorsieht. Hier kommen Wärmepumpen und Holzpellet-kessel in Betracht. Hierdurch können die Neubau-Grenzwerte eingehalten werden.

Eine Überprüfung der Wirtschaftlichkeit muss die unterschiedlichen Einspareffekte von Einsparungen an Wärmeenergie und Strom berücksichtigen. Die aufgezeigte Einsparmöglichkeit von elektrischer Energie durch den Austausch der Langfeldleuchten gegen LED-Tubes bringt einen schnellen Erfolg. Der Einsatz einer PV – Anlage erscheint ebenfalls

sinnvoll, weil die Kosten des selbstproduzierten Stroms mit 0,1 – 0,14 €/kWh unter den Kosten des Ankaufs liegen (0,29€/kWh). Die hohen Aufwendungen im Wärmesektor lassen sich dahingegen wirtschaftlich nicht darstellen. Selbst die Aufwendungen für das Erreichen des „Altbau-Niveaus“ erscheinen zu hoch. Hier sei allerdings darauf hingewiesen, dass ein Großteil der anstehenden Kosten „Sowieso-Kosten“ sind, da Anlagenteile überarbeitet werden müssen.

Es wird empfohlen eine Beratung durch einen Fachplaner für Technische Gebäudeausrüstung (TGA) einzuholen.

Durch Erreichen des Primärenergie-Altbau-Grenzwertes können jährlich 7.1 to CO₂ eingespart werden.

Variantenübersicht

Außenbezirk Neuss
19.11.2015

| Einheit | Verbrauch Vor Beginn Untersuchung kWh/m²a | Verbrauch nach Untersuchung kWh/m²a | Bestand kWh/m²a | EnEV Altbau- Grenzwert [1] kWh/m²a | EnEV Neubau- grenzwert kWh/m²a | EEWärmeG Eingehalten [2] kWh/m²a | EEWärmeG Eingehalten [3] kWh/m²a | EEWärmeG Eingehalten kWh/m²a |
|--|--|--|--------------------|---|---|--|--|------------------------------------|
| Gebäudenutz- fläche | 541 qm | 841 qm | 814 qm | 814 qm | 814 qm | Wärmepumpe 814 qm | WP + PV 814 qm | Holzpellet 814 qm |
| Primärenergie -bedarf Q _p bezogen auf Gebäudenutz- fläche | 348 | 224 | 240 | 173 | - | 144 | 134 | 68 |
| maximal zulässiger Primärenergie -bedarf | - | - | 191 | 174 | EnEV: 125 EEWärmeG 106 | 136 | 136 | 136 |
| Endenergie Wärme | 201 | 129 | 198 | 162 | | | | |
| Endenergie Strom | 53 | 34 | 19 | 11 | | | | |

[1] Durch Optimierungen und Umbauten der Heizungsanlage erreichbar

[2] Austausch von Fenstern und Hallentoren

[3] Zusätzlich Photovoltaikanlage

1: Betriebswerksgebäude Neuss

Das Gebäude wurde 1994 durch Umbau einer bereits bestehenden Lagerhalle am Neusser Hafen errichtet. Im Südwesten setzt sich die Lagerhalle fort. In dieser Fläche gibt es keinen Wärmeübergang. Das Gebäude ist Nordost-Südwest orientiert und ist wegen seiner Lage dem Wind stark ausgesetzt. Die Außenwände wurden als zweischaliges Mauerwerk mit Kerndämmung ausgeführt. Die Fenster sind als Kunststoff-Fenster gutdämmend und dichtschießend.

Im Jahr 2006 wurden die Büros um einen Anbau auf der Nordwestseite (Straße) erweitert und das Dach wurde erneuert.

| Bauteil | | Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten bezogen auf die Mittelwerte der jeweiligen Bauteile | |
|---------|---|--|--|
| | | Zonen $\geq 19^{\circ}\text{C}$ | Zonen 12 bis $< 19^{\circ}\text{C}$ |
| 1 | Opake Außenbauteile, soweit nicht in Bauteilen der Zeile 3 und 4 enthalten | Ist U = 0.33 W/(m ² K) max U = 0.49 W/(m ² K) ✓ | Ist U = 0.27 W/(m ² K) max U = 0.70 W/(m ² K) ✓ |
| 2 | Transparente Außenbauteile, soweit nicht in Bauteilen der Zeile 3 und 4 enthalten | Ist U = 2.26 W/(m ² K) max U = 2.66 W/(m ² K) ✓ | Ist U = 2.36 W/(m ² K) max U = 3.92 W/(m ² K) ✓ |
| 3 | Vorhangfassaden | ---- max U = 2.66 W/(m ² K) | ---- max U = 4.20 W/(m ² K) |
| 4 | Glasdächer, Lichtbänder Lichtkuppeln | ---- max U = 4.34 W/(m ² K) | ---- max U = 4.34 W/(m ² K) |

Die thermische Gebäudehülle erfüllt die Anforderungen der EnEV 2014 an Altbauten.

2. Zonen

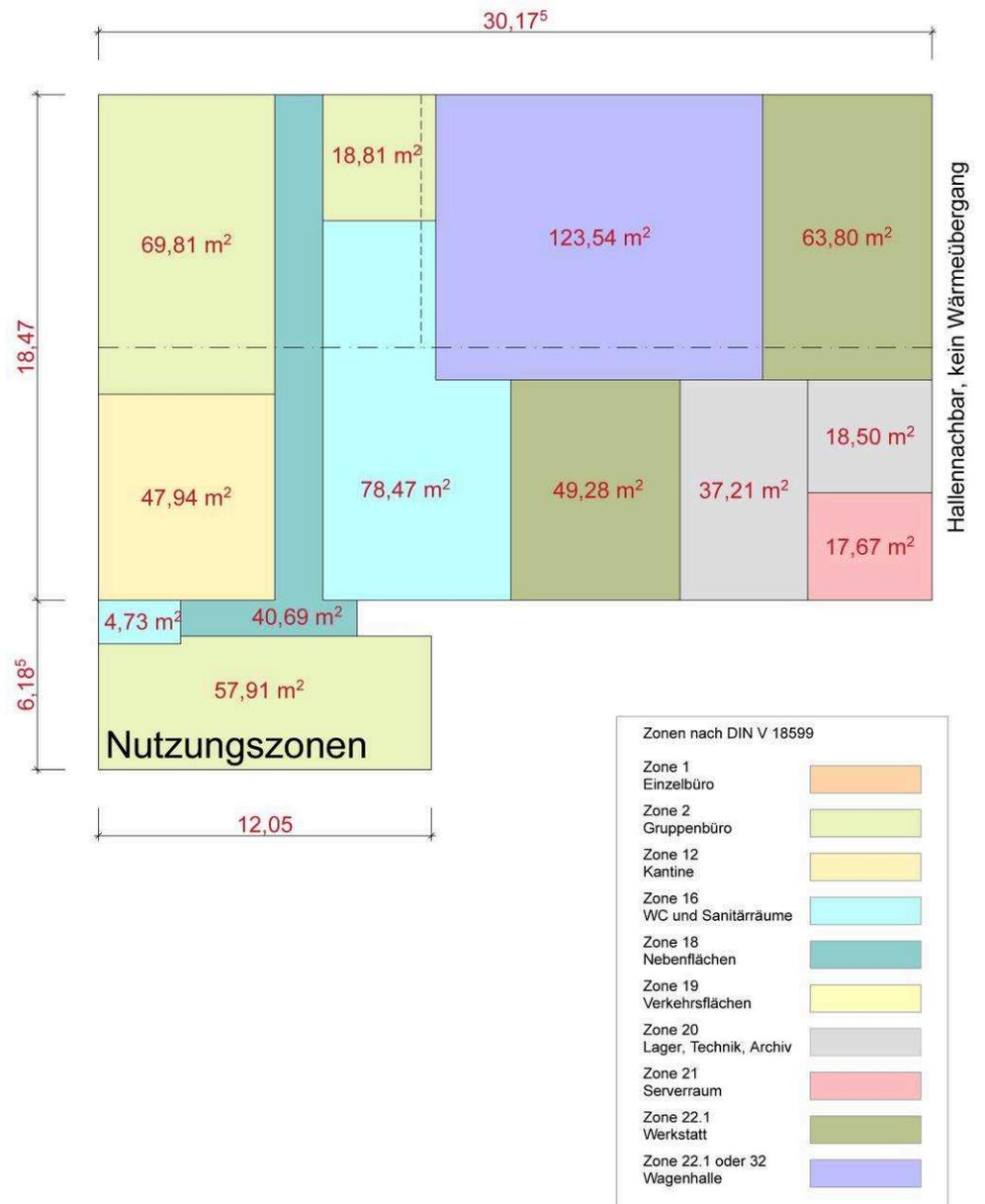
Bei strenger Interpretation der DIN 18599 werden im Betriebsgebäude des Außenbezirks Neuss die in nachfolgender Tabelle aufgeführten Nutzungszonen unterschieden. Demnach ist die Nutzung „Büro“ als Hauptnutzung anzusehen.

Nutzungsanteile nach EnEV

| | | | | |
|---------------|----------------------------|-----------------------|---|-----------|
| Zone 1 oder 2 | Büronutzung: | 69.81 + 18.81 + 57.91 | = | 146.53 qm |
| Zone 12 | Kantine (Pausenraum) | | = | 47.94 qm |
| Zone 16 | Sanitärräume und Umkleiden | 78.47 + 4.73 | = | 83.20 qm |
| Zone 18 | Nebenflächen, Flure | | = | 40,69 qm |
| Zone 20 | Lager, Technik, Archiv | 37.21 + 18.50 | = | 55.71 qm |
| Zone 21 | Serverraum | | = | 17.67 qm |
| Zone 22 | Werkstatt | 49.28 + 63.80 | = | 113.08 qm |
| Zone 23 | Wagenhalle (Werkstatt?) | | = | 123.54 qm |
| SUMME EG | | | | 628.36 qm |

Hinweis: die angegebenen Flächen sind weder NGF noch BGF –Angaben, sondern Brutto - EnEV-Flächen mit Bezug auf die thermische Gebäudehülle!

Zuzüglich zu dieser Fläche gibt es innerhalb des beheizten Volumens eine Lagerfläche von 370 qm unter dem Dach, die bisher nicht ausgewiesen wurde, die aber energetisch wirksam ist.

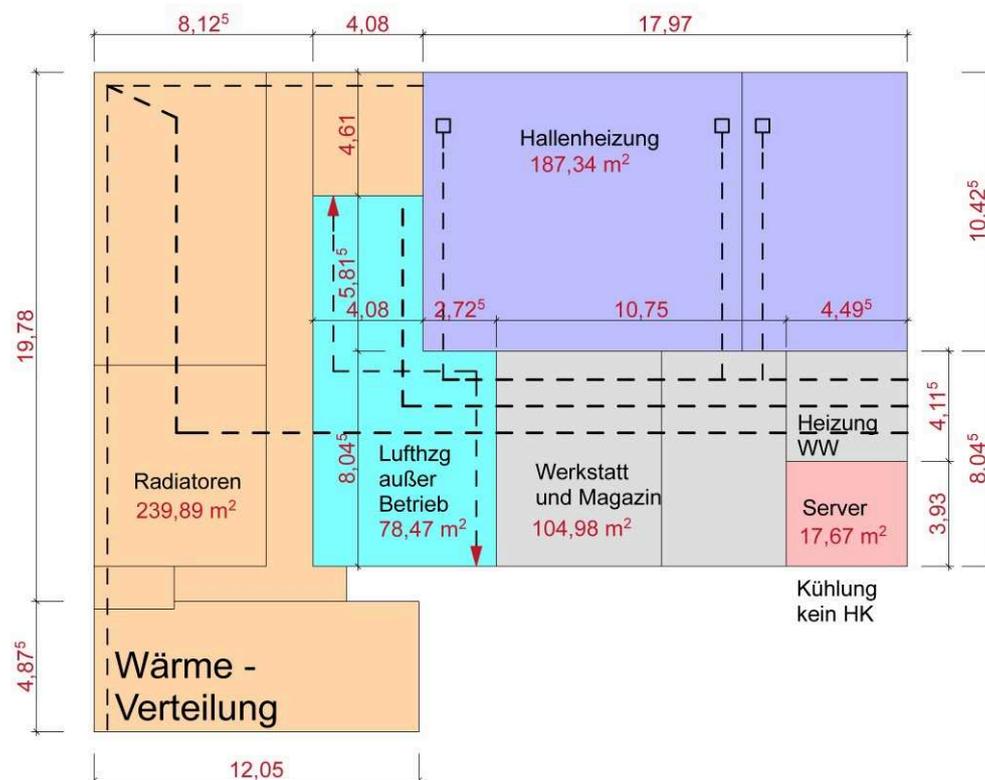


Die hier dargestellte Zone 12 „Kantine“ ist kein Gastraum mit großer Personenfluktuation im eigentlichen Sinne sondern ein Pausenraum, der ansonsten die gleichen thermischen Konditionen wie die angrenzenden Büros hat.

Ähnliches gilt für Zone 18 „Nebenflächen“. Der Flur, der hiermit bezeichnet wurde ist durch die offenen Türen zu den angrenzenden Büros gleich klimatisiert.

Lackierwerkstatt und die angrenzende Werkstatt oder Wagenhalle weisen ebenfalls gleiche klimatische Bedingungen und ein gleiches Heizsystem auf.

Es ist deshalb statthaf das Zonierungsmodell zu reduzieren auf die verschiedenen Arten der Klimatisierung:



Unter diesen Bedingungen ergeben sich die folgenden Grenzwerte:

| | |
|---|------------------------------|
| Jahres-Primärenergiebedarf Q_p bezogen auf die Gebäudenutzfläche | 239.7 [kWh/m ² a] |
| maximal zulässiger Jahres- Primärenergiebedarf: | 190.7 [kWh/m ² a] |

Der Wert liegt 25.7 % unter dem nach EnEV zulässigen Altbauniveau und 76 % über dem Neubauniveau.

Würde man das Gebäude als „Einzonenmodell“ berechnen, erhält man:

| | |
|---|------------------------------|
| Jahres-Primärenergiebedarf Q_p bezogen auf die Gebäudenutzfläche | 257.5 [kWh/m ² a] |
| maximal zulässiger Jahres- Primärenergiebedarf: | 194.9 [kWh/m ² a] |

Die Differenz zwischen dem Mehrzonen- und dem Einzonenmodell beträgt 7%, was angesichts der Unwägbarkeiten bei der Wahl der U-Werte durchaus vertretbar ist.

Die Detaillerggebnisse der Berechnungen zum IST – Bedarf liegen in einem gesonderten Teil vor. Der hier ermittelte Endenergiebedarf (siehe auch Tabelle in der Anlage) beträgt:

Wärme: 198 kWh/m²a
Strom: 19 kWh/m²a

3. Energieverbrauch

Der Energieverbrauch des Gebäudes wurde ermittelt auf der Basis der Verbrauchsabrechnungen der Jahre 2012-2014, die vom Außenbezirk zur Verfügung gestellt wurden.

Die Bezugsfläche ist die in der Bedarfsermittlung nach DIN 18599 ermittelte Fläche von 841 qm (Nettogrundfläche nach EnEV).

Die vorgeschriebene Klimabereinigung wird vom Programm „rowasoft“ automatisch übernommen.

ENERGIEAUSWEIS für Nichtwohngebäude

gemäß den §§ 16 ff. der Energieeinsparverordnung (EnEV) vom ¹ 18.11.2013

Erfasster Energieverbrauch des Gebäudes

Registriernummer ²

(oder: "Registriernummer wurde beantragt am ...")

3

M

Endenergieverbrauch

Endenergieverbrauch Wärme
[Pflichtangabe in Immobilienanzeigen]
129 kWh/(m²·a)

↑ Vergleichswert dieser Gebäudekategorie für Heizung und Warmwasser ³

Warmwasser enthalten

Endenergieverbrauch Strom
[Pflichtangabe in Immobilienanzeigen]
34 kWh/(m²·a)

↑ Vergleichswert dieser Gebäudekategorie für Strom ³

Der Wert enthält den Stromverbrauch für

Zusatzheizung Warmwasser Lüftung eingebaute Beleuchtung Kühlung Sonstiges

Verbrauchserfassung

| Zeitraum | | Energieträger ⁴ | Primär-energie-faktor | Energieverbrauch Wärme [kWh] | Anteil Warmwasser [kWh] | Anteil Heizung [kWh] | Klima-faktor | Energieverbrauch Strom [kWh] |
|------------|------------|----------------------------|-----------------------|------------------------------|-------------------------|----------------------|--------------|------------------------------|
| von | bis | | | | | | | |
| 01.08.2011 | 31.07.2014 | Erdgas | 1,10 | 275.882 | 13.794 | 262.088 | 1,19 | |
| 01.08.2011 | 31.07.2014 | Strom | 2,40 | | | | 1,00 | 85.451 |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

Primärenergieverbrauch dieses Gebäudes **224 kWh/(m²·a)**

Gebäudenutzung

| Gebäudekategorie/ Nutzung | Flächen-anteil | Vergleichswerte ³ | |
|--|----------------|------------------------------|-------|
| | | Heizung und Warmwasser | Strom |
| Produktion, Lager bis 3500m ² | 100 % | 110 | 20 |
| | | | |

Erläuterungen zum Verfahren

Das Verfahren zur Ermittlung von Energieverbrauchskennwerten ist durch die Energieeinsparverordnung vorgegeben. Die Werte sind spezifische Werte pro Quadratmeter beheizte/gekühlte Nettogrundfläche. Der tatsächliche Energieverbrauch eines Gebäudes weicht insbesondere wegen des Witterungseinflusses und sich ändernden Nutzerverhaltens von den angegebenen Kennwerten ab.

¹ siehe Fußnote 1 auf Seite 1 des Energieausweises unter www.bbsr-energieeinsparung.de durch das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung im Einvernehmen mit dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
² siehe Fußnote 2 auf Seite 1 des Energieausweises
³ veröffentlicht
⁴ gegebenenfalls auch Leerstandszuschläge in kWh

Es wird ein Endenergie-Verbrauch ermittelt von

Wärme 129 kWh/m²a
Strom 34 kWh/m²a

Der Vergleichswert für diese Gebäudekategorie beträgt nach [4]

Wärme 110 kWh/m²a
Strom 20 kWh/m²a

Der Wärmeverbrauch liegt ca. 17% über dem Vergleichswert. Diese Abweichung kann man noch als vertretbar ansehen, nachfolgend werden jedoch Einsparpotentiale aufgezeigt.

Der Stromverbrauch liegt jedoch 70% über dem Vergleichswert.

Dieser hohe Stromverbrauch lässt sich aus dem Bedarf des Gebäudes für

- Beleuchtung
 - Kälte/Klima
 - Hilfsenergie für den Betrieb von Pumpen
- nicht erklären.

Nach der im Anhang wiedergegebenen Tabelle „Bedarfsberechnung vor Optimierung, Endenergie“ beträgt der Bedarf an elektrischer Energie einschließlich Beleuchtung und Kühlung

16.277 kWh/a = ca. 19 kWh/m²a.

Das entspricht dem angegebenen Vergleichswert.

Der übrige Bedarf entsteht durch Verbraucher, die mit dem Gebäude nichts zu tun haben, wie zum Beispiel die Hofbeleuchtung, die Stromversorgung von Schiffen oder dem Betrieb von Arbeitsmaschinen und Schweißgeräten. Diese Verbräuche werden zurzeit nicht getrennt erfasst.

Beispiel Hofbeleuchtung:

Auf der Freifläche gibt es acht Strahler mit Hochdruckentladungslampen. Diese Leuchten werden seit April 2015 nicht mehr verkauft und müssen durch neue Strahler ersetzt werden.

Nimmt man eine Leistung von 400W / Leuchte an ergibt sich ein Bedarf wie folgt:

8 Stück x 0,4kW x 12 h/Tag x 365 Tage = 14.016 kWh/a

Bezogen auf die Gebäudenutzfläche:

14.016 / 841 = 16.67 kWh/m²a

Allein der Betrieb der Hofbeleuchtung würde den erhöhten Strombedarf erklären. In der Anlage von Teil A ist beispielhaft ein moderner LED - Strahler wiedergegeben, der bei besserer Lichtausbeute nur ein Fünftel des Strombedarfs hat.

4. Vergleich Bedarf / Verbrauch

Wirtschaftlichkeitsberechnungen vergleichen den Aufwand mit dem zu erzielenden Gewinn bzw. mit den Einsparungen.

Die nachfolgenden Bedarfs-Optimierungen werden in ihrem Ergebnis gewichtet nach dem festgestellten Verbrauch an Endenergie:

| | |
|--------------------------------|--------------------------|
| IST – Verbrauch Wärme: | 129 kWh/m ² a |
| IST – Bedarfsberechnung Wärme: | 198 kWh/m ² a |

Der Faktor beträgt: $129 / 198 = 0,65$.

Alle auf dem Weg der Bedarfsberechnung ermittelten Einsparungen sind um diesen Faktor zu reduzieren.

5. Energetische Mängel

Bei der Ortsbegehung wurden verschiedene Mängel festgestellt, die nachfolgend aufgeführt werden:

1. Thermische Gebäudehülle

- Tore der Wagenhalle nicht dicht und nicht dämmend. Dies findet sich auch wieder in der hier wiedergegebenen Tabelle der verwendeten Bauteile. Die Garagentore machen einen Anteil von 20% aller Energieverluste aus.
- Bei der nachträglichen Änderung des Daches blieb am Ortgang über der Nordostaußenwand ein Spalt von ca. 15cm offen (siehe Fotodokumentation Foto Nr. 31). Diese Öffnung hat einen freien Querschnitt von ca. 2,77qm. Dieser Effekt konnte in der Berechnung nicht abgebildet werden.

2. Heizung

- Die Heizungsanlage muss von einem Fachingenieur für TGA überprüft werden.
- Die Brennwerttherme kann wegen zu hoher Rücklauftemperaturen (Bild 20) nicht im Brennwertmodus arbeiten.
- Temperatur-Messgeräte sind defekt, sodass eine Kontrolle nicht möglich ist.
- die hydraulische Weiche ist offensichtlich nicht mit einem Magnetitabscheider ausgerüstet, was zu Fehlfunktionen führt.
- Verschiedene Steuerungen arbeiten möglicherweise gegeneinander.
- Die Steuerung für die Luftheizung in den Umkleiden ist nach dem Einbau der Server unzugänglich, weil der Raum abgeschlossen wurde.
- die Luftheizung ist stark verschmutzt und wurde vorher schon nicht gerne genutzt, weil es immer zog. Im Ergebnis wird die fehlende Wärme in den benachbarten Bereichen erzeugt (Wagenhalle), was zu großen Verlusten führt.
- die Hallenheizung in der großen Halle ist eine große Verlustquelle, weil die erwärmte Luft einfach weggelüftet wird. Es wird empfohlen Strahlungsheizungen vorzusehen.

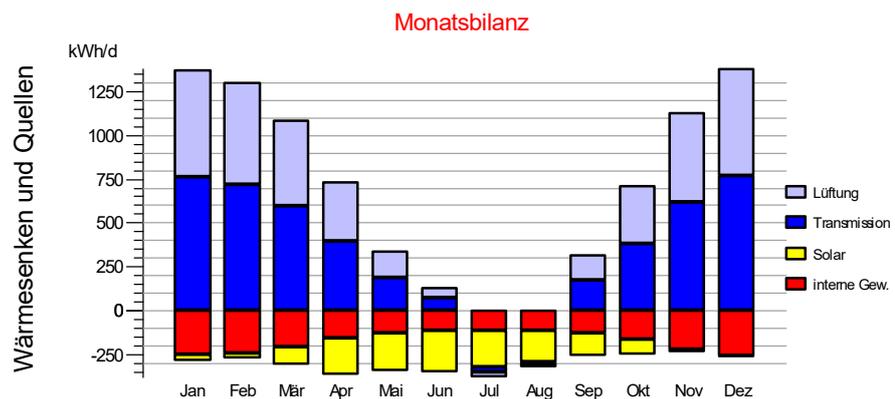
- Die Verteilleitungen der Radiatoren in den Büros wurden in nicht gedämmten Leitungen hinter einer Fußleiste eingebaut. Hierdurch entsteht ein thermischer Kurzschluß zwischen Vor- und Rücklauf.
- 3. Warmwasser
 - Es ist nicht sichergestellt, dass die Warmwasseranlage legionellenfrei bleibt, weil die Temperatur des WW-Speichers nicht kontrolliert werden kann.
- 4. Luftwechsel
 -
- 5. Beleuchtung
 - Die Räume sind mit alten Langfeldleuchten ausgestattet mit sogenannten „konventionellen Vorschaltgeräten“. Diese Geräte benötigen relativ viel Strom. Hierzu gibt es Alternativen (siehe Anlage).

6. Erreichen der EnEV – Altbau-Grenzwerte

Die Energieeinsparverordnung sieht vor, dass der Energiebedarf von Altbauten maximal bei 140 % des Grenzwertes für Neubauten liegen darf.

Einige der oben genannten „Negativ“- Aspekte konnten in der „Basisberechnung“ berücksichtigt werden.

- So wurde statt einer Brennwärtheimer ein NT-Kessel eingesetzt. Wird der Brennwerteffekt erreicht verbessert sich das Ergebnis um 5.6 % auf einen Primärenergiebedarf von 226.4 kWh/m²a.
- Werden die Verteilleitungen in den Büros gedämmt, ergibt sich keine messbare Energieeinsparung.
- durch den Austausch aller Langfeldleuchten durch LED mit automatischer Präsenzkontrolle und Abschaltung ergibt sich eine zusätzliche Einsparung von 1,7% auf 222.3 kWh/m²a.
- Der Austausch der Garagentore durch moderne Sektionaltore mit einem U-Wert von 0,51W/ (m²-K) werden weitere 8,8% Einsparung erzielt, sodass der Primärenergiebedarf bei 201.3 kWh/m²a liegt.



Die Betrachtung der Wärmesenken und Wärmequellen des Bestands zeigt, dass die größten Verlustquellen im Bereich der Heizenergie angesiedelt sind, wobei die Transmissionswärmeverluste etwas größer sind als die Verluste durch das Weglüften von erwärmter Luft.

Der Austausch der Luftheizung der Werkhalle gegen eine Strahlungsheizung mit Dunkelstrahlern liefert 1,7% ($Q_p = 198.1 \text{ kWh/m}^2$).

Der Austausch der Luftheizung in der Umkleidezone gegen eine wassergeführte Deckenstrahlheizung führt zu einer Einsparung von 6.7 % ($Q_p = 185.6 \text{ kWh/m}^2$). Eine Absenkung der Systemtemperaturen in diesem Zusammenhang hat keinen nennenswerten Einfluss.

Eine Photovoltaikanlage von 100 qm Größe leistet ca. 5kWpeak. Sie liefert eine anrechenbare Strommenge von 4638 kWh/a (Einsparung ca. 7.4%). Dieser Energiegewinn ist in der Grafik gelb dargestellt. Hiermit werden die Altbaugrenzwerte der EnEV erreicht.

| | |
|---|--|
| Jahres-Primärenergiebedarf Q_p bezogen auf die Gebäudenutzfläche maximal zulässiger Jahres- Primärenergiebedarf: | 172.8 [kWh/m ² a] 173.8 [kWh/m ² a] |
|---|--|

Die Endenergie wird getrennt nach Energieart ermittelt aus der Tabelle „Bedarfsberechnung nach Optimierung, Endenergie“ (Anhang).

Wärme 136.494.3 kWh/a (162 kWh/m²a)

Strom 9.502.7 kWh/a (11.3 kWh/m²a)

Diese Strommenge wird durch die PV – Anlage mit einem Anteil von 4638 kWh/a gedeckt.

7. Anwendung angepasster Nutzungsprofile

Die Anwendung angepasster Nutzungsprofile ist nach EnEV in begründeten Fällen möglich, wenn dadurch eine bessere Beschreibung des tatsächlichen Energiebedarfs erzielt wird. Diese Vorschrift macht vor allem Sinn im Rahmen einer energetischen Entwurfsplanung. Bei der energetischen Analyse der betrachteten Betriebsgebäude trägt dieses Werkzeug wenig zum Erkenntnisgewinn bei, weil die Profile zu grob sind. Die Nutzungsart der Betriebswerksgebäude hat deutliche Spitzen bei Dienstbeginn und Dienstende. Diese Spitzen können in der Berechnung nicht abgebildet werden, weil die Profile von einer konstanten Nutzung innerhalb einer Betriebszeit ausgehen.

Die Arbeit in den Außenbezirken ist zudem geprägt von einem ständigen Wechsel zwischen „drinnen“ und „draußen“. Das führt bei den Mitarbeitern dazu, dass man vom Gebäude ein hohes Bereitschaftsniveau erwartet, soll heißen: wenn man dann reinkommt, möchte man nicht warten bis es warm ist, also bleibt die Heizung an.

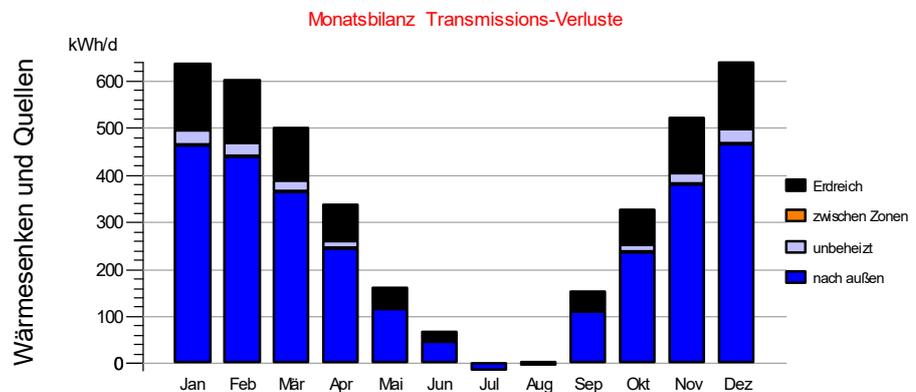
Sofern die Funktionsbereiche „Werkstätten und Lager“ räumlich deutlich getrennt sind von den Funktionsbereichen „Büro und Sozialräume“ kann eine Unterscheidung vorgenommen werden zwischen einem dauerhaft beheizten und einem niedrig beheizten oder sogar nicht beheizten Bereich. Diese Möglichkeit besteht im Außenbezirk Neuss nicht.

8. Erreichen der EnEV-Neubau-Grenzwerte

Im nachfolgenden Abschnitt 10 „Wirtschaftlichkeit“ wird nachgewiesen, dass die durch Einsparungen erzielbare Erträge nicht ausreichen um die Ausgaben zur Erreichung eines „Altbau-Niveaus zu decken. Dessen ungeachtet soll untersucht werden, ob die Erreichung der Neubaugrenzwerte nach EnEV möglich ist.

Der Anforderungswert des Referenzgebäudes sinkt beim Neubau-Niveau von $Q_p = 173.8 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ auf $125 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Dieser Wert wird durch die Anforderungen des Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetzes (EEWärmeG) ein weiteres Mal reduziert auf $106 \text{ kWh/m}^2\text{a}$.

Die Möglichkeiten zur Erzielung weiterer Einsparungen an Transmissionswärmeenergie sind sehr eingeschränkt, weil das Gebäude eine hochwertige zweischalige Fassade besitzt und das Dach 2006 erneuert wurde.



Eine relativ kostengünstige Möglichkeit der Erzielung von Einsparungen besteht im Austausch der Fenster. Der Einspar-Effekt beträgt 3,6%.

Die Aufschlüsselung der Transmissionswärmeverluste zeigt, dass ein nicht unwesentlicher Teil der Energie über das Erdreich verloren geht. Im Bestand wurde - mit etwas Optimismus - eine Wärmedämmung von 3 cm Dicke angenommen. Auch wenn es wirtschaftlich nicht sinnvoll erscheint, wird an dieser Stelle die Dicke der Dämmung auf 12 cm erhöht. Hierdurch lassen sich weitere 7 % einsparen.

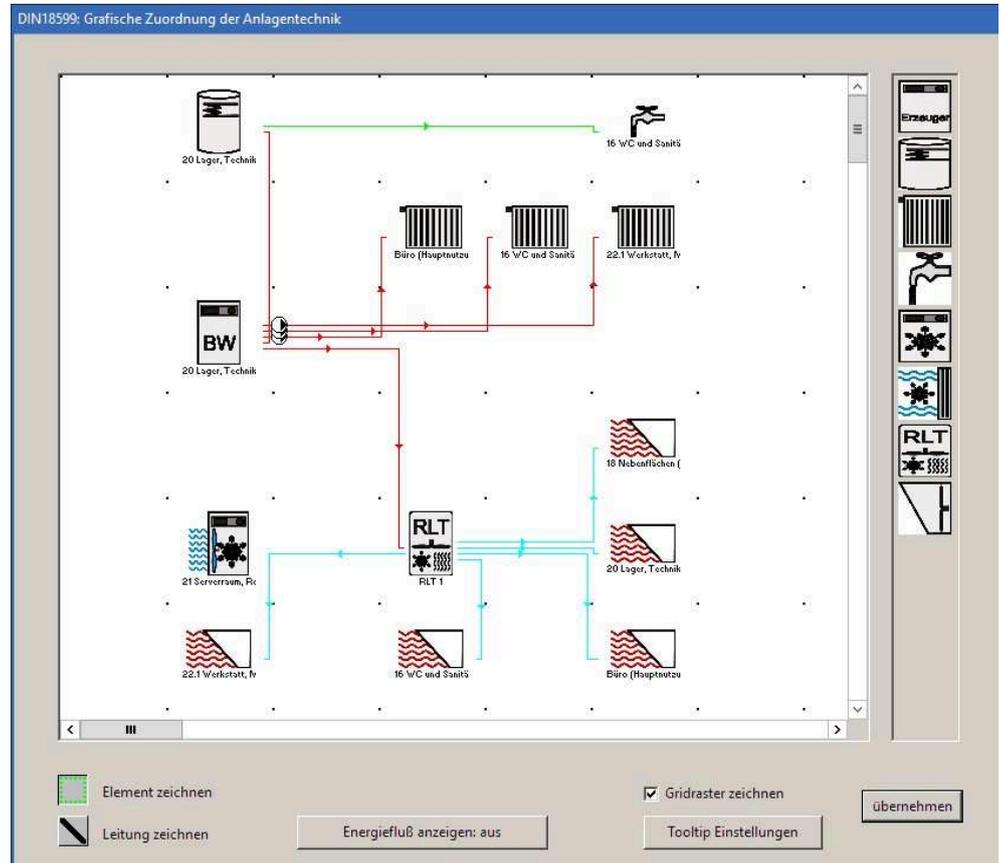
Das Einsparpotential im Bereich der Transmissionswärmeverluste beträgt also maximal ca. 10 %.

Mit dem Austausch der alten Fenster von 1994 und dem (theoretischen) Austausch der Dämmung über der Bodenplatte wird der bei Nichtwohngebäuden erforderliche Transmissionswärmekoeffizient $H_t < 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ erreicht.

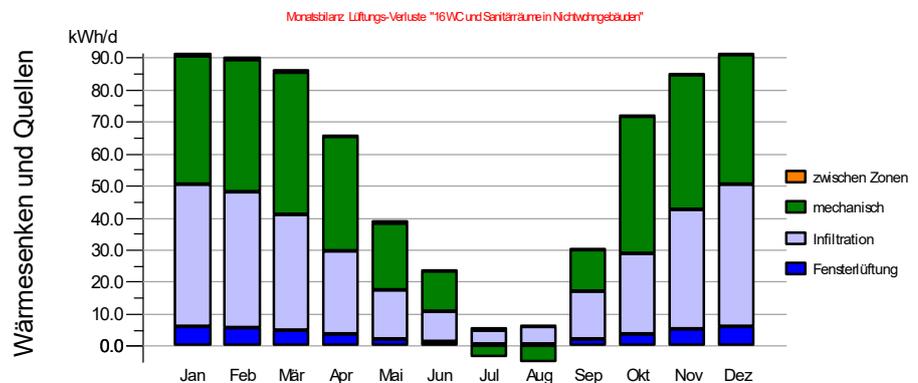
Es handelt sich jedoch um ein öffentliches Gebäude. Das EEWärmeG 2011 stellt hier erhöhte Anforderungen. Der notwendige H_t - Wert beträgt

0,258 W/m²K. Die gesetzlichen Anforderungen an den Transmissionswärmekoeffizienten werden nicht erfüllt.

Die Lüftungswärmeverluste stellen die nächste große Wärmesenke dar. Es wird die Einführung eines Systems zur Beheizung mit Wärmerückgewinnung untersucht. Zusätzlich zur stationären Beheizung soll eine vollständige Be- und Entlüftung die Möglichkeit der Wärmerückgewinnung schaffen.



Das Ergebnis dieser aufwändigen Anlage ist paradox, da der Energiebedarf nicht sinkt, sondern steigt. Die Ursache hierfür liegt in den zusätzlichen mechanischen Verlusten der Anlage.



