

**Fachveröffentlichung der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

bast

FE-Nr. 89.0342/2018



Konzepte zur Deckung des (Wärme-)
Energiebedarfs von Autobahnmeiste-
reien durch erneuerbare Energien

Tobias Wolf, Christoph Hübner

Schlussbericht

Auftraggeber Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Z5
Brüderstraße 53
51427 Bergisch Gladbach

Ansprechpartner Felix Gersdorf Fachbetreuer
Andrea Kayser-Tenfelde Projektbetreuerin

Auftragnehmer Intep
Integrale Planung GmbH
Bertolt-Brecht-Platz 3
10117 Berlin
T +49 30 403 6666 80
F +49 30 403 6666 89
www.intep.com

Verfasser Tobias Wolf Projektleiter
Christoph Hübner Projektmitarbeiter

Verteiler Dr. Markus Auerbach Bundesanstalt für Straßenwesen

Versionierung	Datum	Version	Kommentar	Verantw. Freigabe	
	11.11.2019	2.0	Schlussbericht	tw, hc	tw
	31.10.2019	1.0	Entwurf Schlussbericht	hc	tw

Bildnachweise sofern nicht anders angegeben: Intep/Hübner

Inhalt

Zusammenfassung	5
Abstract	6
1 Einleitung	7
1.1 Ausgangslage	7
1.2 Aufgabenstellung	7
1.3 Ziele	8
2 Methodisches Vorgehen	9
2.1 Datenerhebung	9
2.2 Ist-Zustand	10
2.3 Energiekonzeptentwicklung	15
3 Ergebnisse der Datenerhebung	17
3.1 Auswertung Gebäudedaten aus BASt-Fragebögen	17
3.2 Allgemeine Beschreibung der untersuchten Meistereien	17
3.3 Gebäudehülle	18
3.4 Technische Anlagen	26
3.5 Nutzungsverhalten	29
3.6 Verbrauchsdaten	31
3.7 Fahrzeugflotte	34
4 Energiebedarfsberechnung	37
4.1 Gesamtbilanzen	37
4.2 Bewertung Ist-Zustand	41
5 Konzeptentwicklung	45
5.1 Einzelmaßnahmen	45
5.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	51
5.3 Variantenuntersuchung	52
5.4 Beispielhafter Sanierungsfahrplan	54
6 Übertragbarkeit und Ausblick	58

Literatur	59
Abkürzungen	62
Tabellen	64
Bilder	65
Anhang	66
A.1 Beispiel BASt-Fragebogen zum Energieverbrauch	66
A.2 Beispiel Interview-Fragebogen der Bestandsaufnahme	73
A.3 Methodik zur Ermittlung der Wärmedurchgangskoeffizienten	75
A.4 Beispiel Zonierung nach DIN V 18599:2011	76
A.5 Daten des Deutschen Wetterdienstes zur Witterungsbereinigung	77
A.6 Beispiel Heizlast-Berechnung, vereinfachtes Verfahren für Einzelräume nach DIN EN 12831-1:2017	79
A.7 Beispiel Nachweis sommerlicher Wärmeschutz, vereinfachtes Verfahren nach DIN 4108-2:2013	80
A.8 Auswertung der BASt-Fragebögen	81
A.9 Lagepläne der Meistereien	83
A.10 Fotoprotokoll energetischer Schwachstellen	88
A.11 Ein- und Ausgabewerte Energiebedarfsberechnung	92
A.12 Übersicht untersuchter Einzelmaßnahmen	93

Zusammenfassung

Die Reduktion von Treibhausgasemissionen nach dem Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung betrifft auch die zur Straßeninfrastruktur gehörigen Autobahn- und Straßenmeistereien. Das Ziel der vorliegenden Studie ist es, Potenziale zur verstärkten Nutzung regenerativer Energien insbesondere für die Wärmeenergieversorgung dieser aufzuzeigen. Für fünf beispielhafte Referenz-Liegenschaften wurden verschiedene Konzepte unter Berücksichtigung der Energieeinsparverordnung (EnEV 2016) erarbeitet. Die Studie geht dabei zunächst auf die Methodik und das Vorgehen ein, bevor sie sich im zweiten Teil der Ergebnisdarstellung widmet.

Die Datengrundlage für die Betrachtungen bildeten neben bereitgestellten Fragebögen und Bestandsunterlagen auch Vor-Ort-Begehungen mit Kurzinterviews der Verantwortlichen sowie Verbrauchsanalysen der Liegenschaften. Es finden sowohl die Bauphysik der Gebäudehüllen als auch die technischen Anlagen und das Nutzungsverhalten Beachtung. Zusätzlich werden auch energetische Potenziale von nicht zu den Gebäuden gehörenden Bereichen, etwa den Fahrzeugen betrachtet. Die Gebäudestruktur der Meistereien lässt sich im Wesentlichen in die bürogebäudetypische Verwaltung, die Werkstätten und die Fahrzeughallen unterteilen, wengleich sich die Anzahl und Aufteilung der Einzelgebäude unterscheidet. Der energetische Zustand variiert in Abhängigkeit des Baualters der Gebäude und der Sanierungshistorie zwischen den Meistereien. Die Wärmeversorgung basiert neben typischen fossilen auch auf regenerativen Energieträgern, so dass es Erfahrungen zu verschiedenen energetischen Konzepten gibt.

Auf Basis der Bestandsaufnahme wurden Energiebedarfsberechnungen der thermisch konditionierten Gebäude nach DIN V 18599:2011 durchgeführt und mit den Verbrauchsdaten abgeglichen. Es zeigte sich, dass die Meistereigebäude nur bedingt mit dem normierte Berechnungsverfahren abgebildet werden können, da u. a. kein Standardnutzungsprofil für die niedrig temperierten Fahrzeughallen existiert. Dennoch konnten energetische Einsparpotenziale unter verstärktem Einsatz regenerativer Energien formuliert werden.

Neben baulichen und anlagentechnischen, haben sich dabei auch nutzungsbedingte Einzelmaßnahmen ergeben. Die Wirtschaftlichkeit konnte durch Gegenüberstellung der Investitionen und Energiekosteneinsparungen abgeschätzt werden. Dabei amortisieren sich Maßnahmen besonders auch dann monetär, wenn sie sinnvoll kombiniert und in Bezug zur zeitlichen Entwicklung des Gebäudebestands gesetzt werden.

Mithilfe der Einzelmaßnahmen wurden energetische Standards unter Beachtung der gesetzlichen Vorgaben erstellt und beispielhafte Sanierungsfahrpläne für drei Gebäude entwickelt. Für die Finanzierung der Anlagentechnik eignet sich dabei auch grundsätzlich das Energieliefer-Contracting.

Die Erkenntnisse lassen sich auf die anderen Meistereien im Bundesgebiet übertragen, jedoch wird zunächst die Entwicklung eines einheitlichen Energiestandards in Verbindung mit konkreten Zielen wie Energiekennwerten und Handlungsrichtlinien für einen optimierten Betrieb empfohlen. Damit könnten Einsparpotenziale der Meistereien besser und integraler erfasst werden.

Abstract

The reduction of greenhouse gas emissions according to the Federal Government's Climate Protection Plan 2050 also affects the motorway and road infrastructure. The aim of this study is to show the potential for increased use of renewable energies, in particular for heat energy supply. Various concepts were developed for five exemplary reference properties, taking into account the Energy Saving Ordinance (EnEV 2016). The study first deals with the methodology and the procedure before it is devoted to the presentation of the results in the second part.

In addition to the questionnaires and inventory documents provided, the data basis for the observations was formed by on-site inspections with brief interviews with those responsible and consumption analyses of the properties. The building physics of the building shells as well as the technical facilities and the usage behaviour are taken into account. In addition, energetic potentials of areas not belonging to the buildings, such as vehicles, are also considered. The building structure of the road maintenance authorities can essentially be subdivided into the typical office building administration, the workshops and the vehicle halls, although the number and distribution of the individual buildings differ. The energetic state varies between the road maintenance authorities depending on the age of the buildings and the renovation history. In addition to typical fossil fuels, the heat supply is also based on regenerative energy sources, so that there is experience with various energy concepts.

On the basis of the inventory, energy demand calculations of the thermally conditioned buildings according to DIN V 18599:2011 were carried out and compared with the consumption data. It turned out that the buildings can only be depicted to a limited extent with the standardized calculation method, since, among other things, there is no standard usage profile for the low-temperature vehicle halls. Nevertheless, energy saving potentials could be formulated by increasing the use of regenerative energies.

In addition to structural and plant engineering measures, this has also resulted in individual use-related measures. The economic efficiency could be estimated by comparing the investments and energy cost savings. Measures pay for themselves in monetary terms in particular if they are sensibly combined and set in relation to the development of the building stock over time.

With the help of the individual measures, energy standards were drawn up in compliance with the statutory requirements and exemplary renovation schedules were developed for three buildings. In principle, energy supply contracting is also suitable for financing the system technology.

The findings can be transferred to the other road maintenance authorities in Germany, but the development of a uniform energy standard in conjunction with concrete objectives such as energy parameters and guidelines for optimised operation is recommended. This would enable the savings potential of the road maintenance authorities to be better and more integrally captured.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Um den Klimawandel und insbesondere die Erderwärmung zu begrenzen, hat die deutsche Bundesregierung im Klimaschutzplan 2050 Ziele definiert, wie die Treibhausgasemissionen im Bundesgebiet sektorenübergreifend reduziert werden sollen. Unter anderem ist hierfür ein nahezu ohne fossile Kraftstoffe auskommendes und somit weitestgehend treibhausgasneutrales Verkehrssystem notwendig (BMU 2016).

Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) hat das BMVI-Expertenetzwerk gegründet, in dem sich seine sieben Ressortforschungseinrichtungen zu einem Netzwerk zusammengeschlossen haben. Diese bearbeiten verschiedene Themenfeldern wie Klimaanpassung, Umweltschutz und Risikomanagement. Die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) ist dabei u. a. im Themenfeld „Einsatzpotenziale erneuerbarer Energien für Verkehr und Infrastruktur verstärkt erschließen“ vertreten. Neben Möglichkeiten der Erschließung, etwa der Integration von Photovoltaik-Zellen in Lärmschutzwänden, wird auch der Energiebedarf der Straßeninfrastruktur untersucht (GERSDORF 2019). Zu dieser gehören unter anderem die zahlreichen Straßen- und Autobahnmeistereien, deren Aufgabe die Unterhaltung des Straßennetzes, also die Gewährleistung von Sicherheit und Leistungsfähigkeit des Straßenverkehrs, ist.

1.2 Aufgabenstellung

Für mindestens fünf ausgesuchte Autobahn- und Straßenmeistereien, die beispielhaft für die ca. 180 Autobahnmeistereien in Deutschland stehen, sind energetische Untersuchungen durchzuführen. Hierzu wurden von der BASt Fragebögen an verschiedene Autobahnmeistereien versandt. Die erhobenen Daten werden zur Verfügung gestellt. Eventuell benötigte zusätzliche Daten müssen vom Verfasser der Studie bei den Autobahnmeistereien eingeholt werden.

Für die zu untersuchenden Gebäude soll eine Energiebedarfsberechnung nach DIN V 18599:2011 durchgeführt werden. Die Berechnung erfolgt zunächst als normierte Berechnung des Bestands. In einem weiteren Schritt sind die normierten Berechnungen mit dem jeweils dokumentierten, tatsächlichen Energieverbrauch zu vergleichen. Des Weiteren sind, wie für einen Energiebedarfsausweis üblich, Modernisierungsempfehlungen für die bestehenden Gebäude mit besonderem Augenmerk auf die Verwendung erneuerbarer Energie auszuarbeiten. Dabei sind vier unterschiedliche Varianten zu untersuchen:

- EnEV 2014 (2016)
- Neubaustandard der EnEV 2014 (2016)
- Variante mit vollständig regenerativer Wärmeversorgung (evtl. auch KWK)
- Variante des aktuell wirtschaftlich sinnvollsten Maßnahmenpaketes

Die Varianten sollen als sinnvolle Maßnahmenpakete angelegt sein, für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen unter Einbeziehung der Investitions- und Betriebskosten durchzuführen sind. Die Maßnahmenauswahl ist zu beschreiben und zu begründen. Für mindestens drei einzelne Gebäude soll ein Sanierungsfahrplan erstellt werden, um zu demonstrieren, wie Maßnahmen mit größtmöglicher Wirtschaftlichkeit umgesetzt werden können – dies auch im Hin-

blick auf eine externe Finanzierung und Durchführung der Sanierungsmaßnahmen (Contracting). Diese sollen in sinnvolle Maßnahmenpakete gebündelt werden, damit zum richtigen Zeitpunkt die richtigen Maßnahmen durchgeführt werden können.

Basierend auf den vorgenannten Analysen beispielhafter Autobahnmeistereien ist das Konzept zur Deckung des Wärmeenergiebedarfs möglichst vieler Autobahnmeistereien mit den erarbeiteten Maßnahmenpaketen zu entwickeln.

1.3 Ziele

Ziel dieser Studie ist es, das Potenzial erneuerbarer Wärmeenergien für die Energieversorgung von Autobahnmeistereien anhand von Referenzliegenschaften zu untersuchen. Dafür wurden die Energiebedarfe analysiert und Konzepte zur verstärkten (wirtschaftlichen) Nutzung regenerativer Energien entwickelt. Gesamtsanierungskonzepte, bestehend aus Maßnahmenvorschlägen für die Gebäudehülle, die technischen Anlagen und das Nutzerverhalten, sollen dabei Antworten auf die folgenden Fragen geben:

- Wie ist der bauliche, anlagentechnische und energetische Zustand der Meistereien zu beurteilen, wo liegen Schwachstellen und Optimierungspotenziale?
- Wie verteilen sich die Energieströme der Verbrauchssektoren?
- Wie kann der Einsatz regenerativer Energien für die Wärmeversorgung sinnvoll realisiert werden?
- Welche Investitionen werden für die einzelnen Energie- und CO₂-Einsparmaßnahmen notwendig und wie ist die Wirtschaftlichkeit von Einzelmaßnahmen als auch von Maßnahmenpaketen zu beurteilen?
- Welche Energie- und CO₂-Einsparmaßnahmen sind abgesehen von baulichen und anlagentechnischen Veränderungen erfolgversprechend?

2 Methodisches Vorgehen

Das methodische Vorgehen der Studie gliedert sich in die drei Stufen Datenerhebung, Analyse des Ist-Zustands und Energiekonzeptentwicklung. Im Folgenden wird dazu zunächst das Vorgehen erläutert, um die Datengrundlage und verwendete Methodik vorzustellen.

2.1 Datenerhebung

Die BASt hat im Vorfeld fünf Meistereien ausgewählt, die als identitätsstiftende Referenzen Betrachtungsgegenstand der Studie sind. Die Entscheidung wurde auf Grundlage von im Vorfeld eingeholten Informationen zu den Meistereien mithilfe eines Fragebogens getroffen. Zusätzlich zu den Fragebögen der fünf ausgewählten Liegenschaften dienen die Fragebögen von dreizehn weiteren Meistereien als ein Ausgangspunkt der Datenerhebung dieser Studie. In Anhang A.1 ist exemplarisch der von der Autobahnmeisterei (AM) Hannover ausgefüllte Fragebogen aufgeführt.