Die Untersuchung zeigt, dass die Einhaltung der EnEV-Neubau-Grenzwerte durch Optimierungsmassnahmen auf dem dargestellten

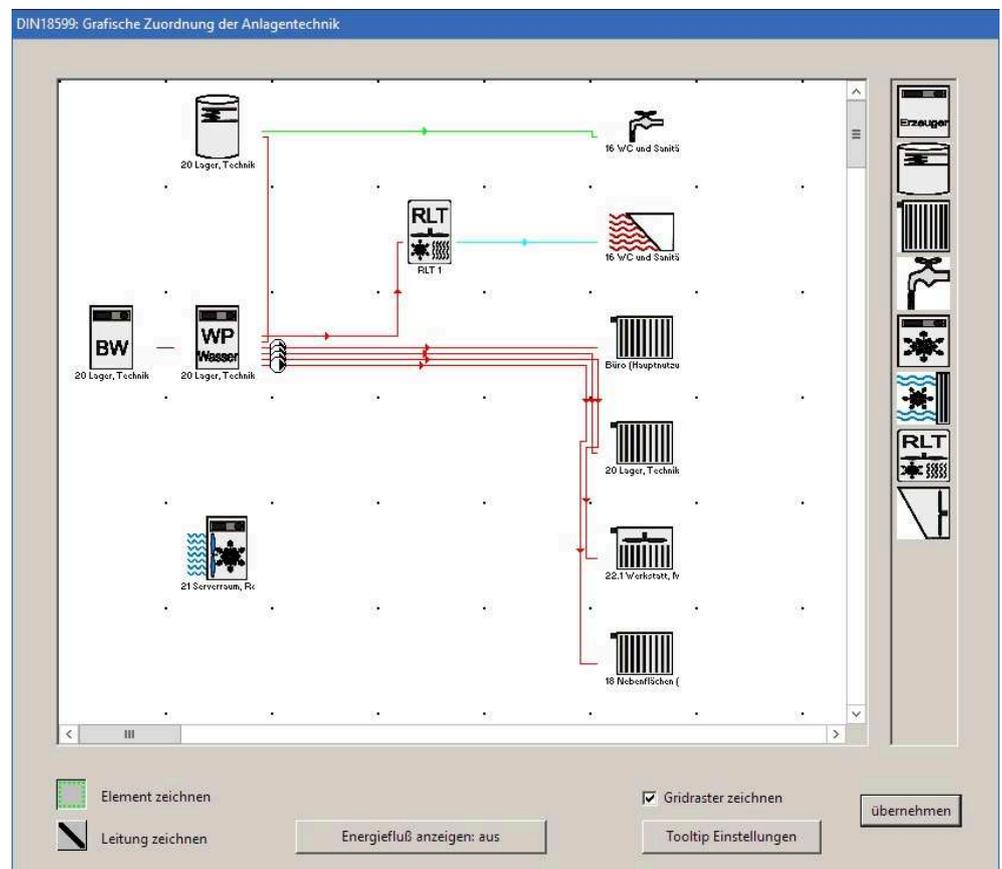
Weg nicht möglich ist. Dass es aber dennoch möglich ist ein Neubau-Niveau zu erzielen, zeigt die Berechnung im nachfolgenden Abschnitt.

9. Nutzung von 100% regenerativer Energie

Laut EEWärmeG haben Träger öffentlicher Gebäude eine besondere Vorbildfunktion. Deshalb werden an solche Gebäude erhöhte Anforderungen an die Qualität der thermischen Gebäudehülle gestellt, die entfallen, wenn regenerative Energie verwendet wird.

Folgende Voraussetzung müssen in der thermischen Gebäudehülle geschaffen werden:

- Austausch der Fenster gegen Fenster mit $U_g=0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ (KfW-Standard)
- Austausch der Garagentore gegen solche aus PU mit einem U-Wert von $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$



Hinweis: Das zugrunde liegende Heizungssystem wurde nicht verändert. Es handelt sich hier um einen theoretischen Ansatz. Anlagentechnische Veränderungen sind erforderlich

Wenn dann eine Wasser-Wasser-Wärmepumpe eingesetzt wird, die mindestens 50% der Wärme erzeugt (Grundlast) ergibt sich der folgende Bedarf:

Jahres-Primärenergiebedarf Q_p
bezogen auf die Gebäudenutzfläche 143.8 [kWh/m²a]
maximal zulässiger Jahres-
Primärenergiebedarf: 136.3 [kWh/m²a]
Der mittlere Transmissionswärmedurchlass-
koeffizient H_t ist erfüllt

Zum Vergleich nochmal die Werte des unsanierten Gebäudes:

Jahres-Primärenergiebedarf Q_p
bezogen auf die Gebäudenutzfläche 239.7 [kWh/m²a]
maximal zulässiger Jahres-
Primärenergiebedarf: 190.7 [kWh/m²a]

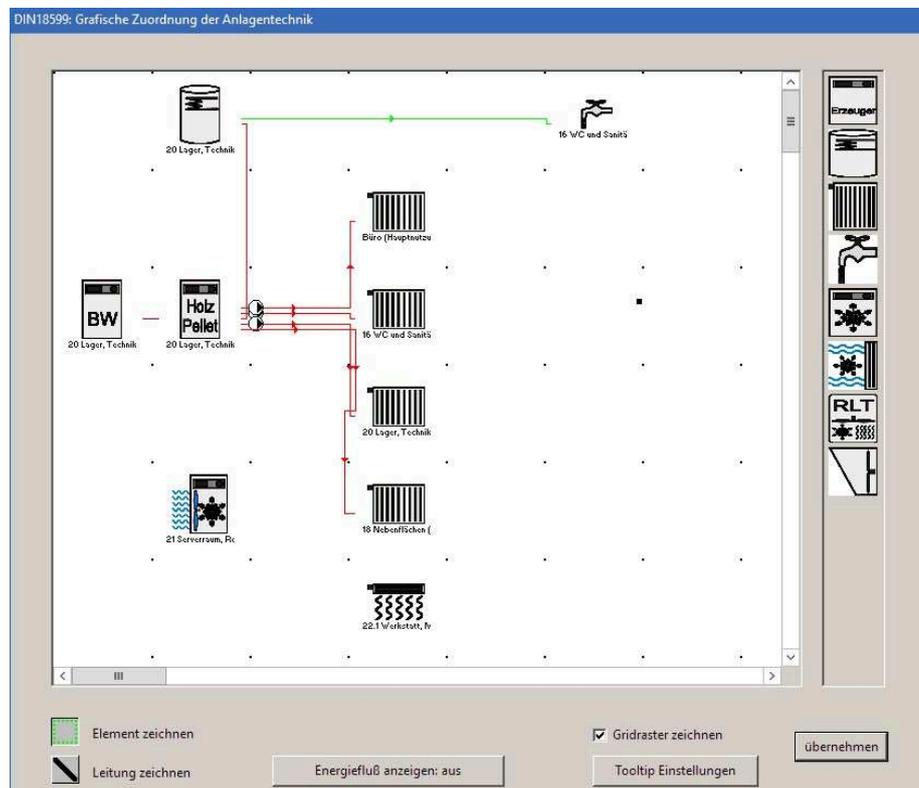
Wird jetzt zusätzlich eine Photovoltaikanlage auf dem Dach vorgesehen mit einer Peak-Leistung von 5 kW wird das Neubau-Niveau erreicht.

Jahres-Primärenergiebedarf Q_p
bezogen auf die Gebäudenutzfläche **134.3 [kWh/m²a]**
maximal zulässiger Jahres-
Primärenergiebedarf: **136.3 [kWh/m²a]**

Wird auf die Photovoltaikanlage verzichtet und statt der Wärmepumpe eine Holzpelletkessel-Anlage vorgesehen, ergeben sich die folgenden Werte

Jahres-Primärenergiebedarf Q_p
bezogen auf die Gebäudenutzfläche **68.3 [kWh/m²a]**
maximal zulässiger Jahres-
Primärenergiebedarf: **135.5 [kWh/m²a]**

Die Möglichkeit der Anbindung an ein Fernwärmenetz wurde geprüft. Das Fernwärmenetz der Stadt Neuss ist klein (15km) und angebunden an die Fa. Alunorf im Süden der Stadt.



10. Wirtschaftlichkeit Altbau - Niveau

Durch die zuvor beschriebenen Maßnahmen zur Erreichung des Altbau-Niveaus nach EnEV wird der Endenergiebedarf wie folgt reduziert

Wärme: von 198 kWh/m²a auf 162 kWh/m²a
Strom: von 19 kWh/m²a auf 11 kWh/m²a

Durch Wichtung mit dem Verbrauch ergibt sich eine tatsächliche Einsparung von

Wärme: von (198 – 162) kWh/m²a x 0,65 = 23,4 kWh/m²a
Strom: von (19 – 11) kWh/m²a x 0,65 = 5,2 kWh/m²a

Die Bruttokosten der kWh Wärme (Erdgas) beliefen sich im Jahr 2014 auf 7.560,08€ / 88.229 kWh = 0,0866 €/ kWh.

Die Bruttokosten der kWh Strom beliefen sich im Jahr 2014 auf 6.522,60 € / 22.218 kWh = 0,2953 €/ kWh.

Das Einsparpotential beträgt
für Wärme 23,4 x 841 x 0,0866 =
1.704,23 € / a brutto = 1.432,12 €/a netto

für Strom 5,2 x 841 x 0,2935 =
1.283,53 € / a brutto = 1.078,60 €/a netto

Um dieses Ziel zu erreichen sind die folgenden Investitionen erforderlich:
Für die Reduzierung des Wärmebedarfs

| | | | |
|----|---|------------|----------|
| 1. | Hallentore erneuern U=0,51 W/m ² K | 3 x 7.500€ | 22.500 € |
| 2. | Hallenheizung Dunkelstrahler | 2 x 4.000€ | 8.000€ |
| 3. | Abgas Dunkelstrahler | | 1.500€ |
| 4. | Umkleide Deckenstrahler | 10 x 350€ | 3.500€ |
| 5. | Abbau alte Luftheizungen | | 1.500€ |
| 6. | Raumtemperatur-Steuerungen | | 1.500€ |
| | Brutto - Summe | | 38.500€ |

Für die Reduzierung des Strombedarfs
Langfeldleuchten austauschen LED
Im Mittel 1 Leuchte / 8 qm

541/ 8 = ca. 68 Leuchten 20€/Stk 1.360 €

Der Austausch der Hofbeleuchtung wird nicht in den Vergleich einbezogen.

Der Austausch der vorhandenen Langfeldleuchten gegen LED-Tube – Leuchten rentiert sich innerhalb von zwei Jahren.

Einige der Anlagenkomponenten, die in der oben genannten Aufstellung zur Reduzierung des Wärmebedarfs aufgeführt wurden, müssen in der nächsten Zeit aufgrund ihres Alters (Luftheizung Halle) bzw. aufgrund von funktionalen Mängeln (Luftheizung Umkleiden) sowieso ausgetauscht

werden. Die nachfolgenden Wirtschaftlichkeitsberechnungen berücksichtigen diesen Umstand nicht. Die Ergebnisse könnten also günstiger dargestellt werden.

Unter Berücksichtigung einer Verzinsung von 3% würde die Investitionssumme von 32.352 € (brutto 38.500 €) innerhalb einer technischen Lebensdauer von 15 Jahren anwachsen auf 50.404 €. Die Kostensteigerung für Erdgas wird ebenfalls mit 3% angenommen. Die Amortisationsberechnung zeigt, dass die Einsparungen nach 15 Jahren eine Netto-Summe von 26.633 € erreichen. Erst bei einer Energiekostensteigerung von 6% werden die aufgebrauchten Investitionen innerhalb des Zeitraums zurückverdient.

Kapitalverzinsung mit Zins und Zinseszins

Energieeinsparungen

1.432,00 €

| Jahr | Ausgangs- summe | | nach einem Jahr | Zinsfuß |
|------|--------------------|--------|--------------------|---------|
| 1 | 1.432,00 € | 103% = | 1.474,96 € | 3% |
| 2 | 2.906,96 € | 103% = | 1.519,21 € | |
| 3 | 4.426,17 € | 103% = | 1.564,79 € | |
| 4 | 5.990,95 € | 103% = | 1.611,73 € | |
| 5 | 7.602,68 € | 103% = | 1.660,08 € | |
| 6 | 9.262,76 € | 103% = | 1.709,88 € | |
| 7 | 10.972,65 € | 103% = | 1.761,18 € | |
| 8 | 12.733,83 € | 103% = | 1.814,01 € | |
| 9 | 14.547,84 € | 103% = | 1.868,44 € | |
| 10 | 16.416,28 € | 103% = | 1.924,49 € | |
| 11 | 18.340,76 € | 103% = | 1.982,22 € | |
| 12 | 20.322,99 € | 103% = | 2.041,69 € | |
| 13 | 22.364,68 € | 103% = | 2.102,94 € | |
| 14 | 24.467,62 € | 103% = | 2.166,03 € | |
| 15 | 26.633,64 € | 103% = | 2.231,01 € | |
| 16 | 28.864,65 € | 103% = | 2.297,94 € | |
| 17 | 31.162,59 € | 103% = | 2.366,88 € | |
| 18 | 33.529,47 € | 103% = | 2.437,88 € | |
| 19 | 35.967,36 € | 103% = | 2.511,02 € | |
| 20 | 38.478,38 € | 103% = | 2.586,35 € | |
| 21 | 41.064,73 € | 103% = | 2.663,94 € | |
| 22 | 43.728,67 € | 103% = | 2.743,86 € | |
| 23 | 46.472,53 € | 103% = | 2.826,18 € | |
| 24 | 49.298,71 € | 103% = | 2.910,96 € | |
| 25 | 52.209,67 € | 103% = | 2.998,29 € | |
| 26 | 55.207,96 € | 103% = | 3.088,24 € | |
| 27 | 58.296,20 € | 103% = | 3.180,89 € | |
| 28 | 61.477,08 € | 103% = | 3.276,31 € | |
| 29 | 64.753,39 € | 103% = | 3.374,60 € | |
| 30 | 68.128,00 € | 103% = | 3.475,84 € | |
| 31 | 71.603,84 € | 103% = | 3.580,12 € | |
| 32 | 75.183,95 € | 103% = | 3.687,52 € | |
| 33 | 78.871,47 € | 103% = | 3.798,14 € | |
| 34 | 82.669,61 € | 103% = | 3.912,09 € | |
| 35 | 86.581,70 € | 103% = | 4.029,45 € | |

11. Wirtschaftlichkeit regenerative Energie, Photovoltaik

Für die Reduzierung des Strombedarfs wird weiterhin eine Photovoltaik-anlage mit einer Leistung von 5 kW peak vorgesehen. Der Preis wird im vorliegenden BKI – Baukostenkatalog von 2013 noch mit 6.000 € brutto / kWpeak angegeben. Durch den Preisverfall bei Solarzellen können diese Anlagen inkl. Wechselrichter mittlerweile für ca. 2.000€ / kW peak erworben werden.

| 442 Eigenstromversorgungsanlagen | | KG.AK.AA | €/Einheit | LB an AA |
|-------------------------------------|---|-----------|------------------|-----------|
| 442.31.00 | Zentrale Batterieanlagen | | | |
| 01 | Bleiakkumulatorenbatterie, wartungsarm, Kapazität 70-100 Ah, Lade- und Schaltgeräte, Signalgerät, Leitungsinstallation, Sicherheitsbeleuchtung (4 Objekte) | 20.680,00 | 23.140,00 | 25.900,00 |
| | Einheit: St Batterieanlage | | | |
| | 055 Ersatzstromversorgungsanlagen | | | 100,0% |
| 442.41.00 | Photovoltaikanlagen | | | |
| 01 | Photovoltaikanlage, monokristalline Hochleistungszellen, Wechselrichter (5 Objekte) | 4.920,00 | 6.070,00 | 7.980,00 |
| | Einheit: kWp Leistung max. | | | |
| | 055 Ersatzstromversorgungsanlagen | | | 100,0% |
| 02 | Photovoltaikanlage, 5,60-8,67 kWp, max. Wirkungsgrad 97,3% (5 Objekte) | 26.730,00 | 35.950,00 | 49.400,00 |
| | Einheit: St Anlage | | | |
| | 055 Ersatzstromversorgungsanlagen | | | 100,0% |

Kosten:
Stand 1. Quartal 2013
Bundesdurchschnitt
inkl. 19% MwSt.

Auszug aus BKI-Baukostenkatalog 2013 „Bauelemente“, PV-Anlagen

Die gewonnene Energie hängt von der Art der PV – Anlage ab. Hier wird von einer Anlage mit einem niedrigen Rendement (6-11 %) ausgegangen, die im Jahr ca. 4.000-4.500 kWh produziert. Aktuell liegt die Einspeisevergütung für kleine und mittelgroße PV-Anlagen bei weniger als 13 Cent pro Kilowattstunde. Die Stromgestehungskosten einer Photovoltaikanlage - also der Preis, zu dem eine Kilowattstunde Strom über die gesamte Laufzeit von 20 Jahren gezahlter Einspeisevergütung erzeugt werden kann - liegen nach Berechnungen des Fraunhofer ISE derzeit zwischen 10 und 14 Cent pro Kilowattstunde, je nach Sonneneinstrahlung in Deutschland. Daher wird der Eigenverbrauch von elektrischem Strom interessant.

Der Einfachheit halber wird dennoch der Strompreis des extern bezogenen Stroms in Ansatz gebracht. Demnach produziert die Anlage $4.638 \times 0,2953 \text{ €/kWh} = 1.369 \text{ €/a}$. Eine Anlage, die $5 \times 2.000 \text{ €} = 10.000 \text{ €}$ kostet, hat bei einer Verzinsung von 3% nach 8 Jahren einen Wert von 12.667€. Bei einer Teuerungsrate von 3% pa erreicht der produzierte Strom einen kumulierten Wert von 12.173 €. Der Point-even ist nach ca. 8 Jahren erreicht.

12. Wärmepumpen

Um Ufer eines Flusses bietet sich der Einsatz einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe an. Diese Systeme saugen Wasser aus dem Grundwasser beziehungsweise Wasser aus ufernahen Bereichen. Hierfür ist eine wasserrechtliche Erlaubnis bei der unteren Wasserbehörde einzuholen. Dieses Wasser hat eine Temperatur von konstant 12°C. Die Wärmepumpe kühlt das Wasser aus 4-5°C ab. Die gewonnene Wärme wird akkumuliert. Für diesen Betrieb wird Strom benötigt. Die Leistungsfähigkeit einer Wärmepumpe wird beschrieben mit dem COP – Wert (Coefficient of Performance). Diese Leistungszahl gibt an, wieviel Energie durch den Einsatz von 1 kWh Strom gewonnen wird. Ein COP von 4,5 besagt, dass 4,5 kWh nutzbarer Wärme gewonnen werden.

Weiterhin ist wichtig, dass Wärmepumpen die Grundlast eines Heizungssystems abdecken können und zusätzliche Heizungen für den Spitzenlastbetrieb benötigen. Hierfür sind Brennwertthermen ideal. Eine Wärmepumpe, die auf die Hälfte der Leistung ausgelegt ist, leistet eine Arbeit, die ca. 80% des gesamten Bedarfs abdeckt.

Das auf Seite 14 bereits beschriebene System wurde nach dem Kapitalwertverfahren auf seine Wirtschaftlichkeit hin untersucht. Der Aufwand (Kosten) wird wie folgt angenommen:

Wirtschaftlichkeitsuntersuchung Wasser-Wasser-Wärmepumpe Investitionen Stand: 16.11.2015

| Beschreibung | Menge | EP | GP |
|----------------------------------|------------|---------------|--------------------|
| Wärmepumpe Supraeco T 34 KW | 1 psch | 16.000,00 € | 16.000,00 € |
| Umrüstung Sole auf Wasser-Anlage | 1 psch | 1.000,00 € | 1.000,00 € |
| Saugbrunnen | 15,00 lfdm | 500,00 €/lfdm | 7.500,00 € |
| Schluckbrunnen entfällt | - | - | - |
| Rohrleitung zum Hafen | 1 psch | 2.000,00 € | 2.000,00 € |
| Umbau der vorhandenen Verteilung | 1 psch | 3.000,00 € | 3.000,00 € |
| Planungs-/Genehmigungskosten | 1 psch | 3.000,00 € | 3.000,00 € |
| BRUTTOSUMME | | | 32.500,00 € |

Wie in Teil A bereits erläutert wurde hängt die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von den Preissteigerungen vom allgemeinen Zinsniveau sowie von den Preissteigerungsraten für Öl und Gas ab. In der derzeitigen Niedrigzinsphase ergibt sich der Barwert wie folgt:

| | | | | | |
|--|------------------------------|-------------------------------|------------------------|---------------------|-------|
| Bivalenter Betrieb, Anteil der Wärmeerzeugung der Wärmepumpe | | | | 80% | |
| COP | | | | 4,5 | |
| Heizenergiebedarf Gas Bestand | davon Wärme durch WP-Betrieb | davon Gas Spitzenlast-Betrieb | Strombedarf Wärmepumpe | Kostensteigerung | |
| 157.107 kWh/a | 125.686 kWh/a | 31.421 kWh/a | 27.930 kWh/a | | |
| PV-Jahresleistung | | | 4.000 kWh/a | | |
| Korrekturfaktor | | | | | |
| Verbrauch / Bedarf WP-Betrieb nach Gewichtung | 0,65 | 0,65 | 0,65 | | |
| | 81.696 kWh/a | 20.424 kWh/a | 14.155 kWh/a | | |
| kein PV - Betrieb | | | 4.000 kWh/a | | |
| Kosten kWh Gas | | | | 0,0866 €/kWh | 3,00% |
| Kosten kWh Strom | | | | 0,2953 €/kWh | 3,00% |
| Kosten kWh Strom | | | | 0,2953 €/kWh | 3,00% |
| Wartung | | | | 150,00 €/a | 3,00% |
| Kapitalzins | | | | | 2,00% |
| Barwert 15 | | | | -46.923,54 € | |

| Periode | Ertrag | Aufwand | Kapitalkosten | Strom aus Netz | Strom aus PV-Anlage | Gas | Wartung | Teilbarwert | Teilsumme |
|-------------------------|--------------|--------------------|---------------|----------------|---------------------|------------|------------------|---------------------|--------------|
| Startinvestition | | 32.500,00 € | | | | | | -32.500,00 € | |
| 1 | 7.287,09 € | 8.108,22 € | 650,00 € | 4.305,24 € | 1.181,20 € | 1.821,77 € | 150,00 € | -821,13 € | |
| 2 | 7.505,70 € | 8.344,96 € | 663,00 € | 4.434,40 € | 1.216,64 € | 1.876,43 € | 154,50 € | -839,26 € | |
| 3 | 7.730,87 € | 8.588,68 € | 676,26 € | 4.567,43 € | 1.253,14 € | 1.932,72 € | 159,14 € | -857,81 € | |
| 4 | 7.962,80 € | 8.839,58 € | 689,79 € | 4.704,46 € | 1.290,73 € | 1.990,70 € | 163,91 € | -876,78 € | |
| 5 | 8.201,68 € | 9.097,87 € | 703,58 € | 4.845,59 € | 1.329,45 € | 2.050,42 € | 168,83 € | -896,19 € | |
| 6 | 8.447,73 € | 9.363,77 € | 717,65 € | 4.990,96 € | 1.369,33 € | 2.111,93 € | 173,89 € | -916,04 € | |
| 7 | 8.701,16 € | 9.637,51 € | 732,01 € | 5.140,69 € | 1.410,41 € | 2.175,29 € | 179,11 € | -936,34 € | |
| 8 | 8.962,20 € | 9.919,31 € | 746,65 € | 5.294,91 € | 1.452,73 € | 2.240,55 € | 184,48 € | -957,11 € | |
| 9 | 9.231,06 € | 10.209,42 € | 761,58 € | 5.453,76 € | 1.496,31 € | 2.307,77 € | 190,02 € | -978,36 € | |
| 10 | 9.508,00 € | 10.508,09 € | 776,81 € | 5.617,37 € | 1.541,20 € | 2.377,00 € | 195,72 € | -1.000,09 € | |
| 11 | 9.793,24 € | 10.815,57 € | 792,35 € | 5.785,89 € | 1.587,43 € | 2.448,31 € | 201,59 € | -1.022,33 € | |
| 12 | 10.087,03 € | 11.132,11 € | 808,19 € | 5.959,47 € | 1.635,06 € | 2.521,76 € | 207,64 € | -1.045,08 € | |
| 13 | 10.389,64 € | 11.457,99 € | 824,36 € | 6.138,25 € | 1.684,11 € | 2.597,41 € | 213,86 € | -1.068,35 € | |
| 14 | 10.701,33 € | 11.793,49 € | 840,84 € | 6.322,40 € | 1.734,63 € | 2.675,33 € | 220,28 € | -1.092,15 € | |
| 15 | 11.022,37 € | 12.138,88 € | 857,66 € | 6.512,07 € | 1.786,67 € | 2.755,59 € | 226,89 € | -1.116,51 € | -46.923,54 € |
| 16 | 11.353,05 € | 12.494,47 € | 874,81 € | 6.707,43 € | 1.840,27 € | 2.838,26 € | 233,70 € | -1.141,43 € | |
| 17 | 11.693,64 € | 12.860,56 € | 892,31 € | 6.908,65 € | 1.895,48 € | 2.923,41 € | 240,71 € | -1.166,92 € | |
| 18 | 12.044,45 € | 13.237,45 € | 910,16 € | 7.115,91 € | 1.952,34 € | 3.011,11 € | 247,93 € | -1.193,01 € | |
| 19 | 12.405,78 € | 13.625,48 € | 928,36 € | 7.329,39 € | 2.010,91 € | 3.101,44 € | 255,36 € | -1.219,70 € | |
| 20 | 12.777,95 € | 14.024,96 € | 946,93 € | 7.549,27 € | 2.071,24 € | 3.194,49 € | 263,03 € | -1.247,00 € | |
| 21 | 13.161,29 € | 14.436,24 € | 965,87 € | 7.775,75 € | 2.133,38 € | 3.290,32 € | 270,92 € | -1.274,94 € | |
| 22 | 13.556,13 € | 14.859,66 € | 985,18 € | 8.009,02 € | 2.197,38 € | 3.389,03 € | 279,04 € | -1.303,53 € | |
| 23 | 13.962,81 € | 15.295,60 € | 1.004,89 € | 8.249,29 € | 2.263,30 € | 3.490,70 € | 287,42 € | -1.332,79 € | |
| 24 | 14.381,70 € | 15.744,42 € | 1.024,98 € | 8.496,77 € | 2.331,20 € | 3.595,42 € | 296,04 € | -1.362,72 € | |
| 25 | 14.813,15 € | 16.206,50 € | 1.045,48 € | 8.751,68 € | 2.401,14 € | 3.703,29 € | 304,92 € | -1.393,35 € | |
| Summe | 265.681,86 € | 325.240,79 € | | | | | Barwert 25 Jahre | -59.558,94 € | |

Der Einsatz einer Wärmepumpe kann zur Zeit wirtschaftlich nicht nachgewiesen werden.

Da ein wesentlicher Teil der Kosten des Betriebs der Wärmepumpe aus dem angekauften Strom besteht, lag es vor der Hand die Wärmepumpe zu kombinieren mit einer Photovoltaikanlage. Mit diesem Modell kann das Neubau-Niveau nach EnEV erreicht werden (Seite 17),

Erst unter der Annahme einer 6,5-prozentigen Preissteigerung der Gaspreise war es möglich den Betrieb einer Wärmepumpe wirtschaftlich darzustellen.

| | | | | | |
|---|------------------------------|-------------------------------|------------------------|--|-------------------|
| | | | | Bivalenter Betrieb, Anteil der Wärmeerzeugung der Wärmepumpe | 80% |
| | | | | COP | 4,5 |
| Heizenergiebedarf | davon Wärme durch WP-Betrieb | davon Gas Spitzenlast-Betrieb | Strombedarf Wärmepumpe | | |
| Gas Bestand | 125.686 kWh/a | 31.421 kWh/a | 27.930 kWh/a | | |
| PV-Jahresleistung | | | 4.000 kWh/a | | |
| Korrekturfaktor | | | | | |
| Verbrauch / Bedarf WP-Betrieb nach Gewichtung | 0,65 | 0,65 | 0,65 | | |
| PV - Betrieb | 81.696 kWh/a | 20.424 kWh/a | 14.155 kWh/a | | |
| | | | 4.000 kWh/a | | |
| | | | | Kosten kWh Gas | 0,0866 €/kWh |
| | | | | Kosten Strom kWh | 0,2953 €/kWh |
| | | | | Kosten Strom kWh | 0,1400 €/kWh |
| | | | | Wartung | 150,00 €/a |
| | | | | Kapitalzins | 2,00% |
| | | | | Barwert 15 | 1.650,74 € |
| | | | | Kostensteigerung | 6,50% |
| | | | | | 3,00% |
| | | | | | 0,00% |
| | | | | | 3,00% |
| | | | | | 2,00% |

| Periode | Ertrag | Aufwand | Kapitalkosten | Strom aus Netz | Strom aus PV-Anlage | Gas | Wartung | Teilbarwert | Teilsumme |
|-------------------------|--------------|--------------------|---------------|----------------|---------------------|------------|------------------|---------------------|------------|
| Startinvestition | | 32.500,00 € | | | | | | -32.500,00 € | |
| 1 | 7.534,71 € | 7.548,92 € | 650,00 € | 4.305,24 € | 560,00 € | 1.883,68 € | 150,00 € | -14,21 € | |
| 2 | 8.024,46 € | 7.818,02 € | 663,00 € | 4.434,40 € | 560,00 € | 2.006,12 € | 154,50 € | 206,45 € | |
| 3 | 8.546,05 € | 8.099,34 € | 676,26 € | 4.567,43 € | 560,00 € | 2.136,51 € | 159,14 € | 446,71 € | |
| 4 | 9.101,55 € | 8.393,54 € | 689,79 € | 4.704,46 € | 560,00 € | 2.275,39 € | 163,91 € | 708,01 € | |
| 5 | 9.693,15 € | 8.701,29 € | 703,58 € | 4.845,59 € | 560,00 € | 2.423,29 € | 168,83 € | 991,86 € | |
| 6 | 10.323,20 € | 9.023,30 € | 717,65 € | 4.990,96 € | 560,00 € | 2.580,80 € | 173,89 € | 1.299,90 € | |
| 7 | 10.994,21 € | 9.360,35 € | 732,01 € | 5.140,69 € | 560,00 € | 2.748,55 € | 179,11 € | 1.633,86 € | |
| 8 | 11.708,83 € | 9.713,24 € | 746,65 € | 5.294,91 € | 560,00 € | 2.927,21 € | 184,48 € | 1.995,59 € | |
| 9 | 12.469,91 € | 10.082,83 € | 761,58 € | 5.453,76 € | 560,00 € | 3.117,48 € | 190,02 € | 2.387,08 € | |
| 10 | 13.280,45 € | 10.470,01 € | 776,81 € | 5.617,37 € | 560,00 € | 3.320,11 € | 195,72 € | 2.810,44 € | |
| 11 | 14.143,68 € | 10.875,74 € | 792,35 € | 5.785,89 € | 560,00 € | 3.535,92 € | 201,59 € | 3.267,94 € | |
| 12 | 15.063,02 € | 11.301,05 € | 808,19 € | 5.959,47 € | 560,00 € | 3.765,76 € | 207,64 € | 3.761,97 € | |
| 13 | 16.042,12 € | 11.747,00 € | 824,36 € | 6.138,25 € | 560,00 € | 4.010,53 € | 213,86 € | 4.295,12 € | |
| 14 | 17.084,85 € | 12.214,74 € | 840,84 € | 6.322,40 € | 560,00 € | 4.271,21 € | 220,28 € | 4.870,12 € | |
| 15 | 18.195,37 € | 12.705,46 € | 857,66 € | 6.512,07 € | 560,00 € | 4.548,84 € | 226,89 € | 5.489,91 € | 1.650,74 € |
| 16 | 19.378,07 € | 13.220,46 € | 874,81 € | 6.707,43 € | 560,00 € | 4.844,52 € | 233,70 € | 6.157,61 € | |
| 17 | 20.637,64 € | 13.761,08 € | 892,31 € | 6.908,65 € | 560,00 € | 5.159,41 € | 240,71 € | 6.876,56 € | |
| 18 | 21.979,09 € | 14.328,77 € | 910,16 € | 7.115,91 € | 560,00 € | 5.494,77 € | 247,93 € | 7.650,32 € | |
| 19 | 23.407,73 € | 14.925,05 € | 928,36 € | 7.329,39 € | 560,00 € | 5.851,93 € | 255,36 € | 8.482,68 € | |
| 20 | 24.929,23 € | 15.551,53 € | 946,93 € | 7.549,27 € | 560,00 € | 6.232,31 € | 263,03 € | 9.377,70 € | |
| 21 | 26.549,63 € | 16.209,94 € | 965,87 € | 7.775,75 € | 560,00 € | 6.637,41 € | 270,92 € | 10.339,69 € | |
| 22 | 28.275,36 € | 16.902,09 € | 985,18 € | 8.009,02 € | 560,00 € | 7.068,84 € | 279,04 € | 11.373,27 € | |
| 23 | 30.113,26 € | 17.629,91 € | 1.004,89 € | 8.249,29 € | 560,00 € | 7.528,31 € | 287,42 € | 12.483,35 € | |
| 24 | 32.070,62 € | 18.395,45 € | 1.024,98 € | 8.496,77 € | 560,00 € | 8.017,66 € | 296,04 € | 13.675,17 € | |
| 25 | 34.155,21 € | 19.200,88 € | 1.045,48 € | 8.751,68 € | 560,00 € | 8.538,80 € | 304,92 € | 14.954,33 € | |
| Summe | 443.701,41 € | 340.680,00 € | | | | | Barwert 25 Jahre | 103.021,41 € | |

13. Die wirtschaftlich sinnvolle Variante

Das Betriebswerksgebäude Neuss kann durch eine Reihe von Optimierungsmaßnahmen so getrimmt werden, dass die Anforderungen, die aus dem Altbau-Grenzwert der EnEV entstehen, erfüllt werden. Es wird erwartet, dass Amortisationsdauer ca. 15 Jahre beträgt. Dies scheint sinnvoll. Darüber hinaus erscheint es wirtschaftlich nicht sinnvoll, ein Neubauniveau anzustreben oder gar den Anforderungen des EEWärmeG entsprechen zu wollen.

Die Heizungsanlage sollte durch einen Fachingenieur für TGA überprüft werden, weil Fehlfunktionen nachgewiesen wurden. Möglicherweise kann die vorhandene Lüftungsanlage der Umkleiden aufgerüstet und weitergenutzt werden.

Darüber hinaus sollten wesentliche Teile des Gebäudes (Werkstätten und Lager) umgestellt werden auf eine Versorgung auf Anforderung. Hierdurch soll die dauernde Beheizung der Räume vermieden werden.

Weiterhin werden folgende Empfehlungen ausgesprochen:

- Die für die EnEV relevanten Verbraucher „Licht, Kälte und Hilfsenergie“ sollten separat gezählt werden.
- es sollte geprüft werden, ob es sinnvoll ist, die Zugangstüren zu den Werkstätten mit zusätzlichen Vorhängen aus Kunststoffstreifen auszurüsten
- die Radiatoren sollten mit programmierbaren Steuerungen ausgestattet werden
- Austausch der Langfeldleuchten gegen LED-Tubes

Diese Steuerungen machen es möglich, die Räume unbeheizt zu halten ohne den Mitarbeitern die Möglichkeit zum Eingriff zu nehmen.

14. CO₂ und Schadstoffe

CO₂- Ausstoß Bestand vor Optimierung

| | | absolut | | | bezogen auf die Nutzfläche 841.6 m ² | |
|--------------|-----------|-----------------|---------------|-----------------|---|---------------------|
| Endenergie | | CO ₂ | Bedarf | CO ₂ | Bedarf | CO ₂ |
| | | kg/kWh | kWh/a | kg/a | kWh/m ² a | kg/m ² a |
| 1 | Strom-Mix | 0.617 | 16278 | 10043 | 0.00 | 11.93 |
| 2 | Erdgas H | 0.244 | 164167 | 40057 | 0.00 | 47.60 |
| Summe | | | 180445 | 50100 | 0.00 | 59.53 |

Als Berechnungsgrundlage des CO₂ Ausstoßes wurden GEMIS 4.13 Werte (www.gemis.de) verwendet

Schadstoffausstoß Bestand vor Optimierung

| Energieträger | NO _x | NO _x | CO | SO ₂ | Staub |
|---------------|---------------------|-----------------|--------------|-----------------|-------------|
| | kg/m ² a | kg/a | kg/a | kg/a | kg/a |
| Strom-Mix | 0.012 | 10.27 | 3.32 | 6.27 | 0.88 |
| Erdgas H | 0.039 | 33.00 | 23.80 | 2.30 | 1.48 |
| SUMME | 0.051 | 43.27 | 27.12 | 8.57 | 2.36 |

CO₂ - Ausstoß , Altbau - Grenzwert

| | | absolut | | | bezogen auf die Nutzfläche 841.6 m ² | |
|--------------|-----------|-----------------|---------------|-----------------|---|---------------------|
| Endenergie | | CO ₂ | Bedarf | CO ₂ | Bedarf | CO ₂ |
| | | kg/kWh | kWh/a | kg/a | kWh/m ² a | kg/m ² a |
| 1 | Strom-Mix | 0.617 | 9503 | 5863 | 0.00 | 6.97 |
| 2 | Erdgas H | 0.244 | 134649 | 32854 | 0.00 | 39.04 |
| Summe | | | 144152 | 38718 | 0.00 | 46.01 |

Als Berechnungsgrundlage des CO₂ Ausstoßes wurden GEMIS 4.13 Werte (www.gemis.de) verwendet

Schadstoffausstoß, Altbau - Grenzwert

| Energieträger | NO _x | NO _x | CO | SO ₂ | Staub |
|---------------|---------------------|-----------------|--------------|-----------------|-------------|
| | kg/m ² a | kg/a | kg/a | kg/a | kg/a |
| Strom-Mix | 0.007 | 6.00 | 1.94 | 3.66 | 0.51 |
| Erdgas H | 0.032 | 27.06 | 19.52 | 1.89 | 1.21 |
| SUMME | 0.039 | 33.06 | 21.46 | 5.54 | 1.72 |

Der Ausstoß an CO₂ wird rechnerisch um 13 kg/m² reduziert. Nach Verbrauchs-Gewichtung verbleibt $13 \times 0,65 = 8.45$ kg/m²a
Pro Jahr ergibt sich eine Reduzierung um 7.106 kg.

Teil C1

Berechnungen mit CAD - Plänen zur Flächenermittlung
siehe gesonderter Band

Teil D1

Dokumentation, siehe gesonderter Band

Anhang

Betriebsschema Fa. Junkers mit hydraulischer Weiche

Hydraulik mit Regelung (Prinzipschema)

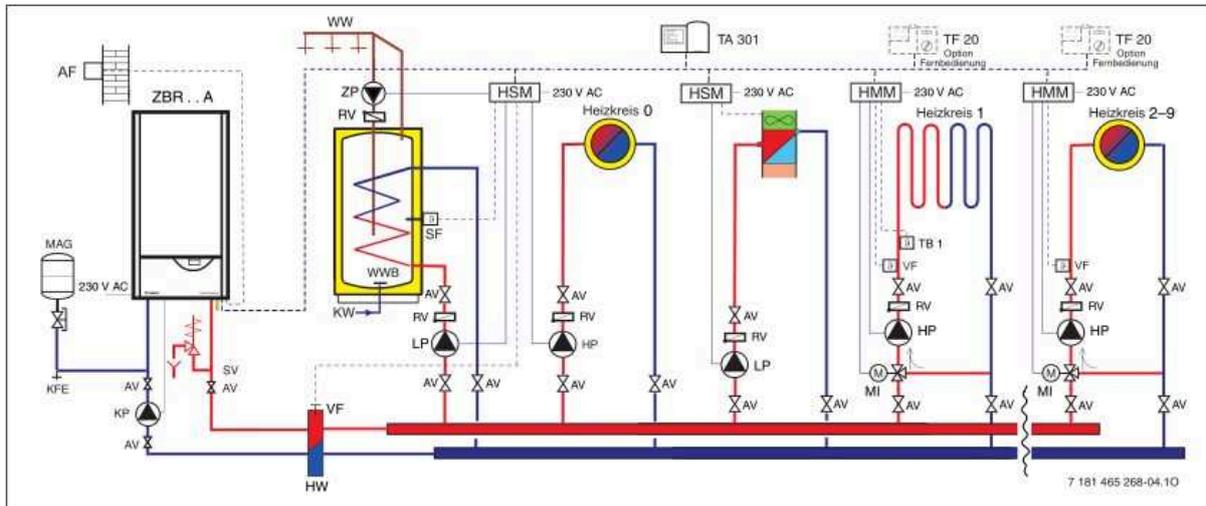


Bild 4

- AF** Außentemperaturfühler
- AV** Absperrarmatur
- HP** Heizungspumpe
- HMM** Heizungsmodul
- HSM** Heizungsschaltmodul
- HW** Hydraulische Weiche
- KFE** Kesselfüll- und Entleerungshahn
- KP** Kesselkreispumpe
- KW** Kaltwasser
- LP** Speicherladepumpe
- MAG** Membranausdehnungsgefäß
- MI** 3-Wege-Mischer
- RV** Rückschlagventil
- SF** Speichertemperaturfühler
- SV** Sicherheitsventil
- TA 301** außentemperaturgeführter Aufbauregler
- TB 1** Temperaturwächter
- TF 20** Fernbedienung
- VF** Vorlauffühler
- WW** Warmwasser
- WWB** Warmwasserbereiter
- ZP** Zirkulationspumpe



Bei dieser Schaltung ist während der Speicherladung und/oder Schwimmbad-/Lüfterheizung der **Heizkreis 0** nicht in Betrieb.



Beispiel eines Dunkelstrahlers zur Hallenheizung (Fa. Kübler)



Beispiel einer Deckenstrahlheizung für die Umkleideräume (sunline)

Außenbezirk Neuss
Bedarfsberechnung Endenergie Bestand vor Optimierung
31.10.2015

| Gebäude Endenergie | Total [kWh] | Jan. [kWh] | Feb. [kWh] | März [kWh] | April [kWh] | Mai [kWh] | Juni [kWh] | Juli [kWh] | Aug. [kWh] | Sept. [kWh] | Okt. [kWh] | Nov. [kWh] | Dez. [kWh] |
|--------------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|----------------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|
| Gesamtenergie | 180445 | 31111 | 26458 | 22566 | 12176 | 5136 | 2809 | 2231 | 2312 | 5062 | 14141 | 24536 | 31908 |
| Referenzgebäude | 92074 | 16502 | 13877 | 10993 | 4733 | 2225 | 1579 | 1546 | 1634 | 2449 | 6542 | 12823 | 17170 |
| Heizung | 159187 | 29341.19 | 24872.43 | 20809.13 | 10455.02 | 3332.19 | 1025.53 | 342.90 | 429.21 | 3311.65 | 12348.76 | 22807.41 | 30111.77 |
| Referenzgebäude | 72568.79 | 14667.94 | 12264.37 | 9322.40 | 3340.21 | 705.69 | 131.87 | 35.43 | 42.68 | 921.49 | 4840.93 | 11056.93 | 15238.85 |
| ->Raumwärme | 130479 | 24645.35 | 20854.98 | 17212.06 | 8205.49 | 2149.72 | 411.62 | 53.55 | 115.05 | 2566.26 | 9878.79 | 19049.07 | 25337.30 |
| Referenzgebäude | 67363.53 | 13672.75 | 11443.21 | 8685.69 | 3027.85 | 556.96 | 53.89 | 4.48 | 11.54 | 875.08 | 4464.30 | 10344.12 | 14223.67 |
| ->Heizregister | 116.90 | 18.87 | 16.15 | 14.56 | 9.31 | 5.20 | 2.76 | 1.23 | 1.34 | 3.13 | 10.10 | 15.12 | 19.15 |
| Referenzgebäude | 56.78 | 6.03 | 5.02 | 4.13 | 2.65 | 2.81 | 6.24 | 9.10 | 7.04 | 0.39 | 2.82 | 4.43 | 6.11 |
| ->Hilfseng. Heizung | 1962.83 | 319.22 | 277.00 | 257.03 | 178.32 | 62.13 | 5.51 | 0.70 | 1.51 | 70.81 | 195.71 | 269.28 | 325.62 |
| Referenzgebäude | 816.35 | 150.98 | 127.52 | 101.36 | 45.67 | 19.67 | 6.53 | 2.19 | 4.42 | 24.68 | 59.26 | 117.22 | 156.85 |
| ->Hilfseng. Heizregister | 116.90 | 18.87 | 16.15 | 14.56 | 9.31 | 5.20 | 2.76 | 1.23 | 1.34 | 3.13 | 10.10 | 15.12 | 19.15 |
| Referenzgebäude | 56.8 | 6.0 | 5.0 | 4.1 | 2.7 | 2.8 | 6.2 | 9.1 | 7.0 | 0.4 | 2.8 | 4.4 | 6.1 |
| Warmwasser | 7095.47 | 598.83 | 540.25 | 595.97 | 573.37 | 588.69 | 588.33 | 636.99 | 635.12 | 569.55 | 592.25 | 577.19 | 598.91 |
| Referenzgebäude | 5936.54 | 696.13 | 602.52 | 552.18 | 296.01 | 367.20 | 320.81 | 334.10 | 414.06 | 401.52 | 544.31 | 647.85 | 759.85 |
| ->Hilfseng. Warmwasser | 35.56 | 3.05 | 2.76 | 3.04 | 2.92 | 3.00 | 2.90 | 2.98 | 2.98 | 2.91 | 3.02 | 2.94 | 3.05 |
| Referenzgebäude | 242.96 | 10.52 | 10.63 | 16.75 | 26.65 | 25.23 | 29.76 | 33.95 | 30.34 | 23.39 | 16.87 | 11.18 | 7.69 |
| Licht | 8140.29 | 713.78 | 628.85 | 683.07 | 652.54 | 668.44 | 645.46 | 669.91 | 675.76 | 663.86 | 700.62 | 696.42 | 741.57 |
| Referenzgebäude | 8023.40 | 708.95 | 620.89 | 671.25 | 639.18 | 653.30 | 630.49 | 655.10 | 662.28 | 653.07 | 692.80 | 693.03 | 743.06 |
| RLT | 3848.17 | 326.83 | 295.20 | 326.83 | 316.29 | 326.83 | 316.29 | 326.83 | 326.83 | 316.29 | 326.83 | 316.29 | 326.83 |
| Referenzgebäude | 3296.79 | 280.00 | 252.90 | 280.00 | 270.97 | 280.00 | 270.97 | 280.00 | 280.00 | 270.97 | 280.00 | 270.97 | 280.00 |
| Kühlung | 2174.19 | 129.90 | 121.75 | 151.42 | 178.83 | 219.51 | 233.16 | 253.95 | 244.65 | 201.00 | 172.69 | 138.34 | 129.00 |
| Referenzgebäude | 2248.16 | 149.05 | 136.05 | 167.45 | 186.60 | 219.28 | 224.86 | 241.54 | 234.85 | 201.88 | 184.21 | 154.17 | 148.21 |
| ->Raumkühlung | 2174.19 | 129.90 | 121.75 | 151.42 | 178.83 | 219.51 | 233.16 | 253.95 | 244.65 | 201.00 | 172.69 | 138.34 | 129.00 |
| Referenzgebäude | 1416.61 | 89.08 | 82.91 | 102.64 | 118.10 | 140.86 | 146.47 | 157.28 | 152.34 | 129.43 | 115.00 | 94.05 | 88.46 |
| Referenzgebäude | 831.55 | 59.97 | 53.15 | 64.81 | 68.50 | 78.42 | 78.39 | 84.27 | 82.51 | 72.45 | 69.21 | 60.12 | 59.75 |

Außenbezirk Neuss
Bedarfsberechnung Energiearten Bestand vor Optimierung
31.10.2015

| Gebäude | Total [kWh] | Jan. [kWh] | Feb. [kWh] | März [kWh] | April [kWh] | Mai [kWh] | Juni [kWh] | Juli [kWh] | Aug. [kWh] | Sept. [kWh] | Okt. [kWh] | Nov. [kWh] | Dez. [kWh] |
|--------------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|----------------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|
| Strom-Mix | | | | | | | | | | | | | |
| Gesamtenergie | 16278 | 1512 | 1342 | 1436 | 1338 | 1285 | 1206 | 1256 | 1253 | 1258 | 1409 | 1438 | 1545 |
| Referenzgebäude | 14684 | 1306 | 1153 | 1241 | 1172 | 1200 | 1169 | 1222 | 1219 | 1174 | 1236 | 1251 | 1342 |
| Heizung | 2079.73 | 338.08 | 293.15 | 271.59 | 187.63 | 67.32 | 8.27 | 1.92 | 2.85 | 73.94 | 205.81 | 284.39 | 344.78 |
| Referenzgebäude | 873.13 | 157.01 | 132.54 | 105.49 | 48.33 | 22.48 | 12.77 | 11.29 | 11.46 | 25.07 | 62.08 | 121.65 | 162.96 |
| ->Heizregister | 116.90 | 18.87 | 16.15 | 14.56 | 9.31 | 5.20 | 2.76 | 1.23 | 1.34 | 3.13 | 10.10 | 15.12 | 19.15 |
| Referenzgebäude | 56.78 | 6.03 | 5.02 | 4.13 | 2.65 | 2.81 | 6.24 | 9.10 | 7.04 | 0.39 | 2.82 | 4.43 | 6.11 |
| ->Hilfseng. Heizung | 1962.83 | 319.22 | 277.00 | 257.03 | 178.32 | 62.13 | 5.51 | 0.70 | 1.51 | 70.81 | 195.71 | 269.28 | 325.62 |
| Referenzgebäude | 816.35 | 150.98 | 127.52 | 101.36 | 45.67 | 19.67 | 6.53 | 2.19 | 4.42 | 24.68 | 59.26 | 117.22 | 156.85 |
| ->Hilfseng. Heizregister | 116.90 | 18.87 | 16.15 | 14.56 | 9.31 | 5.20 | 2.76 | 1.23 | 1.34 | 3.13 | 10.10 | 15.12 | 19.15 |
| Referenzgebäude | 56.8 | 6.0 | 5.0 | 4.1 | 2.7 | 2.8 | 6.2 | 9.1 | 7.0 | 0.4 | 2.8 | 4.4 | 6.1 |
| Warmwasser | 35.56 | 3.05 | 2.76 | 3.04 | 2.92 | 3.00 | 2.90 | 2.98 | 2.98 | 2.91 | 3.02 | 2.94 | 3.05 |
| Referenzgebäude | 242.96 | 10.52 | 10.63 | 16.75 | 26.65 | 25.23 | 29.76 | 33.95 | 30.34 | 23.39 | 16.87 | 11.18 | 7.69 |
| ->Hilfseng. Warmwasser | 35.56 | 3.05 | 2.76 | 3.04 | 2.92 | 3.00 | 2.90 | 2.98 | 2.98 | 2.91 | 3.02 | 2.94 | 3.05 |
| Referenzgebäude | 242.96 | 10.52 | 10.63 | 16.75 | 26.65 | 25.23 | 29.76 | 33.95 | 30.34 | 23.39 | 16.87 | 11.18 | 7.69 |
| Licht | 8140.29 | 713.78 | 628.85 | 683.07 | 652.54 | 668.44 | 645.46 | 669.91 | 675.76 | 663.86 | 700.62 | 696.42 | 741.57 |
| Referenzgebäude | 8023.40 | 708.95 | 620.89 | 671.25 | 639.18 | 653.30 | 630.49 | 655.10 | 662.28 | 653.07 | 692.80 | 693.03 | 743.06 |
| RLT | 3848.17 | 326.83 | 295.20 | 326.83 | 316.29 | 326.83 | 316.29 | 326.83 | 326.83 | 316.29 | 326.83 | 316.29 | 326.83 |
| Referenzgebäude | 3296.79 | 280.00 | 252.90 | 280.00 | 270.97 | 280.00 | 270.97 | 280.00 | 280.00 | 270.97 | 280.00 | 270.97 | 280.00 |
| Kühlung | 2174.19 | 129.90 | 121.75 | 151.42 | 178.83 | 219.51 | 233.16 | 253.95 | 244.65 | 201.00 | 172.69 | 138.34 | 129.00 |
| Referenzgebäude | 2248.16 | 149.05 | 136.05 | 167.45 | 186.60 | 219.28 | 224.86 | 241.54 | 234.85 | 201.88 | 184.21 | 154.17 | 148.21 |
| ->Raumkühlung | 2174.19 | 129.90 | 121.75 | 151.42 | 178.83 | 219.51 | 233.16 | 253.95 | 244.65 | 201.00 | 172.69 | 138.34 | 129.00 |
| Referenzgebäude | 1416.61 | 89.08 | 82.91 | 102.64 | 118.10 | 140.86 | 146.47 | 157.28 | 152.34 | 129.43 | 115.00 | 94.05 | 88.46 |
| Referenzgebäude | 831.55 | 59.97 | 53.15 | 64.81 | 68.50 | 78.42 | 78.39 | 84.27 | 82.51 | 72.45 | 69.21 | 60.12 | 59.75 |

Außenbezirk Neuss
Bedarfsberechnung Energiearten Bestand vor Optimierung
31.10.2015

| Gebäude | Total [kWh] | Jan. [kWh] | Feb. [kWh] | März [kWh] | April [kWh] | Mai [kWh] | Juni [kWh] | Juli [kWh] | Aug. [kWh] | Sept. [kWh] | Okt. [kWh] | Nov. [kWh] | Dez. [kWh] |
|-----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|----------------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|
| Erdgas H | | | | | | | | | | | | | |
| Gesamtenergie | 164167 | 29599 | 25117 | 21130 | 10838 | 3851 | 1603 | 975 | 1058 | 3804 | 12732 | 23097 | 30363 |
| Referenzgebäude | 19699 | 4429 | 3699 | 2445 | 437 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 767 | 3174 | 4748 |
| Heizung | 157107 | 29003.11 | 24579.28 | 20537.54 | 10267.39 | 3264.86 | 1017.26 | 340.97 | 426.36 | 3237.71 | 12142.96 | 22523.02 | 29767.00 |
| Referenzgebäude | 19699.21 | 4428.73 | 3698.52 | 2445.35 | 436.55 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 767.36 | 3174.38 | 4748.32 |
| ->Raumwärme | 130479 | 24645.35 | 20854.98 | 17212.06 | 8205.49 | 2149.72 | 411.62 | 53.55 | 115.05 | 2566.26 | 9878.79 | 19049.07 | 25337.30 |
| Referenzgebäude | 19699.21 | 4428.73 | 3698.52 | 2445.35 | 436.55 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 767.36 | 3174.38 | 4748.32 |
| Warmwasser | 7059.91 | 595.78 | 537.50 | 592.93 | 570.45 | 585.69 | 585.43 | 634.01 | 632.13 | 566.65 | 589.23 | 574.25 | 595.86 |

Außenbezirk Neuss
Bedarfsberechnung Endenergie Altbau-Grenzwert
31.10.2015

| Gebäude Endenergie | Total [kWh] | Jan. [kWh] | Feb. [kWh] | März [kWh] | April [kWh] | Mai [kWh] | Juni [kWh] | Juli [kWh] | Aug. [kWh] | Sept. [kWh] | Okt. [kWh] | Nov. [kWh] | Dez. [kWh] |
|-----------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|----------------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|
| Gesamtenergie | 139636 | 25192 | 21320 | 17641 | 8752 | 3263 | 1253 | 766 | 955 | 3986 | 10791 | 19745 | 25971 |
| Referenzgebäude | 87320 | 15914 | 13426 | 10155 | 4459 | 1964 | 1224 | 1178 | 1272 | 2321 | 6105 | 12450 | 16852 |
| Heizung | 129372 | 24057.00 | 20355.48 | 16744.57 | 8149.83 | 2719.24 | 690.55 | 100.42 | 206.85 | 3159.52 | 9790.72 | 18635.78 | 24762.45 |
| Referenzgebäude | 71847.55 | 14415.89 | 12124.35 | 8833.19 | 3407.73 | 785.03 | 111.64 | 15.52 | 28.16 | 1130.17 | 4745.18 | 11005.99 | 15244.69 |
| ->Raumwärme | 127605 | 23770.02 | 20107.59 | 16521.53 | 8014.25 | 2653.64 | 670.71 | 88.23 | 193.02 | 3086.40 | 9633.75 | 18397.49 | 24468.49 |
| Referenzgebäude | 70994.91 | 14264.71 | 11995.94 | 8736.03 | 3359.08 | 760.97 | 97.41 | 4.39 | 16.77 | 1102.59 | 4685.29 | 10887.34 | 15084.40 |
| ->Hilfsg. Heizung | 1767.30 | 286.98 | 247.90 | 223.05 | 135.58 | 65.60 | 19.83 | 12.19 | 13.83 | 73.12 | 156.97 | 238.29 | 293.96 |
| Referenzgebäude | 852.63 | 151.19 | 128.42 | 97.15 | 48.65 | 24.06 | 14.23 | 11.14 | 11.40 | 27.58 | 59.89 | 118.65 | 160.29 |
| Warmwasser | 7100.48 | 599.55 | 540.92 | 596.76 | 574.22 | 589.66 | 588.36 | 640.50 | 629.30 | 570.49 | 593.13 | 577.95 | 599.63 |
| Referenzgebäude | 5969.63 | 695.64 | 602.10 | 551.80 | 295.79 | 381.67 | 330.74 | 340.39 | 419.22 | 401.44 | 544.06 | 647.45 | 759.34 |
| ->Hilfsg. Warmwasser | 56.41 | 3.67 | 3.32 | 3.66 | 3.52 | 3.61 | 5.76 | 9.93 | 8.59 | 3.50 | 3.64 | 3.54 | 3.68 |
| Referenzgebäude | 248.20 | 10.52 | 10.63 | 16.75 | 26.65 | 27.01 | 31.38 | 34.97 | 31.18 | 23.39 | 16.86 | 11.18 | 7.68 |
| Licht | 5561.69 | 501.87 | 432.43 | 461.44 | 435.38 | 442.19 | 426.06 | 444.11 | 451.81 | 450.28 | 484.54 | 493.13 | 538.45 |
| Referenzgebäude | 7254.77 | 653.64 | 563.88 | 602.28 | 568.65 | 577.82 | 556.82 | 580.27 | 590.05 | 587.59 | 631.63 | 642.02 | 700.11 |
| Kühlung | 2117.28 | 125.53 | 117.77 | 146.82 | 174.10 | 214.41 | 228.17 | 248.75 | 239.45 | 196.04 | 167.77 | 133.89 | 124.59 |
| Referenzgebäude | 2248.16 | 149.05 | 136.05 | 167.45 | 186.60 | 219.28 | 224.86 | 241.54 | 234.85 | 201.88 | 184.21 | 154.17 | 148.21 |
| ->Raumkühlung | 2117.28 | 125.53 | 117.77 | 146.82 | 174.10 | 214.41 | 228.17 | 248.75 | 239.45 | 196.04 | 167.77 | 133.89 | 124.59 |
| Referenzgebäude | 1416.61 | 89.08 | 82.91 | 102.64 | 118.10 | 140.86 | 146.47 | 157.28 | 152.34 | 129.43 | 115.00 | 94.05 | 88.46 |
| Referenzgebäude | 831.55 | 59.97 | 53.15 | 64.81 | 68.50 | 78.42 | 78.39 | 84.27 | 82.51 | 72.45 | 69.21 | 60.12 | 59.75 |

Außenbezirk Neuss
Bedarfsberechnung Variante Wärmepumpe, Endenergie
16.11.2015

| Gebäude Endenergie | Total [kWh] | Jan. [kWh] | Feb. [kWh] | März [kWh] | April [kWh] | Mai [kWh] | Juni [kWh] | Juli [kWh] | Aug. [kWh] | Sept. [kWh] | Okt. [kWh] | Nov. [kWh] | Dez. [kWh] |
|--------------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|----------------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|
| Gesamtenergie | 46883 | 7776 | 6676 | 5427 | 2845 | 1518 | 1070 | 1107 | 1181 | 1696 | 3540 | 6106 | 7939 |
| Referenzgebäude | 92041 | 16464 | 13852 | 10996 | 4768 | 2246 | 1590 | 1554 | 1642 | 2463 | 6543 | 12795 | 17127 |
| Heizung | 32913.05 | 6383.10 | 5465.80 | 4224.93 | 1881.53 | 582.64 | 177.41 | 59.88 | 74.73 | 565.80 | 2248.77 | 4753.22 | 6495.23 |
| Referenzgebäude | 72458.02 | 14624.18 | 12234.08 | 9318.08 | 3368.40 | 718.44 | 135.26 | 35.70 | 43.11 | 929.11 | 4835.14 | 11024.46 | 15192.06 |
| ->Raumwärme | 23801.17 | 4740.80 | 4057.49 | 3068.03 | 1272.73 | 321.58 | 61.69 | 7.59 | 16.41 | 378.41 | 1553.83 | 3496.69 | 4825.91 |
| Referenzgebäude | 67254.35 | 13629.51 | 11413.29 | 8681.45 | 3055.86 | 569.67 | 57.16 | 4.74 | 11.95 | 882.66 | 4458.61 | 10312.04 | 14177.42 |
| ->Heizregister | 726.94 | 124.60 | 105.56 | 91.36 | 53.53 | 26.89 | 13.34 | 5.84 | 6.56 | 16.60 | 59.12 | 96.38 | 127.14 |
| Referenzgebäude | 56.40 | 6.03 | 5.02 | 4.13 | 2.64 | 2.77 | 6.09 | 9.01 | 6.95 | 0.38 | 2.82 | 4.43 | 6.11 |
| ->Hilfseng. Heizung | 2750.70 | 515.65 | 435.15 | 359.13 | 176.34 | 53.56 | 7.53 | 0.86 | 1.90 | 64.15 | 210.81 | 395.39 | 530.23 |
| Referenzgebäude | 815.88 | 150.63 | 127.27 | 101.31 | 45.90 | 19.81 | 6.80 | 2.29 | 4.53 | 24.73 | 59.20 | 116.95 | 156.47 |
| ->Hilfseng. Heizregister | 726.94 | 124.60 | 105.56 | 91.36 | 53.53 | 26.89 | 13.34 | 5.84 | 6.56 | 16.60 | 59.12 | 96.38 | 127.14 |
| Referenzgebäude | 56.4 | 6.0 | 5.0 | 4.1 | 2.6 | 2.8 | 6.1 | 9.0 | 6.9 | 0.4 | 2.8 | 4.4 | 6.1 |
| Warmwasser | 3287.57 | 277.62 | 250.11 | 274.35 | 261.75 | 266.54 | 273.00 | 306.60 | 305.22 | 257.88 | 270.37 | 266.08 | 278.06 |
| Referenzgebäude | 5936.54 | 696.13 | 602.52 | 552.18 | 296.01 | 367.20 | 320.81 | 334.10 | 414.06 | 401.52 | 544.31 | 647.85 | 759.85 |
| ->Hilfseng. Warmwasser | 183.59 | 16.21 | 14.59 | 15.93 | 15.09 | 15.26 | 14.58 | 14.91 | 14.95 | 14.77 | 15.59 | 15.46 | 16.26 |
| Referenzgebäude | 242.96 | 10.52 | 10.63 | 16.75 | 26.65 | 25.23 | 29.76 | 33.95 | 30.34 | 23.39 | 16.87 | 11.18 | 7.69 |
| Licht | 8232.79 | 720.44 | 635.71 | 691.37 | 661.03 | 677.53 | 654.33 | 678.91 | 684.45 | 671.75 | 707.98 | 702.56 | 746.74 |
| Referenzgebäude | 8111.83 | 715.31 | 627.44 | 679.19 | 647.29 | 661.99 | 638.97 | 663.71 | 670.59 | 660.61 | 699.83 | 698.90 | 748.00 |
| RLT | 3848.17 | 326.83 | 295.20 | 326.83 | 316.29 | 326.83 | 316.29 | 326.83 | 326.83 | 316.29 | 326.83 | 316.29 | 326.83 |
| Referenzgebäude | 3296.79 | 280.00 | 252.90 | 280.00 | 270.97 | 280.00 | 270.97 | 280.00 | 280.00 | 270.97 | 280.00 | 270.97 | 280.00 |
| Kühlung | 2232.54 | 137.50 | 128.52 | 158.45 | 184.20 | 222.87 | 234.79 | 254.36 | 245.79 | 204.99 | 178.95 | 145.48 | 136.63 |
| Referenzgebäude | 2237.73 | 148.16 | 135.25 | 166.56 | 185.74 | 218.39 | 224.00 | 240.66 | 233.97 | 201.02 | 183.33 | 153.31 | 147.33 |
| ->Raumkühlung | 2232.54 | 137.50 | 128.52 | 158.45 | 184.20 | 222.87 | 234.79 | 254.36 | 245.79 | 204.99 | 178.95 | 145.48 | 136.63 |
| Referenzgebäude | 1416.62 | 89.08 | 82.91 | 102.64 | 118.10 | 140.86 | 146.47 | 157.28 | 152.34 | 129.43 | 115.00 | 94.05 | 88.46 |
| Referenzgebäude | 821.11 | 59.09 | 52.35 | 63.92 | 67.64 | 77.53 | 77.53 | 83.38 | 81.62 | 71.59 | 68.32 | 59.26 | 58.87 |

Außenbezirk Neuss
Bedarfsberechnung Variante Wärmepumpe, Energiearten
16.11.2015

| Gebäude | Total [kWh] | Jan. [kWh] | Feb. [kWh] | März [kWh] | April [kWh] | Mai [kWh] | Juni [kWh] | Juli [kWh] | Aug. [kWh] | Sept. [kWh] | Okt. [kWh] | Nov. [kWh] | Dez. [kWh] |
|--------------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|----------------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|
| Strom-Mix | | | | | | | | | | | | | |
| Gesamtenergie | 45915 | 7702 | 6609 | 5353 | 2774 | 1445 | 983 | 991 | 1066 | 1625 | 3466 | 6035 | 7865 |
| Referenzgebäude | 14762 | 1311 | 1159 | 1248 | 1179 | 1208 | 1177 | 1230 | 1226 | 1181 | 1242 | 1256 | 1346 |
| Heizung | 32913.05 | 6383.10 | 5465.80 | 4224.93 | 1881.53 | 582.64 | 177.41 | 59.88 | 74.73 | 565.80 | 2248.77 | 4753.22 | 6495.23 |
| Referenzgebäude | 872.28 | 156.67 | 132.30 | 105.44 | 48.54 | 22.58 | 12.88 | 11.30 | 11.47 | 25.11 | 62.02 | 121.38 | 162.59 |
| ->Raumwärme | 23801.17 | 4740.80 | 4057.49 | 3068.03 | 1272.73 | 321.58 | 61.69 | 7.59 | 16.41 | 378.41 | 1553.83 | 3496.69 | 4825.91 |
| ->Heizregister | 726.94 | 124.60 | 105.56 | 91.36 | 53.53 | 26.89 | 13.34 | 5.84 | 6.56 | 16.60 | 59.12 | 96.38 | 127.14 |
| Referenzgebäude | 56.40 | 6.03 | 5.02 | 4.13 | 2.64 | 2.77 | 6.09 | 9.01 | 6.95 | 0.38 | 2.82 | 4.43 | 6.11 |
| ->Hilfseng. Heizung | 2750.70 | 515.65 | 435.15 | 359.13 | 176.34 | 53.56 | 7.53 | 0.86 | 1.90 | 64.15 | 210.81 | 395.39 | 530.23 |
| Referenzgebäude | 815.88 | 150.63 | 127.27 | 101.31 | 45.90 | 19.81 | 6.80 | 2.29 | 4.53 | 24.73 | 59.20 | 116.95 | 156.47 |
| ->Hilfseng. Heizregister | 726.94 | 124.60 | 105.56 | 91.36 | 53.53 | 26.89 | 13.34 | 5.84 | 6.56 | 16.60 | 59.12 | 96.38 | 127.14 |
| Referenzgebäude | 56.4 | 6.0 | 5.0 | 4.1 | 2.6 | 2.8 | 6.1 | 9.0 | 6.9 | 0.4 | 2.8 | 4.4 | 6.1 |
| Warmwasser | 2319.36 | 203.41 | 183.15 | 200.49 | 190.69 | 193.58 | 185.30 | 189.83 | 190.29 | 187.28 | 196.97 | 194.55 | 203.83 |
| Referenzgebäude | 242.96 | 10.52 | 10.63 | 16.75 | 26.65 | 25.23 | 29.76 | 33.95 | 30.34 | 23.39 | 16.87 | 11.18 | 7.69 |
| ->Hilfseng. Warmwasser | 183.59 | 16.21 | 14.59 | 15.93 | 15.09 | 15.26 | 14.58 | 14.91 | 14.95 | 14.77 | 15.59 | 15.46 | 16.26 |
| Referenzgebäude | 242.96 | 10.52 | 10.63 | 16.75 | 26.65 | 25.23 | 29.76 | 33.95 | 30.34 | 23.39 | 16.87 | 11.18 | 7.69 |
| Licht | 8232.79 | 720.44 | 635.71 | 691.37 | 661.03 | 677.53 | 654.33 | 678.91 | 684.45 | 671.75 | 707.98 | 702.56 | 746.74 |
| Referenzgebäude | 8111.83 | 715.31 | 627.44 | 679.19 | 647.29 | 661.99 | 638.97 | 663.71 | 670.59 | 660.61 | 699.83 | 698.90 | 748.00 |
| RLT | 3848.17 | 326.83 | 295.20 | 326.83 | 316.29 | 326.83 | 316.29 | 326.83 | 326.83 | 316.29 | 326.83 | 316.29 | 326.83 |
| Referenzgebäude | 3296.79 | 280.00 | 252.90 | 280.00 | 270.97 | 280.00 | 270.97 | 280.00 | 280.00 | 270.97 | 280.00 | 270.97 | 280.00 |
| Kühlung | 2232.54 | 137.50 | 128.52 | 158.45 | 184.20 | 222.87 | 234.79 | 254.36 | 245.79 | 204.99 | 178.95 | 145.48 | 136.63 |
| Referenzgebäude | 2237.73 | 148.16 | 135.25 | 166.56 | 185.74 | 218.39 | 224.00 | 240.66 | 233.97 | 201.02 | 183.33 | 153.31 | 147.33 |
| ->Raumkühlung | 2232.54 | 137.50 | 128.52 | 158.45 | 184.20 | 222.87 | 234.79 | 254.36 | 245.79 | 204.99 | 178.95 | 145.48 | 136.63 |
| Referenzgebäude | 1416.62 | 89.08 | 82.91 | 102.64 | 118.10 | 140.86 | 146.47 | 157.28 | 152.34 | 129.43 | 115.00 | 94.05 | 88.46 |
| Referenzgebäude | 821.11 | 59.09 | 52.35 | 63.92 | 67.64 | 77.53 | 77.53 | 83.38 | 81.62 | 71.59 | 68.32 | 59.26 | 58.87 |

| Gebäude | Total [kWh] | Jan. [kWh] | Feb. [kWh] | März [kWh] | April [kWh] | Mai [kWh] | Juni [kWh] | Juli [kWh] | Aug. [kWh] | Sept. [kWh] | Okt. [kWh] | Nov. [kWh] | Dez. [kWh] |
|-----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|----------------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|
| Erdgas H | | | | | | | | | | | | | |
| Gesamtenergie | 968 | 74 | 67 | 74 | 71 | 73 | 88 | 117 | 115 | 71 | 73 | 72 | 74 |
| Referenzgebäude | 19699 | 4429 | 3698 | 2445 | 436 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 767 | 3174 | 4748 |
| Referenzgebäude | 19698.88 | 4428.71 | 3698.47 | 2445.22 | 436.47 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 767.32 | 3174.36 | 4748.32 |
| Referenzgebäude | 19698.88 | 4428.71 | 3698.47 | 2445.22 | 436.47 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 767.32 | 3174.36 | 4748.32 |
| Warmwasser | 968.21 | 74.21 | 66.95 | 73.86 | 71.06 | 72.96 | 87.70 | 116.77 | 114.94 | 70.59 | 73.40 | 71.53 | 74.22 |

Außenbezirk Neuss
Bedarfsberechnung Endenergie Holz-pellet-Kessel
31.10.2015

| Gebäude | Total | Jan. | Feb. | März | April | Mai | Juni | Juli | Aug. | Sept. | Okt. | Nov. | Dez. |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|---------|----------|----------|
| Endenergie | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] |
| Gesamtenergie | 115278 | 20245 | 17155 | 14475 | 7386 | 3045 | 1435 | 983 | 1188 | 3599 | 9037 | 15966 | 20764 |
| Referenzgebäude | 86581 | 15365 | 12928 | 10420 | 4824 | 2131 | 1321 | 1262 | 1356 | 2569 | 6470 | 12006 | 15930 |
| Heizung | 104095 | 19060.00 | 16138.54 | 13516.58 | 6722.48 | 2438.50 | 817.47 | 116.00 | 259.89 | 2717.35 | 7982.64 | 14810.27 | 19515.11 |
| Referenzgebäude | 70261.91 | 13805.58 | 11562.96 | 9022.56 | 3695.09 | 868.54 | 127.67 | 17.43 | 32.08 | 1305.47 | 5042.92 | 10506.74 | 14274.86 |
| ->Raumwärme | 103713 | 19003.52 | 16090.23 | 13474.61 | 6695.56 | 2409.32 | 803.89 | 114.91 | 256.62 | 2687.81 | 7954.20 | 14765.30 | 19457.13 |
| Referenzgebäude | 69438.92 | 13663.14 | 11442.62 | 8924.52 | 3644.22 | 843.77 | 113.31 | 6.23 | 20.63 | 1276.42 | 4980.82 | 10395.51 | 14127.73 |
| ->Hilfseng. Heizung | 381.74 | 56.48 | 48.31 | 41.97 | 26.92 | 29.19 | 13.59 | 1.09 | 3.27 | 29.54 | 28.44 | 44.96 | 57.98 |
| Referenzgebäude | 822.99 | 142.44 | 120.34 | 98.05 | 50.87 | 24.77 | 14.37 | 11.19 | 11.45 | 29.04 | 62.10 | 111.23 | 147.13 |
| Warmwasser | 7349.15 | 593.94 | 535.86 | 591.20 | 568.91 | 584.26 | 631.52 | 777.47 | 746.49 | 565.27 | 587.66 | 572.56 | 594.01 |
| Referenzgebäude | 5969.29 | 695.64 | 602.10 | 551.80 | 295.79 | 381.67 | 330.74 | 340.20 | 419.06 | 401.44 | 544.06 | 647.45 | 759.34 |
| Referenzgebäude | 248.14 | 10.52 | 10.63 | 16.75 | 26.65 | 27.01 | 31.38 | 34.94 | 31.16 | 23.39 | 16.86 | 11.18 | 7.68 |
| Licht | 6207.43 | 548.33 | 480.33 | 519.38 | 494.63 | 505.60 | 487.96 | 506.98 | 512.49 | 505.30 | 535.93 | 535.98 | 574.53 |
| Referenzgebäude | 8111.83 | 715.31 | 627.44 | 679.19 | 647.29 | 661.99 | 638.97 | 663.71 | 670.59 | 660.61 | 699.83 | 698.90 | 748.00 |
| Kühlung | 2194.81 | 135.24 | 126.45 | 155.96 | 181.35 | 219.23 | 230.83 | 249.80 | 241.30 | 201.40 | 175.89 | 143.04 | 134.33 |
| Referenzgebäude | 2237.67 | 148.15 | 135.24 | 166.55 | 185.74 | 218.39 | 224.00 | 240.66 | 233.97 | 201.02 | 183.32 | 153.30 | 147.32 |
| ->Raumkühlung | 2194.81 | 135.24 | 126.45 | 155.96 | 181.35 | 219.23 | 230.83 | 249.80 | 241.30 | 201.40 | 175.89 | 143.04 | 134.33 |
| Referenzgebäude | 1416.50 | 89.06 | 82.89 | 102.63 | 118.09 | 140.85 | 146.46 | 157.27 | 152.34 | 129.42 | 114.99 | 94.04 | 88.45 |
| Referenzgebäude | 821.18 | 59.09 | 52.35 | 63.92 | 67.65 | 77.54 | 77.54 | 83.39 | 81.63 | 71.60 | 68.33 | 59.27 | 58.87 |