Zudem wurden Daten bei je einer Bestandsaufnahme der fünf Meistereien erhoben. Bestandteil dieser waren die fotografische Dokumentation des energetischen Zustands der Gebäude und der technischen Anlagen sowie Kurzinterviews mit den Verantwortlichen der Meistereien, um Betriebsabläufe und das Nutzungsverhalten zu erfassen. Ebenfalls exemplarisch enthält Anhang A.2 das Interview-Protokoll der AM Hannover. Ein Augenmerk bei den Gebäudebegehungen lag auf der Identifikation von energetischen Schwachstellen und Optimierungspotenzialen unter Einbeziehung der Nutzererfahrungen.

Eine weitere wesentliche Datengrundlage stellen Bestandsunterlagen dar, die direkt von den Meistereien oder den zuständigen Verwaltungsorganen zur Verfügung gestellt wurden. Insbesondere handelt es sich dabei um:

- Planunterlagen (Grundrisse, Ansichten, Schnitte) der Gebäude
- Technik-Schemata (Heizung, Lüftung, Elektro)
- Schornsteinfegerprotokolle
- Wartungsverträge
- Dienstpläne
- Energielieferverträge/ -abrechnungen der Jahre 2016 bis 2018

Die Unterlagen wurden auf relevante Informationen für die im nächsten Schritt folgende Energiebedarfsberechnung ausgewertet. In Anhang A.3 wird beispielhaft dargestellt, wie aus den Bestandsplänen der AM Braunschweig-Hafen die Wärmedurchgangskoeffizienten der Gebäudeteile bestimmt werden konnten.

Für nicht aus den bereitgestellten Unterlagen und den Bestandsaufnahmen ermittelbare Daten wurden technisch angemessene Annahmen getroffen, die auf den Baujahren und der Fotodokumentation der Gebäude sowie einer Literaturrecherche zu Referenz- und Standardwerten basieren.

Im folgenden Bild 2-1 sind die Informationsflüsse und berücksichtigten Schwerpunkte der Datenerhebung veranschaulicht.

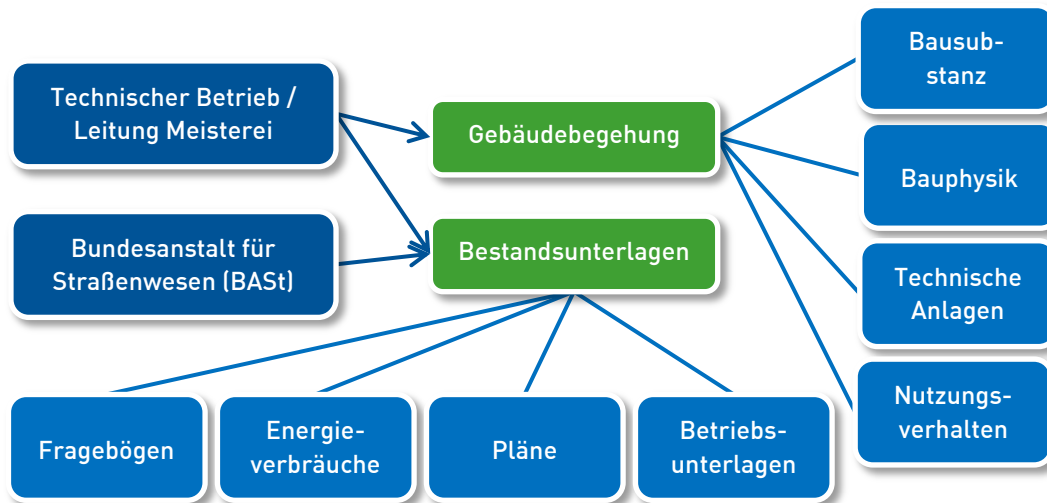


Bild 2-1: Darstellung der Datenerhebung

2.2 Ist-Zustand

Auswertung der Energieverbrauchsdaten

Die Energieströme der Verbrauchssektoren wurden auf Basis der vorhandenen Daten und unter Berücksichtigung folgender Punkte analysiert:

- Plausibilisierung der Unterschiede zu Folge- bzw. Vorjahren
- Abschätzung von Witterungs- und Standorteinflüssen
- Erfassung der Energieströme der Gebäude (In- und Output)
- Erfassung der internen Verbrauchsstruktur einzelner Anlagen und Nutzungsbereiche

Da die Heizenergieverbräuche maßgeblich von der Außentemperatur abhängen – während milder Winter also typischerweise geringer sind –, wurden sie mit der Gradtagmethode gemäß VDI 3807 witterungsbereinigt. Dafür wird ein Korrekturfaktor aus den Jahresgradtagen des betrachteten Jahres und dem langjährigen Mittel berechnet. Für den standortübergreifenden Vergleich der Meistereien ist zusätzlich ein einheitlicher Bezugswert notwendig. Aus diesem Grund wurden auch die von der EnEV 2016 für Energieverbrauchsangabe empfohlenen Klimafaktoren verwendet. Alle benötigten Klimawerte sind der frei zugänglichen Datenbank des Deutschen Wetterdienstes (DWD) entnommen und in Anhang A.5 aufgeführt (DWD 2019).

Bewertung des Ist-Zustandes der Gebäude

Um neben der quantitativen Bestimmung des Energiebedarfs und der Analyse der Verbrauchsdaten auch qualitative Kriterien als Ausgangspunkt für die Maßnahmenentwicklung des Energiekonzepts zu erhalten, wurden die Gebäude hinsichtlich ihrer Bausubstanz und des Zustands der Anlagentechnik bewertet. Dabei halfen vor allem die gesammelten Erkenntnisse der Vor-Ort-Begehungen und der Vergleich der Meistereien untereinander. Die Gebäudebewertung erfolgte unter Berücksichtigung des integralen Planungsansatzes als gewerkeübergreifende Einschätzung.

Energiebedarfsberechnung

Die beheizten Gebäude der Meistereien wurden gemäß der Vorgabe aus der Aufgabenstellung nach DIN V 18599:2011 unter Berücksichtigung der Vorgaben nach EnEV 2016 energetisch bilanziert. In Tabelle 2-1 sind die dabei unterschiedenen Größen aufgelistet.

Bereich	Formelzeichen	Beschreibung
Transmission (T)	Q_T	Bauteilflächen
	$Q_{T,WB}$	Wärmebrücken
Lüftung (V)	$Q_{V,inf}$	Infiltration
	$Q_{V,win}$	Nutzereingriff (z. B. Fensteröffnung)
	$Q_{V,mech}$	Ungeregelte Luftzufuhr
Solarstrahlung (S)	$Q_{S,op}$	Opake Bauteile
	$Q_{S,trans}$	Transparente Bauteile
Innere (I)	$Q_{I,P}$	Personenabwärme
	$Q_{I,goods}$	Güterströme
	$Q_{I,fac}$	Maschinen/ Geräte
	$Q_{I,el}$	Elektrische Geräte
	$Q_{I,l}$	Beleuchtung
	$Q_{I,h}$	Heizsysteme inkl. RLT-Anlage
	$Q_{I,w}$	Warmwasserbereitung
	$Q_{I,c}$	Kühlsystem inkl. RLT-Anlage
	$Q_{I,st}$	Befeuchtung (Erzeugung und Verteilung)
$Q_{I,v}$	Luftführende Systeme	

Tabelle 2-1: Bilanzgrößen nach DIN V 18599

Das Bilanzierungsverfahren nach DIN V 18599:2011 ist auch für Neubauten anwendbar, bei denen umfangreiche Planunterlagen aller Gewerke vorliegen und mehrere Nachweise erbracht werden müssen. Die gleiche Informationstiefe steht bei Bestandsgebäuden in der Regel nicht zur Verfügung, wodurch sowohl die Norm als auch die darauf bezugnehmende EnEV 2016 Vereinfachungen zulässt. In Tabelle 2-2 sind die für die Energiebilanzen dieser Studie zulässigen Vereinfachungen aufgelistet, die das Berechnungsverfahren und die Abbildungstiefe betreffen.

Zulässige Vereinfachung	Bedingung(en) (entsprechend erfüllt)	Anwendung
Ein-Zonen-Modell	- NRF von Hauptnutzung und Verkehrsflächen größer als zwei Drittel der Gesamt-NRF - Beheizung und WWB für alle Räume gleich - Keine Kühlung - Effiziente Beleuchtung - zweckmäßige RLT-Anlage	Nein
Nichtberücksichtigung Fahrzeughallen	- Raum-Solltemperatur < 12 °C	Nein
Transmission zu unbeheizten Räumen über F_x -Korrekturfaktoren	keine	Ja
Keine Transmission zwischen gleich temperierten Zonen	- Bestandsgebäude	Ja
Pauschalisierte Zuweisung Umfassungsflächen zu Zonen	- Bestandsgebäude	Nein
Nutzungsprofil Gruppen- Einzelbüro gleich	keine	Ja

Zulässige Vereinfachung	Bedingung(en) (entsprechend erfüllt)	Anwendung
Nutzungsprofile Verkehrsflächen, Lager, keine Technik, Archiv gleich Nebenflächen		Ja
Anpassung Nutzungsprofile an reale Gegebenheiten	keine	Ja
Annahme eigene Wärmeerzeugung bei Versorgung über anderes Gebäude	- Leistungsanpassung entsprechend Gebäude - Bauart, Alter, Betriebsweise identisch - Berücksichtigung Wärmeverteilverluste	Ja
Nachweis sommerlicher Wärmeschutz für kritischsten Raum ausreichend	keine	Ja

Tabelle 2-2: Vereinfachungen für Energiebilanzen nach EnEV 2016

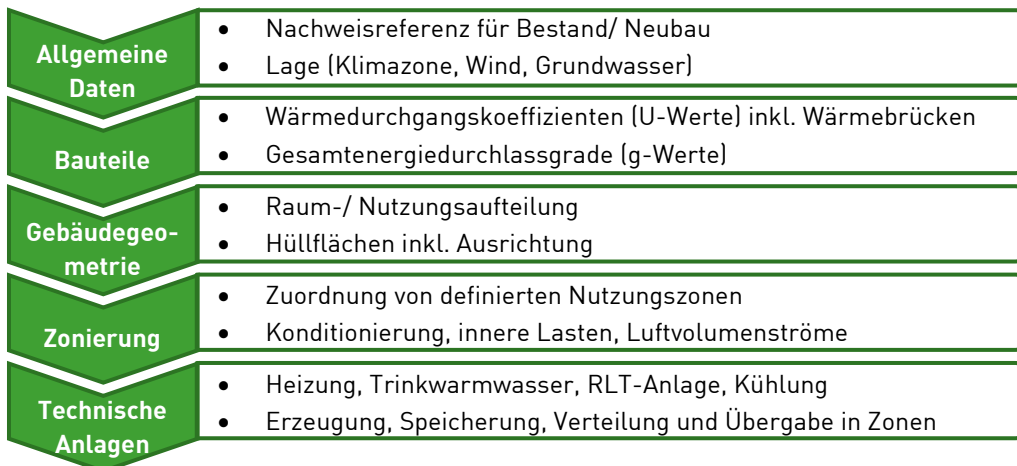
Auf die Anwendung des Ein-Zonen-Modells, die Nichtberücksichtigung der niedrigtemperierten Fahrzeughallen und die pauschalisierte Zuweisung der Umfassungsflächen wurde verzichtet, um eine höhere Ergebnisgenauigkeit zu erzielen.

Die Zonierung erfolgt anhand vorgegebener Nutzungsprofile, um die unterschiedlichen energetischen Anforderungen der Räume abzubilden. Räume, die zu einer Zone zählen, müssen dabei nicht unmittelbar im räumlichen Zusammenhang stehen, aber stets identisch konditioniert und genutzt werden. Im Anhang A.4 wird die Zonierung beispielhaft für das EG der AM Braunschweig-Hafen dargestellt. Teilweise wurden die Nutzungsprofile an die individuellen Gegebenheiten der Meistereien angepasst.

Fehlen Nachweise können Sicherheitszuschläge verwendet werden, die die Genauigkeit des Ergebnisses zwar unter Umständen verringern, dafür aber verhindern, dass die bilanzierten Energiebedarfe geringer als in der Realität sind. Als Beispiel seien hier die Wärmebrückenzuschläge für die Bauteile genannt, die ohne Nachweis $U_{WB} = 0,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ betragen.

Die Bilanzierung wurde mit dem Programm Energieeffizienz Gebäude DIN V 18599, Modul B55, Version 5.18.01, der Firma SOLAR-COMPUTER durchgeführt (SOLAR 2017). Das Programm gibt ein aus der Norm resultierendes, zweckmäßiges Vorgehen vor, das in Bild 2-2 dargestellt ist. Der fünfte und letzte Schritt dieses Vorgehens, die Eingabe der Anlagentechnik und Verknüpfung zu den definierten Gebäudezonen, ist zudem beispielhaft für die AM Hannover in Bild 2-3 visualisiert. Es lässt sich damit ein Überblick über die berücksichtigte Anlagentechnik in der Meisterei generieren.

Das Ergebnis der Energiebedarfsberechnung sind vergleichbare Energiebedarfskennwerte für jedes betrachtete Gebäude.



Energiebedarf (Primärenergie-, Endenergie- und Treibhausgasbilanz)

Bild 2-2: Vorgehen bei der Bilanzierung nach DIN V 18599

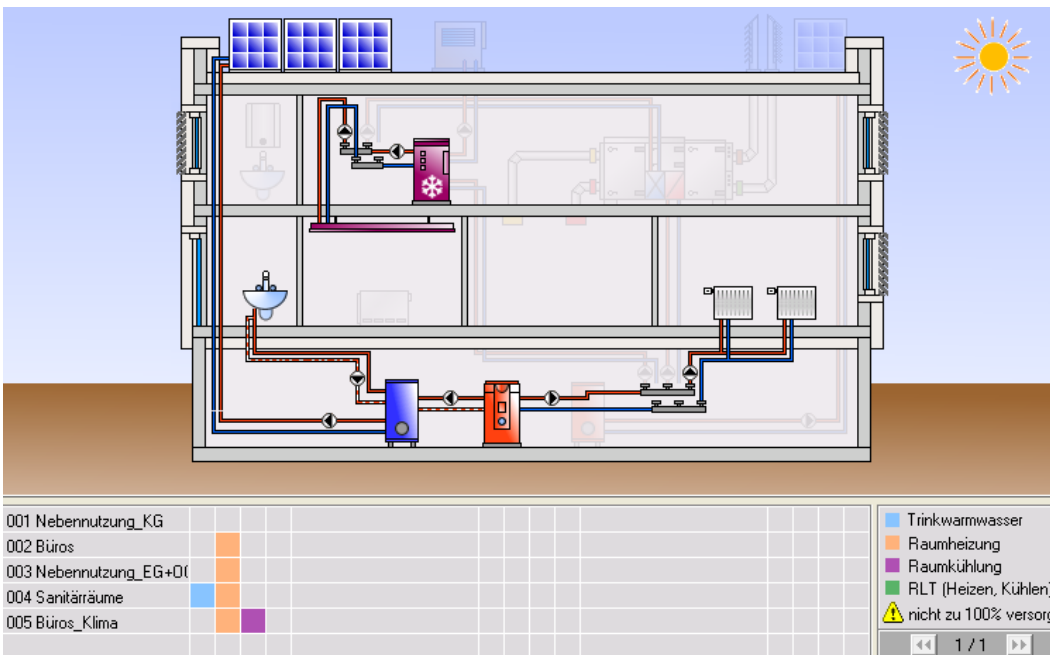


Bild 2-3: Anlagentechnik nach DIN V 18599 im Programm der Firma SOLAR-COMPUTER

Zusätzlich wurden relevante Energiebilanzen für nicht von der DIN V 18599:2011 erfasste Bereiche, beispielsweise die Fahrzeugflotten oder die für die Nutzung notwendigen Geräte, ermittelt.