Tabelle der verwendeten Bauteile, Bestand vor Optimierung

| | Bauteil | Bezeich | Ri. | Fläche [m²] | U-Wert [W/m²K] | Fak | Gewinn in % | Verlust in % |
|------|------------------|---------|-----|----------------|-------------------|------|----------------|-----------------|
| 1 | Wand | | | | | | | |
| 1.1 | 36.5 KS-Kli 6/40 | AwNO01 | NO | 85.83 | 0.417 | 1.00 | 0.092% | 2.694% |
| 1.2 | 38 Poro-Kli 6/35 | AwNO01a | NO | 18.41 | 0.326 | 1.00 | 0.015% | 0.451% |
| 1.3 | 36.5 KS-Kli 6/40 | AwSO010 | SO | 31.03 | 0.417 | 1.00 | 0.115% | 0.974% |
| 1.4 | 38 Poro-Kli 6/35 | AwSO01a | SO | 9.88 | 0.326 | 1.00 | 0.029% | 0.242% |
| 1.5 | 36.5 KS-Kli 6/40 | AwSO012 | SO | 19.57 | 0.417 | 1.00 | 0.072% | 0.614% |
| 1.6 | 36.5 KS-Kli 6/40 | AwSO013 | SO | 39.31 | 0.417 | 1.00 | 0.146% | 1.234% |
| 1.7 | 38 Poro-Kli 6/35 | AwSW01 | SW | 19.51 | 0.326 | 1.00 | 0.048% | 0.479% |
| 1.8 | 36.5 KS-Kli 6/40 | AwNW10 | NW | 13.25 | 0.417 | 1.00 | 0.010% | 0.416% |
| 1.9 | 36.5 KS-Kli 6/40 | AwNW11 | NW | 15.64 | 0.417 | 1.00 | 0.012% | 0.491% |
| 1.10 | 36.5 KS-Kli 6/40 | AwNW012 | NW | 11.98 | 0.417 | 1.00 | 0.009% | 0.000% |
| 1.11 | 36.5 KS-Kli 6/40 | AwNW013 | NW | 47.19 | 0.417 | 1.00 | 0.036% | 1.481% |
| 1.12 | 38 Poro-Kli 6/35 | AwNW01a | NW | 32.92 | 0.326 | 1.00 | 0.020% | 0.807% |
| 1.13 | 10 FW 8/40 | AwSO02 | SO | 18.67 | 0.446 | 1.00 | 0.074% | 0.627% |
| 1.14 | 10 FW 8/40 | AwSW02 | SW | 10.47 | 0.446 | 1.00 | 0.036% | 0.352% |
| 1.15 | 10 FW 8/40 | AwNO02 | NO | 10.47 | 0.446 | 1.00 | 0.012% | 0.352% |
| | | | | 384.14 | 0.401 | | 0.73% | 11.22% |

| | Bauteil | Bezeich | Ri. | Fläche [m ²] | U-Wert [W/m ² K] | Fak | Gewinn in % | | Verlust in % |
|------|---|--------------|-----|-----------------------------|--------------------------------|------|----------------|---------------|-----------------|
| 2 | Fenster, Fenstertüren | | | | | | g | | |
| 2.1 | Kunststoff Bj 90-95 Ug=2,3W/m ² K g=0,65 | AwNO01 | NO | 15.43 | 2.403 | 1.00 | 0.65 | 1.566% | 2.791% |
| 2.2 | offener Durchlass | AwNO01 | NO | 2.78 | 6.438 | 1.00 | 0.99 | 0.303% | 1.344% |
| 2.3 | Ku Ug=1,1W/m ² K g=0,43 | AwNO01a | NO | 4.74 | 1.581 | 1.00 | 0.43 | 0.322% | 0.563% |
| 2.4 | Ku Ug=1,1W/m ² K g=0,43 | AwNO01a | NO | 0.60 | 2.043 | 1.00 | 0.43 | 0.022% | 0.093% |
| 2.5 | Kunststoff Bj 90-95 Ug=2,3W/m ² K g=0,65 | AwSO010 | SO | 4.41 | 2.358 | 1.00 | 0.65 | 0.882% | 0.782% |
| 2.6 | AWS65 Uf=2,2 Ug=1,5 g=68 | AwSO010 | SO | 4.17 | 1.747 | 1.00 | 0.68 | 0.965% | 0.548% |
| 2.7 | Garagentor 5,0 | AwSO013 | SO | 54.61 | 5.000 | 1.00 | --- | ---- | 20.545% |
| 2.8 | Ku Ug=1,1W/m ² K g=0,43 | AwSW01 | SW | 2.20 | 1.547 | 1.00 | 0.43 | 0.266% | 0.257% |
| 2.9 | Haustür mit Fenster 2,70 | AwSW01 | SW | 2.03 | 2.700 | 1.00 | 0.20 | 0.101% | 0.412% |
| 2.10 | Kunststoff Bj 90-95 Ug=2,3W/m ² K g=0,65 | AwNW10 | NW | 6.39 | 2.353 | 1.00 | 0.65 | 0.639% | 1.130% |
| 2.11 | Kunststoff Bj 90-95 Ug=2,3W/m ² K g=0,65 | AwNW11 | NW | 20.80 | 2.345 | 1.00 | 0.65 | 2.231% | 3.671% |
| 2.12 | Kunststoff Bj 90-95 Ug=2,3W/m ² K g=0,65 | AwNW012 | NW | 3.26 | 2.369 | 1.00 | 0.65 | 0.292% | 0.000% |
| 2.13 | Ku Ug=1,1W/m ² K g=0,43 | AwNW01a | NW | 11.42 | 1.572 | 1.00 | 0.43 | 0.696% | 1.350% |
| 2.14 | Kunststoff Bj 90-95 Ug=2,3W/m ² K g=0,65 | AwSO02 | SO | 23.03 | 2.366 | 1.00 | 0.65 | 4.198% | 4.100% |
| | | | | 155.87 | 3.255 | | | 12.48% | 37.59% |
| 3 | Decke zum Dachge., Dach | | | | | | | | |
| 3.1 | 14 Sttrpz 20/35 eps | SDNW01 | | 280.76 | 0.170 | 1.00 | | 0.320% | 3.583% |
| 3.2 | 14 Sttrpz 20/35 eps | SDNW012 | | 172.04 | 0.170 | 1.00 | | 0.196% | 2.196% |
| 3.3 | 14 Sttrpz 20/35 eps | SDSO01 | | 108.72 | 0.170 | 1.00 | | 0.124% | 1.387% |
| 3.4 | 16 Bn 20/035 MW Flada | FDAmbau | | 75.09 | 0.166 | 0.80 | | --- | 0.752% |
| | | | | 636.62 | 0.165 | | | 0.64% | 7.92% |
| 4 | Grundfläche, Kellerdecke | | | | | | | | |
| 4.1 | 18.0 Bn 3/40 SchwEstrFli | GF_alt_Büro | | 168.88 | 0.845 | 0.35 | | --- | 3.759% |
| 4.2 | 18.0 Bn 3/40 SchwEstrFli | GF_alt_Serve | | 17.67 | 0.845 | 0.35 | | --- | 0.000% |
| 4.3 | 18.0 Bn 3/40 SchwEstrFli | GF_alt_Lage | | 104.98 | 0.845 | 0.35 | | --- | 2.336% |
| 4.4 | 18.0 Bn 3/40 SchwEstrFli | GF__altWC | | 78.47 | 0.845 | 0.35 | | --- | 1.746% |
| 4.5 | 18.0 Bn 3/40 SchwEstrFli | GF_altHalle | | 187.34 | 0.845 | 0.35 | | --- | 4.169% |
| 4.6 | 15.1 Bn 9/35 | GF_Ambau | | 74.53 | 0.349 | 0.35 | | --- | 0.686% |
| | | | | 631.87 | 0.275 | | | ----- | 12.70% |

| | Bauteil | Bezeich | Ri. | Fläche [m ²] | U-Wert [W/m ² K] | Fak | Gewinn in % | Verlust in % |
|------|----------------|---------------|-----|-----------------------------|--------------------------------|------|----------------|-----------------|
| 7 | Zwischenwände | | | | | | | |
| 7.1 | 24.1 KSPP 0/0 | Zw2_16 | | 60.82 | 1.531 | 1.00 | --- | 0.000% |
| 7.2 | 24.1 KSPP 0/0 | Zw2_22 | | 15.63 | 1.531 | 1.00 | --- | 0.000% |
| 7.3 | 24.1 KSPP 0/0 | Zw16_20 | | 27.27 | 1.531 | 1.00 | --- | 0.000% |
| 7.4 | 24.1 KSPP 0/0 | Zw16_22 | | 19.71 | 1.531 | 1.00 | --- | 0.000% |
| 7.5 | 24.1 KSPP 0/0 | Zw16_222 | | 9.24 | 1.531 | 1.00 | --- | 0.000% |
| 7.6 | 24.1 KSPP 0/0 | Zw20_22 | | 51.68 | 1.531 | 1.00 | --- | 0.000% |
| 7.7 | 24.1 KSPP 0/0 | Zw20_211 | | 15.24 | 1.531 | 1.00 | --- | 0.000% |
| 7.8 | 24.1 KSPP 0/0 | Zsw20_212 | | 13.32 | 1.531 | 1.00 | --- | 0.000% |
| 7.9 | 24.1 KSPP 0/0 | Zw18_221 | | 48.07 | 1.531 | 1.00 | --- | 0.000% |
| 7.10 | 24.1 KSPP 0/0 | Zw18_222 | | 22.62 | 1.531 | 1.00 | --- | 0.000% |
| | | | | 283.60 | 1.531 | | ----- | ----- |
| 8 | Zwischendecken | | | | | | | |
| 8.1 | 18 Bn 8/35 | Zd2_18 | | 168.88 | 0.344 | 1.00 | --- | 0.000% |
| 8.2 | 18 Bn 8/35 | Zd16_18 | | 78.47 | 0.344 | 1.00 | --- | 0.000% |
| 8.3 | 18 Bn 8/35 | Zd20_18 | | 104.98 | 0.344 | 1.00 | --- | 0.000% |
| 8.4 | 18 Bn 8/35 | Zd21_18 | | 17.87 | 0.344 | 1.00 | --- | 0.000% |
| | | | | 370.20 | 0.344 | | ----- | ----- |
| | | Summe: | | 1808.50 | | | | |

Jahresprimärenergiebedarf Q"P = 239.7 [kWh/m²a]

Q"Pmax = 190.7 [kWh/m²a]

Anlage 7

Energiekonzept Außenbezirk Niederkassel

Auftraggeber / Bauherr Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)
Kußmaulstraße 17
76187 Karlsruhe

Daniel Erndwein
Tel.: 0721 9726-5980
Email: daniel.erndwein@baw.de

Auftragnehmer EGS-Plan Ingenieurgesellschaft für
Energie-, Gebäude- und Solartechnik mbH
Gropiusplatz 10
70563 Stuttgart

Tel. +49 711 99 007 - 5
Fax +49 711 99 007 - 99
www.egs-plan.de
info@egs-plan.de

Bearbeitung Simone Idler, M.Sc.
Bernd Bauer

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Zusammenfassung | 4 |
| 2 | Liegenschaftsdaten | 5 |
| 3 | Bestandsaufnahme | 6 |
| 3.1 | Sichtbare Mängel | 6 |
| 3.2 | Gebäudehülle | 7 |
| 3.3 | Anlagentechnik | 9 |
| 4 | Energieverbrauch | 12 |
| 5 | Energiebedarf | 14 |
| 5.1 | Zonierung | 14 |
| 5.2 | Normierte Berechnung des Bestandes nach DIN V 18599 | 14 |
| 5.3 | Bedarfs-/Verbrauchsabgleich | 14 |
| 6 | Modernisierungsempfehlungen | 16 |
| 6.1 | Untersuchte Varianten | 16 |
| 6.2 | End- und Primärenergiebedarf bzw. CO ₂ -Emissionen | 19 |
| 6.3 | Wirtschaftlichkeitsberechnung | 22 |
| 7 | Anlagen | 26 |

1 Zusammenfassung

EGS-plan hat gemeinsam mit dem Gebäudeeigentümer und Vertreter der Bundesanstalt für Wasserbau und dem Gebäudenutzer das Gebäude in einer Begehung besichtigt. Dabei wurden das Gebäude und die für die Energieversorgung relevante Anlagentechnik besichtigt und Bauteile und Technik aufgenommen. Die Begehungen wurden in einer Fotodokumentation festgehalten. Zusätzlich zur Begehung wurden Pläne und Revisionsunterlagen gesichtet. Gespräche mit Gebäudeeigentümer und Nutzer fanden im Rahmen der Begehungen sowie telefonisch und per email statt. Sie dienten der Klärung offener Fragen zu Bauteilen, Nutzung, Anlagen und deren Betriebsführung und dem Austausch von Energierechnungen.

Bei der Bestandsaufnahme wurde kleinere Mängel festgestellt: teilweise ist die Außenwand ungedämmt und die Außeneinheiten der Splitgeräte sind im Dachraum zwischen Decke und ungedämmtem Dach aufgestellt. Im Sommer kommt es hier zu starker Überhitzung und einer nicht effizienten Rückkühlung. Das Gebäude wird über einen Niedertemperaturgaskessel beheizt und mit Warmwasser versorgt. Dieser hat die rechnerische Lebensdauer nach VDI 2067 von 18 Jahren bereits überschritten und muss in absehbarer Zeit ausgetauscht werden.

Es wurden 13 Einzelmaßnahmen untersucht, welche zu vier Sanierungsvarianten zusammengefasst wurden. Für die einzelnen Varianten wurden der End- und Primärenergieeinsatz sowie die CO₂-Emissionen berechnet. Anschließend wurde eine Wirtschaftlichkeitsberechnung mit einem Zeitraum von 20 Jahren durchgeführt.

Eine Sanierung auf EnEV 2014 für Bestandsgebäude lässt sich durch den Austausch der Wärmeversorgung durch einen Gas-Brennwertkessel und die Durchführung eines hydraulischen Abgleichs erreichen. Für diese Variante müssen keine baulichen Maßnahmen an der Gebäudehülle durchgeführt werden. Für die Erfüllung des EEWärmeG müssen jedoch 25% des Gasbedarfs durch Biomethan gedeckt werden. Die Variante hat niedrigere Jahresgesamtkosten als das aktuelle Gebäude und wird daher zur Umsetzung empfohlen. Eine Sanierung auf Neubaustandard nach EnEV 2014 und eine regenerative Wärmeversorgung sind nur mit hohem Aufwand an der Gebäudehülle mit Innendämmung der Außenwände und Umstellung der Wärmeerzeugung zu erreichen. Die Varianten sind technisch schwierig umzusetzen und wirtschaftlich nicht darstellbar. Sie werden daher nicht zur Umsetzung empfohlen.

Zusätzlich zur Umsetzung der Variante 1 werden nicht-investive Maßnahmen zur Betriebsoptimierung wie die Anpassung der Heizkurve und der Nachtabsenkung empfohlen.

2 Liegenschaftsdaten

| | |
|-------------------------------------|--|
| Bezeichnung der Liegenschaft | Betriebswerkgebäude Niederkassel |
| Adresse | Rheinallee 31 53859 Niederkassel |
| Ansprechpartner vor Ort | Herr Trurnit, Tel.: 0228-945224-22 |
| Hauptnutzung | Büro- und Sozialräume, Lager, Werkstätten |
| Nettogrundfläche beheizt | 455 m ² |
| Baujahr | 1999 |
| Konditionierung | beheizt, teilw. belüftet, teilw. gekühlt |
| Nutzungszeiten | Mo - Do: 06:45-15:30 Uhr Fr: 06:45-12:45 Uhr |
| Anforderung an die Raumkonditionen? | Büro- und Sozialbereiche: 21 °C Lager- und Werkstätten: frostfrei 12-19°C |
| Besonderheiten | gering beheizte Bereiche vorhanden |

Tabelle 1 Angaben zur Liegenschaft und Ansprechpartner

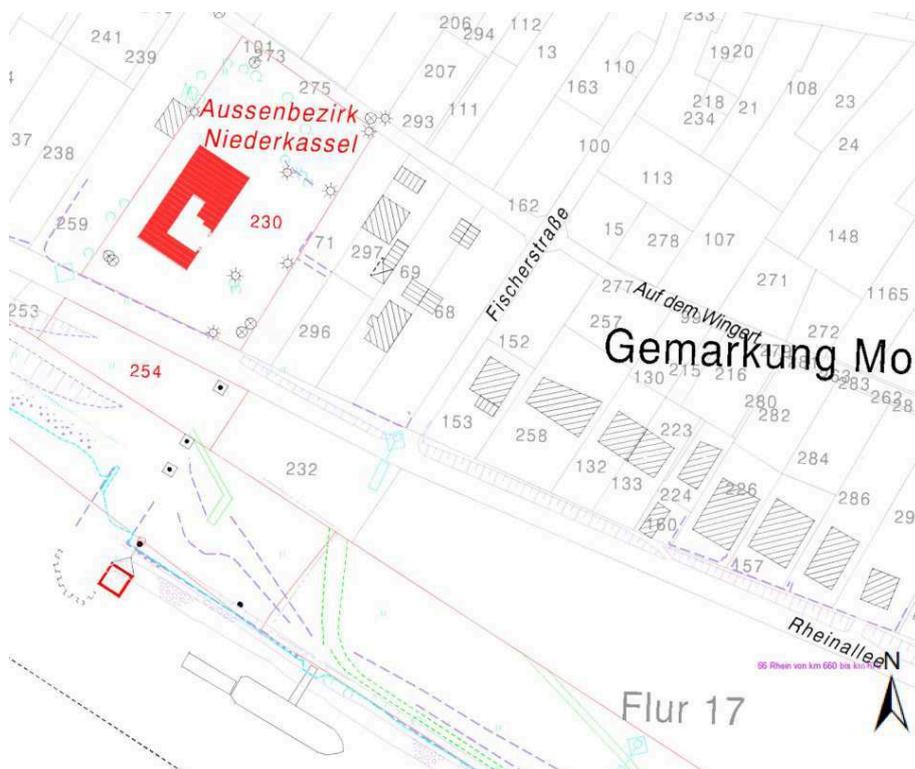


Abbildung 1 Lage des Gebäudes

3 Bestandsaufnahme

3.1 Sichtbare Mängel

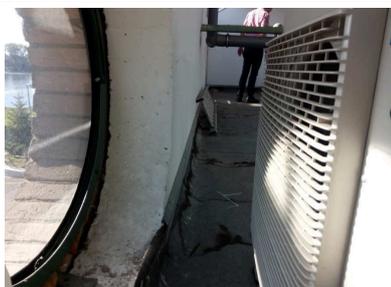
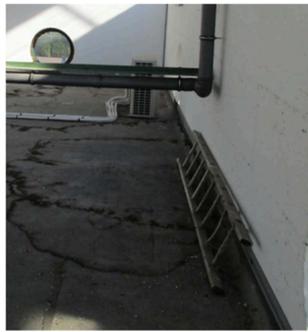
| Nr. | Bauteil | Foto | Beschreibung |
|-----|-----------|---|---|
| 1. | Dach |  | An der Dachabdeckung im Zwischenraum unterhalb des Daches sind Wasserflecken sichtbar. Es wird vermutet, dass aufsteigende Wärme Kondensat verursacht, welches vom kalten Dach auf die Abdichtung tropft. |
| 2. | Außenwand |  | Undichtigkeiten Fassade durch Zuluftöffnung der Heizungsanlage (für momentane Heizkessel notwendig) |
| 3. | Außenwand |  | Teilweise keine Dämmung zwischen Mauerwerk und Blendmauerwerk |
| 4. | Kälte |  | Außeneinheiten der Splitgeräte sind im Dachraum aufgestellt. Im Sommer treten dort hohe Temperaturen auf, der Bereich ist nicht quer durchlüftet. |
| 5. | Heizung | | Einstellung der Nachtabsenkung momentan ab 22:00 Uhr. Eine Optimierung mit Absenkung ab 17:00 Uhr wird empfohlen. |

Tabelle 2 sichtbare Mängel Gebäudehülle und Technik

3.2 Gebäudehülle

Die U-Werte wurden anhand der aufgenommenen Bauteilspezifikationen berechnet. Die der Berechnung zugrunde liegende λ – Werte wurden abgeschätzt. Detaillierte Bauteildaten sind im Anlage 1.1 bis 1.4 beigefügt.

| Bauteil | Foto | Typ | U-Wert [W/(m²K)] |
|-----------------|---|--|------------------|
| Außenwände AW 1 |  | Zweischaliges hinterlüftetes Mauerwerk mit Kerndämmung | 0,411 |
| Außenwand AW 2 |  | Zweischaliges hinterlüftetes Mauerwerk | 2,317 |
| Außenwand AW 3 |  | Zweischaliges hinterlüftetes Mauerwerk mit Kerndämmung | 1,797 |
| Innenwand IW 1 | | Zweischalige Innenwand mit Kerndämmung | 0,753 |
| Dach DE 2 |  | Stahlbetondecke gegen unbeheizten Dachraum | 0,234 |
| Dach DA 1 |  | Begehbares Dach Stahlbetondach | 0,198 |

| | | | |
|------------------------------|---|--|-------|
| Eingangstür AT 01 |  | Verglaste Eingangstür zum Büro Gebäude. | 2,500 |
| Stahltür AT 02 |  | Stahltüren zu den Werkstätten und Innenhofseitige Eingänge in das Bürogebäude. | 2,500 |
| Tore AT 03 |  | Stahltore zur Konservierung und Metallbearbeitung. | 3,000 |
| Fenster (Glas + Rahmen) |  | Zweischürigen Isolierverglasung mit Kunststoff rahmen | 1,600 |
| Dachfenster (Glas + Rahmen) |  | Zweischürigen Isolierverglasung mit Kunststoff rahmen | 2,000 |
| Fußboden gegen Erdreich FB 1 | | Schwimmender Estrich mit Perimeterdämmung | 0,199 |
| Fußboden gegen Erdreich FB 2 | | Bodenplatte mit Perimeterdämmung | 0,268 |

Tabelle 3 Übersicht Gebäudehülle

Der Mindestwärmeschutz des Bestandsgebäudes nach EnEV 2014 wird eingehalten. Laut Aussagen der Nutzer und bei der Begehung konnte kein Schimmelpilzbefall festgestellt werden. Nutzungsbedingte Schallschutzprobleme konnten bei der Begehung nicht identifiziert werden. Die Werkstattbereiche werden für Schlosser- und Schreinerarbeiten genutzt und sind räumlich vom Bürobereich getrennt. Die Brandschutzabschnitte werden durch T30 Türen abgetrennt. Es wurden bei der Begehung keine gesundheitlich kritischen Baumaterialien identifiziert.

3.3 Anlagentechnik

Die Anlagentechnik wurde bei der Gebäudebegehung aufgenommen und in den folgenden Tabellen dokumentiert. Das Gebäude wird zentral über einen atmosphärischen Gas-Niedertemperaturkessel beheizt. Die Schlosserei hat eine dezentrale Abluft. Die Büroräume, Der Aufenthaltsraum und der Serverraum werden über Split-Kältegeräte gekühlt.

| Heizung und Warmwasserbereitung | |
|---|--|
|  | <p>Erzeugung + Verteilung: Gas-Niedertemperaturkessel ohne Gebläse, Viessmann, LVO 45 Baujahr 1997 Heiznennleistung: 45 kW 4 Heizkreise: Büros EG, Büros OG, Werkstätten, WWB Soll – Raumtemperatur > 21°C (Heizkurve:1,6) Nachtabsenkung 22:00 - 06:00 Uhr (7 Tage/ Woche)</p> |
|  | <p>Übergabe: statische Heizung mit Radiatoren Thermostatventile (Abb. rechts: Büro, Abb. links Werkstatt) IST - Raumtemperatur: In Büro- und Sozialräumen: > 21 °C Werkstattbereich: 17°C</p> |
|  | <p>Über Heizung Gas-Niedertemperaturkessel Speicherinhalt: 350 l</p> <p>Warmwasserverbrauch: Duschen werden regelmäßig benutzt, ca. 4-5 Duschen/Tag</p> |

Tabelle 4 Techn. Daten Wärmeversorgung

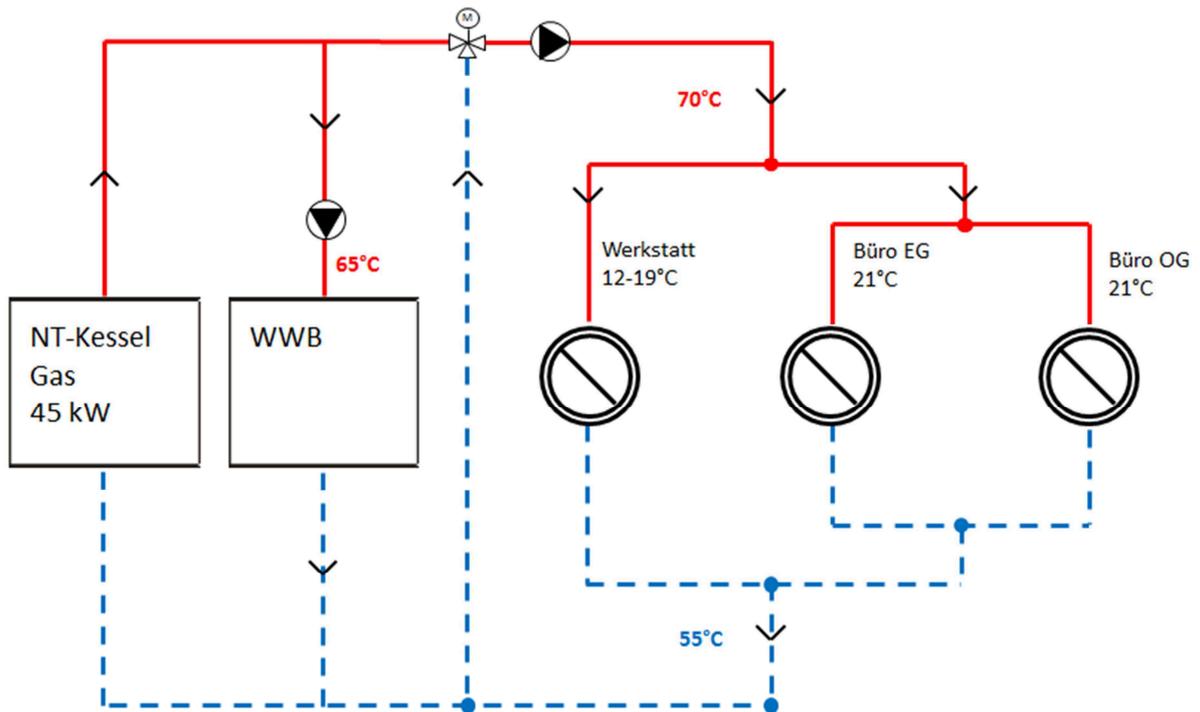


Abbildung 2 Schema Heizungsversorgung

| Dezentrale Kühlung | |
|---|--|
|   | <p>Split-Kältegerät Panasonic, CU-4E23LBE, Bj.:2012 Inneneinheit: Büro Turnit, Sekretariat, Aufenthaltsraum (3x) Außeneinheit: Dach Kälteleistung: 6,8 kW Kältemittel: R410A</p> |
|   | <p>Split-Kältegerät Panasonic, CU-E9HKEA, Bj.:2012 Inneneinheit: Serverraum Außeneinheit: Dach Kälteleistung: 2,6 kW Elektr. Leistung: 590 W Kältemittel: R410A</p> |

| | | |
|---|---|--|
|  |  | <p>Split-Kältegerät Panasonic, CU-3E18LBE, Bj.:2012 Inneneinheit: Büro (2x), Kopierraum Außeneinheit: Dach Kälteleistung: 6,8 kW Kältemittel: R410A</p> |
|---|---|--|

Tabelle 5 Techn. Daten Kälte

| Lüftung | |
|--|---|
|  | <p>dezentrale Abluft Schlosserei dezentrale Absaugung in Schlosserei Fa. Kemper Abluft: 1.000 m³/h Leistung: 1,1 kW Laufzeit: ca. 50h/a nach Bedarf</p> |
| Lüftungsanlage in Lackiererei stillgelegt | |

Tabelle 6 Techn. Daten Lüftung

Büro und Aufenthaltsbereiche sowie die restlichen Werkstätten und Lager werden natürlich über Fenster belüftet. Die Luftqualität ist in Ordnung.

| Beleuchtung und Sonnenschutz | |
|------------------------------|---|
| Beleuchtung |  |
| | Büro, Aufenthalt/ Umkleide, Werkstätten, Lager Leuchtstofflampen stabförmig mit KVG, direkte Beleuchtung Steuerung: manuell |
| Sonnenschutz | Innenliegender Sonnenschutz in den Büroräumen |

Tabelle 7 Techn. Daten Beleuchtung und Sonnenschutz

Die Beleuchtungsstärken sind ausreichend.

4 Energieverbrauch

Der Energieverbrauch wurde anhand vorliegender Energierechnungen erfasst. Die Witterungsbereinigung für den Heizwärmeverbrauch erfolgte anhand von Klimafaktoren des deutschen Wetterdienst, s. Abbildung 3.

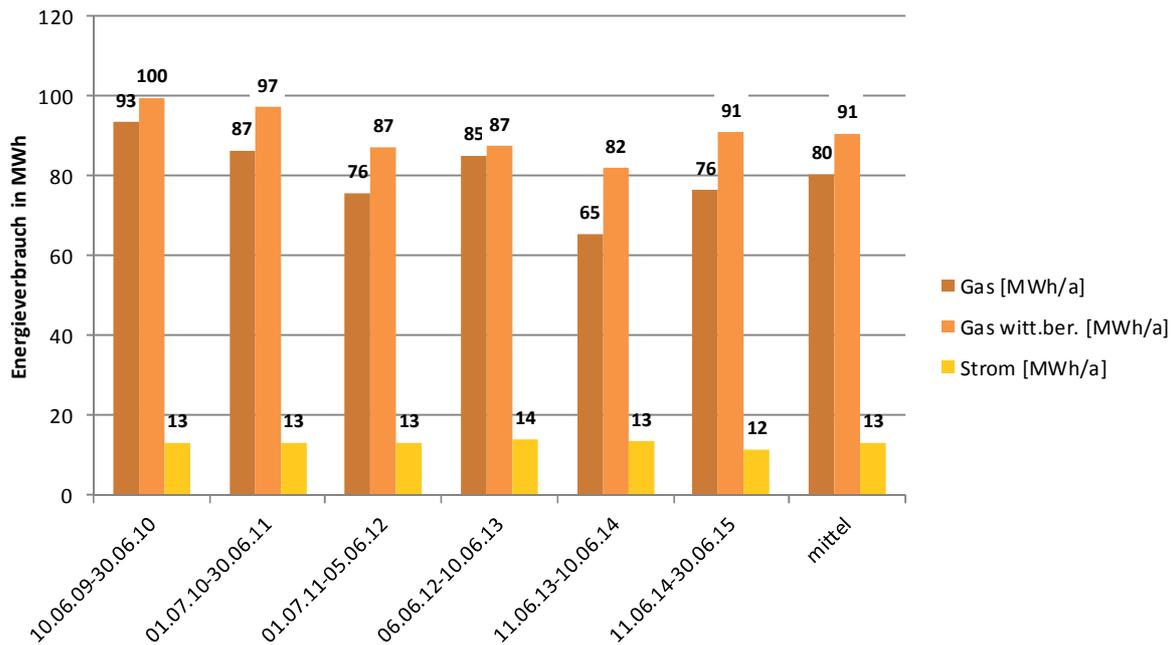


Abbildung 3 jährlicher absoluter Energieverbrauch, gemessen

Der Warmwasserverbrauch wurde nach Absprache mit dem Gebäudenutzer abgeschätzt, s. Abbildung 4.



Abbildung 4 jährlicher spezifischer Gasverbrauch (Anteile Warmwasser berechnet)

5 Energiebedarf

5.1 Zonierung

Die Zonierung des Gebäudes erfolgt anhand der Nutzungsprofile nach DIN V 18599 Teil 10.

| Zone | Nutzungsprofil | NGF [m ²] |
|---------------------------|----------------|-----------------------|
| Einzelbüro gekühlt | 1 | 86,22 |
| Sonstige Aufenthaltsräume | 17 | 33,02 |
| Werkstätten | 22.2 | 88,51 |
| Verkehrsflächen | 19 | 86,72 |
| Sanitäräume | 16 | 76,07 |
| Server | 21 | 8,46 |
| Lager/ Technik, Archiv | 20 | 75,94 |

Tabelle 8 Zonierung nach DIN V 18599

Grundrisspläne mit Zonierung der einzelnen Räume sind in der Anlage 2 beigefügt.

5.2 Normierte Berechnung des Bestandes nach DIN V 18599

Die Berechnungen wurden mit der Software Solar Computer der Version 5.13.03 durchgeführt. Es liegen die standardisierten Nutzerprofile nach DIN V 18599 Teil 10 zugrunde.

| Energiebedarf | Gebäude normiert | Referenzgebäude | Gebäude normiert | Referenzgebäude |
|------------------------|------------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| | [kWh/m ² a] | | [kWh/a] | |
| Endenergiebedarf Wärme | 275 | | 125 | |
| Endenergiebedarf Strom | 18 | | 8 | |
| Primärenergiebedarf | 304 | 287 | 138 | 130 |

Tabelle 9 Normierte Berechnung nach DIN V 18599

Das Gebäude überschreitet den Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes im Bestand um 6 %.

5.3 Bedarfs-/Verbrauchsabgleich

Der errechnete Wärmebedarf aufgrund der standardisierten Berechnungen nach DIN V 18599 liegt über 100% über den tatsächlichen Verbrauchswerten, s. Tabelle 10. Der Bedarfs-Verbrauchs-Abgleich wurde mit Hilfe des mittleren gemessenen Energieverbrauchs und der individuellen Anpassung der Nutzerprofile vorgenommen. Die angepassten

Nutzungsprofile sind in Anlage 4 beigefügt. Die Abweichung zwischen Bedarf und Verbrauch nach dem Abgleich liegt bei 18%.

| Energie | Verbrauch IST gemessen | Bedarf DIN V 18599 normiert | Bedarf DIN V 18599 angepasst |
|---|------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Endenergie Wärme [kWh/m ² a] | 199 | 275 | 236 |
| Abweichung [%] | 0% | 38% | 18% |

Tabelle 10 Bedarfs-/Verbrauchsabgleich Wärme Betriebswerkgebäude

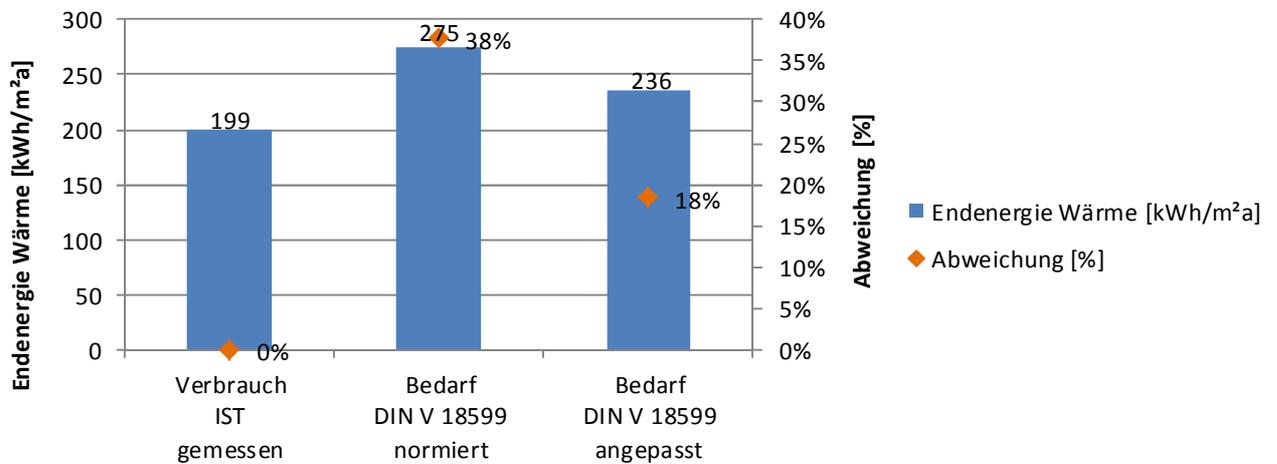


Abbildung 5 Bedarfs-/Verbrauchsabgleich Wärme Betriebswerkgebäude

6 Modernisierungsempfehlungen

6.1 Untersuchte Varianten

Die untersuchten Sanierungsmaßnahmen werden zu sinnvollen Maßnahmenpaketen zusammengefasst. Es werden die folgenden Einzelmaßnahmen untersucht:

| Nr. | Beschreibung Sanierungsmaßnahme | Sanierungsvarianten | | | |
|-----|--|------------------------|---------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| | | 1. Sanierung ENEV 2014 | 2. Neubau EnEV 2014 | 3. Regenerative Wärmeversorgung | 4. Wirtschaftl. Maßnahmenpaket |
| 1. | Innendämmung Außenwand AW1 | | X | X | |
| 2. | Austausch Fenster | | X | X | |
| 3. | Außenwand AW2 Luftspalt geschäumt | | X | X | |
| 4. | Innendämmung Außenwand AW3 | | X | X | |
| 5. | Austauschahltüren | | X | X | |
| 6. | Austausch Tore | | X | X | |
| 7. | Austausch Eingangstüre | | X | X | |
| 8. | Austausch Heizkessel durch Gasbrennwertkessel 45 kWth | X | | | X |
| 9. | Hydraulischer Abgleich | X | X | X | X |
| 10. | Grundwasser-Wärmepumpe 35 kWth mit Wärmequelle Brunnen | | X | X | |
| 11. | Erneuerung Heizverteilung mit Einbindung Warmwasserbereitung | | X | X | |
| 12. | Versetzen von Heizkörpern wg. Innendämmung | | X | X | |
| 13. | Photovoltaikanlage Dach | | | X | |

Tabelle 11 Zuordnung der Einzelmaßnahmen zu den Maßnahmenpaketen

Variante 1: Sanierung nach EnEV 2014

Der Jahres-Primärenergiebedarf und der Transmissionswärmetransferkoeffizient des Referenzgebäudes nach EnEV 2014 (Randbedingungen ab 1.1.2016) werden um nicht mehr als 40% überschritten. Der bestehende Niedertemperaturgaskessel wird durch einen Gasbrennwertkessel ersetzt und ein hydraulischer Abgleich durchgeführt, s. Abbildung 6. Um die Anforderungen des EEWärmeG einzuhalten werden 25 % der Wärmeenergie aus Biomethan erzeugt.