Abgleich Energiebedarf/-verbrauch

Die Daten der Energiebedarfsberechnung wurden im Anschluss mit den ausgewerteten Verbrauchsdaten verglichen, um eine Plausibilisierung vornehmen zu können. Gegebenenfalls daraus resultierende Anpassungen an die tatsächlichen Nutzungsprofile der Meistereien ermöglichen realitätsnahe Ergebnisse.

Das Vorgehen orientiert sich an der DIN V 18599:2011 Beiblatt 1 und ist nachfolgend dargestellt. Dabei werden jene Größen vorrangig betrachtet, die die Energiebilanz maßgeblich beeinflussen:

1. Erhebung der Verbrauchsdaten
2. Korrektur der Verbrauchsdaten nach VDI 3807
3. Erstellung einer ersten Bedarfsbilanz
4. Überprüfung der Zonierung und der geometrischen Daten
5. Überprüfung der Nutzungsrandbedingungen und Modifikation der Nutzungsprofile
6. Modifikation der Bedarfsbilanz mit Ausweisung der Detailenergiemengen
7. Modifikation der Parameter der einzelnen Gewerke
8. Permanenter Vergleich der Bedarfs- und korrigierten Verbrauchswerte

Trotz des Abgleichs kommt es in der Regel zu einem höheren bilanzierten Energiebedarf als sich anhand der Verbrauchsdaten ermitteln lässt. Gründe hierfür liegen zum einem am Rechenmodell der DIN V 18599:2011, dass die realen Gegebenheiten nur unter Verwendung von Annahmen abbilden kann. Letztere wiederum können nur so genau getroffen werden, wie es die bereitgestellten Unterlagen und ermittelten Daten ermöglichen. Zulässige Vereinfachungen, die der im Vergleich zu Neubauten wenig detaillierten Datenbasis Rechnung tragen, erhöhen die Fehlertoleranz zusätzlich. Zum anderen wird der Bedarf stets für die Vollbenutzung und entsprechende Beheizung der Gebäude ermittelt, um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Die tatsächliche Temperierung und Nutzung der Gebäude kann sich positiv auf den Verbrauch auswirken, fließt aber nur bedingt in die Bedarfsbilanz ein. So wird sichergestellt, dass die Gebäude gemäß ihrer Auslegung betrachtet werden. Beispielsweise hat eine Fahrzeughalle, die momentan nur als Lager genutzt und dementsprechend nicht beheizt wird, keinen Heizenergieverbrauch. Da sie aber über ein Heizsystem verfügt, kann sich das in Abhängigkeit der Nutzung ändern, was bei der Bedarfsermittlung berücksichtigt wird.

Nach DIN V 18599:2011 wird nur der Elektroenergiebedarf der zum Gebäude gehörenden Anlagentechnik bilanziert. Nutzerspezifische Geräte wie Computer werden dagegen nicht bzw. nur pauschal für die Wärmebilanz erfasst. Ein Abgleich ist demnach nur dann möglich, wenn die Elektroenergieverbräuche der Gebäudetechnik separat erfasst werden. Bei den untersuchten Meistereien ist das nicht der Fall. Da die nutzungsbedingten Energiebedarfe bei einer gesamtheitlichen Energiebilanz berücksichtigt werden sollten, wird für Maßnahmenentwicklung auf die realen Elektroenergie-Verbrauchsdaten zurückgegriffen. Für die Einhaltung gesetzlicher Vorgaben wird dagegen von den vorgegebenen standardisierten Nutzungsformen ausgegangen.

In Bild 2-4 werden die nach DIN V 18599:2011 unterschiedenen Energieströme dargestellt. Beim Abgleich von Daten muss stets beachtet werden, von welchem Energiestrom ausgegangen wird bzw. welche Verluste inkludiert sind. Beispielsweise entsprechen Verbrauchsdaten, die über Wärmemengenzähler an den Verteilleitungen der Kesselanlage gemessen werden, am ehesten der Erzeugernutzabgabe. Zusätzlich wird für jeden Prozessschritt Hilfsenergie, beispielsweise für den Betrieb von Pumpen oder Regelungstechnik, in der Regel in Form von Elektroenergie benötigt.

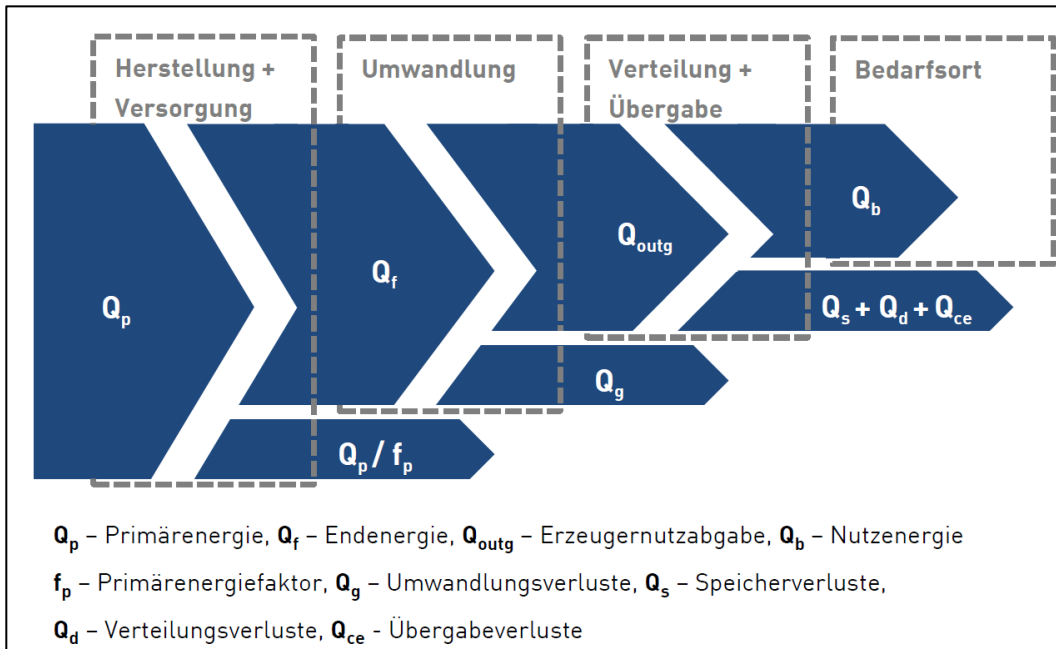


Bild 2-4: Unterteilung der Energieströme nach DIN V 18599:2011

2.3 Energiekonzeptentwicklung

Einzelmaßnahmen

Auf Basis der Ist-Stand-Analyse wurden Einzelmaßnahmen zur energetischen Sanierung der Gebäudehülle und der Einbindung von regenerativen Energien entwickelt. Der Wärmebedarf der Meistereigebäude stand dabei im Fokus. Die Beschreibung der Maßnahmen beinhaltet neben quantitativen Aussagen zur Energieeinsparung auch Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen auf Grundlage der VDI 2067. Für die Bestimmung der Kostenkennwerte für Investitionen wurde das Programm BKI-Kostenplaner 21 in der Version 21.0.26 und die Veröffentlichung des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung verwendet (BKI 2019, BBSR 2014). Eine Planung der Sanierung der technischen Anlagen und Gebäude der Meistereien gemäß der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) ist nicht Bestandteil der Studie. Hierfür sind detailliertere Betrachtungen im Rahmen einer Fachplanung notwendig. Aus diesem Grund wurde eine allgemeine Grobkostenschätzung auf der ersten Ebene nach DIN 276:2018 vorgenommen.

Die Auswahl der Maßnahmen erfolgte anhand von Überlegungen zur Umsetzbarkeit unter den Gegebenheiten der jeweiligen Bausubstanz und Anlagentechnik. Um die Eignung der verbauten Wärmeübergabesysteme in den Räumen für niedrigere Netztemperaturniveaus zu überprüfen, wurde die Heizlast einzelner, besonders kritischer Räume nach dem vereinfachten Verfahren der DIN EN 12831-1:2017 berechnet. Über den Vergleich der Heizlast mit der Wärmeleistung der Übergabesysteme lassen sich Aussagen über die Kompatibilität zu möglichen Wärmeerzeugern ableiten. Eine Beispielrechnung für die AM Hannover ist in Anhang A.6 aufgeführt.

Bildung von Energiestandards

Die Energiestandards leiten sich aus den gesetzlichen Anforderungen und definierten Vorgaben ab. Dazu wurden mehrere Einzelmaßnahmen kombiniert. Für drei einzelne Gebäude mit

einem besonders hohen Potenzial für energetische Ertüchtigungen wurde ein Sanierungsfahrplan erstellt, um eine sinnvolle Darstellung des zeitlichen Ablaufs für die Umsetzung der Maßnahmen zu skizzieren. Dabei wurde auch eine externe Finanzierung durch Contracting-Modelle und das Aufzeigen von Fördermitteln diskutiert.

3 Ergebnisse der Datenerhebung

3.1 Auswertung Gebäudedaten aus BASt-Fragebögen

Für die Untersuchung wurden 18 Fragebögen ausgewertet, die von Autobahn- und Straßenmeistereien in Niedersachsen und Bayern bereitgestellt wurden. Die Qualität und Quantität der Fragebögen ist nicht einheitlich und eine Plausibilisierung der Daten konnte nur bei den fünf Meistereien vorgenommen werden, die für diese Studie näher analysiert wurden. Anhand der Fragebögen lässt sich eine typische Meisterei definieren, welche als Referenz für die in Kapitel 6 beschriebene Übertragbarkeit der Erkenntnisse auf andere Meistereien verwendet wird. In Anhang A.8 ist eine Übersicht der gebäudebezogenen Daten der ausgewerteten Fragebögen aufgelistet, während die daraus resultierende typische Meisterei in Tabelle 3-1 dargestellt ist.

Gebäude	Baujahr	saniert	Netto-Raumfläche
Große Fahrzeughalle	1980er-Jahre	Nein	1.000 m ²
Kleine Fahrzeughalle			500 m ²
Verwaltungsgebäude			450 m ²
Wärmeenergie	Energieträger	Verbrauch	Trinkwarmwasser
Zentraler Wärmeerzeuger	Heizöl EL	250.000 kWh	Ja, zentrale WWB
Elektroenergie	Verbrauch	Klimaanlage	RLT-Anlage
	60.000 kWh	Nein	Trocknungsraum ohne WRG

Tabelle 3-1: Typische Meisterei anhand Auswertung der vorliegenden Fragebögen

3.2 Allgemeine Beschreibung der untersuchten Meistereien

Autobahnmeisterei Braunschweig-Hafen

An der Autobahn A2 im Nordwesten von Braunschweig gelegen und erst im Jahr 2012 errichtet, ist die AM Braunschweig-Hafen die modernste der betrachteten Meistereien. Sie ist für die Unterhaltung einer Strecke von ca. 150 km verantwortlich und wurde zuletzt im vergangenen Jahr um einen Büroanbau erweitert. Da ihr Bau unter die Vorgaben der EnEV 2009 fiel und für die Wärmeerzeugung ausschließlich Holzpellets als regenerative Energieträger eingesetzt werden, soll sie im Rahmen der Studie als Referenz für einen Neubaustandard dienen. Eine wesentliche Besonderheit ist die Gebäudeaufteilung, da die große beheizte Fahrzeughalle direkt an das Verwaltungsgebäude angeschlossen ist und somit lediglich ein beheizter Gebäudekomplex existiert. Für die Zukunft wird zusätzlich über eine Beheizung der separierten Technikzentrale der Soleerzeugungsanlage nachgedacht.

Autobahnmeisterei Hannover

Die Meisterei an der Autobahn A 352 in Langenhagen in der Nähe des Flughafens Hannover wurde in den 1970er Jahren errichtet. Auf der Liegenschaft befindet sich auch eine der zwei niedersächsischen Fernmeldemeistereien, die für die fernmeldetechnischen Einrichtungen der Straßenbauverwaltung wie beispielsweise der Notrufsäulen an den Autobahnen zuständig sind. Für die Streckenunterhaltung von ca. 76 km existieren ein Verwaltungsgebäude und drei beheizte Fahrzeughallen. Im Jahr 2010 wurde eine energetische Sanierung der Gebäude ge-

plant, die bis zum Zeitpunkt der Studie nur an den Fahrzeughallen umgesetzt wurde. Grund dafür ist unter anderem der priorisierte, geplante Neubau eines eigenen Verwaltungsgebäudes für die Fernmeldemeisterei, die momentan im selben Gebäude wie die Verwaltung der Autobahnmeisterei untergebracht ist. Die Wärmeerzeugung erfolgt zentral auf Basis des Energieträgers Heizöl.

Autobahnmeisterei Neusitz

Gleichzeitig Sitz der Autobahndirektion Nordbayern, liegt die Meisterei Neusitz an der Autobahn A7 im Osten von Rothenburg ob der Tauber. Sie betreut eine Streckenlänge von 76 km und gliedert sich in ein Verwaltungsgebäude und zwei beheizte Fahrzeughallen, jeweils mit ausgeprägten Giebeldächern und markanten Holzelementen. Im Jahr 2014 wurde die zentrale Kesselanlage für die Wärmeversorgung der 1985 errichteten Gebäude auf Holzhackschnitzel als Energieträger umgestellt. Momentan existiert der Wunsch die Anzahl der Spinde für die Mitarbeitenden der Meisterei zu erhöhen und dafür das bisher ungedämmte Dachgeschoss des Verwaltungsgebäudes auszubauen.

Straßenmeisterei Erding

Ebenfalls in den 1970er Jahren errichtet, unterhält die Meisterei ca. 250 km der Bundesfernstraßen. Sie ist mit zwei beheizten Gebäuden die kleinste der untersuchten Meistereien. Unter anderem sind die Büroräume der Verwaltung im selben Gebäude wie die Werkstatt und die Waschhallen untergebracht. Seit Errichtung der Gebäude wurden mehrere kleine bauliche Erweiterungen vorgenommen und im Zuge einer energetischen Sanierung die Fenster und Hallentore zuletzt im Jahr 2005 erneuert. Den Wärmebedarf deckt eine zentrale Kesselanlage auf Erdgasbasis. Die Dachflächen der Meisterei sind bereits mit Photovoltaik-Modulen ausgestattet, die jedoch einem externen Betreiber gehören und nicht der Eigenverbrauchsnutzung der Meisterei dienen.

Straßenmeisterei Gersthofen

Die Meisterei in Gersthofen liegt nördlich von Augsburg unmittelbar am Kreuz der Autobahn A8 und der Bundesstraße B17. Sie wurde von der Autobahndirektion Südbayern zur „Zukunftsstraßenmeisterei“ ernannt, da vor Ort neue Techniken und Ideen für den Straßenbetriebsdienst erprobt werden. Sie verfügt über vier beheizte Gebäude und unterhält eine Streckenlänge von ca. 580 km, womit sie die größte der untersuchten Meistereien ist. Erwähnenswert ist die zum Teil aus den 1930er-Jahren stammende Bausubstanz, bei der über die Jahre energetische und nutzungsbedingte Sanierungsmaßnahmen, zuletzt im Jahr 2009, durchgeführt wurden. Die Wärmeerzeugung der Meisterei übernehmen zwei teildezentrale Kesselanlagen, die auch ein benachbarter Autobahnpolizeibetrieb und ein Wohnhaus versorgen. Als Energieträger kommt dabei Erdöl zum Einsatz.


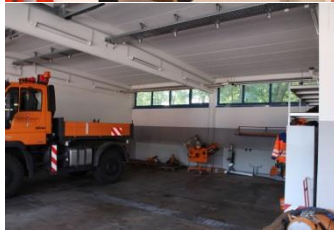



3.3 Gebäudehülle

Die Gebäudehüllen der Meistereien wurden während der Begehungen analysiert und im Nachgang mit den bereitgestellten Planunterlagen abgeglichen. Für die energetische Gebäudebilanzierung ist die Erfassung aller Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) der Fassaden, Dächer und Böden notwendig. Sofern sich diese nicht anhand der vorhandenen Daten ermitteln ließen, wurden Annahmen auf Grundlage der Baualtersklassen und der Nutzung der Gebäude getroffen. In Tabelle 3-2 sind relevante Merkmale der untersuchten Meistereien überblicksartig aufgelistet. Flächenmäßig kleine Bauteile wie beispielsweise Türen sind nicht separat aufgeführt, da ihr Einfluss auf die Gesamtbilanz der Gebäudehülle vergleichsweise gering ist.

Anlage A.9 enthält die Lagepläne der Liegenschaften, worin die in der weiteren Analyse berücksichtigten Gebäude markiert sind. Nicht beheizte Gebäude, wie beispielsweise offene Fahrzeugunterstände oder die Salzhallen, haben keinen energetischen Einfluss und werden im Rahmen der Studie nicht betrachtet.

Eigenschaft	Beschreibung	Bildnachweis
AM Braunschweig-Hafen		
Fenster	Gebäudeteil Verwaltung: <ul style="list-style-type: none"> - 3-Scheiben-Sonnenschutzverglasung - Einbau: 2017 - $U = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $g = 33 \%$ - Manuelles Öffnen/ Schließen - Kein außenliegender Sonnenschutz 	
	Gebäudeteil Fahrzeughalle/ Remise: <ul style="list-style-type: none"> - Fensterband - 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung - Einbau: 2012 - $U = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ - Kein Sonnenschutz 	
Hallentore	<ul style="list-style-type: none"> - Sektionaltore mit Fensteranteil - Einbau: 2012 - 2-Scheibenverglasung - $U = 3,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 	
Wände	Gebäudeteil Verwaltung: <ul style="list-style-type: none"> - Mauerwerk, 16 cm Mineralwolldämmung - $U = 0,22 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 	 
	Gebäudeteil Fahrzeughalle/ Remise: <ul style="list-style-type: none"> - Sandwich-Paneele mit Wärmedämmung - $U = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 	
	Innenwände Fahrzeughalle/ Verwaltung: <ul style="list-style-type: none"> - Mauerwerk, 16 cm Mineralwolldämmung - $U = 0,22 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 	
Dach	<ul style="list-style-type: none"> - Sandwich-Paneele - $U = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ - Satteldach, 10° Neigung Süd-Ost-Fläche - Dachbodennutzung Verwaltungsteil für technische Anlagen 	
	Oberste Geschossdecke Verwaltungsteil: <ul style="list-style-type: none"> - $U = 0,83 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 	

Eigenschaft	Beschreibung	Bildnachweis
Boden	<ul style="list-style-type: none"> - Keine Unterkellerung - Gebäudeteil Verwaltung: <ul style="list-style-type: none"> o Perimeterdämmung o $U = 0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ - Gebäudeteil Fahrzeughalle/ Remise: <ul style="list-style-type: none"> o keine Dämmung o $U = 2,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 	
AM Hannover		
Fenster	<p>Verwaltungsgebäude:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 2-Scheiben-Isolierverglasung/ - Wärmeschutzverglasung - Einbau: 1980er/ 2017 - $U = 1,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})/ 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ - Manuelles Öffnen/ Schließen - Teilweise außenliegender Sonnenschutz <p>Fahrzeug-/ Werkstatthallen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fensterband - 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung - Einbau: 2009 - $U = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ - Teilweise außenliegender Sonnenschutz 	 
Hallentore	<ul style="list-style-type: none"> - Sektional-/ Falttore mit Fensteranteil - Einbau: 2009 - Zweischeibenverglasung - $U = 1,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 	
Wände	<p>Verwaltungsgebäude:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Stahlbeton-Mauerwerk - Aufbau unbekannt - Wandstärke: 32 cm (EG), 20 cm (OG Dach) - $U = 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ <p>Werkstattbereich:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Energetische Sanierung: 2009 - 16 cm Dämmung (WLG 035) - $U = 0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ <p>Fahrzeubereiche:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Wandaufbau unbekannt - $U = 2,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 	 
Dach	<p>Verwaltungsgebäude:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Flachdach - Aufbau unbekannt - $U = 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 	

Eigenschaft	Beschreibung	Bildnachweis
	<ul style="list-style-type: none"> - Teilweise Nutzung für solarthermische Anlage 	
	<p>Fahrzeug-/ Werkstatthallen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Flachdach - Energetische Sanierung: 2009 - 16 cm (Attika)/ 8 cm (Dach) Dämmung (WLG 035) - Werkstattbereich: $U = 0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ - Hallenbereiche: $U = 0,38 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 	
Boden	<p>Verwaltungsgebäude</p> <ul style="list-style-type: none"> - Unbeheizter Keller mit ehem. Bunkeranlage - Aufbau Kellergeschossdecke unbekannt - $U = 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 	
	<p>Fahrzeug-/ Werkstatthallen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bodenplatte - teilweise Montagegruben - Keine Perimeterdämmung - $U = 2,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 	
AM Neusitz		
Fenster	<p>Verwaltungsgebäude:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Holzrahmen-Sprossenfenster - 2-Scheiben-Verglasung - $U = 1,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ - Manuelles Öffnen/ Schließen - Teilweise außenliegender Sonnenschutz 	
	<p>Werkstatt-/Fahrzeughallen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Einfachverglaste Fensterbänder - $U = 5,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ - Kein Sonnenschutz 	
Hallentore	<ul style="list-style-type: none"> - Falltore mit Fensteranteil - 1-Scheibenverglasung - Schlechte Abdichtung - $U = 5,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 	

Eigenschaft	Beschreibung	Bildnachweis
Wände	<p>Verwaltungsgebäude:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Teilweise mit Holzverkleidung - 5 cm Dämmung - $U = 0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ <p>Werkstatt-/Fahrzeughallen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Teilweise mit Holzverkleidung - Teilweise gegen Erdreich - Werkstattbereich: $U = 0,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ - Hallenbereich: $U = 0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ - Gegen Erdreich: $U = 0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 	
Dach	<p>Verwaltungsgebäude:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Satteldach, 52° Neigung - Teilweise ausgebautes Dachgeschoss - Geschossdecke mit 10 cm Dämmung - $U = 0,35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ <p>Werkstatt-/Fahrzeughallen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Satteldach, 52° Neigung - Nicht ausgebaute Dachgeschosse - Gedämmte Geschossdecken - Werkstattbereich: <ul style="list-style-type: none"> o 12 cm Holzfaserdämmplatten o $U = 0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ - Hallenbereiche: <ul style="list-style-type: none"> o 8 cm Schaumglasdämmplatten o $U = 0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 	
Boden	<p>Verwaltungsgebäude:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Unbeheizter Keller - Kellergeschossdecke mit 2 cm Trittschalldämmung - $U = 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ <p>Werkstatt-/Fahrzeughallen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bodenplatte - Teilweise Montagegruben - Werkstattbereich: <ul style="list-style-type: none"> o Innenliegende Dämmung o $U = 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ - Hallenbereiche: <ul style="list-style-type: none"> o Keine Dämmung o $U = 2,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 	

Eigenschaft	Beschreibung	Bildnachweis
SM Erding		
Fenster	<p>Hauptgebäude:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung - Einbau: 2005 - $U = 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ - Manuelles Öffnen/ Schließen - Teilweise außenliegender Sonnenschutz <p>Hallengebäude:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung - Holzrahmen - $U = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ - Kein außenliegender Sonnenschutz 	 
Hallentore	<ul style="list-style-type: none"> - Sektional-/ Falttore mit Fensteranteil - 2-Scheibenverglasung - $U = 4,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 	
Wände	<p>Hauptgebäude:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Teilweise Holzverkleidung - Stahlbeton-Mauerwerk mit Dämmung - Bestand (1970er): $U = 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ - Anbau (1990er): $U = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ <p>Hallengebäude:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Teilweise Holzverkleidung - Aufbau unbekannt - $U = 2,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 	 
Dach	<p>Hauptgebäude:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gedämmtes Satteldach - Verwaltungsbereich: $U = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ - Werkstattbereich: $U = 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ - Belegung mit PV-Zellen <p>Hallengebäude:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Satteldach mit Stahlbeton-Zwischendecke - $U = 2,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 	

Eigenschaft	Beschreibung	Bildnachweis
Boden	<p>Verwaltungsteil Hauptgebäude:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Unbeheizter Keller unter Verwaltungsteil - Kellergeschossdecke ohne Dämmung - $U = 2,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ <p>Werkstattteil/ Hallengebäude:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bodenplatte - Teilweise Montagegruben - $U = 2,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 	
SM Gersthofen		
Fenster	<p>Verwaltungsgebäude:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung - Einbau: 2009 - $U = 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ - Manuelles Öffnen/ Schließen - Teilweise außenliegender Sonnenschutz <p>Werkstatt-/Fahrzeughalle A:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung - Einbau: 2009 - $U = 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ - Kein Sonnenschutz <p>Werkstatt-/Fahrzeughallen C und D:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1-Scheiben-Holzrahmen-Fensterbänder - $U = 5,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ - Kein Sonnenschutz 	
Hallentore	<p>Werkstatt-/Fahrzeughalle A:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sektionaltore mit Fensteranteil - 2-Scheibenverglasung - Abdichtung vorhanden - $U = 4,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ <p>Werkstatt-/Fahrzeughallen C und D:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Falttore mit Fensteranteil - 1-Scheibenverglasung - Fehlende Abdichtung - $U = 5,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 	

Eigenschaft	Beschreibung	Bildnachweis
Wände	Verwaltungsgebäude: <ul style="list-style-type: none"> - 36,5 cm Lochziegel-Mauerwerk - Keine Dämmung - $U = 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 	 
	EG-Anbau Verwaltungsgebäude (2001): <ul style="list-style-type: none"> - Wandaufbau unbekannt - $U = 0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 	
	Werkstatt-/Fahrzeughalle A: <ul style="list-style-type: none"> - 24 cm Lochziegel-Mauerwerk - Keine Dämmung - $U = 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 	
	Werkstatt-/Fahrzeughalle C und D: <ul style="list-style-type: none"> - Betonfertigteile, Giebelseiten gemauert - $U = 2,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 	
Dach/ Decke	Verwaltungsgebäude: <ul style="list-style-type: none"> - Satteldach - Teilweise ausgebaut (beheizt): <ul style="list-style-type: none"> o Dachaufbau unbekannt o Dach: $U = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ - Nicht ausgebauter Bereich (unbeheizt): <ul style="list-style-type: none"> o Keine Sparren-Dämmung o Aufbau Geschossdecke unbekannt o Geschossdecke: $U = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 	 
	EG-Anbau Verwaltungsgebäude (2001): <ul style="list-style-type: none"> - Blech-Flachdach mit kaschiierten Wärme-dämmplatten, 160 mm - Dach: $U = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 	
	Fahrzeughallen: <ul style="list-style-type: none"> - Satteldächer - Nicht ausgebaut (unbeheizt) - Aufbau Geschossdecke unbekannt - Geschossdecke: $U = 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 	
Keller/ Bodenplatte	Verwaltungsteil <ul style="list-style-type: none"> - Unbeheizter Keller - Nutzung: Technik, Lager - Aufbau Kellergeschossdecke unbekannt - $U = 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 	
	Hallen: <ul style="list-style-type: none"> - Zementestrich-Bodenplatte - $U = 2,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ - teilweise Montagegruben - Technik-Keller Halle D (ca. 1/5 der Fläche) 	

Tabelle 3-2: Merkmale der Gebäudehüllen

Für die Bilanzierung der Wärmeströme müssen die Bauteil- und Raumflächen, die Raumvolumina und weitere Größen wie charakteristische Längenmaße und Geschosshöhen bestimmt werden. Die Ermittlung erfolgte mithilfe der zur Verfügung gestellten Plansätze. Da diese zum Teil unvollständig und bei der SM Gersthofen sowie der SM Erding nur in Papierform vorlagen, wurden fehlende Maßangaben unter Zuhilfenahme der vor Ort erstellten Fotodokumentation geschätzt.

Durch die Solarstrahlung bedingte Wärmeströme hängen zusätzlich von der Ausrichtung und des Durchlassgrades bei transparenten sowie des Absorptions- bzw. Emissionsvermögens bei opaken Bauteilen ab. Da eine genaue Ermittlung dieser Parameter nur unter Laborbedingungen durchgeführt werden kann, wird hierbei auf Standardwerte der EnEV 2016 und der DIN V 18599:2011 zurückgegriffen.

3.4 Technische Anlagen

Zu den technischen Anlagen zählen sowohl gebäudeintegrierte Systeme wie die Wärmeversorgung als auch nutzungsspezifische Geräte wie beispielsweise Hochdruckreiniger. Im Hinblick auf eine gesamtheitliche Betrachtung der Energieströme wurden auch Elektroenergieverbraucher wie Klimageräte oder die Beleuchtung aufgenommen.

Im Folgenden wird auf die energetisch relevanten Anlagen der Meistereien eingegangen. Tabelle 3-3 listet dazu zunächst die Wärmeerzeuger für Heizung und Trinkwarmwasser (TWW) auf.