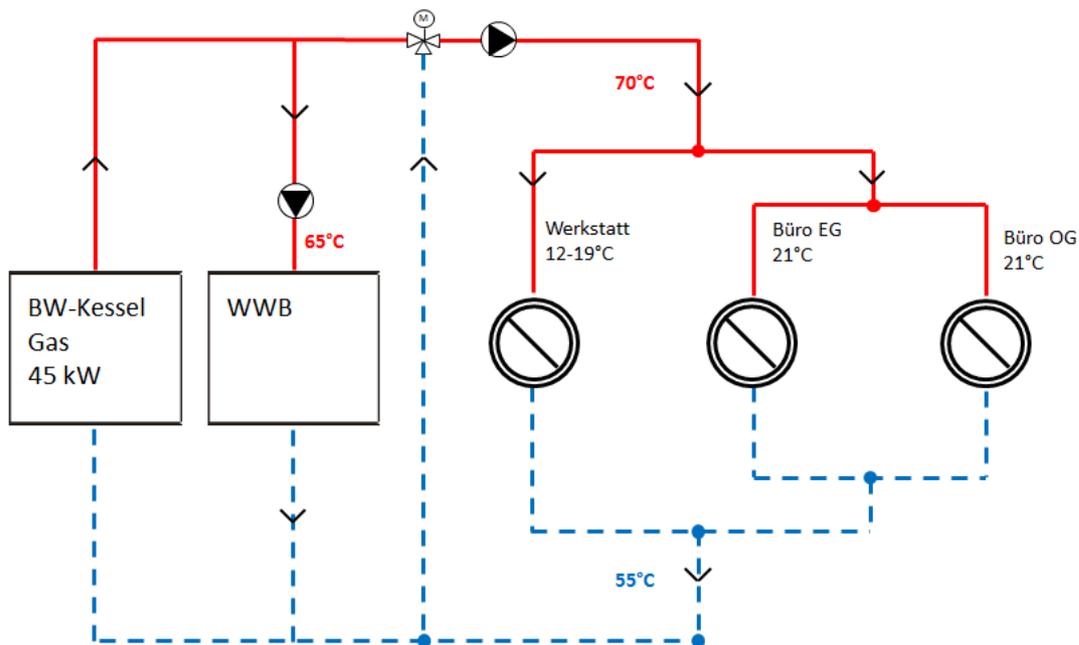


Abbildung 6 Schema Wärmeversorgung V1 Sanierung nach EnEV 2014

Variante 2: Sanierung nach Neubaustandard EnEV 2014

Der Jahres-Primärenergiebedarf und der Transmissionswärmetransferkoeffizient des Referenzgebäudes nach EnEV 2014 (Randbedingungen ab 1.1.2016) werden eingehalten. Die Anforderungen an die Gebäudehülle sind nur mit großem Aufwand und im Bereich der Außenwand nur mit Innendämmung zu erreichen. Dies ist kann bei nicht sachgerechter Ausführung Schäden am Bauwerk verursachen und hat zur Folge, dass Heizkörper umgesetzt werden müssen. Der Wärmebedarf für Heizung und Warmwasser wird über eine Grundwasserwärmepumpe mit Wärmequelle Brunnen erzeugt, s. Abbildung 7. Das EEWärmeG wird durch einen Anteil von 50% Umweltwärme am Wärmeenergieverbrauch eingehalten. Die durch das EEWärmeG vorgeschriebene Jahresarbeitszahl der Wärmepumpen von 3,6 kann jedoch durch die hohe Vorlauftemperatur der Radiatoren nicht eingehalten werden.

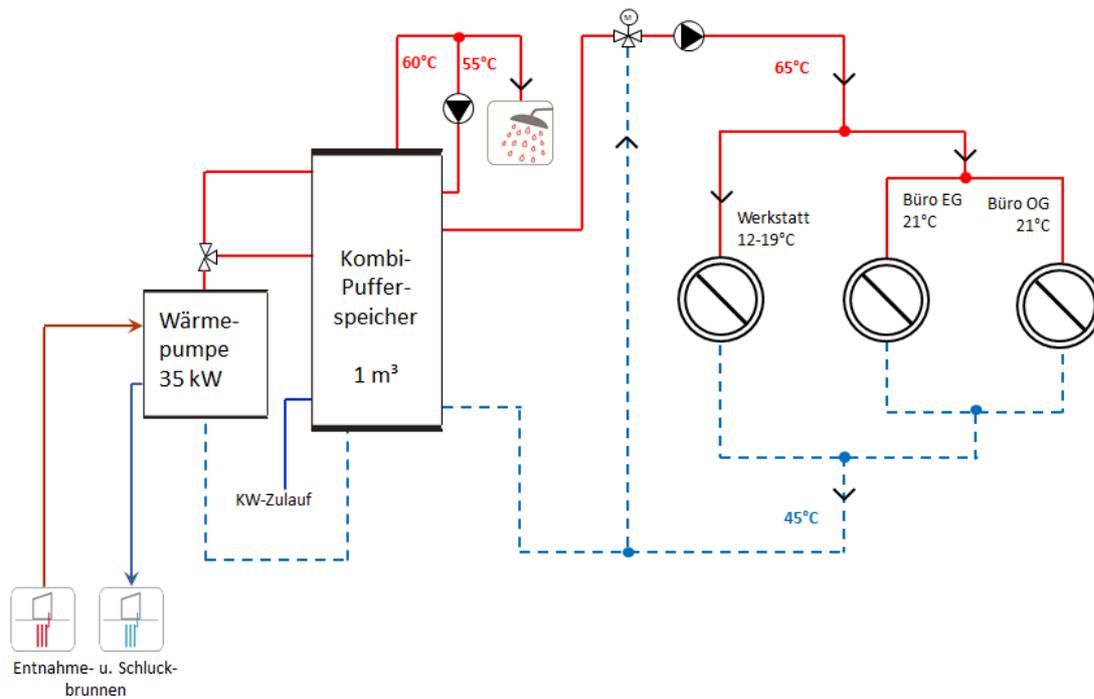


Abbildung 7 Schema Wärmeversorgung V2 Sanierung nach Neubaustandard EnEV 2014

Variante 3: Variante mit vollständiger regenerativer Wärmeversorgung

Der Jahres-Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes nach EnEV 2014 für Heizung und Warmwasserbereitung beträgt in der Jahresbilanz = 0 kWh/m²a. Die Gebäudehülle und Wärmeerzeugung wird wie in Variante 2 ausgeführt. Zusätzlich wird auf dem Gebäudedach eine 22 kWp Photovoltaikanlage installiert. Diese deckt bilanziell über das Jahr gesehen den Strombedarf der Wärmepumpe, s. Abbildung 8. Die Photovoltaikanlage ist auf dem Gebäudedach nur knapp unterzubringen.

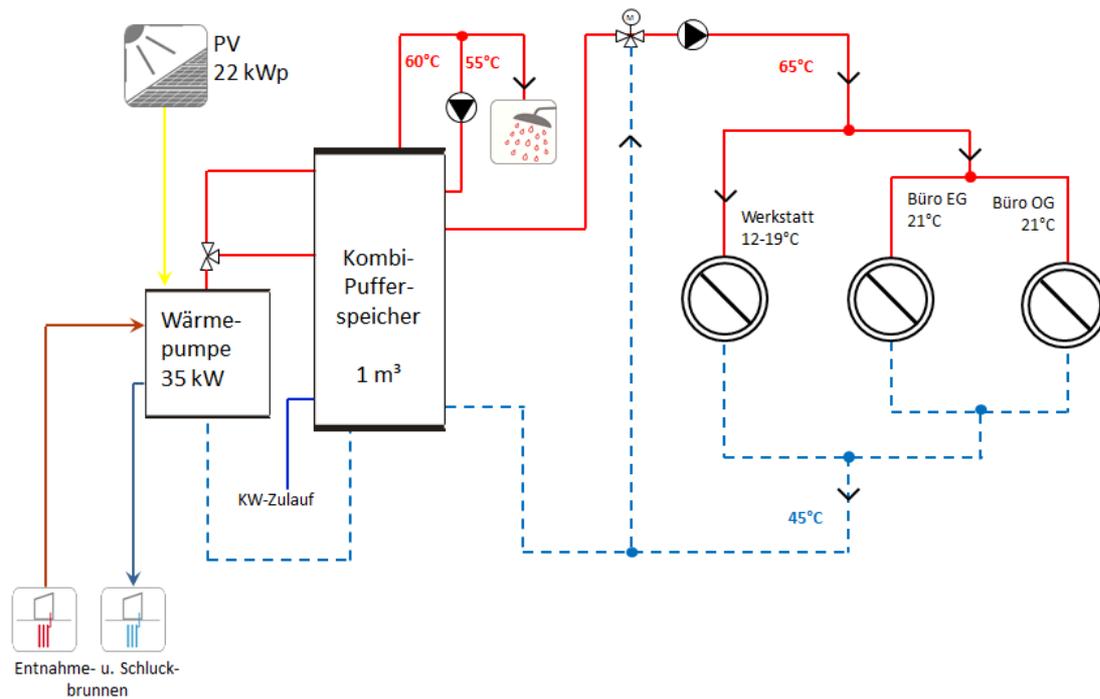


Abbildung 8 Schema Wärmeversorgung V3 Sanierung 100% regenerativer Wärmeversorgung

Variante 4: das aktuell wirtschaftlich sinnvollsten Maßnahmenpaket

Variante 4 ist identisch mit Variante 1.

6.2 End- und Primärenergiebedarf bzw. CO₂-Emissionen

Die angesetzten Primärenergiefaktoren und CO₂-Äquivalente sind in Tabelle 12 dargestellt.

| Energieträger | Primärenergiefaktor (Quelle: EnEV 2016) | CO ₂ -Äquivalent (Quelle: Gemis) |
|---------------|--|--|
| Erdgas | 1,1 | 243 g/kWhEnd |
| Biogas | 1,1 | 87 g/kWhEnd |
| Strom | 1,8 | 563 g/kWhEnd |
| PV-Strom | 2,8 | 821 g/kWhEnd |

Tabelle 12 Energieträger

Die folgenden Abbildungen zum End- und Primärenergiebedarf stellen die Ergebnisse der DIN V 18599 Berechnungen dar. Der CO₂-Emissionen wurden auf Basis von Gemis-Daten berechnet. Sie enthalten den Energiebedarf für Heizung, Warmwasser, Lüftung, Kälte und Beleuchtung. Der Nutzerstromverbrauch ist in der Bilanzierung nicht enthalten.

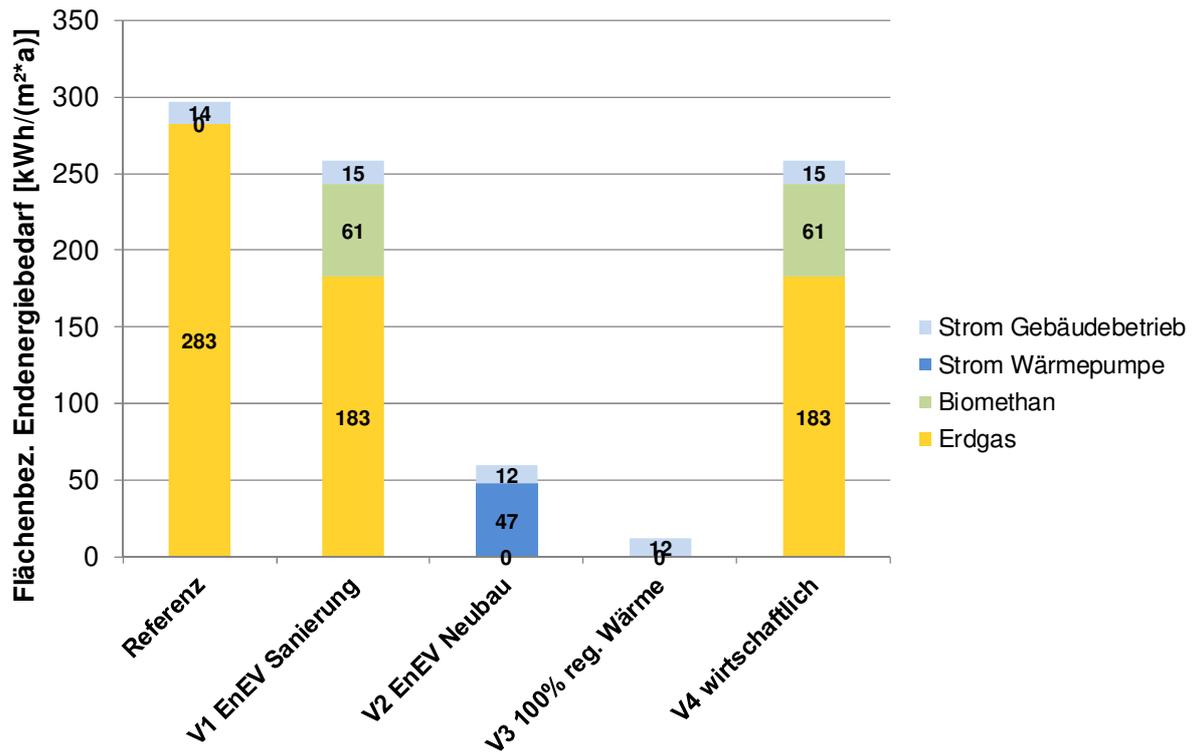


Abbildung 9 spez. Endenergiebedarf der Varianten nach DIN V 18599, normiert

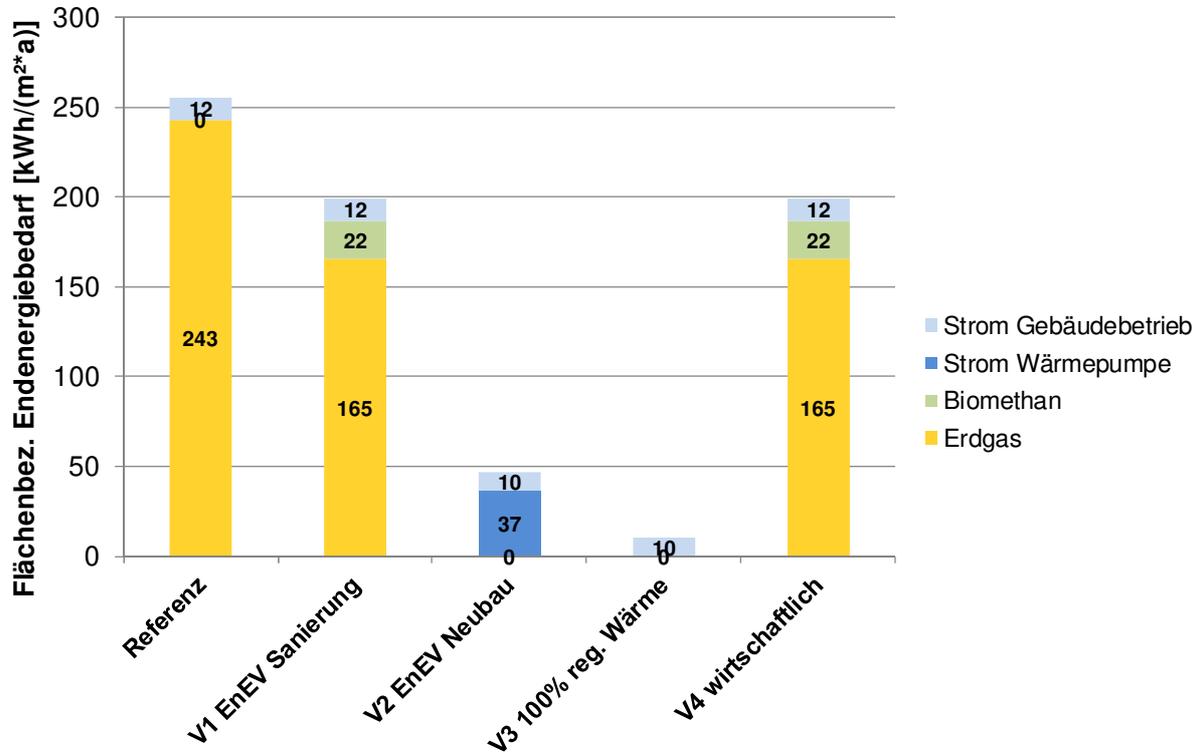


Abbildung 10 spez. Endenergiebedarf der Varianten nach DIN V 18599, angepasst

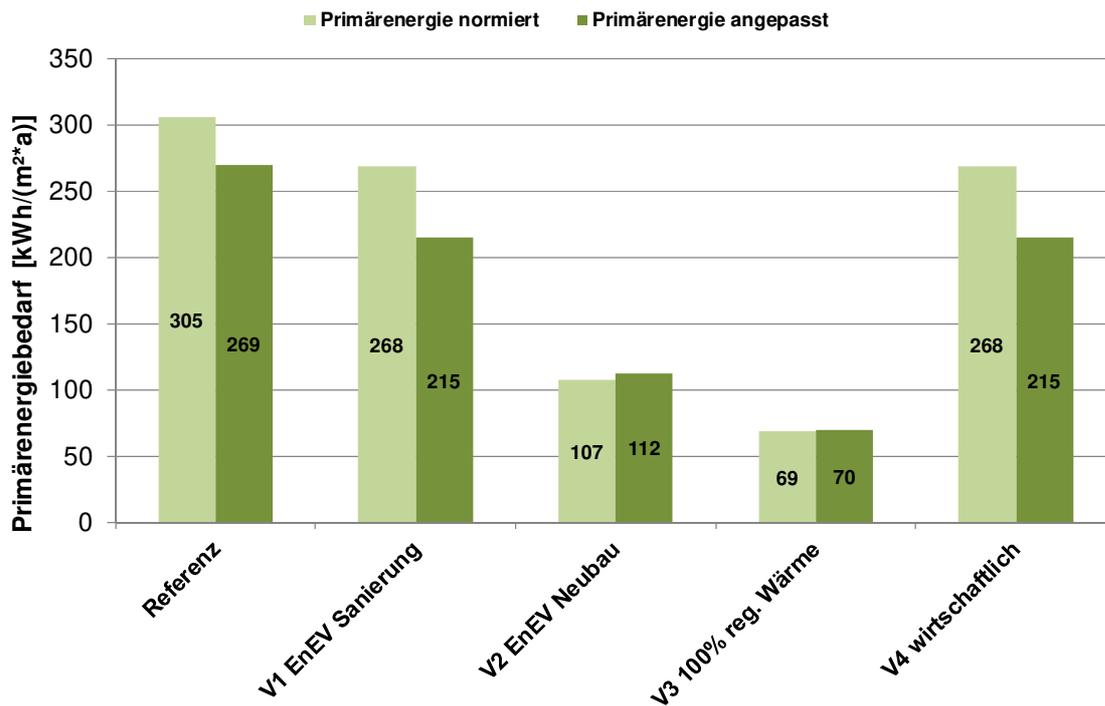


Abbildung 11 Primärenergiebedarf der Varianten nach DIN V 18599, normiert und angepasst

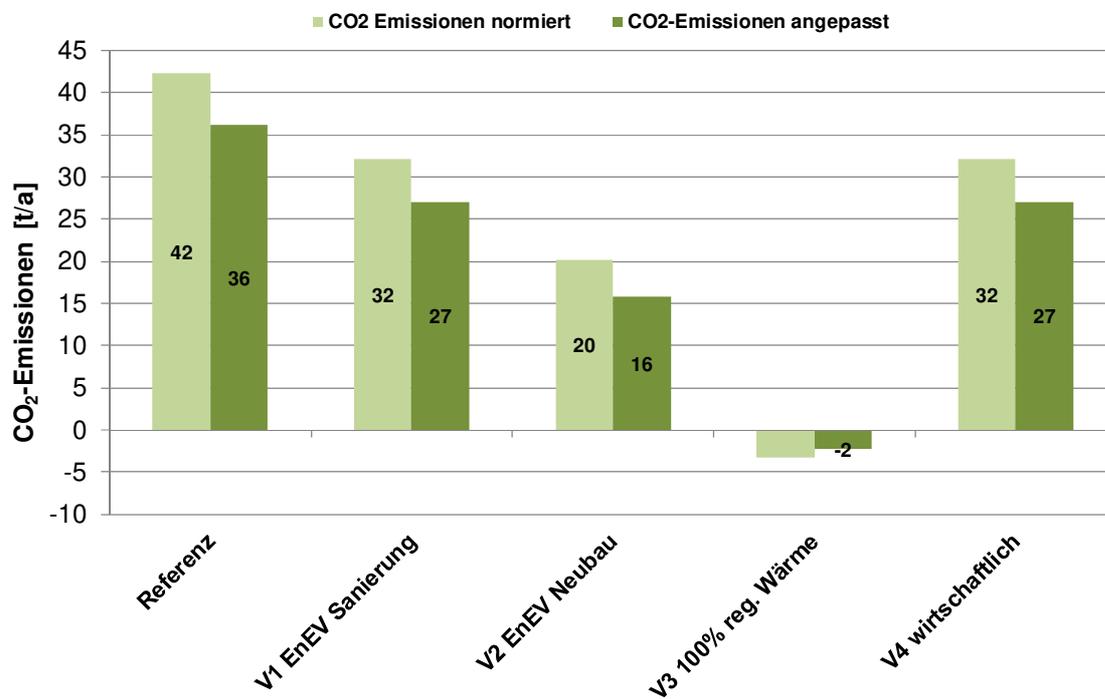


Abbildung 12 CO₂-Emissionen der Varianten berechnet, normiert und angepasst

6.3 Wirtschaftlichkeitsberechnung

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung wird in Anlehnung an die VDI 2067 über einen Zeitraum von 20 Jahren durchgeführt und betrachtet die Jahresgesamtkosten, d.h. die Kosten für die Investitionen, Instandsetzung, Wartung, Betrieb und Energie sowie Vergütungen und Zuschüsse über Förderungen. Es wird ein Zinssatz von 2,5% angesetzt. Preissteigerungen für Energie-, Instandsetzungs-, Wartungs- und Betriebskosten werden nicht berücksichtigt.

Basis für die Wirtschaftlichkeitsberechnung sind folgende Kostenkennwerte:

| Energieträger | Grundpreis | Arbeitspreis |
|--|------------|---------------------------|
| Erdgas | 240,00 €/a | 53,01 €/MWh _{HS} |
| Erdgas mit 30% Biomethan | 216,00 €/a | 51,00 €/MWh _{HS} |
| Strom | 90,00 €/a | 200,09 €/MWh |
| Strom WP-Tarif | 74,00 €/a | 170,90 €/MWh |
| EEG-Umlage ab 01.01.2016 ^{*1} | | 63,5 €/MWh |
| EEG Vergütung PV ² | | 11,50 €/MWh |

Tabelle 13 Energiekosten

| Bauteil | spez. Kosten pro Bauteil | Spezifikation | Bezugsgröße | Kosten |
|-----------------------------------|---------------------------|---------------------------------|--------------------|----------|
| Innendämmung Außenwand AW1 | 120 [€/m ²] | U = 0,26 [W/(m ² K)] | 325 m ² | 39.000 € |
| Austausch Fenster | 460 [€/m ²] | U = 0,90 [W/(m ² K)] | 85 m ² | 39.100 € |
| Außenwand AW2 Luftspalt geschäumt | 90 [€/m ²] | U = 0,74 [W/(m ² K)] | 125 m ² | 11.250 € |
| Innendämmung Außenwand AW3 | 120 [€/m ²] | U = 0,32 [W/(m ² K)] | 50 m ² | 6.000 € |
| Austausch Stahl Türen | 710 [€/m ²] | U = 1,50 [W/(m ² K)] | 8 St. | 5.680 € |
| Austausch Tore | 2.260 [€/m ²] | U = 3,00 [W/(m ² K)] | 16 m ² | 36.160 € |
| Austausch Eingangstüre | 5.600 [€/m ²] | U = 1,50 [W/(m ² K)] | 1 St. | 5.600 € |

Tabelle 14: Kostenkennwerte Bauteile Gebäudehülle

¹ 40% der EEG-Umlage für Eigenstromverbrauch

² Für die Vergütung nach EEG des PV-Stroms wird mit einer Inbetriebnahme ab 01.01.2017 gerechnet.

| Anlagen/Komponenten | Kosten |
|---|----------|
| hydraulischer Abgleich | 3.000 € |
| Gas-Brennwertkessel (45 kW _{th}) inkl. Abgasanlage | 14.000 € |
| Rückbau bestehender Heizkessel | 500 € |
| Wasser/Wasser - Wärmepumpe (35kW _{th}) | 30.000 € |
| Stromanschluss Wärmepumpe inkl. Zähler | 2.000 € |
| Grundwasserbrunnen-Anlage mit Entnahme- und Schluckbrunnen | 22.000 € |
| Einbindung Entnahme- und Schluckbrunnen | 5.000 € |
| Erneuerung und Anbindung Warmwasserbereitung | 3.000 € |
| Pufferspeicher / Kombispeicher | 2.000 € |
| Rückbau bestehende Heizungsverteilung und Warmwasserbereitung | 1.000 € |
| Versetzen der Heizkörper (ca.25 Stück) | 8.000 € |
| Photovoltaikanlage (22 kWp à 1.300 €) | 28.600 € |

Tabelle 15: Kostenkennwerte Anlagentechnik

Auf die Investitionskosten für Bauteile und Anlagentechnik werden 10% Sonstige Kosten berücksichtigt. Als Planungskosten werden 16% der Investitionskosten angesetzt. Die Wasser/Wasser-Wärmepumpe kann im Rahmen einer Basis-Förderung durch die bafa mit 3.500 € bezuschusst werden. Dazu muss eine Jahresarbeitszahl von mindestens 3,8 und die Durchführung eines hydraulischen Abgleich der Heizungsanlage nachgewiesen werden.

Als Referenz für die Investitions- und die Jahresgesamtkosten der Varianten 1 – 4 dient der aktuelle Gebäudebestand.

Die Investitionskosten sind in Abbildung 13 dargestellt. Da der Niedertemperaturkessel die rechnerische Lebensdauer der Anlage von 18 Jahren bereits überschritten hat, werden die Kosten für einen Ersatzkessel fällig und in der Referenz angesetzt. Die Investitionskosten reichen von ca. 13.000 € Sowieso-Kosten bis hin zu ca. 312.000 € für eine 100% regenerative Wärmeversorgung.

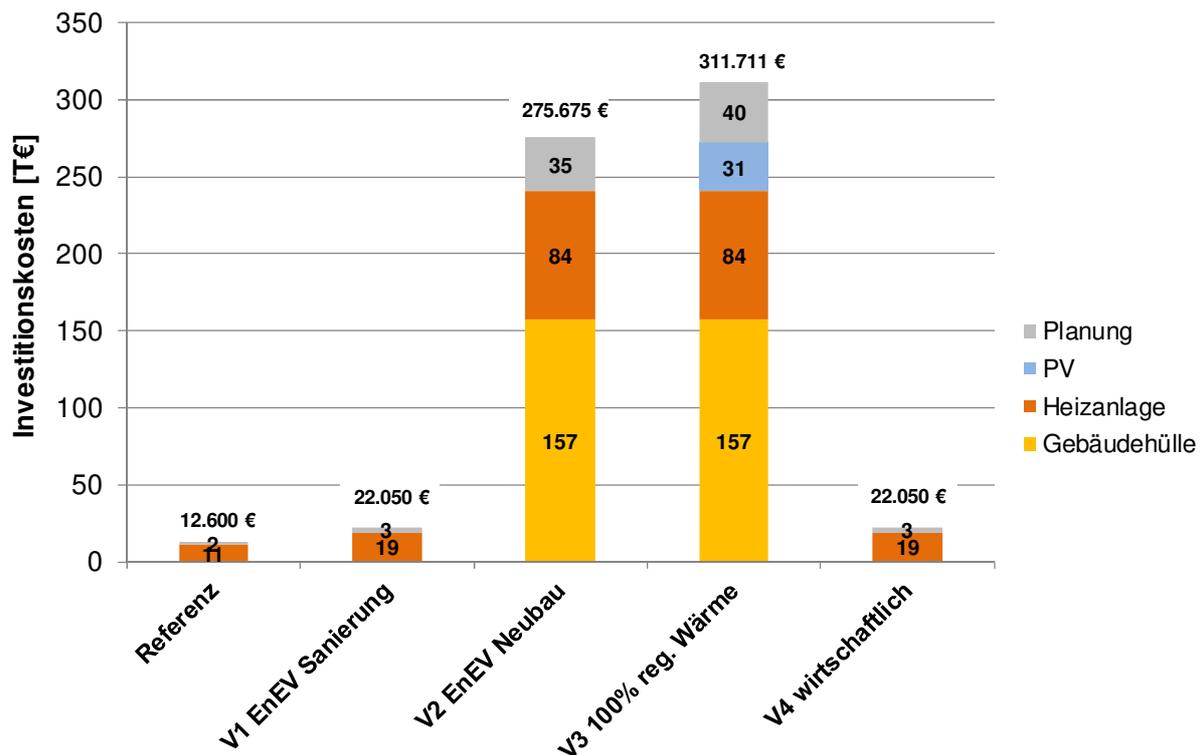


Abbildung 13 Investitionskosten der Varianten 1-4 im Vergleich zur Referenz

Die Jahresgesamtkosten der Gebäudeenergieversorgung ohne Nutzerstrom sind in Abbildung 14 dargestellt. Ohnehin anfallende Instandsetzungs-, Wartungs- und Betriebskosten für die bestehende Gebäudehülle und die Wärmeversorgung sowie Energiekosten des Bestandes bilden die Referenz.

Die momentanen Jahresgesamtkosten betragen ca. 13.000 €. Eine Sanierung auf EnEV 2014 hat etwas höhere Kapitalkosten jedoch niedrigere Energiekosten durch die effizientere Erzeugung und liegt in der Summe bei niedrigeren Jahresgesamtkosten. Die Durchführung von Variante 1 ist wirtschaftlich und damit identisch mit Variante 4. Variante 2 und 3 sind mit fast doppelt so hohen Jahresgesamtkosten von ca. 24.000 € bis 25.000 € nicht wirtschaftlich darstellbar. Da die Durchführung einzelner Maßnahmen schwierig ist und eine effiziente Betriebsweise der Wärmepumpen nach EEWärmeG nicht gewährleistet werden kann, werden Variante 2 und 3 nicht empfohlen.

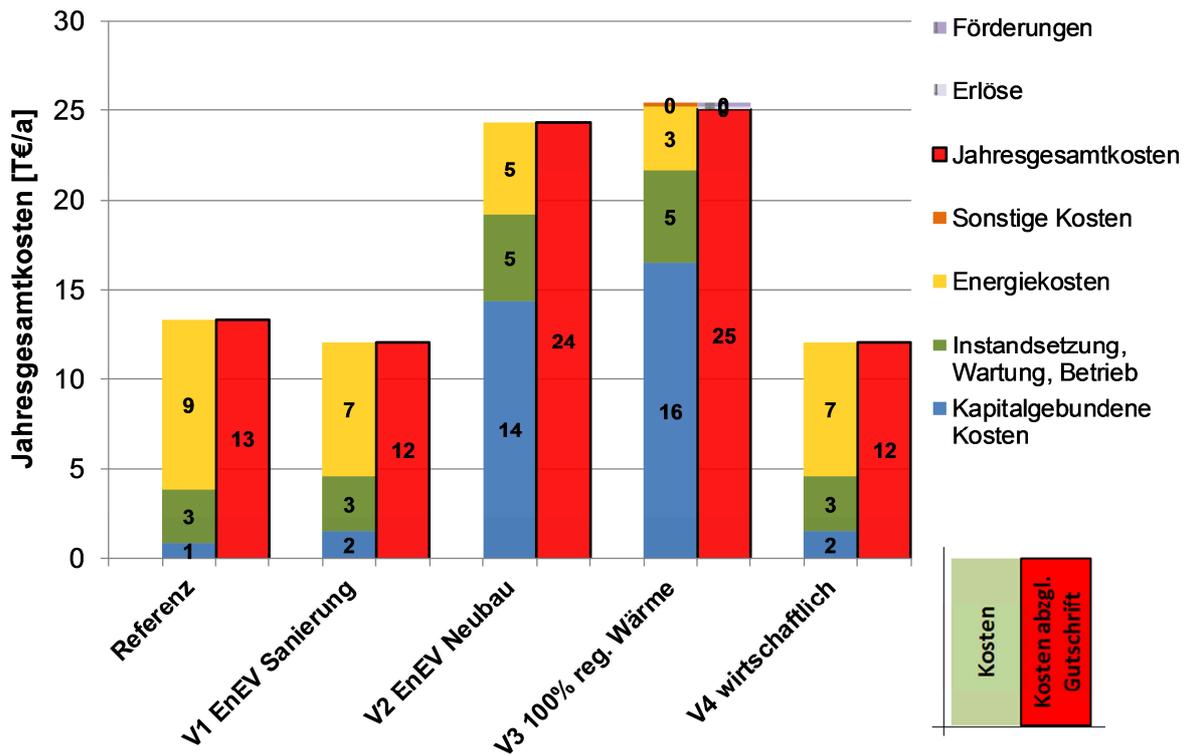


Abbildung 14 Jahresgesamtkosten der Varianten 1-4 im Vergleich zur Referenz

7 Anlagen

Anlage 1 Bauteildaten IST-Zustand (U-Werte, Plandarstellung)

Anlage 2 Zonierung des Gebäudes

Anlage 3 Bauteildaten für Sanierungsvarianten (U-Werte)

Anlage 4 Anpassung der Zonenprofile

Anlage 8

Energetische Untersuchung Außenbezirk Wesel

Energetische Untersuchung

Teil B3

Beratungsbericht Außenbezirk Wesel

Objekt:

Wasser- und Schifffahrtsamt Duisburg - Rhein
Betriebsgebäude
Außenbezirk Wesel
Büdericher Insel 18
46485 Wesel

Auftraggeber:

Bundesanstalt für Wasserbau
Kußmaulstr. 17
76187 Karlsruhe

Der Sachverständige für Schall- und Wärmeschutz

Haake Planen und Bauen
Herr Jörg Haake
Heinrich – Gellissen – Str. 9
50769 Köln - Worringen

aufgestellt, Köln 13.11.2015

Inhaltsangabe

| | |
|--|-----------|
| Teil B3 | 3 |
| Zusammenfassung | 3 |
| Variantenübersicht | 4 |
| 1: Betriebswerksgebäude Wesel | 5 |
| 2. Zonen | 5 |
| 3. Energieverbrauch | 8 |
| 4. Vergleich Bedarf / Verbrauch | 10 |
| 5. Energetische Mängel | 10 |
| 6. Sommerlicher Wärmeschutz | 11 |
| 7. Erreichen der EnEV – Altbau-Grenzwerte | 11 |
| 8. Erreichen der EnEV-Neubau-Grenzwerte | 11 |
| 9. Biomasse oder Wärmepumpe | 11 |
| 10. Wirtschaftlichkeit | 12 |
| 11. Die wirtschaftlich sinnvolle Variante | 12 |
| 12. CO2 und Schadstoffe | 14 |
| Teil C3 | 15 |
| Teil D3 | 15 |
| Anhang | 16 |
| Bedarfsberechnung Endenergie Bestand vor Optimierung | 16 |
| Bedarfsberechnung Endenergie Wärmepumpe | 17 |
| Tabelle der verwendeten Bauteile | 18 |

Teil B3

Zusammenfassung

Das Betriebsgebäude Wasser- und Schifffahrtsamt Duisburg – Rhein Außenbezirk Wesel hat einen hohen Wärme- und Stromverbrauch, wenn man den ausgewiesenen Primärenergieverbrauch des Gebäudes zum Maßstab nimmt.

Bei differenzierter Betrachtung kann festgestellt werden, dass die Betrachtung der Endenergieverbräuche wichtiger ist als der ausgewiesene Primärenergieverbrauch.

Es wird festgestellt, dass ein grosser Teil des Verbrauchs durch Strom erzeugt wird, der für andere Zwecke als die Beleuchtung oder Kühlung des Gebäudes verwendet wird. Daher wird empfohlen, die Verbräuche getrennt zu erfassen.

Das Gebäude wurde 2009 umfassend energetisch saniert. Es erfüllt die Standards nach „Altbau-Niveau“ der Energieeinsparverordnung (EnEV). Darüber hinausgehende Anforderungen nach Erneuerbare Energie Wärme Gesetz (EEWärmeG 2011) werden nicht erfüllt, weil keine regenerative Energie zum Einsatz kommt.

Ungeachtet des guten Wärmedämmstandards liegt der Wärmeverbrauch ca. 63 % über dem Vergleichswert des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Der Stromverbrauch liegt jedoch 700% über dem Vergleichswert. Andererseits liegt der Wärme-Verbrauch 50% unter dem berechneten Bedarf.

So kann man einerseits annehmen, dass die Mitarbeiter sowieso schon schwach heizen und andererseits die Höhe des Verbrauchs mit der Art der Nutzung erklären. Man arbeitet nur vorübergehend in der Werkstatt und hat einen dauernden Bezug nach draussen. Es gibt keinen „Windfang“ und die Werkstätten öffnen sich direkt zum Hof. Hinzu kommt, dass die Werkstätten – gemessen an Ausstattung und Größe – unterbesetzt sind, aber dennoch betriebsbereit gehalten werden.

Die Möglichkeiten zur Sanierung sind eingeschränkt, weil die thermische Gebäudehülle bereits auf dem Stand der Technik ist. Es gibt Optimierungsmöglichkeiten durch den Einbau von programmierbaren Heizungsventilen sowie durch automatische Präsenzkontrollen.

Die EnEV – Neubaugrenzwerte können durch Optimierungen an der Gebäudehülle oder der Anlagentechnik nicht erreicht werden. Hierzu ist die Umstellung auf regenerative Energie erforderlich.