Meisterei	Energieträger	Wärmeerzeuger
AM Braunschweig-Hafen	Holzpellets	Hargassner WTH 200, Niedertemperatur, Baujahr: 2012 2x 170 kW Nennwärmeleistung, 4000 l Speicher mit Frischwasserstation, 3 Heizkreise, 70 / 50 °C
	Heizöl EL	Buderus Logano GE515, Niedertemperatur, Baujahr: 2004 1x 455 kW Nennwärmeleistung, 500 l TWW-Speicher mit Speicherladesystem, 7 Heizkreise, 80 / 60 °C
AM Neusitz	Solarstrahlung	Buderus Logasol SKS 4.0, Solarthermie-Flachkollektoren 8x 2,1 m ² Absorberfläche, 1000 l Vorwärm-TWW-Speicher
	Holzhack-schnitzel	Fröling T4, Niedertemperatur, Baujahr: 2014 2x 110 kW Nennwärmeleistung, 4000 l Speicher, 285 l TWW-Speicher, 3 Heizkreise, 70 / 50 °C
	Elektroenergie/ Umweltwärme	Durchlauferhitzer in Küche und WC Obergeschoss Kermi x-change fresh, Trinkwasser-Luftwärmepumpe 0,4 kW elektr. Leistungsaufnahme, 1,4 kW Nennwärmeleistung
SM Erding	Erdgas	Viessmann Vitoplex 100, Niedertemperatur, Baujahr: 2004 1x 80 kW Nennwärmeleistung, 290 l TWW-Speicher, 2 Heizkreise, 60 / 40 °C
SM Gersthofen	Heizöl EL	Viessmann Paromat Triplex, Niedertemperatur, Baujahr: 1998 2x 170 kW Nennwärmeleistung, 350 l TWW-Speicher, 2 Heizkreise, 70 / 50 °C
	Heizöl EL	Viessmann Paromat Triplex, Niedertemperatur, Baujahr: 1998 2x 105 kW Nennwärmeleistung, 2 Heizkreise, 70 / 50 °C

Meisterei	Energieträger	Wärmeerzeuger
	Elektroenergie	Durchlauferhitzer in Fahrzeughallen

Tabelle 3-3: Übersicht der Wärmeerzeuger für Heizung und Trinkwarmwasser (TWW)

Wärmeverteilung und -übergabe

Wie aus Tabelle 3-3 hervorgeht, verfügen alle Meistereien über eine zentrale bzw. teildezentrale Wärmeerzeugung. Da mit Ausnahme der AM Braunschweig-Hafen mehrere Einzelgebäude beheizt werden, existieren Wärmeleitungen, die erdverlegt und teilweise in Schächten untergebracht sind. Je nach Zustand der Isolation verursachen sie Wärmeverluste, die im Rahmen der Bestandsaufnahme nicht bilanzierbar waren.

In den Verwaltungsgebäuden sind ohne Ausnahme Radiatoren in unterschiedlichen Ausführungen mit manuell einstellbaren Thermostatventilen (P-Regler) verbaut. Niedrigtemperatur-Flächenheizsysteme existieren dagegen nicht. In den Fahrzeughallen bzw. Werkstätten kommen zusätzlich, teilweise auch ausschließlich, Konvektoren in Decken- oder Wandausführung zum Einsatz. Die Fahrzeughalle der AM Braunschweig-Hafen ist im Vergleich sehr hoch und besitzt Deckenventilatoren, um erwärmte Luft entgegen der natürlichen Konvektion abwärts zu transportieren.

Die Heizungsnetze werden überwiegend mit 70 °C im Vor- und 50 °C im Rücklauf, teilweise auch mit 80/ 60 °C, betrieben. Die Verteilkreise verfügen dabei bei allen Meistereien über regelbare Umwälzpumpen neueren Baujahrs, die Verluste im Teillastbetrieb minimieren können. Zusätzlich sind sie mit Mischventilen zur Rücklauf Temperaturerhöhung sowie Thermo- und Manometern ausgestattet. Die Gliederung der Verteilnetze erfolgt gebäude- bzw. zonenweise. Die wärmeleitenden Anlagenteile sind dem Einbaualter entsprechend isoliert und nur in der SM Gersthofen konnte eine Schwachstelle dokumentiert werden.

Da die Bestandsaufnahme außerhalb der Heizperiode stattfand, können keine Aussagen über eine korrekte Betriebsweise der Heizungsanlagen getätigt werden. Eventuelle Optimierungspotentiale der Regelungstechnik (Absenkbetrieb, Speicherladung etc.) und des Nutzungsverhaltens (Bedienung Thermostatventile, Fensterlüftung etc.) konnten demnach nicht festgestellt werden. Inwieweit die Heizkreise und Übergabesysteme hydraulisch abgeglichen sind, ist im Rahmen der Studie ebenfalls nicht ermittelbar.

Raumlufttechnische Anlagen (RLT-Anlagen)

Mit Ausnahme der AM Hannover verfügen alle Meistereien über eine oder mehrere RLT-Anlagen. Die energetisch relevanten Kennwerte dieser, etwa ob eine Wärmerückgewinnung (WRG) existiert, sind in Tabelle 3-4 aufgelistet.

Meisterei	Volumenstrom/ Betriebszeit	Thermische Leistung	Elektrische Leistung	WRG	Versorgung
AM Braunschweig- Hafen	2.200 m³/h	12,6 kW	3,3 kW	Ja	Büros, Sanitär, Umkleiden, Aufenthaltsraum, Lager
	1.000 m³/h	4 kW	0,8 kW	Ja	
AM Hannover	-	-	-	-	-
AM Neusitz	4 h/Tag	keine	0,255 kW	Nein	Trocknungsraum KG

Meisterei	Volumenstrom/ Betriebszeit	Thermische Leistung	Elektrische Leistung	WRG	Versorgung
SM Erding	12 h/Tag	keine	0,120 kW	Nein	Trocknungsraum/ Lager KG
SM Gersthofen	1.700 m ³ /h	7 kW	1,5 kW	Ja	Sanitär, Aufenthaltsraum, Umkleiden

Tabelle 3-4: Kennwerte der verbauten RLT-Anlagen

In der AM Neusitz und SM Erding existiert je eine Einzelraum-Abluftanlage zur Trocknung der Arbeitskleidung im Kellergeschoss. Die AM Braunschweig-Hafen und die SM Gersthofen verfügen über zentrale RLT-Anlagen in den Verwaltungsgebäuden, die die Belüftung einiger Räume übernehmen. In der AM Braunschweig-Hafen existiert eine separate RLT-Anlage für den erst letztes Jahr fertiggestellten Anbau, die zum Zeitpunkt der Bestandaufnahme noch nicht im Betrieb war. Zusätzlich verfügt sie über direkt belüftete Spinte, in denen die Arbeitskleidung getrocknet wird.

Kälteerzeugungsanlagen

Eine Raumkühlung existiert nur in der AM Hannover für einzelne Büroräume mit erhöhten sommerlichen Wärmelasten durch die Sonneneinstrahlung. Dabei sind sechs handelsübliche Mono-Split-Klimageräte mit einer elektrischen Nennleistung von je ca. 2 kW installiert.

In der SM Erding und der SM Gersthofen ist jeweils ein Kühlgerät im Serverraum verbaut, um die Elektronik für Überhitzung zu schützen.

Soleerzeugung

Alle untersuchten Meistereien produzieren eigene Sole für die Feuchtsalz-Streuung. In den letzten Jahren wurde bereits auf die sogenannte FS 30-Technik gesetzt, bei der das Streusalz vor dem Ausbringen auf die Straße mit 30 % Sole vermischt wird. Damit kann der Salzeinsatz und die damit verbundenen Umweltauswirkungen sowie die Kosten reduziert werden. Bei der neuen FS 100-Technik wird nun bei geeigneten Witterungsbedingungen ausschließlich Sole auf die Straßen ausgebracht, wodurch der Solebedarf weiter steigt.

Neben Salz und dem Elektroenergiebedarf für die Pumpen, benötigen die Soleerzeugungsanlagen große Mengen an Wasser, wofür in der Regel Trinkwasser, aber teilweise auch aufgefangenes Oberflächenwasser verwendet wird.

Beleuchtung

Die Beleuchtung der Gebäude erfolgt mithilfe von Kompaktleuchtstofflampen, Leuchtstoffröhren und LED-Leuchten. In den älteren Meistereien werden alte Leuchtmittel sukzessive gegen energieeffizientere ersetzt. Es kommen jedoch nach wie vor teilweise ineffiziente T8-Röhren mit konventionellen Vorschaltgeräten (KVG) zum Einsatz. Beispielhaft sei erwähnt, dass in der AM Braunschweig-Hafen in den Büroräumen ausschließlich dimmbare LED-Panels und Bewegungsmelder in den dafür geeigneten Räumen verbaut sind, während in der SM Erding Kompaktleuchtstofflampen und Handschalter vorherrschen.

Die Beleuchtung der Betriebshöfe erfolgt in der Regel über Gasentladungslampen, die vor allem während der Winterzeit benötigt werden.

Hochdruck-Reiniger

Zur technischen Ausstattung der Meistereien gehört jeweils ein HD-Reiniger mit Heizfunktion zur Reinigung der Fahrzeuge. Eine Einordnung der Wärmeenergieverbräuche dieser Geräte ist nach Tabelle 3-5 möglich.

Meisterei	Energieträger	Verbrauch
AM Braunschweig-Hafen	Elektroenergie	Nicht erfasst
AM Hannover	Heizöl EL	ca. 500 l/a
AM Neusitz	Diesel	ca. 200 l/a
SM Erding	Heizöl EL	ca. 500 l/a
SM Gersthofen	Heizöl EL	Nicht erfasst

Tabelle 3-5: Übersicht der HD-Reiniger

Sonstige Anlagen

Zur weiteren Ausstattung der Meistereien gehören je ein Druckluft-Kompressor, eine Trinkwasser-Druckerhöhungspumpe sowie umfangreiche EDV-Technik. Letztere ist Bestandteil der Streckenüberwachung und stellt einen wesentlichen Elektroenergieverbraucher dar. Da die Systeme auch bei einem Stromausfall funktionieren müssen, existiert in der Regel eine unterbrechungsfreie Stromversorgung auf Basis von Batteriespeichern.

In der AM Braunschweig-Hafen ist zudem eine CO₂-Warnanlage in der Fahrzeughalle installiert. Ein in Arbeitshöhe angebrachter Sensor misst die CO₂-Konzentration und eine Notlüftungsanlage, bestehend aus an der Hallendecke montierter Um- und Abluftventilatoren, entlüftet die Halle im Bedarfsfall. Nach Aussage des technischen Leiters kam es jedoch noch nie zu einer Überschreitung des Grenzwerts.

3.5 Nutzungsverhalten

Arbeitsabläufe

Die Belegschaft der Meistereien gliedert sich in Mitarbeitende für Verwaltungsaufgaben und das technische Personal. Erstere arbeiten in den Büroräumen während der allgemein üblichen Arbeitszeiten zwischen ca. 07:00 bis 16:00 Uhr, gegebenenfalls mit Verschiebungen und Abweichungen an einzelnen Arbeitstagen. Das technische Personal ist während der Arbeitszeit in der Regel auswärts bei Einsätzen tätig und nur sporadisch in der Meisterei. Einzelne Mitarbeitende übernehmen aber auch Wartungs- bzw. Reparaturarbeiten für die sie sich in der Meistereiwerkstatt aufhalten.

Anforderungen

Die Anforderungen der Belegschaft an das Raumklima variieren je nach Tätigkeit. Die Büroräume für die Verwaltung werden auf gängige Innentemperaturen (20-24 °C) beheizt und die RLT-Anlage bzw. manuelles Fensteröffnen sorgt für den nötigen Luftaustausch. In allen Meistereien mit Ausnahme der AM Hannover, wo Klimageräte existieren, wurden bei der Befragung zu warme Innentemperaturen während der Sommermonate bemängelt, was auf einen unzureichenden sommerlichen Wärmeschutz schließen lässt. Die Fahrzeughallen werden im Winter nur moderat geheizt, damit die Fahrzeuge abtauen und Arbeiten wie die Fahrzeugrei-

nigung durchgeführt werden können. Ob die Temperaturregelung funktioniert, welche Sollwerte eingestellt und welche Istwerte erreicht werden, ist anhand der Datengrundlage nicht festzustellen. Die Werkstattbereiche in den Hallen werden dabei in der Regel auf höhere Temperaturen geheizt als die Fahrzeugabstellbereiche.

Die Warmwasserbedarfe entstehen aus Nutzung der sanitären Anlagen, insbesondere der Duschen. Das Nutzungsverhalten variiert hierbei zwischen den Meistereien. Beispielsweise nutzen die Mitarbeitenden der SM Erding die Möglichkeit zu duschen nach eigener Aussage in der Regel nicht.

Zonierung

Die in Tabelle 3-6 aufgeführten Nutzungsprofile wurden für die Zonierung der Energiebedarfsberechnung verwendet.

Zone	Beschreibung	Soll-Temperatur	Modifikation	Verbrauchsabgleich
01	Einzelbüro	21 °C	- Soll-Temperatur - Nutzungszeit	
16	WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden	21 °C	- Warmwasserbedarf	
18	Nebenflächen (nicht permanent genutzte Räume, Flure etc.)	21 °C		
22.1	Gewerbliche und industrielle Hallen, schwere Arbeit, stehende Tätigkeit	15 °C	- Warmwasserbedarf	
41	Lagerhallen, Logistikhallen	5 °C	- Soll-Temperatur - Nutzungszeit - Warmwasserbedarf	

Tabelle 3-6: verwendete Nutzungsprofile für Zonierung nach DIN V 18599:2011

Nutzungspotenziale

Bei der Gehölzpflege fallen in den Meistereien je nach Bewuchs an den unterhaltenen Straßen Holzackschnitzel an. Es gab in den Meistereien bereits Überlegungen diese für die Wärmeversorgung zu nutzen, was momentan jedoch bei keiner der untersuchten Meistereien umgesetzt wird. Grund dafür ist zum einen die mindere Qualität, da vor allem Buschwerk und kein Stammholz verschnitten wird. Dies kann zu Problemen bei der Kesselbeschickung führen und erfordert aufgrund des vergleichsweise geringen Heizwerts des Ausgangsmaterials große Lagerkapazitäten. Zum anderen muss das Hackgut im Vorfeld getrocknet werden, was weiterer Lagerkapazitäten bedarf. Daher verkaufen die Meistereien die anfallenden Holzackschnitzel in der Regel an lokale Abnehmer. Die SM Gersthofen verkaufte beispielsweise im Jahr 2018 ca. 1.900 m³ für einen Betrag von rund 7.300,- Euro. Die anfallende Menge variiert zwischen den Meistereien je nach Bewuchs der unterhaltenen Streckenabschnitte sehr stark. Eine energetische Nutzung für die Wärmeerzeugung der Meistereien kann eine Alternative sein, wenn den vorgenannten Herausforderungen durch entsprechende Anlagentechnik und Integration in die Aufgabenbereiche der Mitarbeitenden begegnet wird (BASt 2006).

Für die Soleerzeugung und Fahrzeugwäsche kommt eine Nutzung von Oberflächenwasser infrage, was, beispielsweise in der AM Braunschweig-Hafen, auch geschieht. In der SM Gersthofen wurde die Nutzung wieder eingestellt, da das aufgefangene Wasser einen erhöhten Verschmutzungsgrad aufwies. Eine entsprechend gewartete Filteranlage ist demnach Bedingung für die Verwendung.

Der Nutzung von Elektrofahrzeugen standen die Verantwortlichen der Meistereien offen gegenüber, verwiesen jedoch auf den fehlenden Markt, insbesondere für Lastfahrzeuge, sowie die zu langen Ladedauer aktueller Technik. Im Winterdienst fahren die Streu- und Räumfahrzeuge teilweise ohne Unterbrechung, so dass längere Ladezeiten nur durch redundante Fahrzeuge ausgeglichen werden könnten. Gleichzeitig müsste eine an die jeweiligen Reichweiten angepasste Einsatzplanung erfolgen.

3.6 Verbrauchsdaten

Von allen untersuchten Meistereien wurden Daten zu den Verbräuchen der letzten drei Jahre bereitgestellt, wenngleich die Qualität und Vollständigkeit variiert. Für die Auswertung wurden diese plausibilisiert und ggf. unter Verwendung von Annahmen in vergleichbare Einheiten umgerechnet.

Die Abrechnungen für Wärmeenergieträger, Elektroenergie und Trinkwasser werden üblicherweise jährlich bzw. bei Lieferung für die jeweils gesamte Meisterei durchgeführt. Es existieren folglich keine Unter- oder Wärmemengenzähler bzw. werden diese nicht abgelesen. Eine Unterteilung der Verbrauchsdaten zu einzelnen Gebäudeteilen bzw. Nutzungen ist demnach nicht möglich.

Eine Ausnahme stellt die Straßenmeisterei Gersthofen dar, die zusätzlich ein Wohngebäude und einen Autobahnpolizeibetrieb mit Wärme versorgt. Aus diesem Grund sind Wärmemengenzähler an den Verteilleitungen des Verwaltungsgebäudes vorhanden, die vom zuständigen technischen Leiter monatlich abgelesen werden. Zusätzlich werden die Heizölverbräuche für die zweite Heizungsanlage ebenfalls monatlich erfasst. In Bild 3-1 sind die Daten witterungsbereinigt als Mittel der Jahre 2016 bis 2018 dargestellt. Zu beachten ist, dass Verteilverluste bei insbesondere über andere Gebäude versorgter Einheiten (Gebäude A und C) nicht berücksichtigt werden. Die Ermittlung der Wärmemengen für die Gebäudebeheizung von Halle C und D erfolgte unter Annahme eines Jahresnutzungsgrads der Kesselanlage $\eta_a = 0,8$ und eines Heizwerts $H_i = 9,8 \text{ kWh/l}$ (IWU 2002, GEMIS 2017).

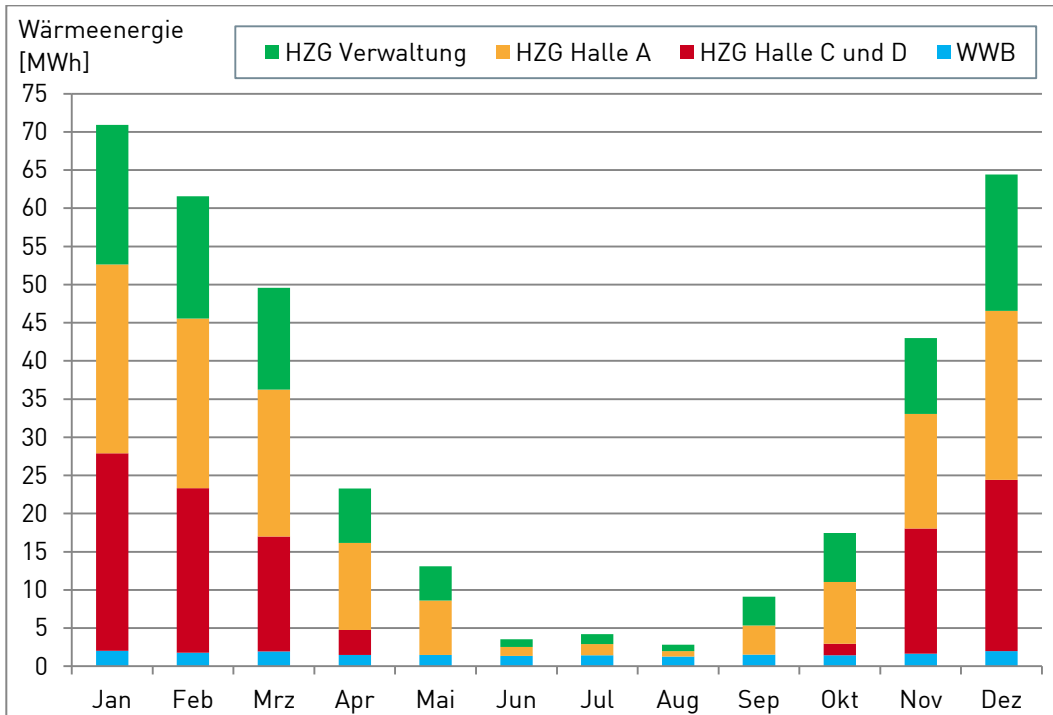


Bild 3-1: Witterungsbereinigte, monatliche Wärmeverbräuche der SM Gersthofen

Für die Beheizung der Fahrzeug- und Werkstatthallen (Halle A, C, D) der SM Gersthofen wird der größte Anteil der Wärmeenergie benötigt. Auffällig dabei ist, dass Halle C und D zusammen einen geringeren Wärmeverbrauch als Halle A bei etwa der 1,5 fachen beheizten Fläche aufweisen. In der Jahresbilanz entfallen auf sie ca. 67 % des Gesamtbedarfs. Die benötigte Wärmeenergie für die Warmwasserbereitung (WWB) im Verwaltungsgebäude nimmt mit weniger als 6 % einen sehr geringen Anteil ein. Das über Elektro-Durchlauferhitzer bereitgestellte Trinkwarmwasser an den Handwaschbecken der Hallen ist dabei nicht berücksichtigt.

In Bild 3-2 sind die witterungsberinigten und gemittelten jährlichen Wärmeenergieverbräuche der Meistereien im Vergleich dargestellt.

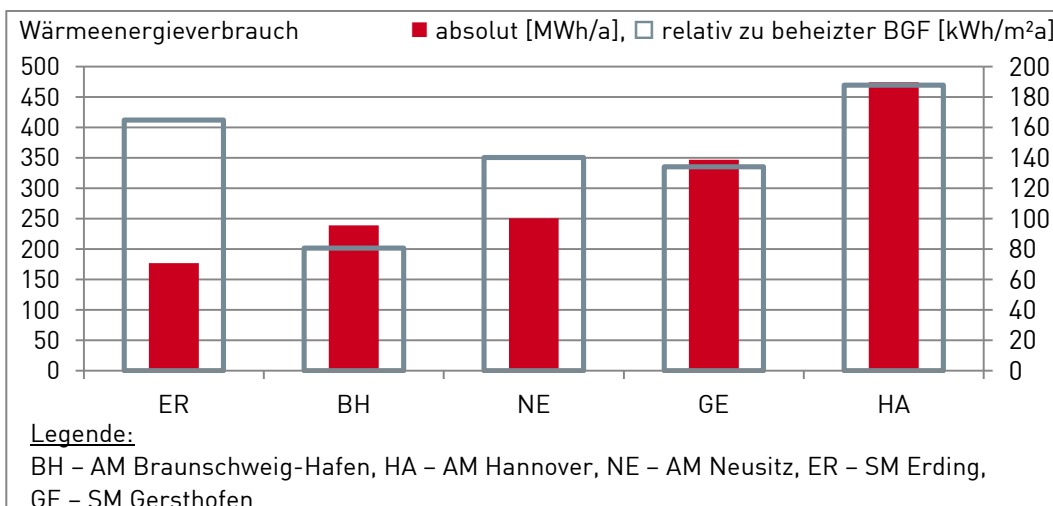


Bild 3-2: Vergleich der witterungsberinigten Wärmeenergieverbräuche

Während die absoluten Wärmeenergieverbräuche auch von der Größe der beheizten Gebäude der Meisterei abhängen, zeigen sich bei den auf die beheizten Brutto-Grundflächen (BGF) bezogenen Werten eindeutige Unterschiede der energetischen Standards der Gebäude. Erwartungsgemäß ist dieser Wert bei der Autobahnmeisterei Braunschweig-Hafen mit 66 kWh/(m²a) am geringsten. Die AM Hannover offenbart mit über 200 kWh/(m²a) deutliche Schwachstellen in der Wärmeenergieeffizienz.

In Bild 3-3 sind die gemittelten Elektroenergie- und in Bild 3-4 die Trinkwasserverbräuche der untersuchten Meistereien dargestellt.

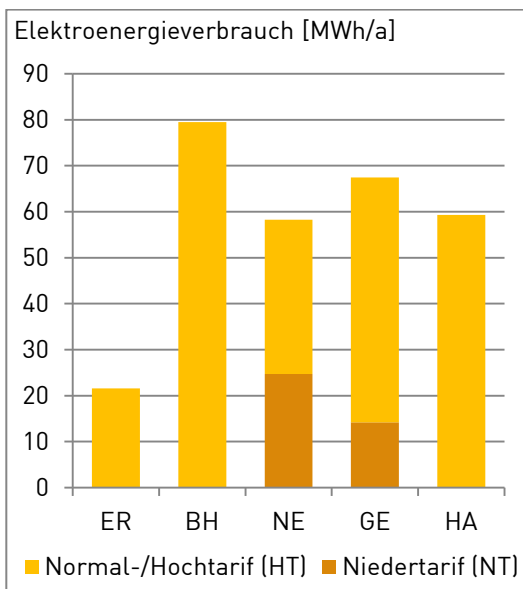


Bild 3-3: Vergleich der Elektroenergieverbräuche (Mittelwerte 2016 bis 2018)

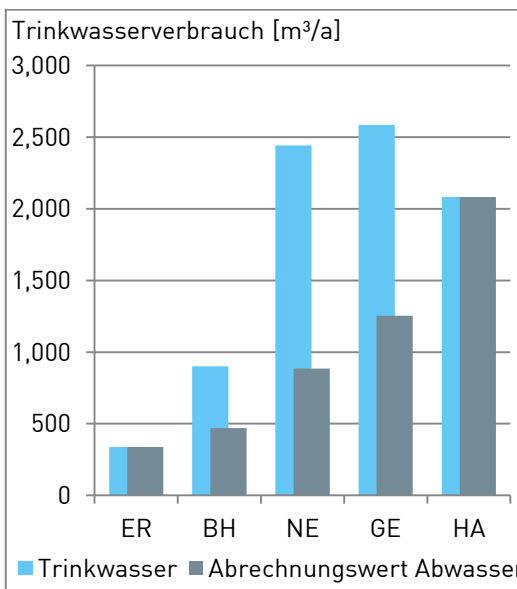


Bild 3-4: Vergleich der Trink- und Abwasserverbräuche (Mittelwerte 2016 bis 2018)

Der Trinkwasserbedarf entsteht vor allem durch die Soleerzeugungsanlagen, Fahrzeugwäschen und sanitären Einrichtungen der Meistereien und kann durch Regenwassernutzung verringert werden. Von der AM Braunschweig-Hafen liegen Daten vor, wonach ungefähr die Hälfte des verbrauchten Trinkwassers für die Soleerzeugung verwendet und dementsprechend nicht als Abwasser anfiel. In den Meistereien ohne Oberflächenwassernutzung dürfte dieser Anteil noch höher ausfallen. In der AM Hannover und der SM Erding existieren keine separaten Abwasserzähler, wodurch Abwassergebühren pauschal abgerechnet werden.

Bei den Elektroenergieverbräuchen fällt der geringe Wert der SM Erding auf, der sich aus der vergleichsweise geringen Größe der Meisterei ergibt. Generell lassen sich als Hauptverbraucher die EDV-Systeme und die Beleuchtungsanlagen benennen. Eine genaue Aufschlüsselung ist mit den vorhandenen Daten jedoch nicht möglich. Die Elektroenergieverbräuche der AM Hannover werden gemeinsam mit der Fernmeldemeisterei abgerechnet und sind durch den nutzungsbedingten, verstärkten Einsatz von Computer- und Fernmeldetechnik im Vergleich sehr hoch. Auf Basis der Erfahrungswerte der AM Oyten kann in guter Näherung jedoch davon ausgegangen werden, dass auf die Autobahnmeisterei nur ca. ein Drittel des Elektroenergieverbrauchs entfallen (SBM NS 2019). Dies wurde entsprechend berücksichtigt.

Eine Aussage lässt sich zudem bei Betrachtung der über zwei Tarife abgerechneten Meistereien in Neusitz und Gersthofen treffen. Die Niedertarife gelten in Phasen geringer Abnahme bzw. hohen Angebots im Stromnetz, was in der Regel während der Nachtstunden eintritt. Der hohe Anteil der im Niedertarif abgerechneten Elektroenergie (SM Gersthofen: 21 %, AM Neusitz: 42 %) spricht dafür, dass tageszeitunabhängig ein hoher Strombedarf in den Meistereien besteht. Gründe hierfür sind vor allem die durchweg laufenden EDV-Systeme und die Winterdienstensatzzeiten.