Variantenübersicht

Außenbezirk Wesel
19.11.2015

| | Verbrauch Vor Beginn Untersuchung kWh/m ² a | Verbrauch nach Untersuchung kWh/m ² a | EnEV Altbau- grenzwert kWh/m ² a | EnEV Neubau- grenzwert kWh/m ² a | EEWärmeG Eingehalten kWh/m ² a | EEWärmeG Eingehalten kWh/m ² a |
|---|---|---|--|--|---|---|
| Einheit | | | | | | |
| Gebäudenutz- fläche | 380 qm | 314 qm | 314 qm | 314 qm | 314 qm | 314 qm |
| Primärenergie- bedarf Q _P bezogen auf die Gebäudenutz- fläche | 442 | 534 | 348 | - | 220 | 122 |
| maximal zulässiger Primärenergie- bedarf | - | - | 384 | 274 | 274 | 274 |
| Endenergie Wärme | 149 | 180 | 273 | | | |
| Endenergie Strom | 116 | 140 | 31 | | | |

1: Betriebswerksgebäude Wesel

Das Gebäude wurde 1952 in Massivbauweise auf der Budericher Insel errichtet. Der langgestreckte Baukörper ist Nord-Süd – orientiert und liegt etwas erhöht am Fluss. Das Gebäude enthält Büros und Werkstätten. Der Dachboden wird nicht genutzt, liegt aber innerhalb der beheizten Zone. Die Außenwände wurden 2009 mit einem Wärmedämmverbundsystem versehen. Das Dach ist mit 12 cm Mineralwolle gedämmt und winddicht. Die Fenster sind als Kunststoff-Fenster gutdämmend und dichtschießend. Es wurden hochwertige Außen-Holz Türen eingebaut. Eine Brennwerttherme versorgt Radiatoren mit der notwendigen Wärme.

| Bauteil | | Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten bezogen auf die Mittelwerte der jeweiligen Bauteile | |
|---------|---|--|--|
| | | Zonen $\geq 19^{\circ}\text{C}$ | Zonen 12 bis $< 19^{\circ}\text{C}$ |
| 1 | Opake Außenbauteile, soweit nicht in Bauteilen der Zeile 3 und 4 enthalten | Ist U = 0.27 W/(m ² K) max U = 0.49 W/(m ² K) ✓ | Ist U = 0.27 W/(m ² K) max U = 0.70 W/(m ² K) ✓ |
| 2 | Transparente Außenbauteile, soweit nicht in Bauteilen der Zeile 3 und 4 enthalten | Ist U = 1.66 W/(m ² K) max U = 2.66 W/(m ² K) ✓ | Ist U = 1.76 W/(m ² K) max U = 3.92 W/(m ² K) ✓ |
| 3 | Vorhangfassaden | ----- max U = 2.66 W/(m ² K) | ----- max U = 4.20 W/(m ² K) |
| 4 | Glasdächer, Lichtbänder Lichtkuppeln | ----- max U = 4.34 W/(m ² K) | ----- max U = 4.34 W/(m ² K) |

Die thermische Gebäudehülle erfüllte die Anforderungen der EnEV 2014

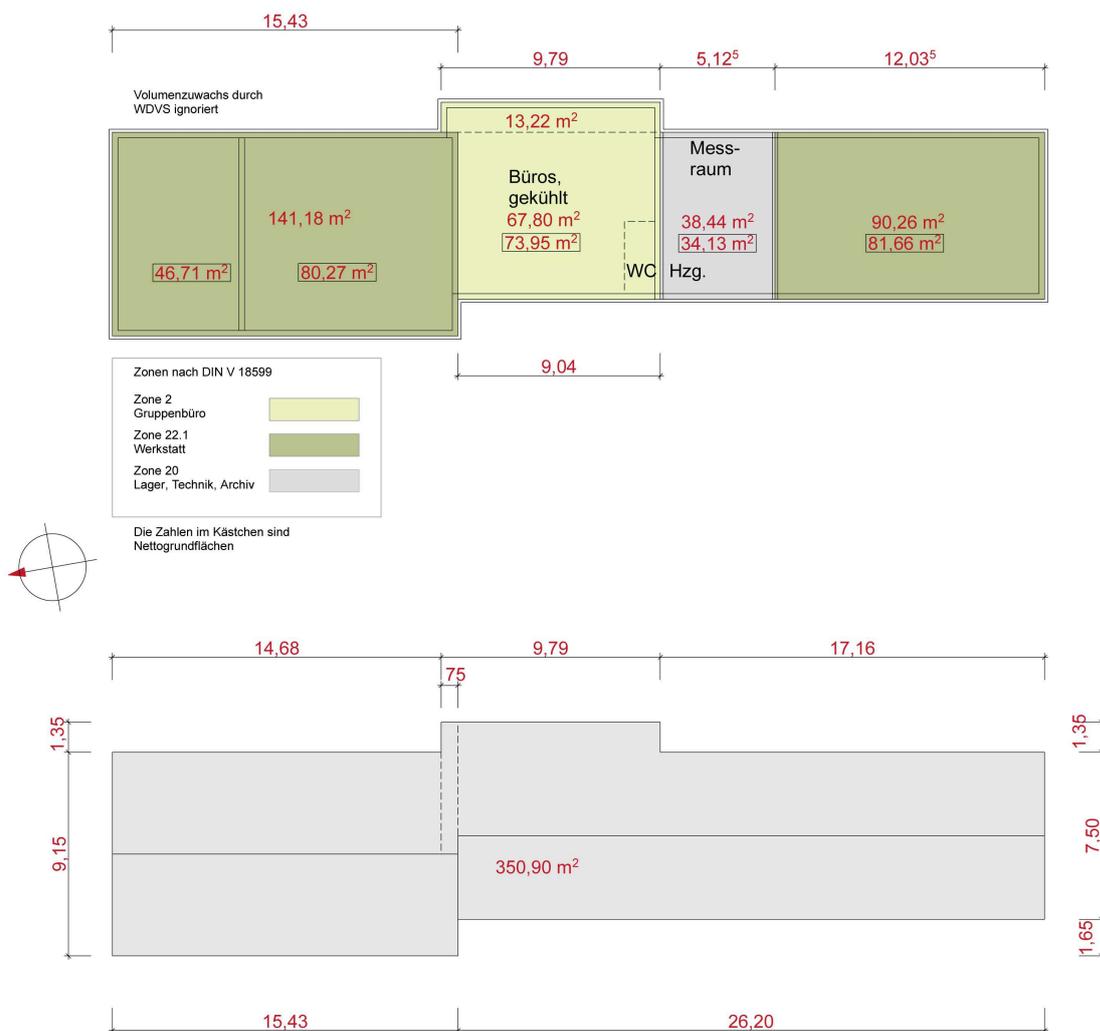
2. Zonen

Im Betriebsgebäude des Außenbezirks Wesel werden die in nachfolgender Tabelle aufgeführten Nutzungszonen unterschieden. Demnach ist die Nutzung „Werkstatt“ als Hauptnutzung anzusehen.

Nutzungsanteile nach EnEV

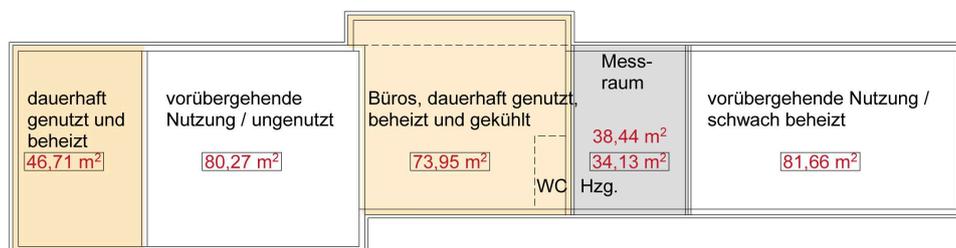
| | | | | |
|------------|------------------------|---------------|---|-----------|
| Zone 1 / 2 | Büronutzung | 67,80 + 13,22 | = | 81,02 qm |
| Zone 20 | Lager, Technik, Archiv | | = | 38,44 qm |
| Zone 22 | Werkstatt | 141.18+90.26 | = | 231,44 qm |
| SUMME | | | | 350.90 qm |

Hinweis: die angegebenen Flächen sind weder NGF noch BGF –Angaben, sondern Brutto - EnEV-Flächen mit Bezug auf die thermische Gebäudehülle!



Grundriss Erdgeschoss und Dachaufsicht

Bei den Betriebsgebäuden Neuss und Duisburg konnte man durch Analyse der Lage oder der Art der Beheizung zu einer sinnvollen Vereinfachung der Zonierung kommen. Im Außenbezirk Wesel ist das nicht möglich, weil sich die unterschiedlichen Nutzungsweisen nicht zusammenfassen lassen.



Demnach ergibt sich die folgende Einteilung

| Zonenname | Profil | NGF/EnEV m ² | Anteil % | Vol m ³ | netto Vol. m ³ |
|--------------------------|---|----------------------------|-------------|-----------------------|------------------------------|
| Werkstatt (Hauptnutzung) | 22 Werkstatt, Montage, Fertigung | 208.6 | 66.4 | 811.7 | 678.1 |
| Büro | 2 Gruppenbüro (zwei bis sechs Arbeitsplätze) | 71.6 | 22.8 | 269.5 | 232.5 |
| Lager, Technik | 20 Lager, Technik, Archiv | 34.1 | 10.9 | 129.5 | 110.9 |

Für dieses Gebäude werden die folgenden Grenzwerte errechnet:

| | |
|---|--|
| Jahres-Primärenergiebedarf Q_p bezogen auf die Gebäudenutzfläche maximal zulässiger Jahres- Primärenergiebedarf: | 347.3 [kWh/m ² a] 383.7 [kWh/m ² a] |
|---|--|

Der errechnete Energiebedarf liegt 9,4 % unter den zulässigen Altbau-Grenzwerten der Energieeinsparverordnung.

Zum Neubauniveau der EnEV müsste der Energiebedarf 26.7% niedriger sein. Durch andere Verordnungen werden insbesondere die Anforderungen an die Qualität der thermischen Gebäudehülle (mittlerer Transmissions-wärmeoeffizient $H't$) weiter verschärft.

Die Detaillerggebnisse der Berechnungen zum IST – Bedarf liegen in einem gesonderten Teil vor. Es gibt keinen anzusetzenden Warmwasserbedarf. Der hier ermittelte Endenergiebedarf (siehe auch Tabelle in der Anlage) beträgt:

| | | |
|--------|-----------------|---|
| Wärme: | 85.627 / 314 qm | = 272,7 kWh/m ² a |
| Strom: | 9.593 / 314 qm | = 30,5 kWh/m ² a (inkl. Kühlung) |

3. Energieverbrauch

Der Energieverbrauch des Gebäudes wurde ermittelt auf der Basis der Verbrauchsabrechnungen der Jahre 2012-2014, die vom Außenbezirk zur Verfügung gestellt wurden.

Die Bezugsfläche ist die in der Bedarfsermittlung nach DIN 18599 ermittelte Fläche von 314 qm (Nettogrundfläche nach EnEV).

Die vorgeschriebene Klimabereinigung wird vom Programm „rowasoft“ automatisch übernommen.

ENERGIEAUSWEIS für Nichtwohngebäude

gemäß den §§ 16 ff. der Energieeinsparverordnung (EnEV) vom ¹ 18.11.2013

Erfasster Energieverbrauch des Gebäudes

Registriernummer ²

(oder: "Registriernummer wurde beantragt am ...")

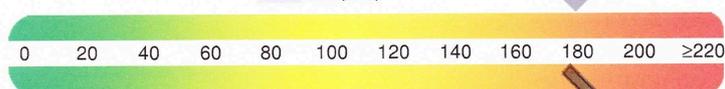
3 N

Endenergieverbrauch

Endenergieverbrauch Wärme

[Pflichtangabe in Immobilienanzeigen]

180 kWh/(m²·a)



↑ Vergleichswert dieser Gebäudekategorie für Heizung und Warmwasser ³

Warmwasser enthalten

Endenergieverbrauch Strom

[Pflichtangabe in Immobilienanzeigen]

140 kWh/(m²·a)



↑ Vergleichswert dieser Gebäudekategorie für Strom ³

Der Wert enthält den Stromverbrauch für

Zusatzheizung Warmwasser Lüftung eingebaute Beleuchtung Kühlung Sonstiges

Verbrauchserfassung

| Zeitraum | | Energieträger ⁴ | Primär-energie-faktor | Energieverbrauch Wärme [kWh] | Anteil Warmwasser [kWh] | Anteil Heizung [kWh] | Klima-faktor | Energieverbrauch Strom [kWh] |
|------------|------------|----------------------------|-----------------------|------------------------------|-------------------------|----------------------|--------------|------------------------------|
| von | bis | | | | | | | |
| 01.01.2012 | 31.12.2014 | Flüssiggas | 1,10 | 146.146 | 7.307 | 138.839 | 1,17 | |
| 01.01.2012 | 31.12.2014 | Strom | 2,40 | | | | 1,00 | 132.047 |
| | | | | | | | | |

Primärenergieverbrauch dieses Gebäudes

534 kWh/(m²·a)

Gebäudenutzung

| Gebäudekategorie/ Nutzung | Flächen-anteil | Vergleichswerte ³ | |
|--|----------------|------------------------------|-------|
| | | Heizung und Warmwasser | Strom |
| Produktion, Lager bis 3500m ² | 100 % | 110 | 20 |
| | | | |

Erläuterungen zum Verfahren

Das Verfahren zur Ermittlung von Energieverbrauchskennwerten ist durch die Energieeinsparverordnung vorgegeben. Die Werte sind spezifische Werte pro Quadratmeter beheizte/gekühlte Nettogrundfläche. Der tatsächliche Energieverbrauch eines Gebäudes weicht insbesondere wegen des Witterungseinflusses und sich ändernden Nutzerverhaltens von den angegebenen Kennwerten ab.

¹ siehe Fußnote 1 auf Seite 1 des Energieausweises unter www.bbsr-energieeinsparung.de durch das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung im Einvernehmen mit dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie

² siehe Fußnote 2 auf Seite 1 des Energieausweises ³ veröffentlicht gegebenfalls auch Leerstandszuschläge in kWh

Es wird ein Endenergie-Verbrauch ermittelt von

Wärme 180 kWh/m²a

Strom 140 kWh/m²a

Der Vergleichswert für diese Gebäudekategorie beträgt nach [4]

Wärme 110 kWh/m²a

Strom 20 kWh/m²a

Ungeachtet des guten Wärmedämmstandards liegt der Wärmeverbrauch ca. 63 % über dem Vergleichswert.

Der Stromverbrauch liegt jedoch 700% über dem Vergleichswert.

Dieser hohe Stromverbrauch lässt sich aus dem Bedarf des Gebäudes für

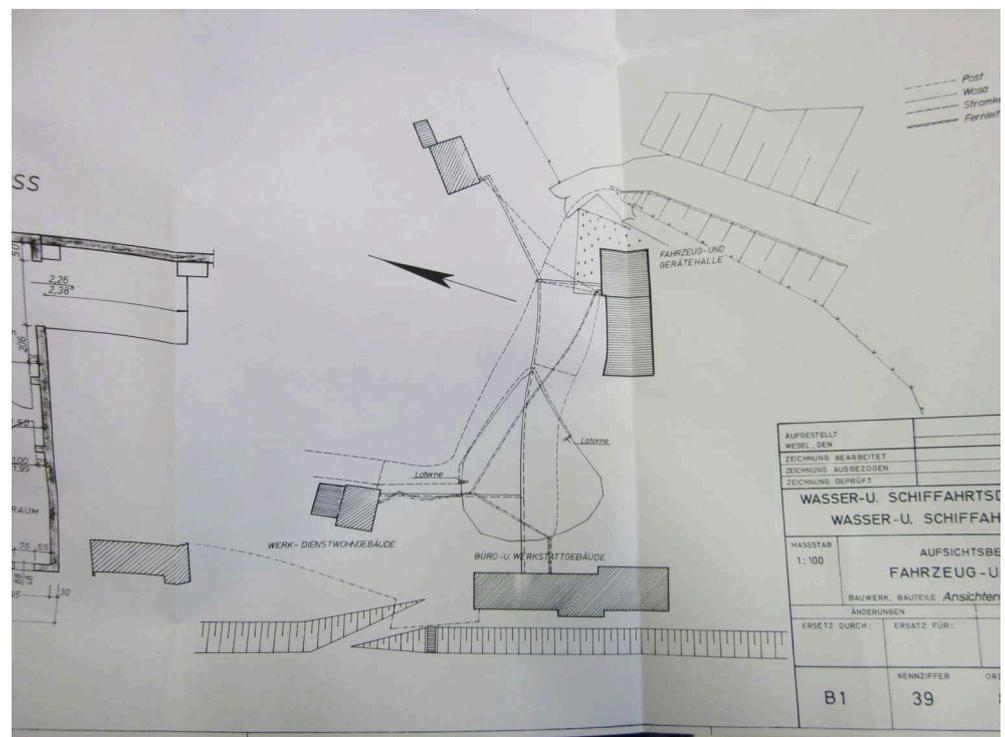
- Beleuchtung
 - Kälte/Klima
 - Hilfsenergie für den Betrieb von Pumpen
- nicht erklären.

Auf Seite 14 wurde bereits ermittelt, dass der Bedarf an elektrischer Energie einschließlich Beleuchtung und Kühlung

9.593 kWh/a = ca. 30,5 kWh/m²a beträgt.

Das liegt auch schon 50% über dem angegebenen Vergleichswert, muss aber als normativ ermittelter Wert als vertretbar angesehen werden.

Hierunter ist eine Zeichnung der Versorgungsleitungen auf dem Grundstück wiedergegeben. Alle angrenzenden Wagenhallen und Werkstätten werden über einen Zähler abgerechnet, sodass der tatsächliche Energieverbrauch des untersuchten Gebäudes nicht festgestellt werden kann.



530.03 151015 04.jpg

4. Vergleich Bedarf / Verbrauch

Wirtschaftlichkeitsberechnungen vergleichen den Aufwand mit dem zu erzielenden Gewinn bzw. mit den Einsparungen.

Die nachfolgenden Bedarfs-Optimierungen werden in ihrem Ergebnis gewichtet nach dem festgestellten Verbrauch:

| | |
|---|--------------------------|
| IST – Endenergie-Verbrauch Wärme: | 180 kWh/m ² a |
| IST – Endenergie-Bedarfsberechnung Wärme: | 273 kWh/m ² a |

Der Faktor beträgt: $180 / 273 = 0,659$

Alle auf dem Weg der Bedarfsberechnung ermittelten Einsparungen sind um diesen Faktor zu reduzieren.

5. Energetische Mängel

Das Gebäude wurde bereits energetisch ertüchtigt, sodass bei der Ortsbegehung wenig Anlass zur Klage blieb:

1. Das Gebäude entspricht nach der personellen Schrumpfung des Betriebs nicht länger den tatsächlichen Erfordernissen. Da der Betrieb nicht nach energetischen Erfordernissen abläuft grenzen beheizte an unbeheizte Räume, sodass die Flächen, über die Energie abfließen kann, relativ groß sind im Vergleich zu einem Betrieb, der kontinuierlich genutzt wird.
2. Thermische Gebäudehülle
 - Es konnten keine wesentlichen Mängel an der thermischen Gebäudehülle festgestellt werden.
3. Heizung

Die Heizungsanlage besteht aus einer Brennwerttherme, die mit Flüssiggas betrieben wird. Radiatoren geben die Wärme in den Räumen ab. Die Rohrleitungen der neuen Installationen (Stranganbindung Heizraum) entsprechen dem Stand der Technik. Die Verteilleitungen und Anbindeleitungen in den Räumen sind nicht gedämmt (siehe Bild 19 und 20). Durch Dämmung der Leitungen kann 1,5% der Gesamtenergie eingespart werden.
4. Elektrische Energie

Die Räume sind mit alten Langfeldleuchten ausgestattet mit sogenannten „konventionellen Vorschaltgeräten“. Diese Geräte benötigen relativ viel Strom. Hierzu gibt es Alternativen (siehe Teil A). Es gibt im Gebäude 3 Splitgeräte, je eines für die Büros und für den Server. Interessanterweise verschlechtert sich die Bilanz um 0,2 %, wenn man die Kühlgeräte entfernt. Oh, heiliger Rechenkern, enthülle mir das Geheimnis der EnEV!

6. Sommerlicher Wärmeschutz

Die Büroräume im Außenbezirk Wesel sind mit innenliegenden Sonnenschutzsystemen ausgerüstet und mit Kühlgeräten. Eine Überprüfung des sommerlichen Wärmeschutzes hat ergeben, dass die außenliegenden Sonnenschutzanlagen nicht ausreichen um den Wärmeschutz zu gewährleisten. Die Kühlgeräte sind notwendig.

7. Erreichen der EnEV – Altbau-Grenzwerte

Die Altbaugrenzwerte der EnEV werden eingehalten. Darüber hinaus ist es bei der gelegentlichen Nutzung der Räume empfehlenswert Raumtemperatursteuerungen vorzusehen, wie sie im Anhang von Teil A dargestellt werden. Diese Geräte sind bedarfsprogrammierbar und können so eingerichtet werden, dass sie automatisch in einen „Frostfrei“-Heizungsmodus übergehen, wenn keine Anforderungen bestehen. Solche Veränderungen der Steuerung sind in den Berechnung nach DIN 18599 zurzeit nicht erfassbar.

8. Erreichen der EnEV-Neubau-Grenzwerte

Das Erreichen der Neubau-Grenzwerte – Einhalten der Grenzwerte für Primärenergie UND Transmissionswärmekoeffizient wird erschwert durch die zusätzlichen Anforderungen des Erneuerbare Energien Wärme Gesetzes (EEWärmeG) für öffentliche Gebäude. Sobald man für dieses Gebäude den Einsatz regenerativer Energie vorsieht, werden alle Grenzwerte eingehalten.

9. Biomasse oder Wärmepumpe

Bei den energetischen Untersuchungen zu den Betriebsgebäuden in Neuss und Duisburg wurde bereits festgestellt, dass die wirtschaftliche Nutzung von regenerativer Energie an einen hohen Grundlastanteil gebunden ist. Bei einer angeforderten Gesamt-Leistung von 28 KW kann man auch über den Einsatz von Wärmepumpensystemen nachdenken. Diese Maschinen können in Flussnähe Wärme aus dem Grundwasser beziehen.

Die vorhandene Brennwerttherme würde eine Wärmepumpe oder einen Holzpellet- oder Scheitholzkessel als Spitzenlastkessel unterstützen. So können die nachgewiesenen Bedarfswerte unter die Neubauanforderungen gedrückt werden.

Grenzwerte bei Einsatz eines „Biomassekessels (Holzpellet)

| | |
|--|--|
| Jahres-Primärenergiebedarf Q_p bezogen auf die Gebäudenutzfläche maximal zulässiger Jahres-Primärenergiebedarf nach EnEV: | 121.7 [kWh/m ² a] 274.1 [kWh/m ² a] |
|--|--|

Grenzwerte bei Einsatz einer Wärmepumpe (Wasser-Wasser)
Jahres-Primärenergiebedarf Q_p
bezogen auf die Gebäudenutzfläche 219.8 [kWh/m²a]
maximal zulässiger Jahres-Primärenergiebedarf
nach EnEV: 274.1 [kWh/m²a]

Der höhere Primärenergiebedarf der Wärmepumpe erklärt sich aus dem Strombedarf.



SUPRAECO T
Sole/Wasser-Wärmepumpe

| Technische Daten: | | |
|---------------------------------|---------|---------|
| Gerätebezeichnung | T 220-1 | T 330-2 |
| Heizleistung: +0/35°C** in kW | 21,0 | 34,7 |
| COP 0/35°C nach EN 14511 | 4,4 | 4,5 |
| Warmwasserleistung 0/45 in kW** | 19,9 | 33,2 |
| Max. Vorlauftemperatur in °C | 65 | 62 |
| Kältemittel | R407 c | R410 A |
| Gewicht in kg | 330 | 340 |
| Geräteabmessungen: | | |
| Höhe in mm | 1620 | 1620 |
| Breite in mm | 700 | 700 |
| Tiefe in mm | 750 | 750 |

10. Wirtschaftlichkeit

Die Kosten für den Einsatz einer Wärmepumpe werden ausführlich im Beratungsbericht zum Außenbezirk Neuss erläutert. Der Einsatz von regenerativer Energie ist ökologisch sinnvoll. Es ist aber bei den derzeitigen Marktbedingungen nicht zu erwarten, dass man einen wirtschaftlichen Vorteil erzielt.

Die Wirtschaftlichkeit des Austauschs von Langfeldröhren durch LED-Tubes wurde bereits im Beratungsbericht zum Außenbezirk Neuss dargestellt.

11. Die wirtschaftlich sinnvolle Variante

Das Betriebswerksgebäude Wesel erfüllt die Anforderungen, die aus dem Altbau-Grenzwert der EnEV entstehen. Es erscheint wirtschaftlich nicht sinnvoll, ein Neubauniveau anzustreben oder gar den Anforderungen des EEWärmeG entsprechen zu wollen.

Die vorangegangenen Untersuchungen zeigen, dass Veränderungen im Kleinen möglich sind. Folgende Empfehlungen werden gemacht:

- Die für die EnEV relevanten Verbraucher „Licht, Kälte und Hilfsenergie“ sollten separat gezählt werden.
- Die Verteilleitungen der Heizung sollten gedämmt werden
- die Zugangstüren zu den Werkstätten (Holztüren) sollten Obertürschliesser erhalten und zusätzlich Vorhänge aus Kunststoffstreifen

- die Radiatoren sollten mit programmierbaren Steuerungen ausgestattet werden
- Austausch der Langfeldleuchten gegen LED-Tubes

Diese Steuerungen machen es möglich, die Räume unbeheizt zu halten ohne den Mitarbeitern die Möglichkeit zum Eingriff zu nehmen.

12. CO₂ und Schadstoffe

CO₂- Ausstoß Bestand vor Optimierung

| | | absolut | | | bezogen auf die Nutzfläche 314.3 m ² | |
|--------------|-----------|-----------------|--------------|-----------------|---|---------------------|
| Endenergie | | CO ₂ | Bedarf | CO ₂ | Bedarf | CO ₂ |
| | | kg/kWh | kWh/a | kg/a | kWh/m ² a | kg/m ² a |
| 1 | Strom-Mix | 0.617 | 9593 | 5919 | 0.00 | 18.83 |
| 2 | Erdgas H | 0.263 | 85371 | 22453 | 0.00 | 71.43 |
| Summe | | | 94964 | 28371 | 0.00 | 90.26 |

Als Berechnungsgrundlage des CO₂ Ausstoßes wurden GEMIS 4.13 Werte (www.gemis.de) verwendet

Schadstoffausstoß

| Energieträger | NO _x | NO _x | CO | SO ₂ | Staub |
|---------------|---------------------|-----------------|--------------|-----------------|-------------|
| | kg/m ² a | kg/a | kg/a | kg/a | kg/a |
| Strom-Mix | 0.019 | 6.05 | 1.96 | 3.69 | 0.52 |
| Flüssiggas | 0.062 | 19.55 | 18.70 | 20.15 | 1.96 |
| SUMME | 0.081 | 25.60 | 20.65 | 23.84 | 2.48 |

CO₂ - Ausstoß , Wärmepumpeneinsatz

| | | absolut | | | bezogen auf die Nutzfläche 314.3 m ² | |
|--------------|-----------|-----------------|--------------|-----------------|---|---------------------|
| Endenergie | | CO ₂ | Bedarf | CO ₂ | Bedarf | CO ₂ |
| | | kg/kWh | kWh/a | kg/a | kWh/m ² a | kg/m ² a |
| 1 | Strom-Mix | 0.617 | 28363 | 17500 | 0.00 | 55.68 |
| 2 | | | | | | |
| Summe | | | 88663 | 23720 | 0.00 | 73.90 |

Als Berechnungsgrundlage des CO₂ Ausstoßes wurden GEMIS 4.13 Werte (www.gemis.de) verwendet

Schadstoffausstoß, Wärmepumpeneinsatz

| Energieträger | NO _x | NO _x | CO | SO ₂ | Staub |
|---------------|---------------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|
| | kg/m ² a | kg/a | kg/a | kg/a | kg/a |
| Strom-Mix | 0.057 | 17.90 | 5.79 | 10.92 | 1.53 |
| SUMME | 0.057 | 17.90 | 5.79 | 10.92 | 1.53 |

Verbrauchsbereinigt wird durch den Einsatz einer Wärmepumpe der CO₂-Anteil um 4 t/a/ Jahr reduziert, jedoch steigt der Anteil der Stick- und Schwefeloxide.

Teil C3

Berechnungen mit CAD - Plänen zur Flächenermittlung
siehe gesonderter Band

Teil D3

Dokumentation, siehe gesonderter Band

Anhang

Außenbezirk Wesel

Bedarfsberechnung Endenergie Bestand vor Optimierung

16.11.2015

| Gebäude | Total | Jan. | Feb. | März | April | Mai | Juni | Juli | Aug. | Sept. | Okt. | Nov. | Dez. |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|---------|----------|----------|
| Endenergie | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] |
| Gesamtenergie | 94964 | 15698 | 13383 | 11767 | 6951 | 3383 | 1793 | 1074 | 1163 | 3490 | 7772 | 12547 | 15941 |
| Referenzgebäude | 70171 | 11943 | 10118 | 8528 | 4577 | 2159 | 1345 | 1072 | 1090 | 2219 | 5474 | 9448 | 12199 |
| Heizung | 85627.24 | 14935.31 | 12711.41 | 11030.90 | 6213.74 | 2583.04 | 967.77 | 182.69 | 299.32 | 2738.46 | 7015.41 | 11802.51 | 15146.68 |
| Referenzgebäude | 60246.44 | 11157.64 | 9430.92 | 7772.65 | 3803.90 | 1280.45 | 420.77 | 80.82 | 128.97 | 1422.01 | 4690.46 | 8681.09 | 11376.77 |
| ->Raumwärme | 85370.93 | 14893.70 | 12675.67 | 10998.61 | 6193.34 | 2572.90 | 963.47 | 181.86 | 297.95 | 2727.54 | 6992.82 | 11768.51 | 15104.57 |
| Referenzgebäude | 59466.98 | 11032.06 | 9323.71 | 7679.18 | 3748.17 | 1252.22 | 401.25 | 68.15 | 115.29 | 1391.74 | 4626.12 | 8579.94 | 11249.15 |
| ->Hilfseng. Heizung | 256.31 | 41.60 | 35.74 | 32.30 | 20.41 | 10.14 | 4.30 | 0.83 | 1.37 | 10.92 | 22.59 | 34.00 | 42.11 |
| Referenzgebäude | 779.46 | 125.58 | 107.21 | 93.47 | 55.73 | 28.23 | 19.51 | 12.67 | 13.68 | 30.27 | 64.34 | 101.15 | 127.62 |
| Licht | 8556.31 | 752.43 | 661.42 | 717.17 | 684.29 | 700.38 | 676.16 | 702.06 | 708.78 | 697.29 | 737.32 | 734.66 | 784.34 |
| Referenzgebäude | 8885.47 | 784.89 | 687.55 | 743.46 | 708.03 | 723.74 | 698.48 | 725.71 | 733.60 | 723.30 | 767.13 | 767.20 | 822.37 |
| Kühlung | 780.43 | 10.66 | 10.03 | 19.30 | 53.41 | 100.02 | 149.10 | 189.62 | 155.30 | 53.80 | 19.71 | 9.81 | 9.66 |
| Referenzgebäude | 1039.27 | 0.00 | 0.00 | 11.51 | 64.91 | 154.79 | 225.58 | 265.27 | 227.63 | 73.26 | 16.31 | 0.00 | 0.00 |
| ->Raumkühlung | 780.43 | 10.66 | 10.03 | 19.30 | 53.41 | 100.02 | 149.10 | 189.62 | 155.30 | 53.80 | 19.71 | 9.81 | 9.66 |
| Referenzgebäude | 617.27 | 0.00 | 0.00 | 6.77 | 37.56 | 87.25 | 134.46 | 163.44 | 135.93 | 42.28 | 9.58 | 0.00 | 0.00 |
| Referenzgebäude | 422.00 | 0.00 | 0.00 | 4.75 | 27.35 | 67.54 | 91.12 | 101.83 | 91.70 | 30.98 | 6.73 | 0.00 | 0.00 |

Außenbezirk Wesel
Bedarfsberechnung Endenergie Wärmepumpe
17.11.2015

| Gebäude Endenergie | Total [kWh] | Jan. [kWh] | Feb. [kWh] | März [kWh] | April [kWh] | Mai [kWh] | Juni [kWh] | Juli [kWh] | Aug. [kWh] | Sept. [kWh] | Okt. [kWh] | Nov. [kWh] | Dez. [kWh] |
|-----------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|----------------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|
| Gesamtenergie | 29623 | 4675 | 3777 | 3307 | 2075 | 1319 | 1006 | 925 | 919 | 1297 | 2279 | 3541 | 4505 |
| Referenzgebäude | 70171 | 11943 | 10118 | 8528 | 4577 | 2159 | 1345 | 1072 | 1090 | 2219 | 5474 | 9448 | 12199 |
| Heizung | 20365.83 | 3922.11 | 3115.28 | 2579.15 | 1347.02 | 523.56 | 182.73 | 33.50 | 55.23 | 551.22 | 1528.67 | 2806.62 | 3720.72 |
| Referenzgebäude | 60246.44 | 11157.64 | 9430.92 | 7772.65 | 3803.90 | 1280.45 | 420.77 | 80.82 | 128.97 | 1422.01 | 4690.46 | 8681.09 | 11376.77 |
| ->Raumwärme | 16766.83 | 3298.76 | 2574.19 | 2112.50 | 1090.26 | 420.07 | 144.98 | 26.54 | 43.73 | 440.48 | 1235.93 | 2303.24 | 3076.15 |
| Referenzgebäude | 59466.98 | 11032.06 | 9323.71 | 7679.18 | 3748.17 | 1252.22 | 401.25 | 68.15 | 115.29 | 1391.74 | 4626.12 | 8579.94 | 11249.15 |
| ->Hilfseng. Heizung | 3599.00 | 623.35 | 541.09 | 466.65 | 256.76 | 103.49 | 37.76 | 6.97 | 11.50 | 110.74 | 292.75 | 503.38 | 644.56 |
| Referenzgebäude | 779.46 | 125.58 | 107.21 | 93.47 | 55.73 | 28.23 | 19.51 | 12.67 | 13.68 | 30.27 | 64.34 | 101.15 | 127.62 |
| Licht | 8556.31 | 752.43 | 661.42 | 717.17 | 684.29 | 700.38 | 676.16 | 702.06 | 708.78 | 697.29 | 737.32 | 734.66 | 784.34 |
| Referenzgebäude | 8885.47 | 784.89 | 687.55 | 743.46 | 708.03 | 723.74 | 698.48 | 725.71 | 733.60 | 723.30 | 767.13 | 767.20 | 822.37 |
| Kühlung | 700.91 | 0.00 | 0.00 | 10.38 | 43.43 | 94.56 | 147.22 | 189.35 | 154.78 | 48.10 | 13.08 | 0.00 | 0.00 |
| Referenzgebäude | 1039.27 | 0.00 | 0.00 | 11.51 | 64.91 | 154.79 | 225.58 | 265.27 | 227.63 | 73.26 | 16.31 | 0.00 | 0.00 |
| ->Raumkühlung | 700.91 | 0.00 | 0.00 | 10.38 | 43.43 | 94.56 | 147.22 | 189.35 | 154.78 | 48.10 | 13.08 | 0.00 | 0.00 |
| Referenzgebäude | 617.27 | 0.00 | 0.00 | 6.77 | 37.56 | 87.25 | 134.46 | 163.44 | 135.93 | 42.28 | 9.58 | 0.00 | 0.00 |
| Referenzgebäude | 422.00 | 0.00 | 0.00 | 4.75 | 27.35 | 67.54 | 91.12 | 101.83 | 91.70 | 30.98 | 6.73 | 0.00 | 0.00 |

Tabelle der verwendeten Bauteile

Hinweis: auf die Darstellung der Zwischenwände wurde verzichtet, weil die vorangegangenen Berechnungen gezeigt haben, dass zwischen den Zonen „Büro“, „Lager“, „Werkstatt“, „Sanitär“ keine nachweisbaren Wärmeströme entstehen.

| | Bauteil | Bezeich | Ri. | Fläche [m²] | U-Wert [W/m²K] | Fak | Gewinn in % | Verlust in % |
|------|---------------------|---------|-----|----------------|-----------------------|------|----------------|-----------------|
| 1 | Wand | | | | | | | |
| 1.1 | 24.1 Bims V2 14/040 | AwO01 | O | 69.03 | 0.249 | 1.00 | 0.339% | 3.929% |
| 1.2 | 24.1 Bims V2 14/040 | AwO02 | O | 25.03 | 0.249 | 1.00 | 0.123% | 1.425% |
| 1.3 | 24.1 Bims V2 14/040 | AwO022 | O | 12.53 | 0.249 | 1.00 | 0.061% | 0.713% |
| 1.4 | 24.1 Bims V2 14/040 | AwN01 | N | 24.59 | 0.249 | 1.00 | 0.005% | 1.400% |
| 1.5 | 24.1 Bims V2 14/040 | AwN02 | N | 2.06 | 0.249 | 1.00 | 0.000% | 0.117% |
| 1.6 | 24.1 Bims V2 14/040 | AwW01 | W | 64.32 | 0.249 | 1.00 | 0.244% | 3.661% |
| 1.7 | 24.1 Bims V2 14/040 | AwW02 | W | 11.56 | 0.249 | 1.00 | 0.044% | 0.658% |
| 1.8 | 24.1 Bims V2 14/040 | AwW03 | W | 13.20 | 0.249 | 1.00 | 0.050% | 0.752% |
| 1.9 | 24.1 Bims V2 14/040 | AwS01 | S | 27.67 | 0.249 | 1.00 | 0.185% | 1.575% |
| 1.10 | 24.1 Bims V2 14/040 | AwS02 | S | 2.06 | 0.249 | 1.00 | 0.014% | 0.117% |
| | | | | 252.06 | 0.249 | | 1.07% | 14.35% |

| | Bauteil | Bezeich | Ri. | Fläche [m²] | U-Wert [W/m²K] | Fak | Gewinn in % | | Verlust in % |
|------|--|---------------|-----|----------------|-------------------|------|----------------|---------------|-----------------|
| 2 | Fenster, Fenstertüren | | | | | | g | | |
| 2.1 | Haustür mit kleinem Fenster 2,3 | AwO01 | O | 8.71 | 2.300 | 1.00 | 0.05 | 0.258% | 4.573% |
| 2.2 | Haustür mit kleinem Fenster 2,90 | AwO01 | O | 5.07 | 2.900 | 1.00 | 0.05 | 0.150% | 3.356% |
| 2.3 | Ku Ug=1,1W/m²K g=0,43 | AwO01 | O | 5.83 | 1.677 | 1.00 | 0.43 | 1.528% | 2.230% |
| 2.4 | Ku Ug=1,1W/m²K g=0,65 | AwO01 | O | 3.92 | 1.763 | 1.00 | 0.65 | 1.291% | 1.579% |
| 2.5 | Ku Ug=1,1W/m²K g=0,43 | AwO02 | O | 2.32 | 1.574 | 1.00 | 0.43 | 0.680% | 0.835% |
| 2.6 | Haustür mit Fenster 2,10 | AwO02 | O | 2.54 | 2.100 | 1.00 | 0.20 | 0.300% | 1.215% |
| 2.7 | Ku Ug=1,1W/m²K g=0,43 | AwO02 | O | 0.57 | 1.948 | 1.00 | 0.43 | 0.103% | 0.254% |
| 2.8 | Haustür mit kleinem Fenster 2,3 | AwO022 | O | 4.17 | 2.300 | 1.00 | 0.05 | 0.123% | 2.188% |
| 2.9 | Ku Ug=1,1W/m²K g=0,43 | AwO022 | O | 0.57 | 1.948 | 1.00 | 0.43 | 0.103% | 0.254% |
| 2.10 | Sektionaltor 0.6 | AwN01 | N | 6.25 | 0.600 | 1.00 | --- | ---- | 0.856% |
| 2.11 | Kunststoff Bj 90-95 Ug=2,3W/m²K g=0,65 | AwN02 | N | 2.13 | 2.358 | 1.00 | 0.65 | 0.456% | 1.146% |
| 2.12 | Ku Ug=1,1W/m²K g=0,43 | AwW01 | W | 16.10 | 1.559 | 1.00 | 0.43 | 4.210% | 5.729% |
| 2.13 | Ku Ug=1,1W/m²K g=0,43 | AwW01 | W | 9.65 | 1.517 | 1.00 | 0.43 | 2.627% | 3.341% |
| 2.14 | Kunststoff Bj 90-95 Ug=1,4W/m²K g=0,62 | AwW02 | W | 15.58 | 1.653 | 1.00 | 0.62 | 6.693% | 5.878% |
| 2.15 | Ku Ug=1,1W/m²K g=0,43 | AwW03 | W | 4.07 | 1.737 | 1.00 | 0.43 | 0.879% | 1.613% |
| 2.16 | Ku Ug=1,1W/m²K g=0,43 | AwS01 | S | 3.17 | 1.519 | 1.00 | 0.43 | 1.341% | 1.100% |
| 2.17 | Kunststoff Bj 90-95 Ug=2,3W/m²K g=0,65 | AwS02 | S | 2.13 | 2.358 | 1.00 | 0.65 | 1.265% | 1.146% |
| | | | | 92.77 | 1.761 | | | 22.01% | 37.29% |
| 3 | Decke zum Dachgeschoß, Dach | | | | | | | | |
| 3.1 | 12 Bn 12/35 | Dach01 | | 231.44 | 0.270 | 0.50 | | --- | 7.125% |
| 3.2 | 12 Bn 12/35 | Dach02 | | 67.80 | 0.270 | 0.50 | | --- | 2.087% |
| 3.3 | 12 Bn 12/35 | Dach03 | | 38.44 | 0.270 | 0.50 | | --- | 1.183% |
| 3.4 | 14 Hlz 12/35 | SD Erker | | 9.30 | 0.321 | 1.00 | | 0.046% | 0.682% |
| | | | | 346.98 | 0.140 | | | 0.05% | 11.08% |
| 4 | Grundfläche, Kellerdecke | | | | | | | | |
| 4.1 | 15 Bn 3/45 SchwEstr | Bopla01 | | 231.44 | 0.850 | 0.50 | | --- | 22.463% |
| 4.2 | 15 Bn 3/45 SchwEstr | Bopla02 | | 81.02 | 0.850 | 0.50 | | --- | 7.864% |
| 4.3 | 15 Bn 3/45 SchwEstr | Bopla03 | | 38.44 | 0.850 | 0.50 | | --- | 3.731% |
| | | | | 350.90 | 0.425 | | | ----- | 34.06% |
| | | Summe: | | 1042.71 | | | | | |

Anlage 9

Energiekonzept Bauhof Neckarsteinach

Energiekonzept

im Auftrag der Bundesanstalt für Wasserbau



Bauhof Neckarsteinach

Stand: 08.11.2016

EGS-plan Ingenieurgesellschaft für Energie-, Gebäude- und Solartechnik mbH
Gropiusplatz 10 . D-70563 Stuttgart
Tel. +49 711 99 007 - 5 . Fax +49 711 99 007 - 99
info@egs-plan.de . www.egs-plan.de

NordLB Braunschweig . BLZ 250 500 00 . Kto.-Nr. 20 740 60
IBAN-Nr. DE48 2505 0000 0002 0740 60 . BIC-/SWIFT-Code: NOLADE 2HXXX
Ust.-IdNr. DE218431901 . Registergericht Stuttgart . HRB 22434

Geschäftsführer:
Dipl.-Ing. Jörg Baumgärtner
Dr.-Ing. Boris Mahler
Direktor:
Univ. Prof. Dr.-Ing. M. Norbert Fisch

161108_Bericht Neckarsteinach.docx

Auftraggeber / Bauherr Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)
Kußmaulstraße 17
76187 Karlsruhe

Daniel Erndwein
Tel.: 0721 9726-5980
Email: daniel.erndwein@baw.de

Auftragnehmer EGS-Plan Ingenieurgesellschaft für
Energie-, Gebäude- und Solartechnik mbH
Gropiusplatz 10
70563 Stuttgart

Tel. +49 711 99 007 - 5
Fax +49 711 99 007 - 99
www.egs-plan.de
info@egs-plan.de

Bearbeitung Simone Idler, M.Sc.
Bernd Bauer

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Zusammenfassung | 4 |
| 2 | Liegenschaftsdaten | 5 |
| 3 | Bestandsaufnahme | 6 |
| 3.1 | Sichtbare Mängel | 6 |
| 3.2 | Gebäudehülle | 7 |
| 3.3 | Anlagentechnik | 11 |
| 4 | Energieverbrauch | 16 |
| 5 | Energiebedarf | 18 |
| 5.1 | Zonierung | 18 |
| 5.2 | Normierte Berechnung des Bestandes nach DIN V 18599 | 19 |
| 5.3 | Bedarfs-/Verbrauchsabgleich Wärme | 20 |
| 6 | Modernisierungsempfehlungen | 22 |
| 6.1 | Untersuchte Varianten | 22 |
| 6.2 | End- und Primärenergiebedarf bzw. CO ₂ -Emissionen | 24 |
| 6.3 | Wirtschaftlichkeitsberechnung | 27 |
| 7 | Anlagen | 31 |

1 Zusammenfassung

EGS-plan hat gemeinsam mit dem Gebäudeeigentümer und Vertreter der Bundesanstalt für Wasserbau und dem Gebäudenutzer das Gebäude in einer Begehung besichtigt. Dabei wurden das Gebäude und die für die Energieversorgung relevante Anlagentechnik besichtigt und Bauteile und Technik aufgenommen. Die Begehungen wurden in einer Fotodokumentation festgehalten. Zusätzlich zur Begehung wurden Pläne und Revisionsunterlagen gesichtet. Gespräche mit Gebäudeeigentümer und Nutzer fanden im Rahmen der Begehungen statt. Sie dienten der Klärung offener Fragen zu Bauteilen, Nutzung, Anlagen und deren Betriebsführung und dem Austausch von Energierechnungen.

Die Liegenschaft mit Baujahr 1979 besteht aus einem Sozialgebäude, einem Werkstattgebäude mit Montagehalle, einer Fahrzeughalle mit Garagen sowie einem weiteren unbeheizten Gebäudeteil und zwei offenen Bauten mit Lagerflächen.

Im Jahre 2011 wurden bereits größere Sanierungsmaßnahmen an den Gebäudedächern, Fenstern und Toren vorgenommen. Die Innen- und Außenbeleuchtung wurde bereits teilweise durch LED ersetzt. Bei der Bestandsaufnahme wurden daher nur kleine Mängel am Sonnenschutz und der Wärmeübergabe festgestellt.

Es gibt keinen übergeordneten Wärmemengenzähler oder separate Wärmemengenzähler für die einzelnen Gebäude. Es liegen lediglich die Rechnungen für die Öllieferung und Strom für die gesamte Liegenschaft letzten 3 Jahre vor. Die Liegenschaft wird zentral über zwei Öl-Brennwertkessel beheizt.

Es wurden 20 Einzelmaßnahmen untersucht, welche zu vier Sanierungsvarianten zusammengefasst wurden. Für die einzelnen Varianten wurden der End- und Primärenergieeinsatz sowie die CO₂-Emissionen berechnet. Anschließend wurde eine Wirtschaftlichkeitsberechnung mit einem Zeitraum von 20 Jahren durchgeführt.

Eine Sanierung auf EnEV 2014 für Bestandsgebäude wird unter anderem durch umfangreiche bauliche Maßnahmen an Außenwand, Fenster, Dach und Boden sowie eine effizientere Wärmeerzeugung durch einen Anteil an Kraft-Wärme-Kopplung erreicht. Aufgrund der Lage im Hochwassergebiet wird für die Außenwanddämmung eine Ausführung in Schaumglas empfohlen. Der Werkstoff ist wasserbeständig und es wird damit ausgeschlossen, dass Feuchteschäden im Dämmmaterial selbst auftreten. Variante 1 hat höhere Jahresgesamtkosten als das aktuelle Gebäude und ist nur mit hohem technischem und investivem Aufwand durchzuführen. Eine Sanierung auf Neubaustandard nach EnEV 2014 bzw. eine regenerative Wärmeerzeugung sind nur mit weitaus höherem Aufwand an der Gebäudehülle und die komplette Umstellung der Wärmeerzeugung auf Biomasse zu erreichen. Die Varianten 1 bis 3 sind aufgrund der Anforderungen an die Gebäudehülle technisch schwierig umzusetzen und wirtschaftlich ebenfalls nicht darstellbar. Sie werden daher nicht zur Umsetzung empfohlen. Die wirtschaftliche Variante 4 enthält lediglich die Durchführung eines hydraulischen Abgleichs.

2 Liegenschaftsdaten

| | |
|------------------------------------|--|
| Bezeichnung der Liegenschaft | Bauhof Neckarsteinach |
| Adresse | Industriestraße 20 69239 Neckarsteinach |
| Ansprechpartner vor Ort | k.A. |
| Hauptnutzung | Büro-, Sozialräume, Lager, Werkstätten |
| Nettogrundfläche beheizt | 2.758 m ² |
| Baujahr | 1979/1980 |
| Konditionierung | beheizt, teilw. belüftet |
| Nutzungszeiten | Mo-Do: 06:45-15:30 Uhr Fr: 06:45-12:45 Uhr |
| Anforderung an die Raumkonditionen | Büro- und Sozialbereiche: ca. 21 °C Lager- und Werkstätten: frostfrei 12-17°C |
| Besonderheiten | gering beheizte Bereiche vorhanden |

Tabelle 1 Angaben zur Liegenschaft und Ansprechpartner

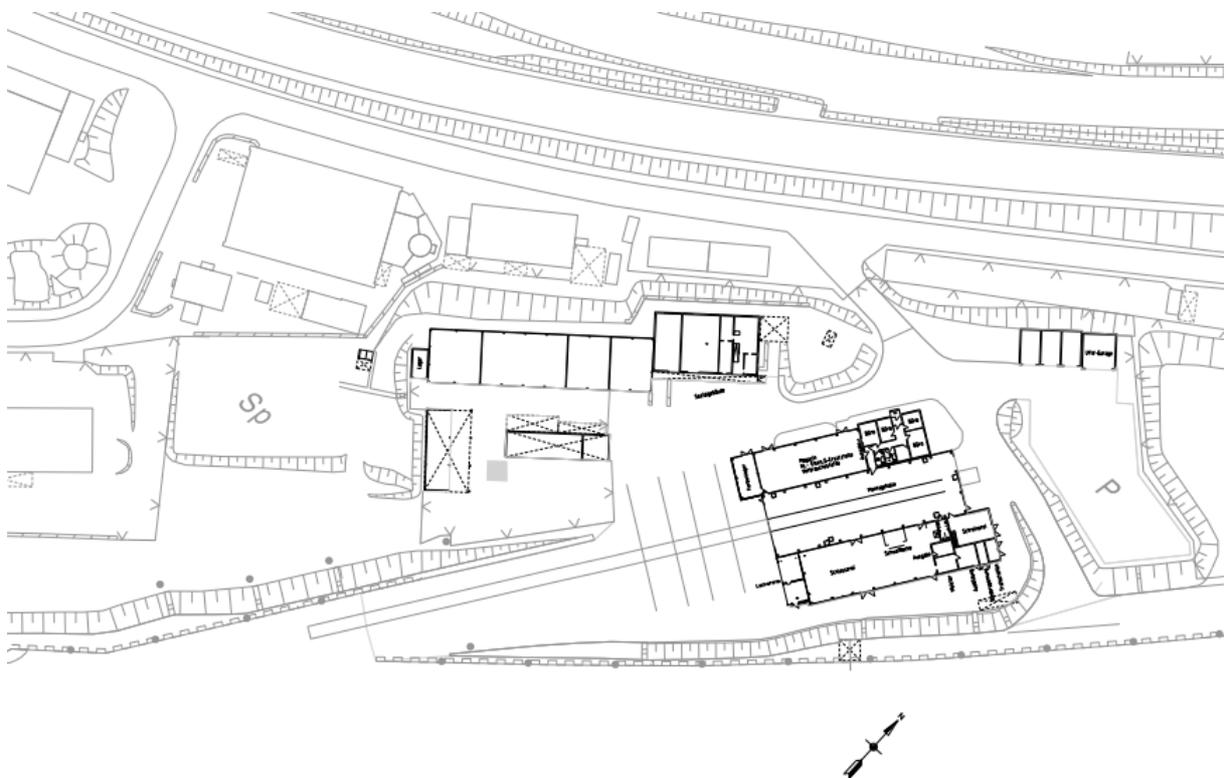


Abbildung 1 Lage der Gebäude

3 Bestandsaufnahme

3.1 Sichtbare Mängel

| Nr. | Bauteil | Foto und Beschreibung | |
|-----|--------------------------|--|--|
| 1. | Fenster/ Sonnenschutz |  | Mangelnder Sonnenschutz Büro-, Besprechungs- und Aufenthaltsraum Als Sonnenschutz ist sind nur Rolläden vorhanden. Dies führt im Sommer zu Überhitzung. |
| 2. | |  | Luftherhitzer |

Tabelle 2 sichtbare Mängel Gebäudehülle und Technik

3.2 Gebäudehülle

Die U-Werte wurden anhand der aufgenommenen Bauteilspezifikationen berechnet. Die der Berechnung zugrunde liegende λ – Werte wurden abgeschätzt. Detaillierte Bauteildaten mit Plandarstellungen sind in der Anlage 1.1 bis 1.6 beigefügt.

| Bauteil | Foto | Typ | U-Wert [W/(m²K)] |
|-------------------------------|---|--|------------------|
| Außenwand | | Außenwand Kalksandstein, 300 mm | 1,525 |
| Innenwand |  | Innenwand Kalksandstein, 115 mm, beidseitig verputzt | 2,555 |
| Dach Sozialgebäude |  | 40 mm HWL als Dämmung | 0,877 |
| Dach Anbau |  | Annahme: 95 mm Sandwichelement mit PU-Schaumfüllung | 0,339 |
| Oberste Geschossdecke | Annahme nach Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand Vom 30. Juli 2015 Für Baualterklasse 1979-1983 | | 0,600 |
| Decke über Keller/Unbeheizt | | | 0,800 |
| Fußboden Anbau gegen Erdreich | | | 0,800 |
| Fenster |  | Kunststoff/ Holzfenster mit Isolierverglasung | 1,300 |
| Dachfenster | | | 1,500 |
| Tor |  | | 1,600 |
| Tür | | Glastür / Stahltür | 1,800 |

Tabelle 3 Übersicht Gebäudehülle Sozialgebäude

Der Mindestwärmeschutz für Bestandsgebäude nach EnEV 2014 wird beim Sozialgebäude nicht eingehalten. Nutzungsbedingte Schallschutzprobleme konnten bei der Begehung nicht festgestellt werden. Bei der Begehung wurden keine Auffälligkeiten bezüglich Brandschutz festgestellt.

| Bauteil | Foto | Typ | U-Wert [W/(m²K)] |
|---|---|---|------------------|
| Außenwand 1 |  | Mauerwerk Kalksandstein, verputzt | 2,111 |
| Außenwand 2 |  | Beton Fertigteil aus Leichtbeton | 1,897 |
| Dach |  | Annahme: 95 mm Sandwichelement mit PU-Schaumfüllung | 0,339 |
| Fußboden gegen Erdreich Bürotrakt | | Schwimmender Estrich | 0,705 |
| Fußboden gegen Erdreich Werkstattbereich und Montagehalle | | Annahme nach Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand vom 30. Juli 2015 Für Baualterklasse 1979-1983 | 0,800 |
| Fenster Büro |  | dreifach-Verglasung, bereits saniert | 1,000 |

| | | | |
|------------------------------------|--|--|-------|
| Fenster Werkstatt und Montagehalle |  | | 1,400 |
| Rolltor groß |  | | 2,500 |
| Rolltor klein |  | | 2,140 |
| Türen |  | | 2,000 |

Tabelle 4 Übersicht Gebäudehülle Werkstatt

Der Mindestwärmeschutz für Bestandsgebäude nach EnEV 2014 wird beim Werkstattgebäude nicht eingehalten. Nutzungsbedingte Schallschutzprobleme konnten bei der Begehung nicht festgestellt werden. Bei der Begehung wurden keine Auffälligkeiten bezüglich Brandschutz festgestellt.

| Bauteil | Foto | Typ | U-Wert [W/(m²K)] |
|-----------|---|---|------------------|
| Außenwand |  | Mauerwerk Kalksandstein | 2,111 |
| Dach |  | Annahme: 95 mm Sandwichelement mit PU-Schaumfüllung | 0,339 |
| Fenster |  | Kunststofffenster, zweifach-Wärmeschutzverglasung | 1,400 |

| | | | |
|---------------------------------------|---|--|-------|
| Fußboden gg. Erdreich |  | Fußboden mit Verbundestrich | 2,970 |
| Rolltor |  | | 2,140 |
| Innenwand gegen unbeheizt / frostfrei | - | Mauerwerk Kalksandstein, 2-schalig mit Mineralwollkern | 0,652 |

Tabelle 5 Übersicht Gebäudehülle Fahrzeughalle

Der Mindestwärmeschutz für Bestandsgebäude nach EnEV 2014 wird bei der Fahrzeughalle nicht eingehalten. Nutzungsbedingte Schallschutzprobleme konnten bei der Begehung nicht festgestellt werden. Bei der Begehung wurden keine Auffälligkeiten bezüglich Brandschutz festgestellt.

3.3 Anlagentechnik

Die Anlagentechnik wurde bei der Gebäudebegehung aufgenommen und in den folgenden Tabellen dokumentiert. Die Gebäude werden zentral über zwei Öl-Brennwertkessel beheizt. Für die Lackiererei gibt es eine separate Lufttrocknungsanlage. Die sanitären Anlagen haben dezentrale Ablüfter. Der Raum der Leitwarte wird separat klimatisiert und wird in der Untersuchung nicht weiter betrachtet.

| Heizung | |
|---|--|
|  | <p>Erzeugung + Verteilung:</p> <p>2 Öl-Brennwertkessel mit Gebläse Kessel: Buderus, GE 315 Baujahr 2005, Nennwärmeleistung: 2 x 170 kW Brenner: Gulliver, RG 4D Baujahr 2005 Öltank: 80.000 l</p> |
|  | <p>Verteilung:</p> <p>Baujahr 1980, einfach gedämmt 3 Heizkreise:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Heizung Sozialgebäude • Warmwasserbereitung • Fernleitung (Heizung Werkstattgebäudes und Fahrzeughalle) mit neuer Hocheffizienzpumpe |
|  | <p>Übergabe Sozialgebäude:</p> <p>statische Heizung mit Radiatoren Thermostatventile</p> <p>IST - Raumtemperatur: Die Raumtemperaturen in Büro- und Sozialräumen sind ausreichend.</p> |
|  | <p>Übergabe Werkstattgebäude:</p> <p>Luftheizung Montagehalle Decke und Luftschleier (Foto) Regelung manuell, Raumtemperatur: 19°C</p> <p>statische Heizung mit Radiatoren Büro/ Werkstatt Thermostatventile, Raumtemperatur: 21°C/ 19°C</p> <p>IST - Raumtemperatur: Die Raumtemperaturen in Montagehalle, Werkstatt und Bürobereiche sind ausreichend.</p> |

| | |
|--|--|
| | <p>Übergabe Fahrzeughalle statische Heizung mit Radiatoren Thermostatventile IST - Raumtemperatur: Durch die Sanierung von Fenster und Dach sind die Bestandsradiatoren nun überdimensioniert</p> |
|--|--|

Tabelle 6 Techn. Daten Heizwärmeversorgung zentral

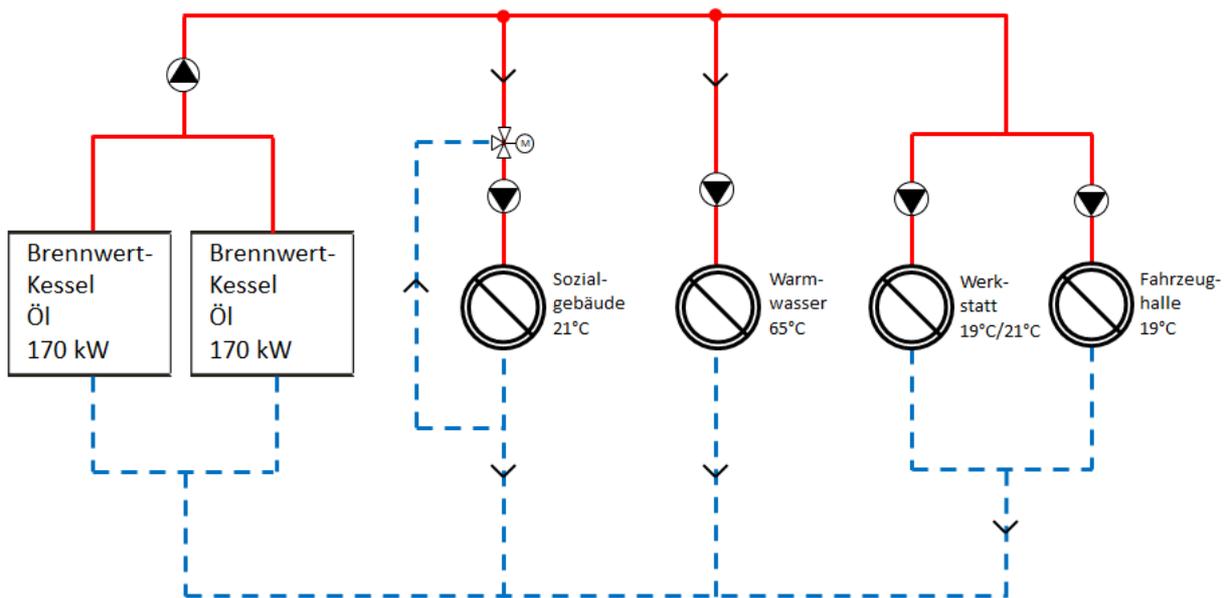


Abbildung 2 Schema bestehende zentrale Wärmeversorgung

| Warmwasserbereitung dezentral | |
|---|---|
| | |
| <p>Warmwasserboiler Hersteller: AEG Elektr. Leistung: 2-6 kW, Wandspeicher, Inhalt: 80 l Standort: WC Damen, Werkstattgebäude</p> | <p>Warmwasserboiler Hersteller: AEG Untertischspeicher Standort: WC Schlosserei, Werkstattgebäude</p> |

Tabelle 7 Techn. Daten dezentrale Warmwasserbereitung Werkstattgebäude

| Lufttrocknungsanlage Lackiererei | |
|---|---|
|  | <p>Warmlüfterzeuger mit Gebläse Brennstoff: Heizöl Typ: VDGS/T Gr. 0, Hersteller: ALKO Baujahr 2005, Nennwärmeleistung: 128 kW Brenner: Weishaupt, WL 20, Baujahr 2005 Standort: Lackierkabine Betrieb: nach Bedarf</p> |

Tabelle 8 Techn. Daten Trockenkabine Lackiererei (Prozesswärme)

| Mechanische Lüftung Sozialgebäude | |
|--|--|
|  <p>Abluftanlage Dusch- und Umkleieräume Sozialgebäude Abluft: 1025 m³/h, Leistung Ventilator: 0,19 kW Baujahr 1980 Standort: Dachboden</p> |  <p>Abluft Umkleieräume (oben) und Duschräume (unten), Sozialgebäude</p> |
|  <p>Abluftanlage Küche und WC Standort: Dachboden</p> |  <p>dezentrale Abluft WC und Küche</p> |

Tabelle 9 Techn. Daten Lüftung Sozialgebäude

Büro und Sozialbereiche sowie die Werkstätten und Lager werden natürlich über Fenster belüftet. Die Luftqualität ist in Ordnung.

| | |
|---|--|
|  |  |
| Inverter Heiz-/Kühlgerät, Mitsubishi Außeneinheit, Standort: Nordwestseite Leitwarte | Inneneinheit, Standort: Leitwarte |

Tabelle 10 Techn. Daten Klimatisierung Leitwarte

| Beleuchtung und Sonnenschutz | | |
|------------------------------|---|---|
| Beleuchtung |  |  |
| | Leuchtstofflampen mit KVG, direkte Beleuchtung (Büro, Werkstatt, Sanitärbereich) Steuerung: manuell | LED (Flur, Aufenthaltsraum, Umkleide) Steuerung: manuell |
| Sonnenschutz | Rollläden, kein weiterer Sonnenschutz vorhanden | |

Tabelle 11 Techn. Daten Beleuchtung und Sonnenschutz Sozialgebäude

| Beleuchtung und Sonnenschutz | |
|------------------------------|---|
| Beleuchtung |  <p>Leuchtstofflampen mit KVG, direkte Beleuchtung (Büro, Werkstatt, Flur, Sanitärbereich) Steuerung: manuell</p> |
| Sonnenschutz |  <p>Außenliegender Sonnenschutz auf Südseite vorhanden, Rollläden</p> |

Tabelle 12 Techn. Daten Beleuchtung und Sonnenschutz Werkstattgebäude

Im Außenbereich wurden die bestehenden Natriumdampf-Hochdrucklampen (800 Watt/Lampe) bereits teilweise durch LED (90 Watt/Lampe) ausgetauscht.

Die Beleuchtungsstärken sind ausreichend.

4 Energieverbrauch

Der Energieverbrauch wurde anhand vorliegender Energierechnungen erfasst. Sowohl Heizölverbrauch als auch Stromverbrauch werden jeweils für die gesamte Liegenschaft gemeinsam erfasst. Das Heizöl wird jährlich auf Basis des geschätzten Bedarfes für die folgende Heizperiode bestellt und geliefert. Es erfolgt keine Wärmemengenzählung des tatsächlichen Verbrauches im jeweiligen Jahr. Daher wird in der folgenden Abbildung 3 die gelieferte Ölmenge umgerechnet in MWh (1l Heizöl = 10 kWh_{HI}) jedoch nicht witterungsbereinigt dargestellt.

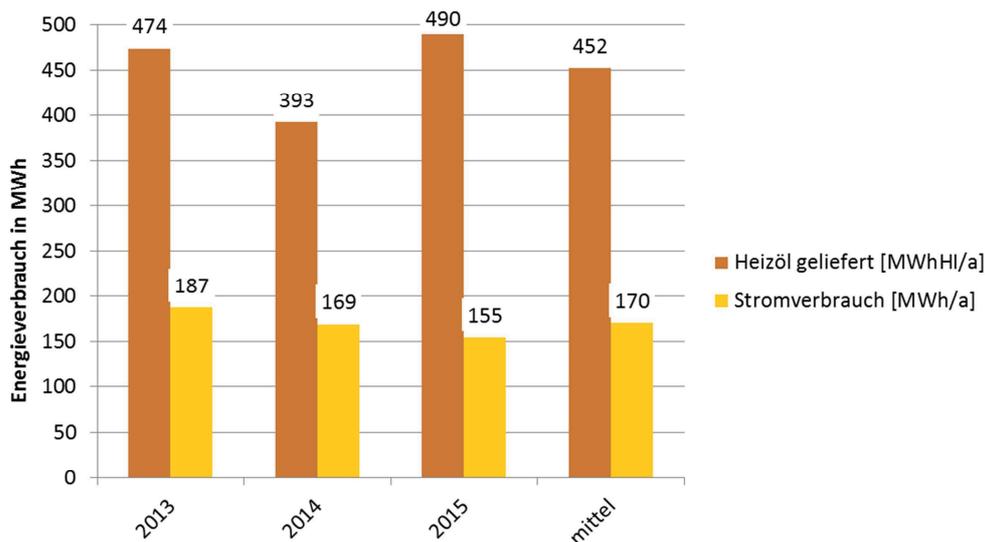


Abbildung 3 jährlicher absoluter Energieverbrauch gemessen

Die Abschätzung der Aufteilung des Heizölverbrauchs für die Liegenschaft basiert auf dem mittleren Heizölverbrauch. Der Warmwasserverbrauch wurde anhand der Mitarbeiterbelegung und durchschnittlich 10 Duschen/ Tag und die Nahwärmeverluste aufgrund eines möglichen Netzverlaufs und Dimensionierung abgeschätzt, s. Abbildung 4.

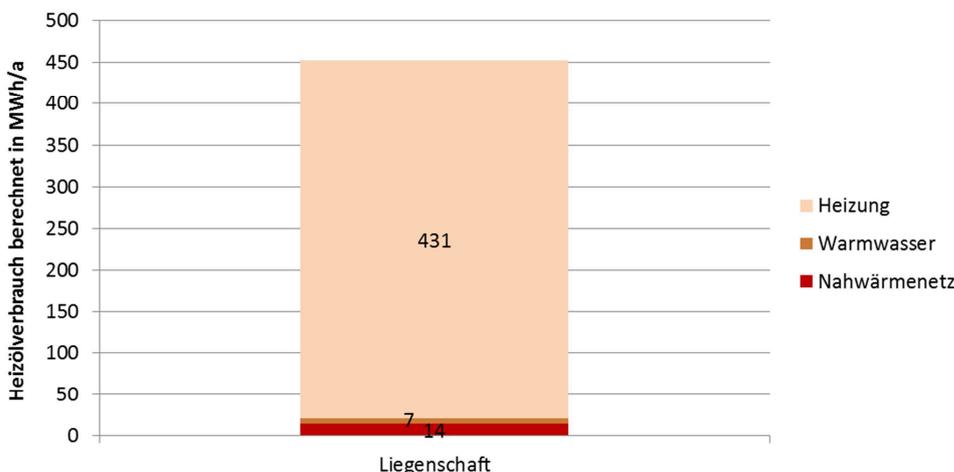


Abbildung 4 jährlicher absoluter Energieverbrauch Liegenschaft (berechnet)

In Abbildung 5 ist der berechnete spezifische Heizölverbrauch für die Liegenschaft dargestellt.

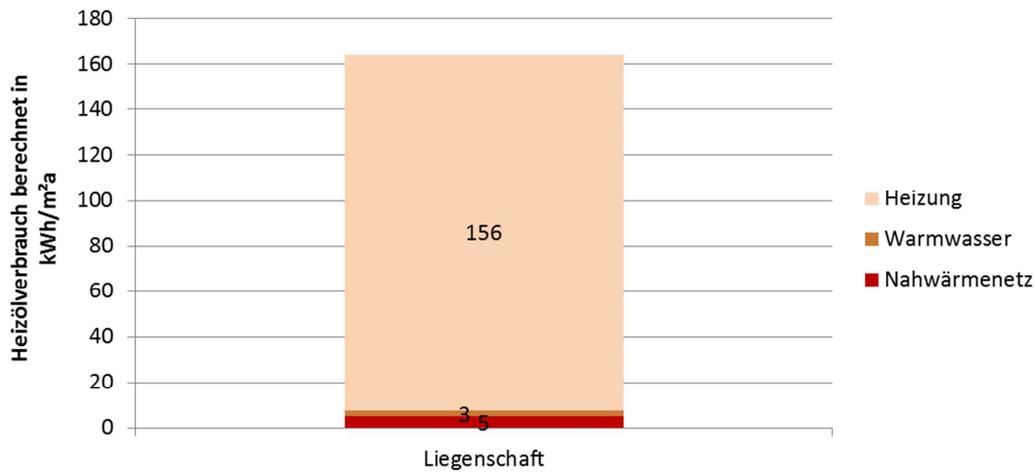


Abbildung 5 jährlicher spezifischer Energieverbrauch Liegenschaft (berechnet)

5 Energiebedarf

5.1 Zonierung

Die Zonierung der Gebäude erfolgt anhand der Nutzungsprofile nach DIN V 18599 Teil 10.

| Zone | Nutzungsprofil | NGF [m ²] |
|-----------------------------------|----------------|-----------------------|
| Gruppenbüro | 2 | 14 |
| Besprechung | 4 | 107 |
| Sonstige Aufenthaltsräume (Küche) | 18 | 14 |
| Werkstätten | 24 | 102 |
| Verkehrsflächen | 19 | 39 |
| Sanitäräume | 16 | 157 |
| Lager/ Technik, Archiv | 20 | 354 |

Tabelle 13 Zonierung Sozialgebäude nach DIN V 18599

| Zone | Nutzungsprofil | NGF [m ²] |
|---|----------------|-----------------------|
| Gruppenbüro | 2 | 136 |
| Werkstätten, niedrig beheizt (Montagehalle) | 22 | 681 |
| Werkstätten, niedrig beheizt | 23 | 588 |
| Verkehrsflächen | 19 | 47 |
| Sanitäräume | 16 | 27 |
| Lager/ Technik, Archiv | 20 | 301 |
| Lager/ Technik, Archiv, niedrig beheizt | 20 | 82 |

Tabelle 14 Zonierung Werkstattgebäude nach DIN V 18599

| Zone | Nutzungsprofil | NGF [m ²] |
|------------------------------|----------------|-----------------------|
| Werkstätten, niedrig beheizt | 24 | 108 |

Tabelle 15 Zonierung Fahrzeughalle nach DIN V 18599

Grundrisspläne mit Zonierung der einzelnen Räume sind in der Anlage 2 beigefügt.

5.2 Normierte Berechnung des Bestandes nach DIN V 18599

Die Berechnungen wurden mit der Software Solar Computer der Version 5.13.03 durchgeführt. Es liegen die standardisierten Nutzerprofile nach DIN V 18599 Teil 10 zugrunde.

| Energiebedarf | Gebäude normiert | Referenzgebäude | Gebäude normiert | Referenzgebäude |
|-------------------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| | [kWh/m²a] | | [MWh/a] | |
| Endenergiebedarf Öl für Wärme | 378 | | 172 | |
| Endenergiebedarf Strom | 51 | | 23 | |
| Primärenergiebedarf | 484 | 380 | 220 | 173 |

Tabelle 16 Normierte Berechnung nach DIN V 18599 Sozialgebäude

Das Sozialgebäude überschreitet den Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes im Bestand um 27 %.

| Energiebedarf | Gebäude normiert | Referenzgebäude | Gebäude normiert | Referenzgebäude |
|-------------------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| | [kWh/m²a] | | [MWh/a] | |
| Endenergiebedarf Öl für Wärme | 212 | | 395 | |
| Endenergiebedarf Strom | 14 | | 26 | |
| Primärenergiebedarf | 301 | 206 | 561 | 384 |

Tabelle 17 Normierte Berechnung nach DIN V 18599 Werkstattgebäude

Das Werkstattgebäude überschreitet den Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes im Bestand um 46 %.

| Energiebedarf | Gebäude normiert | Referenzgebäude | Gebäude normiert | Referenzgebäude |
|------------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| | [kWh/m²a] | | [MWh/a] | |
| Endenergiebedarf Wärme | 441 | | 48 | |
| Endenergiebedarf Strom | 18 | | 2 | |
| Primärenergiebedarf | 607 | 304 | 66 | 33 |

Tabelle 18 Normierte Berechnung nach DIN V 18599 Fahrzeughalle

Die Fahrzeughalle überschreitet den Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes im Bestand um 99 %.

5.3 Bedarfs-/Verbrauchsabgleich Wärme

Die errechneten Wärmebedarf der Liegenschaft aufgrund der standardisierten Berechnungen nach DIN V 18599 liegt 40% über den tatsächlichen Verbrauchswerten, s.