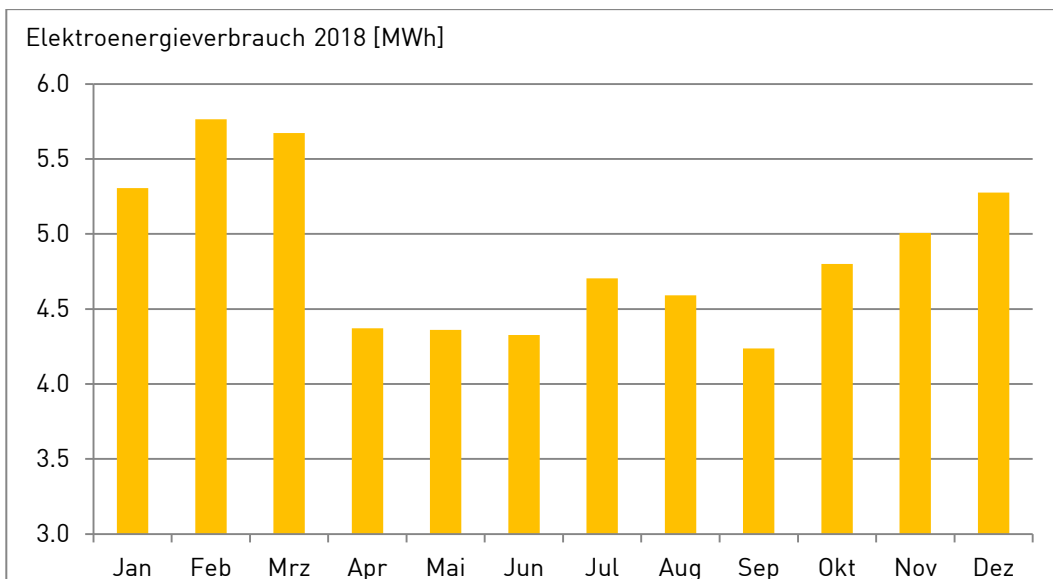


Bild 3-5: Monatsbilanz Elektroenergieverbrauch AM Hannover für das Jahr 2018

Die AM Hannover verfügt über mehrere Klima-Splittergeräte, die den Stromverbrauch während der Sommermonate erhöhen. Anhand Bild 3-5 lässt sich dieser Sachverhalt nachvollziehen. Der Elektroenergiebedarf ist während der Wintermonate typischerweise am höchsten, da aufgrund der geringen Tageslichtverfügbarkeit verstärkt künstliche Beleuchtung benötigt wird. Im Hinblick auf den Winterdienst, der vor allem in den frühen Morgenstunden stattfindet, verstärkt sich dieser Effekt. Zusätzlich lässt sich im Diagramm eine Zunahme des Elektroenergiebedarfs im Juli und August erkennen, die sich mit dem erhöhten Kältebedarf in diesem Zeitraum begründen lässt. Die maximale Differenz, zwischen den Monaten Februar und September, beträgt ca. 1,5 MWh, während der Bedarf auch im September bei ca. 4,2 MWh liegt. Die witterungsbedingten Schwankungen nehmen also nur einen vergleichsweise geringen Anteil ein.

3.7 Fahrzeugflotte

Daten zu den Fahrzeugflotten der Meistereien wurden in den Fragebögen der BASt abgefragt. In Bild 3-6 sind die zu unterhaltenen Streckenlängen um einen Vergleich der Treibhausgasemissionen zwischen Fahrzeugen und Gebäuden zu ermöglichen, wurden die jährlichen Emissionen von CO₂-Äquivalenten anhand der Treibstoffverbräuche bestimmt und in Bild 3-7 dargestellt. Die Emissionen pro verbrauchtem Liter Treibstoff wurde dabei für Diesel mit 2,65 kg/l, für Benzin mit 2,37 kg/l und für Elektroenergie mit 0,515 kg/kWh angenommen (GEMIS 2017).

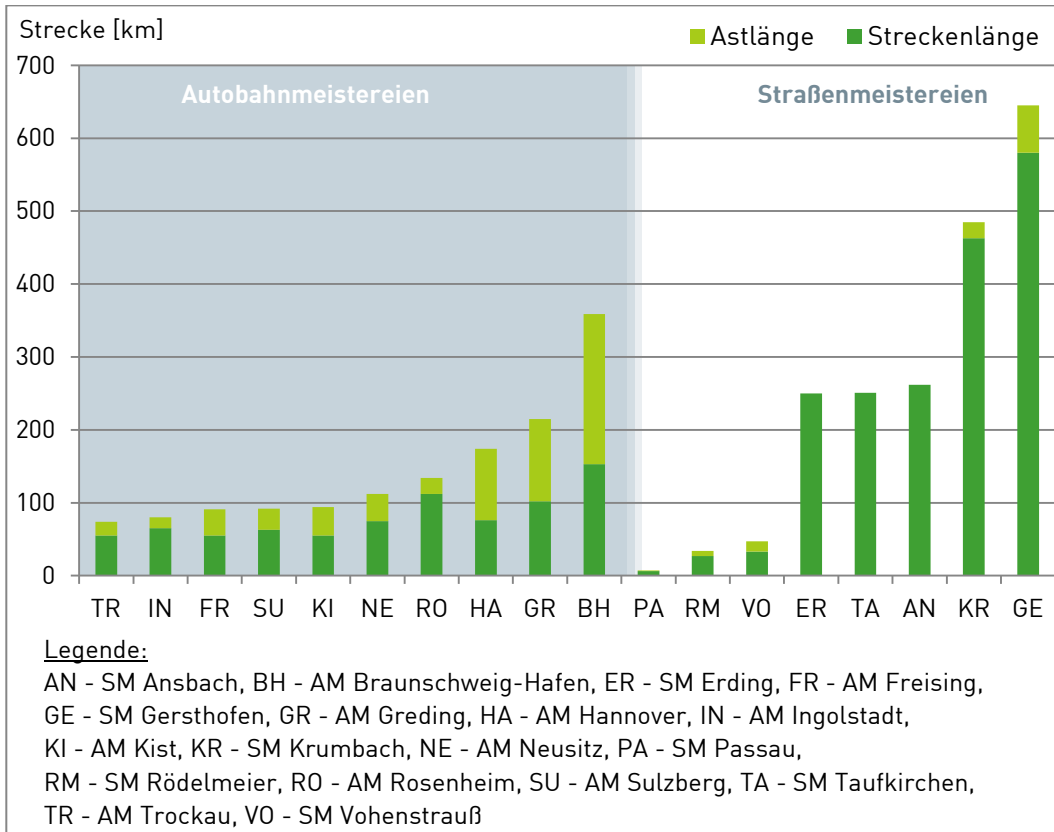


Bild 3-6: Zu unterhaltende Streckenlänge der Meistereien

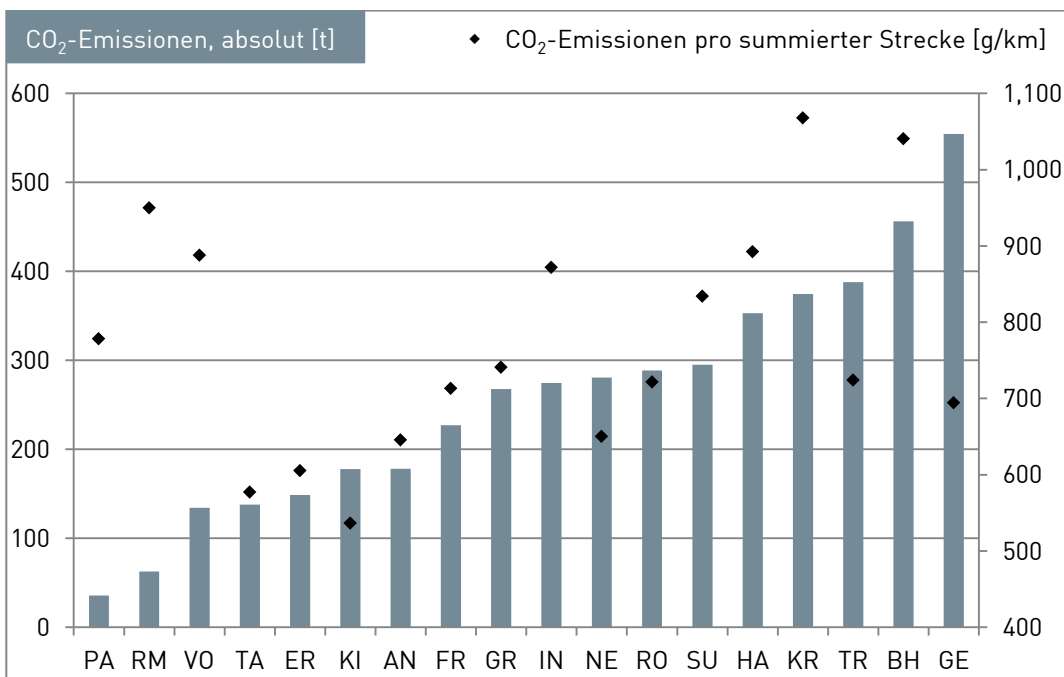


Bild 3-7: Vergleich der Emissionen aus Treibstoffverbräuchen der Meistereien

Die überwiegende Anzahl von Fahrzeugen verfügt über einen Diesel-Motor, während vier der ausgewerteten Meistereien einzelne PKW mit Otto-Motor betreiben und eine einen PKW mit Elektro-Motor besitzt. Es zeigt sich, dass allgemeingültige Aussagen zu den Fahrzeugflotten nur schwer möglich sind, obwohl die Struktur der Fahrzeugtypen aufgabenbedingt vergleichbar ist. Neben der zu unterhaltenden Streckenlänge haben beispielsweise auch die Anzahl der Instandhaltungsarbeiten und Witterungsbedingungen Einfluss auf die zurückgelegten Fahrstrecken. So sind die absoluten Emissionen der Fahrzeuge durch Treibstoffverbräuche bei der Straßenmeisterei Gersthofen zwar erwartungsgemäß am höchsten, korrelieren im Vergleich aber nur bedingt mit der zu unterhaltenden Streckenlänge (siehe Bild 3-6).

Gleichzeitig fällt auf, dass es starke Unterschiede bei den auf die summierte zurückgelegte Strecke bezogenen Emissionen gibt. Sofern die Datenbasis keine signifikanten Fehler aufweist, lässt sich das durch Unterschiede bei der Anzahl der jeweiligen Einsatztypen (Streckenkontrolle, Schneeräumung etc.) erklären. Beispielsweise verbraucht ein Streu- und Räumfahrzeug im Winterdienst deutlich mehr Treibstoff pro Strecke als ein Dienst-PKW, der Personen für eine Inspektion befördert.

Im Mittel verursachen die Fahrzeuge treibstoffbedingte Emissionen von CO₂-Äquivalenten in Höhe von 774 Gramm pro zurückgelegtem Kilometer und 2,22 Tonnen pro Kilometer unterhaltener Streckenlänge.

4 Energiebedarfsberechnung

Alle für die Energiebedarfsberechnung der Einzelgebäude eingegebenen Daten können Anhang A.11 entnommen werden. Die EnEV 2016 enthält einige allgemeine Berechnungsvorgaben, die die bundesweite Vergleichbarkeit der Energiekennwerte für Gebäude sicherstellen soll. Unter anderem wird als Bezugsstandort stets die Klimazone 4 (Potsdam) gewählt. Als Folge hängen die Anforderungen zwar nicht mehr vom Standort des Gebäudes ab, es verringert sich unter Umständen aber auch die Genauigkeit des Berechnungsergebnisses. Da das Ziel der Studie eine möglichst exakte Ermittlung der Energieflüsse in den Meistereien und nicht ein gesetzlicher Nachweis ist, wurden die Randbedingungen frei nach EnEV 2016 gewählt. Im Beispiel entsprechen die Bezugsstandorte also der Klimazonen der tatsächlichen Standorte, sprich für die beiden Meistereien in Niedersachsen die Klimazone 3 (Hamburg) und für die drei in Bayern die Klimazone 13 (Passau).

4.1 Gesamtbilanzen

Im Folgenden werden die mit der Bedarfsberechnung ermittelten Energiebilanzen vorgestellt. Die Werte beinhalten, sofern nicht anders angegeben, den Energiebedarf für die Beheizung, Warmwasserbereitung, Luftförderung, Kühlung und Beleuchtung aller beheizten Meistereigebäude.

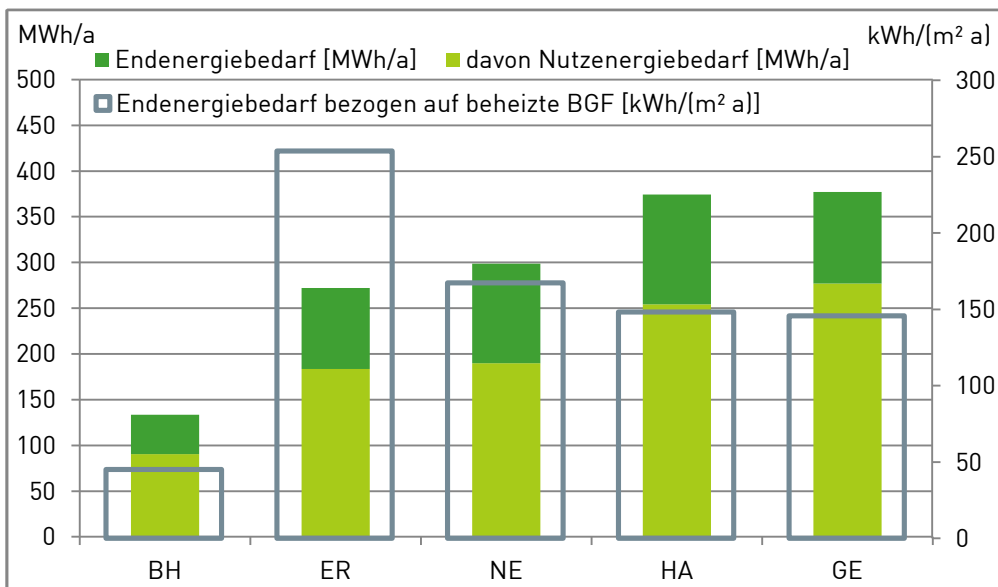


Bild 4-1: Gesamt-End- und Nutzenergiebedarfe der Meistereigebäude

In Bild 4-1 sind die End- und Nutzenergiebedarfe der Meistereigebäude dargestellt. Die niedrigen Werte der AM Braunschweig-Hafen bestätigen den hohen Energiestandard des Gebäudes. Deutlich wird das auch an der geringen Differenz zwischen End- und Nutzenergiebedarf, die sich aus gebäudeinternen Verlusten ergibt (siehe Bild 2-4). Bei der SM Erding wirkt sich die vergleichsweise kleine Hallenfläche auf den flächenbezogenen Endenergiebedarf aus. Bei der AM Hannover wirken sich die energetisch sanierten Hallengebäude positiv auf den flächenbezogenen Endenergiebedarf aus, wenngleich die absoluten Werte aufgrund der Größe der Meisterei und des schlechten energetischen Zustands des Verwaltungsgebäudes vergleichsweise hoch sind. Ein Hauptgrund für die Abweichungen zu den Verbrauchsdaten in Bild

3-2 sind die Sollinnentemperaturen der Hallengebäude bzw. -bereiche im Heizfall. Die Aussagen der Verantwortlichen der Meistereien bei den Vor-Ort-Begehungen reichten hier von „frostfrei“ bis „ungefähr 10 °C“. Bei der SM Gersthofen, wo gebäudeweise Verbrauchsdaten vorliegen, lässt sich die Abweichung anhand Bild 3-1 und Bild 4-4 nachvollziehen. In Bild 4-2 ist dieser Sachverhalt zudem beispielhaft für zwei Hallengebäude dargestellt. Eine Halbierung der Sollinnentemperatur von 10 °C auf 5 °C ergibt bei der Halle C der SM Gersthofen eine Verringerung des Endenergiebedarfs auf 38 %, also um circa zwei Drittel. In der großen Halle der AM Neusitz befindet sich ein Werkstattbereich, dessen Sollinnentemperatur bei der Betrachtung nicht verändert wurde und sich folglich der Endenergiebedarf weniger stark verändert.