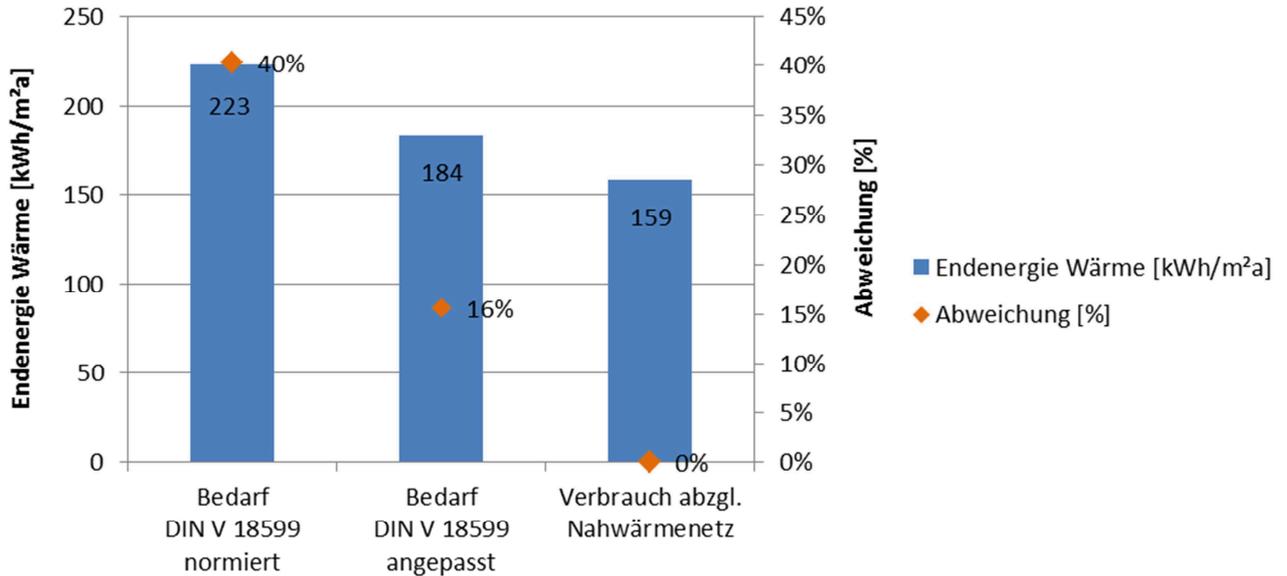


Abbildung 6. Der Bedarfs-Verbrauchs-Abgleich wurde mit Hilfe des mittleren gemessenen Energieverbrauchs und der individuellen Anpassung der Nutzerprofile vorgenommen. Die angepassten Nutzungsprofile sind in Anlage 4 beigefügt. Die Abweichung zwischen Bedarf und Verbrauch nach dem Abgleich liegt bei 16%.

| Energie | Bedarf DIN V 18599 normiert | Bedarf DIN V 18599 angepasst | Verbrauch abzgl. Nahwärmenetz |
|----------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| Endenergie Wärme [kWh/m²a] | 223 | 184 | 159 |
| Abweichung [%] | 40% | 16% | 0% |

Tabelle 19 Bedarfs-/Verbrauchsabgleich Wärme der Gebäude ohne Verluste Nahwärmenetz

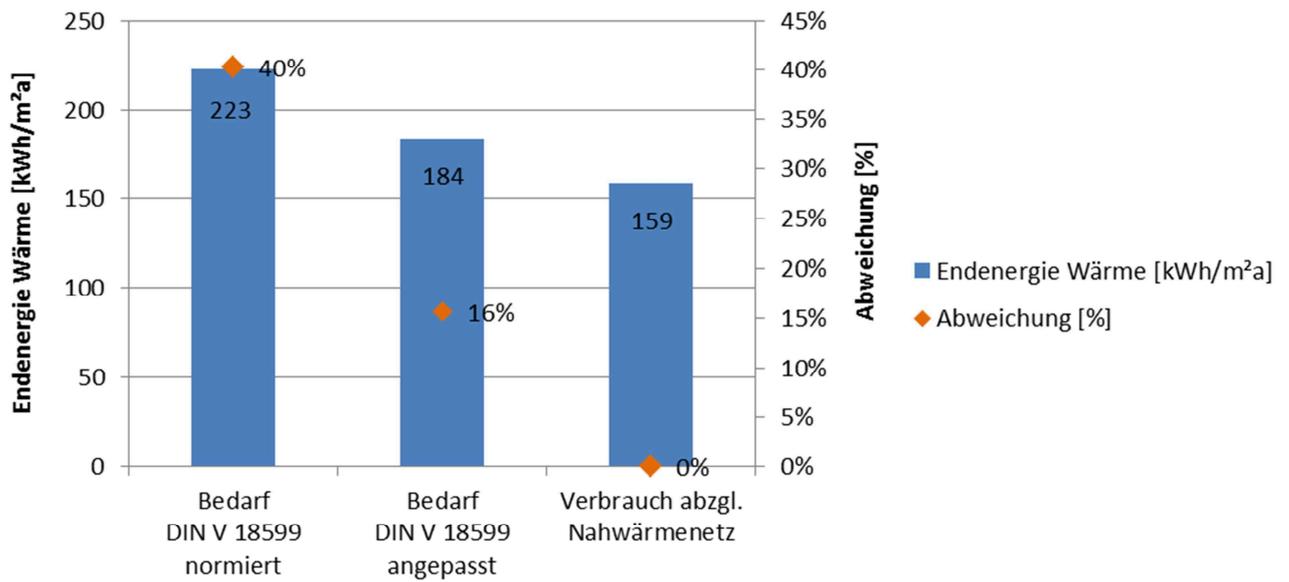


Abbildung 6 Bedarfs-/Verbrauchsabgleich Wärme Bauhof Neckarsteinach

6 Modernisierungsempfehlungen

6.1 Untersuchte Varianten

Die untersuchten Sanierungsmaßnahmen werden zu sinnvollen Maßnahmenpaketen zusammengefasst. Es werden die folgenden Einzelmaßnahmen untersucht:

| Nr. | Beschreibung Sanierungsmaßnahme | Sanierungsvarianten | | | |
|-------------------------|--|------------------------|---------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| | | 1. Sanierung ENEV 2014 | 2. Neubau EnEV 2014 | 3. Regenerative Wärmeversorgung | 4. Wirtschaftl. Maßnahmenpaket |
| Sozialgebäude | | | | | |
| 1. | Außenwand Dämmung mit 100 mm Schaumglas $\lambda_B = 0,041$ | x | | | |
| 2. | Dach Sozialgebäude HWL mit 160 mm Zwischensparrendämmung $\lambda_B = 0,035$ | x | | | |
| 3. | Außenwand Dämmung mit 180 mm Schaumglas $\lambda_B = 0,041$ | | x | x | |
| 4. | Innenwand Dämmung mit 100 mm HWL $\lambda_B = 0,033$ | | x | x | |
| 5. | Decke über Keller unbeheizt Dämmung mit 100 mm HWL $\lambda_B = 0,033$ | | x | x | |
| 6. | Austausch Fenster $U = 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ | | x | x | |
| 7. | Dach Sozialgebäude HWL mit 180 mm Zwischensparrendämmung $\lambda_B = 0,035$ | | x | x | |
| Werkstattgebäude | | | | | |
| 8. | Außenwand 1: Dämmung mit 60 mm Schaumglas $\lambda \leq 0,041$ | x | | | |
| 9. | Außenwand 2: Dämmung mit 80 mm Schaumglas $\lambda \leq 0,041$ | x | | | |
| 10. | Großes Rolltor $U = 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ | x | x | | |
| 11. | Außenwand 1: Dämmung mit 140 mm Schaumglas $\lambda \geq 0,041$ | | x | | |
| 12. | Außenwand 2: Dämmung mit 140 mm Schaumglas $\lambda \geq 0,041$ | | x | | |
| 13. | Dach Sandwichpaneel | | x | | |
| 14. | Fußboden Büro 70 mm Aufgleichsdämmung $\lambda \leq 0,035$ | | x | | |
| Fahrzeughalle | | | | | |
| 15. | Außenwand Dämmung mit 100 mm Schaumglas $\lambda \leq 0,041$ | x | x | x | |
| 16. | Dach Sandwichpaneel | | x | x | |
| 17. | Fußboden Dämmung mit 40 mm Schaumglas $\lambda \leq 0,041$ | | x | x | |
| Liegenschaft | | | | | |
| 18. | Hydraulischer Abgleich | x | x | x | x |
| 19. | Erdöl-BHKW | x | | | |
| 20. | Holzpelletkessel | | x | x | |

Tabelle 20 Zuordnung der Einzelmaßnahmen zu den Maßnahmenpaketen

Grundrisse und Schnitte mit Bauteilzuordnung sind in Anlage 1 beigelegt.

Variante 1: Sanierung nach EnEV 2014

Der Jahres-Primärenergiebedarf und der Transmissionswärmetransferkoeffizient des Referenzgebäudes nach EnEV 2014 (Randbedingungen ab 1.1.2016) werden um nicht mehr als 40% überschritten. Es werden Maßnahmen an der Gebäudehülle und der Anlagentechnik durchgeführt, s. Tabelle 20. Durch einen resultierenden niedrigeren Heizwärmebedarf wird ein bestehender Öl-Brennwertkessel durch einen Öl-BHKW ersetzt, s. Abbildung 7. Um die Anforderungen des EWärmeG einzuhalten werden 50 % der Wärmeenergie durch Kraft-Wärme-Kopplung erzeugt.

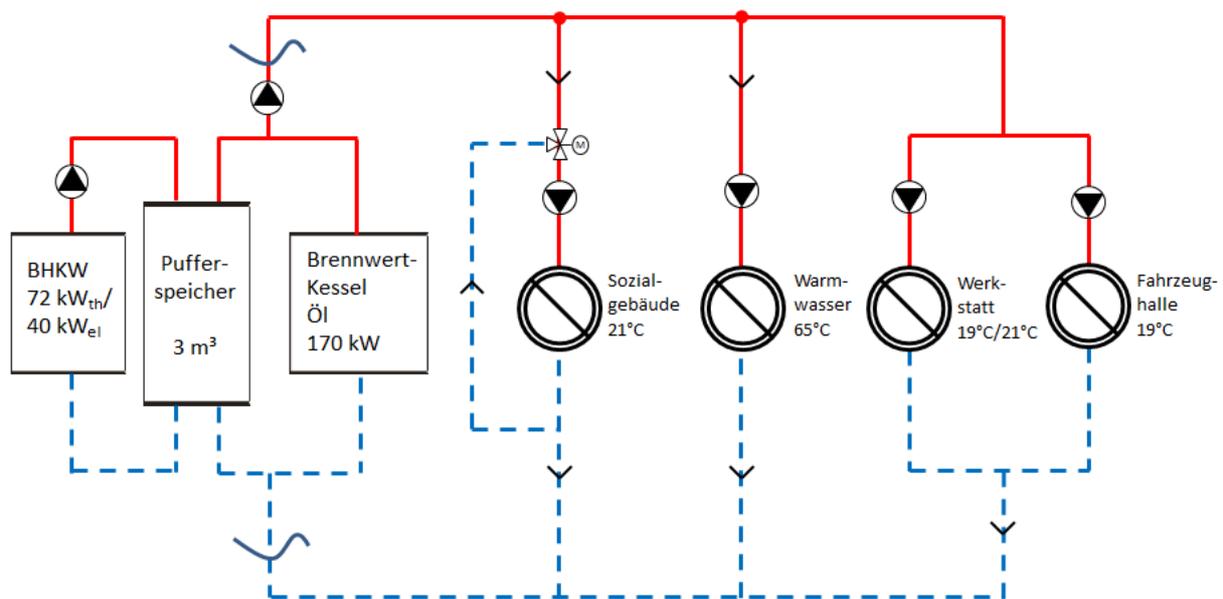


Abbildung 7 Schema Wärmeversorgung V1 Sanierung nach EnEV 2014

Variante 2: Sanierung nach Neubaustandard EnEV 2014

Der Jahres-Primärenergiebedarf und der Transmissionswärmetransferkoeffizient des Referenzgebäudes nach EnEV 2014 (Randbedingungen ab 1.1.2016) werden eingehalten. Um die Anforderungen an die Gebäudehülle einzuhalten, werden umfangreiche Maßnahmen an der Gebäudehülle durchgeführt. Der Wärmebedarf für Heizung und Warmwasser wird über einen Holzpelletkessel gedeckt, s. Abbildung 8. Das EWärmeG wird durch einen Anteil von 100% Biomasse am Wärmeenergieverbrauch eingehalten.

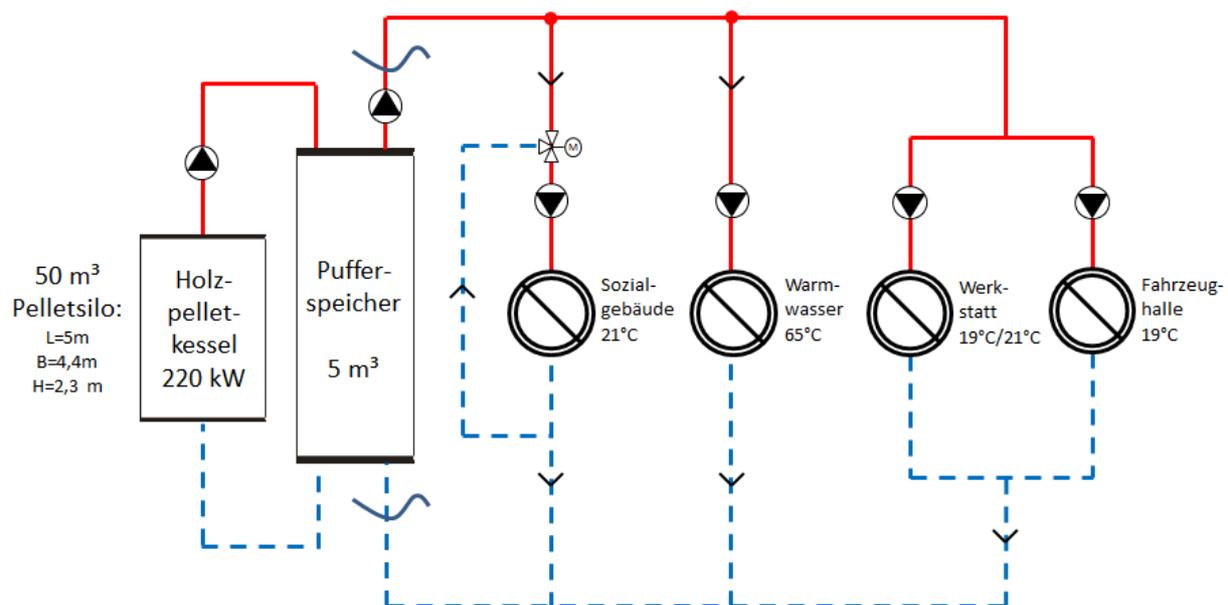


Abbildung 8 Schema Wärmeversorgung V2 Sanierung nach Neubaustandard EnEV 2014

Variante 3: Variante mit vollständiger regenerativer Wärmeversorgung

Der Wärmebedarf für Heizung und Warmwasser wird 100% regenerativ über Biomasse gedeckt. Die Gebäudehülle und Wärmeerzeugung wird wie in Variante 2 ausgeführt, s. Abbildung 8.

Variante 4: das aktuell wirtschaftlich sinnvollste Maßnahmenpaket

Variante 4 enthält lediglich die Durchführung eines hydraulischen Abgleichs. Weitere investive Maßnahmen sind über einen Zeitraum von 20 Jahren nicht wirtschaftlich darzustellen.

6.2 End- und Primärenergiebedarf bzw. CO₂-Emissionen

Die angesetzten Primärenergiefaktoren und CO₂-Äquivalente sind in Tabelle 21 dargestellt.

| Energieträger | Primärenergiefaktor (Quelle: EnEV 2016/ Berechnung nach AGFW) | CO ₂ -Äquivalent (Quelle: Gemis) |
|--------------------------------------|--|--|
| Erdöl | 1,1 | 312 g/kWh _{End} |
| Holzpellets | 0,2 | 9 g/kWh _{End} |
| Strom | 1,8 | 563 g/kWh _{End} |
| Nahwärmeversorgung durch Erdöl | 1,3 | - |
| Nahwärmeversorgung durch 50% KWK | 0,83 | - |
| Nahwärmeversorgung durch Holzpellets | 0,26 | - |

Tabelle 21 Energieträger

Die folgenden Abbildungen zum End- und Primärenergiebedarf stellen die Ergebnisse der DIN V 18599 Berechnungen dar. Der CO₂-Emissionen wurden auf Basis von Gemis-Daten berechnet. Sie enthalten den Energiebedarf für Heizung, Warmwasser, Lüftung, Kälte und Beleuchtung. Der Nutzerstromverbrauch ist in der Bilanzierung nicht enthalten.

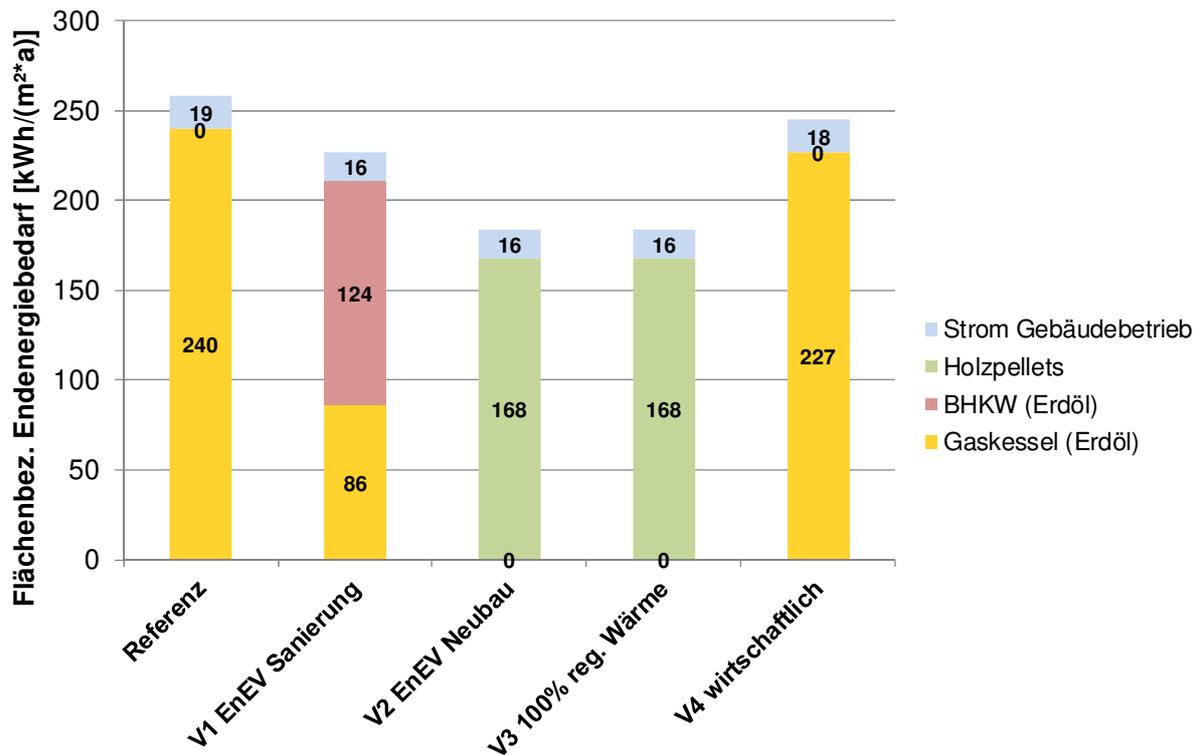


Abbildung 9 spez. Endenergiebedarf der Varianten nach DIN V 18599, normiert

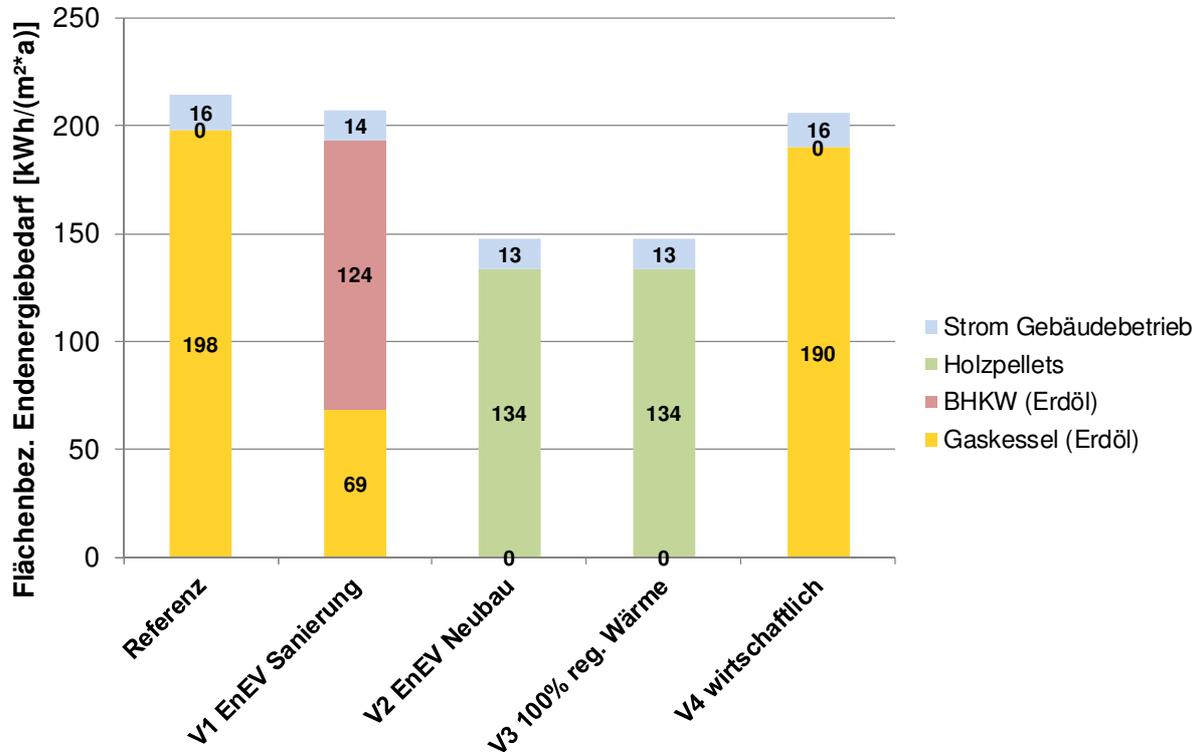


Abbildung 10 spez. Endenergiebedarf der Varianten nach DIN V 18599, angepasst

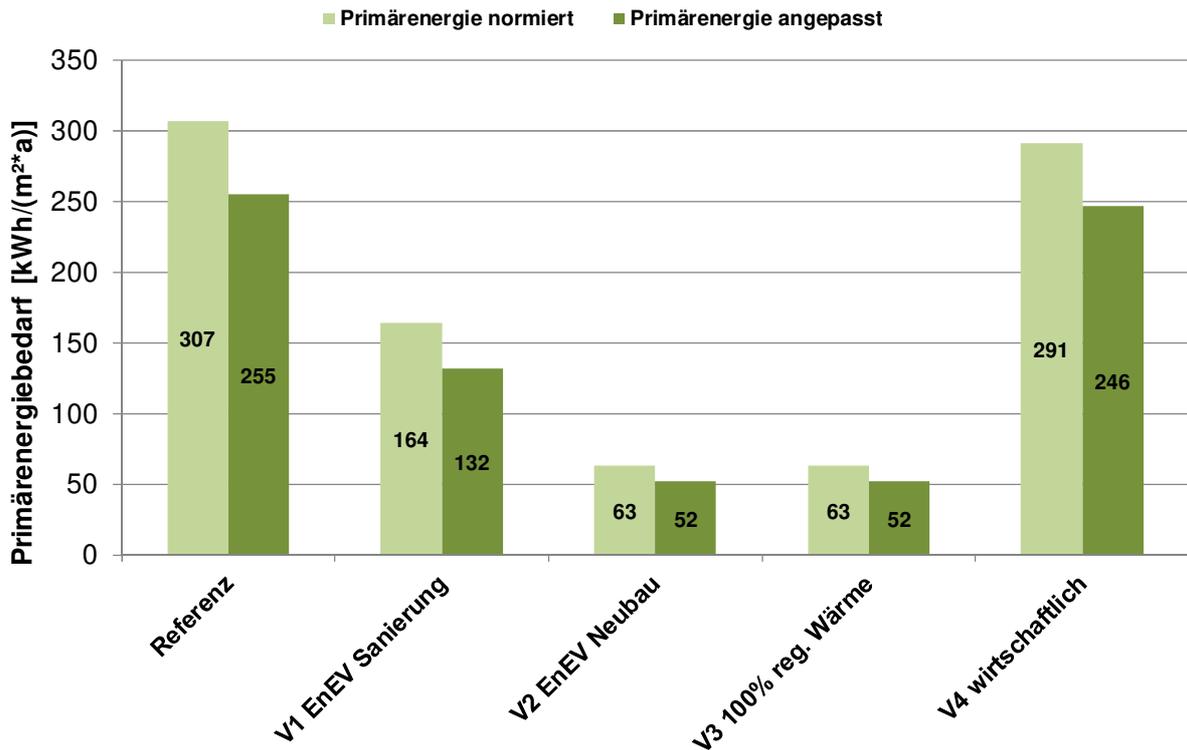


Abbildung 11 Primärenergiebedarf der Varianten nach DIN V 18599, normiert und angepasst

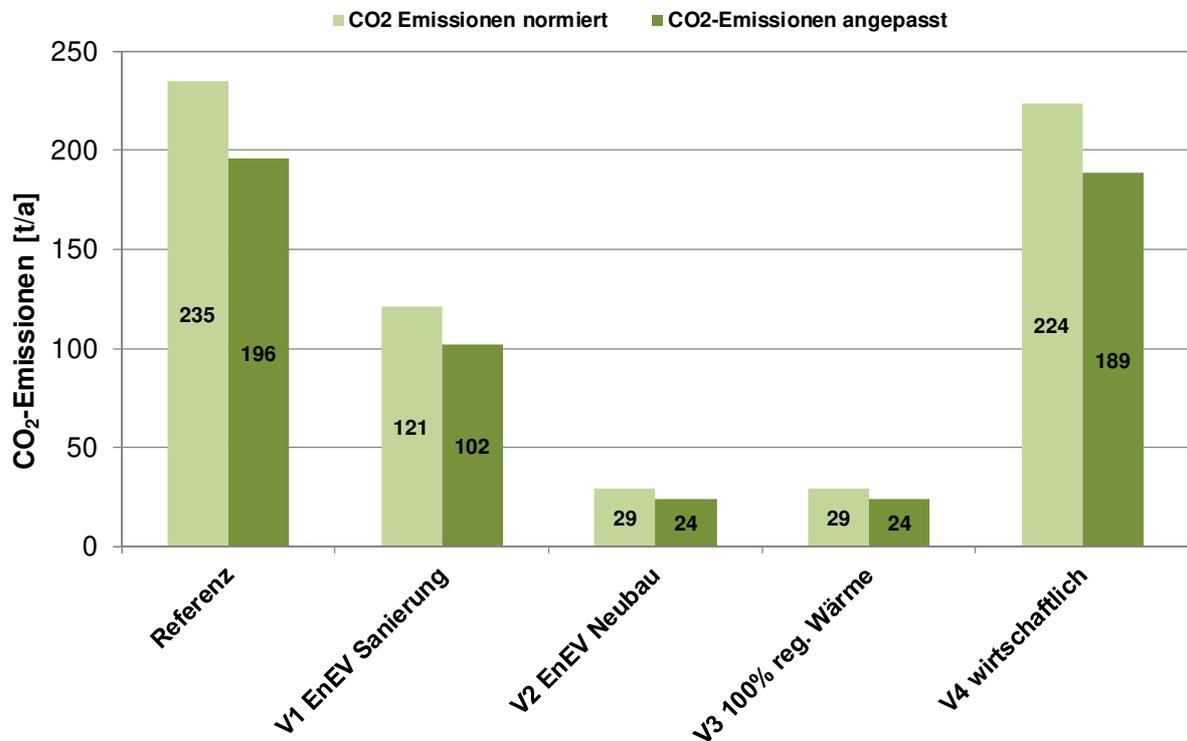


Abbildung 12 CO₂-Emissionen der Varianten berechnet, normiert und angepasst

6.3 Wirtschaftlichkeitsberechnung

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung wird in Anlehnung an die VDI 2067 über einen Zeitraum von 20 Jahren durchgeführt und betrachtet die Jahresgesamtkosten, d.h. die Kosten für die Instandsetzung, Wartung, Betrieb und Energie sowie Vergütungen und Zuschüsse über Förderungen. Es wird ein Zinssatz von 2,5% angesetzt. Preissteigerungen für Energie-, Instandsetzungs-, Wartungs- und Betriebskosten werden nicht berücksichtigt.

Basis für die Wirtschaftlichkeitsberechnung sind folgende Kostenkennwerte:

| Energieträger | Grundpreis | Arbeitspreis |
|---------------|------------|--------------------------|
| Erdöl | 0,00 €/a | 59,4 €/MWh _{HI} |
| Strom | 63,70 €/a | 115,3 €/MWh |
| Holzpellets | 0,00 €/a | 45,5 €/MWh _{HI} |

Tabelle 22 Energiekosten (netto)

| Bauteil | spez. Kosten pro Bauteil | Spezifikation | Bezugsgröße | Kosten |
|--|---------------------------|----------------------------------|----------------------|-----------|
| Sozialgebäude | | | | |
| Außenwand Dämmung mit 100 mm Schaumglas $\lambda_B = 0,041$ | 180 [€/m ²] | U = 0,323 [W/(m ² K)] | 490 m ² | 88.200 € |
| Dach Sozialgebäude HWL mit 160 mm Zwischensparrendämmung $\lambda_B = 0,035$ | 200 [€/m ²] | U = 0,212 [W/(m ² K)] | 351 m ² | 70.200 € |
| Außenwand Dämmung mit 180 mm Schaumglas $\lambda_B = 0,041$ | 270 [€/m ²] | U = 0,198 [W/(m ² K)] | 490 m ² | 132.300 € |
| Innenwand Dämmung mit 100 mm HWL $\lambda_B = 0,033$ | 120 [€/m ²] | U = 0,293 [W/(m ² K)] | 42 m ² | 5.100 € |
| Decke über Keller unbeheizt Dämmung mit 100 mm HWL $\lambda_B = 0,033$ | 120 [€/m ²] | U = 0,234 [W/(m ² K)] | 351 m ² | 42.200 € |
| Austausch Fenster U = 0,9 W/m ² K | 460 [€/m ²] | U = 0,900 [W/(m ² K)] | 57 m ² | 26.220 € |
| Dach Sozialgebäude HWL mit 180 mm Zwischensparrendämmung $\lambda_B = 0,035$ | 220 [€/m ²] | U = 0,195 [W/(m ² K)] | 351 m ² | 77.300 € |
| Werkstattgebäude | | | | |
| Außenwand 1: Dämmung mit 60 mm Schaumglas $\lambda \leq 0,041$ | 140 [€/m ²] | U = 0,34 [W/(m ² K)] | 860 m ² | 120.400 € |
| Außenwand 2: Dämmung mit 80 mm Schaumglas $\lambda \leq 0,041$ | 160 [€/m ²] | U = 0,34 [W/(m ² K)] | 291 m ² | 46.600 € |
| Großes Rolltor U = 2,0 W/m ² K | 1.030 [€/m ²] | U = 2,00 [W/(m ² K)] | 74 m ² | 76.300 € |
| Außenwand 1: Dämmung mit 140 mm Schaumglas $\lambda \geq 0,041$ | 200 [€/m ²] | U = 0,26 [W/(m ² K)] | 860 m ² | 172.000 € |
| Außenwand 2: Dämmung mit 140 mm Schaumglas $\lambda \geq 0,041$ | 200 [€/m ²] | U = 0,26 [W/(m ² K)] | 291 m ² | 58.200 € |
| Dach Sandwichpaneel | 160 [€/m ²] | U = 0,23 [W/(m ² K)] | 1.900 m ² | 304.000 € |
| Fußboden Büro 70 mm Aufgleichsdämmung $\lambda \leq 0,035$ | 210 [€/m ²] | U = 0,43 [W/(m ² K)] | 170 m ² | 35.700 € |
| Fahrzeughalle | | | | |
| Außenwand Dämmung mit 100 mm Schaumglas $\lambda \leq 0,041$ | 140 [€/m ²] | U = 0,34 [W/(m ² K)] | 155 m ² | 21.700 € |
| Dach Sandwichpaneel | 160 [€/m ²] | U = 0,22 [W/(m ² K)] | 125 m ² | 20.000 € |
| Fußboden Dämmung mit 40 mm Schaumglas $\lambda \leq 0,041$ | 290 [€/m ²] | U = 0,75 [W/(m ² K)] | 123 m ² | 35.800 € |

Tabelle 23: Kostenkennwerte Bauteile Gebäudehülle

| Anlagen/Komponenten | Kosten |
|--|----------|
| <i>hydraulischer Abgleich</i> | 10.000 € |
| <i>BHKW 72 kW_{th}/40 kW_{el}</i> | 52.000 € |
| <i>Schornsteinsanierung, ELT Einbindung, Hydraulische Einbindung</i> | 20.000 € |
| <i>Pufferspeicher BHKW</i> | 6.000 € |
| <i>Rückbau bestehender Heizkessel</i> | 1.000 € |
| <i>Holzpelletkessel 220 kW</i> | 79.000 € |
| <i>Schornsteinsanierung, ELT Anbindung, Hydraulische Einbindung</i> | 10.000 € |
| <i>Zubehör Silo + Schrägboden Silo</i> | 7.500 € |
| <i>Pufferspeicher 4 m³</i> | 7.200 € |
| <i>Rückbau bestehende Heizkessel</i> | 2.000 € |

Tabelle 24: *Kostenkennwerte Anlagentechnik*

Auf die Investitionskosten für Bauteile und Anlagentechnik werden 10% Sonstige Kosten berücksichtigt. Als Planungskosten werden 16% der Investitionskosten angesetzt.

Als Referenz für die Investitions- und die Jahresgesamtkosten der Varianten 1 – 4 dient der aktuelle Gebäudebestand. Die Investitionskosten sind in Abbildung 13 dargestellt. Da die Öl-Brennwertkessel die rechnerische Lebensdauer der Anlage von 20 Jahren noch nicht erreicht haben, werden nur Wartungs- und Instandhaltungskosten angesetzt. An der Gebäudehülle sind ebenfalls keine sowieso-Kosten fällig. Die Investitionskosten reichen daher von 0 - ca. 1,4 Mio. € für die Sanierung auf EnEV Neubau bzw. einer 100% regenerative Wärmeversorgung.



Abbildung 13 Investitionskosten der Varianten 1-4 im Vergleich zur Referenz

Die Jahresgesamtkosten der Gebäudeenergieversorgung ohne Nutzerstrom sind in Abbildung 14 dargestellt. Ohnehin anfallende Instandsetzungs-, Wartungs- und Betriebskosten für die bestehende Gebäudehülle und die Wärmeversorgung sowie die Energiekosten des Bestandes bilden die Referenz.

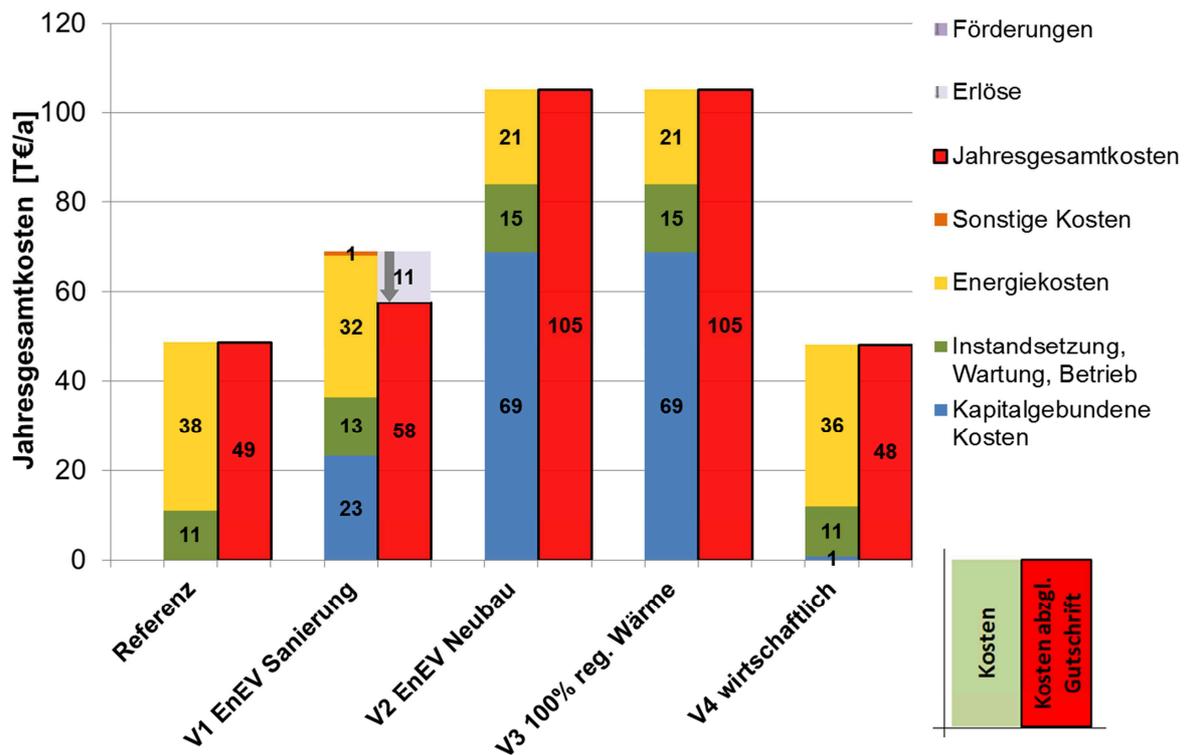


Abbildung 14 Jahresgesamtkosten der Varianten 1-4 im Vergleich zur Referenz

Die momentanen Jahresgesamtkosten betragen ca. 49.000 €. Eine Sanierung auf EnEV 2014 beinhaltet Kapitalkosten und niedrigere Energiekosten und resultiert mit ca. 58.000 €/a in höheren Jahresgesamtkosten. Variante 2 und 3 sind mit mehr als doppelt so hohen Jahresgesamtkosten von ca. 105.000 € nicht wirtschaftlich darstellbar. Da zudem die Durchführung einzelner Baumaßnahmen an der Gebäudehülle sehr umfangreich ist, werden Variante 2 und 3 nicht empfohlen. Variante 4 hat mit ca. 48.000 € leicht geringere Jahresgesamtkosten als die Referenz und kann daher als wirtschaftliche Maßnahme in Betracht gezogen werden.

7 Anlagen

Anlage 1 Bauteildaten IST-Zustand (U-Werte, Plandarstellung)

Anlage 2 Zonierung der Gebäude

Anlage 3 Bauteildaten für Sanierungsvarianten (U-Werte)

Anlage 4 Anpassung der Zonenprofile

Anlage 5 Aufmaß Ansichten Werkstattgebäude 1:200



Kußmaulstraße 17 · 76187 Karlsruhe
Tel. +49 (0) 721 97 26-0 · Fax +49 (0) 721 97 26-45 40

Wedeler Landstraße 157 · 22559 Hamburg
Tel. +49 (0) 40 81 908-0 · Fax +49 (0) 40 81 908-373

www.baw.de