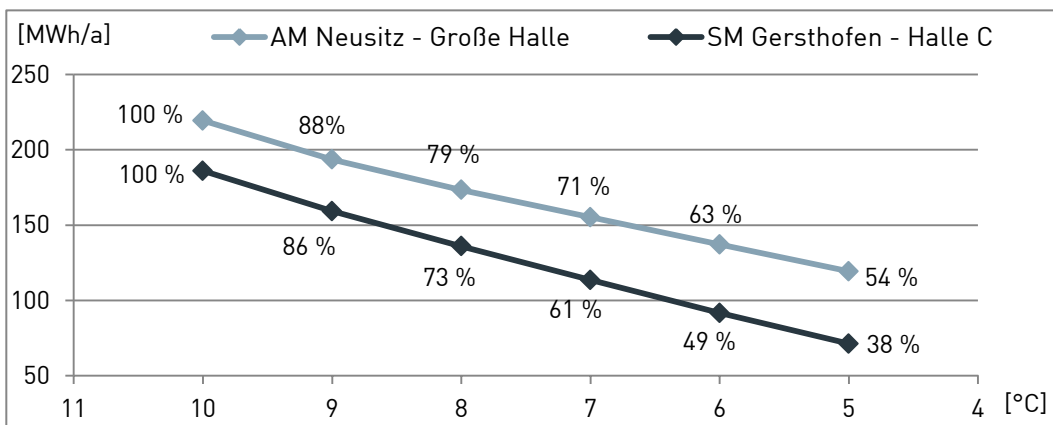


Bild 4-2: Endenergiebedarf in Abhängigkeit der Soll-Innentemperatur in Hallengebäuden

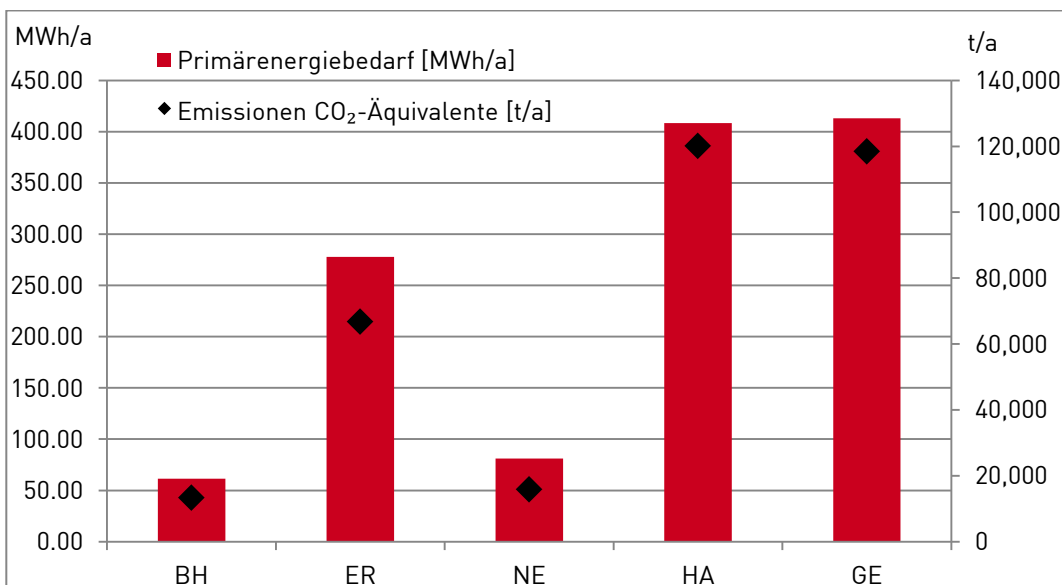


Bild 4-3: Gesamt-Primärenergiebedarf und Emission CO₂-Äquivalente der Meistereigebäude

Der Primärenergiebedarf und die Treibhausgasemissionen in CO₂-Äquivalenten der Meistergebäude sind in Bild 4-3 dargestellt. Die Werte basieren auf den energieträgerspezifischen Primärenergie- und Treibhausgasfaktoren nach DIN V 18599:2011. Die AM Braunschweig-Hafen und die AM Neusitz weisen die niedrigsten Werte auf, da ihre Wärmeversorgung mit Holzpellets bzw. Holzhackschnitzel auf regenerativen Energieträgern basiert. Die Treibhausgasemissionen der SM Erding, deren Wärmeversorgung auf Erdgas basiert, sind in Bezug auf

den Primärenergiebedarf geringer als bei der SM Gersthofen und der AM Neusitz, wo Heizöl zum Einsatz kommt.

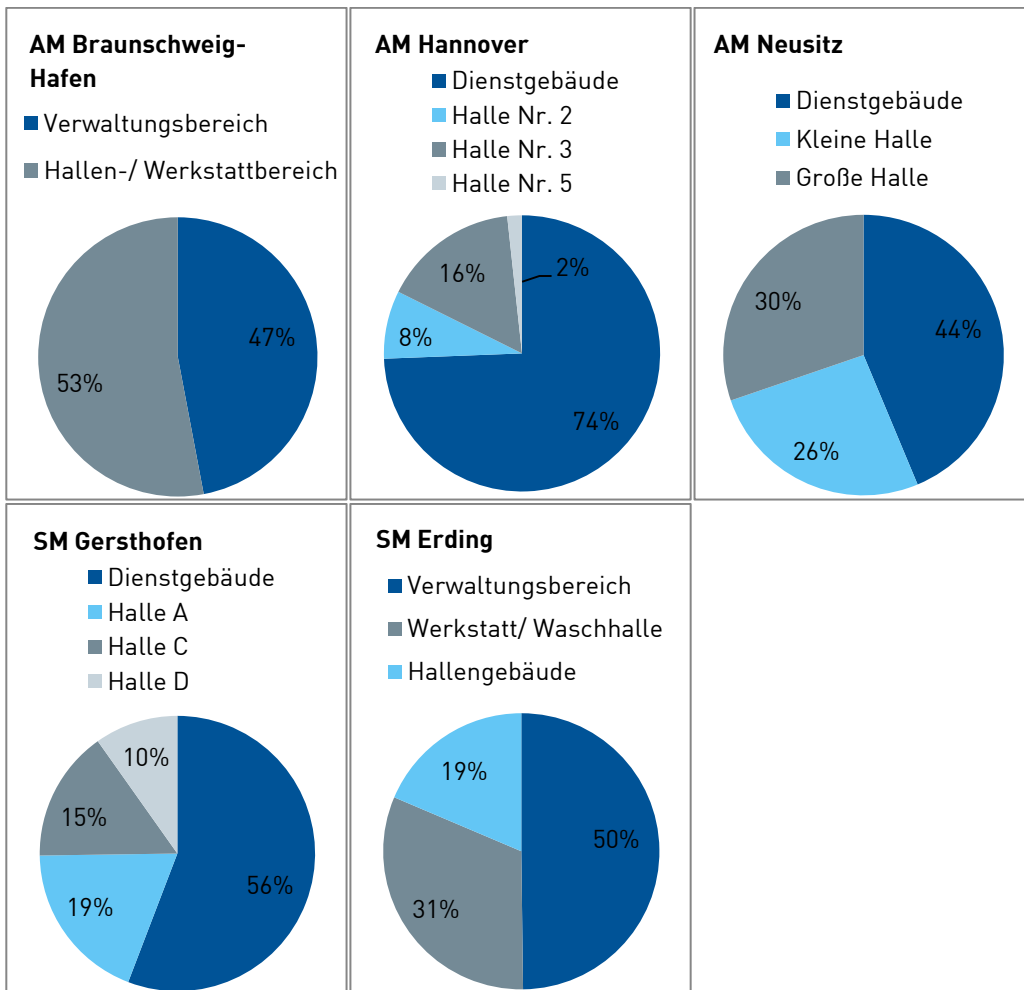


Bild 4-4: Verteilung der Primärenergiebedarfe innerhalb der Meistereien

Die Verteilung der Primärenergiebedarfe auf die Gebäude bzw. Zonen der Meistereien in Bild 4-4 unterstreicht den großen Einfluss der Hallengebäude auf die Gesamtbilanz. Bei der AM Hannover ist gut zu erkennen, dass deren Anteil mit 26 % durch die energetische Sanierung vergleichsweise gering ist. Die Aufteilung bei der AM Braunschweig-Hafen und der SM Erding eignet sich dagegen nur bedingt für einen Vergleich, da sich die Gebäudeaufteilung unterscheidet. Die Verwaltungsgebäude sollten aufgrund der höheren Temperierung besondere Berücksichtigung bei einer energetischen Sanierung finden. Jedoch müssen auch die Hallengebäude einbezogen werden, um das Gesamteinsparpotenzial der Meistereien zu heben.

Bei der AM Hannover wurde entschieden das gesamte Verwaltungsgebäude zu bilanzieren, obwohl dieses zu 50 % von der Fernmeldemeisterei genutzt wird. Eine energetische Sanierung sollte jedoch für das Gesamtgebäude und nicht nur für einen Teil durchgeführt werden. Zudem soll das Gebäude durch den geplanten Neubau zukünftig vollständig durch die Autobahnmeisterei benutzt werden. Die drei bilanzierten Hallengebäude können der Autobahnmeisterei zugeordnet werden.

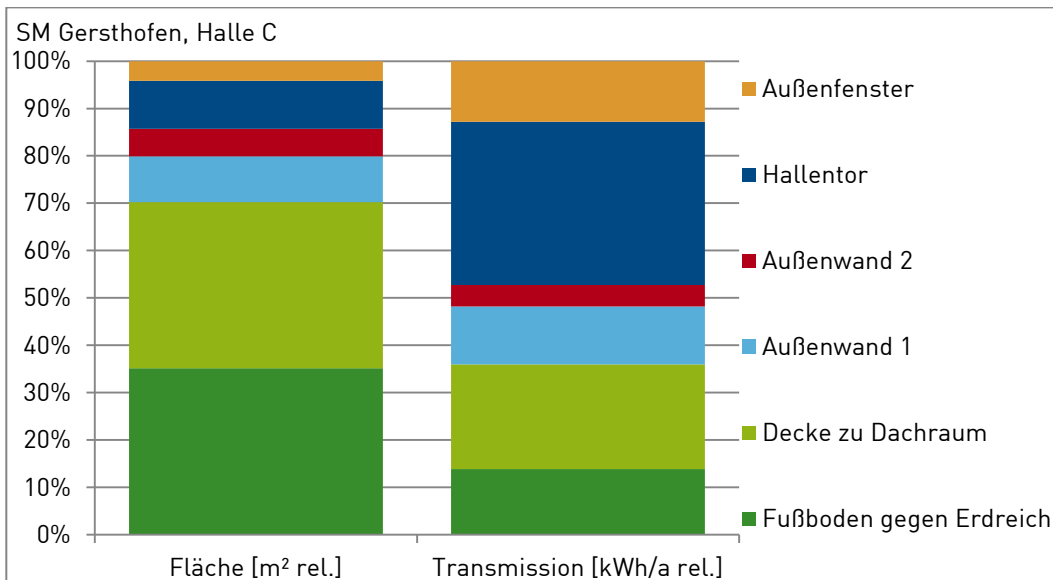


Bild 4-5: Vergleich Flächenanteil und Wärmetransmissionsverlust über Gebäudehülle

Eine Quantifizierung der energetischen Schwachstellen auf Gebäudeebene ist beispielhaft für die Halle C der SM Gersthofen in Bild 4-5 dargestellt. Während die Decke und der Boden der eingeschossig beheizten Hallengebäude den höchsten Flächenanteil aufweisen, verändert sich das Verhältnis beim Blick auf die Transmissionswärmeverluste. Die Signifikanz des Anteils der Hallentore und Fenster kann hierbei unterstrichen werden.

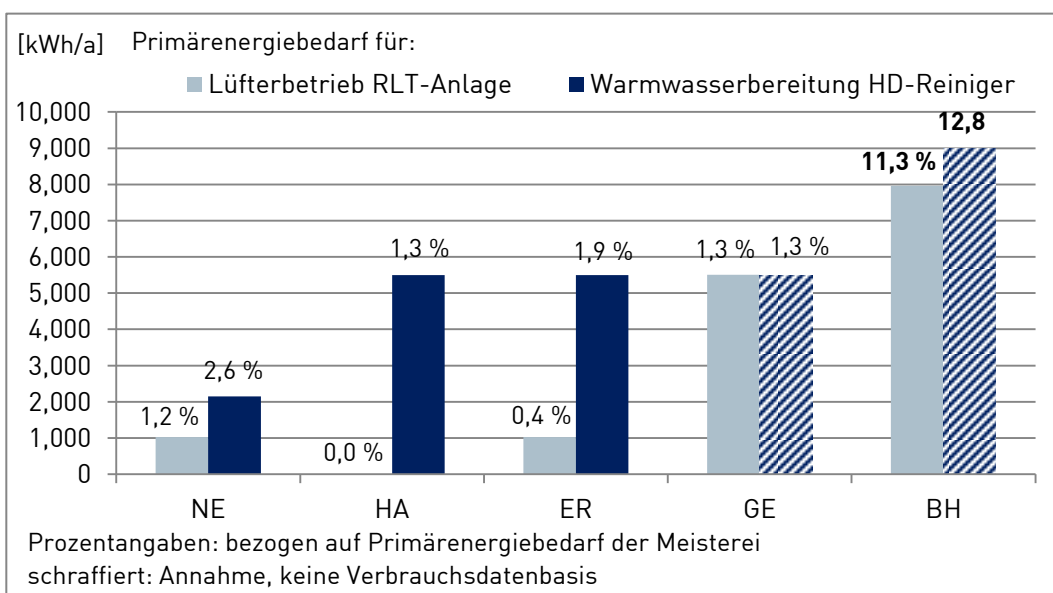


Bild 4-6: Primärenergiebedarfe für Luftförderung und HD-Reiniger

Ergänzend sind in Bild 4-6 die Primärenergiebedarfe für die Luftförderung und die Warmwasserbereitung der Hochdruck-Reiniger dargestellt. Erstere sind vor allem bei der SM Gersthofen und AM Braunschweig-Hafen zu berücksichtigen, wo zentrale RLT-Anlagen existieren. Die Bilanzierung der HD-Reiniger basiert auf den Verbrauchsdaten nach Tabelle 3-5. Waren diese nicht bekannt, wurden die gleichen Verbräuche wie bei der AM Hannover angenommen.

Da die AM Braunschweig-Hafen über einen elektrisch geheizten HD-Reiniger verfügt, ergibt sich der höhere Primärenergiebedarf im Vergleich zu Heizöl- und Dieselwärmeerzeugern. In der AM Neusitz werden die Fahrzeuge nach Aussage des Meistereiverantwortlichen überwiegend mit kaltem Wasser gereinigt, was den im Verhältnis zur Größe der Meisterei vergleichsweise geringen Verbrauch erklärt.

Eine Hauptaussage von Bild 4-6 ist, dass die dargestellten Wärmebedarfe an Relevanz gewinnen, sobald der Primärenergiebedarf durch energetische Maßnahmen und Umstellung auf regenerative Energieträger gesenkt wurde. Daher sind die prozentualen Anteile vor allem bei der AM Braunschweig-Hafen im signifikanten Bereich.

Nicht dargestellt wurde der Einfluss der Solarthermie-Anlage der AM Hannover. Sie deckt nach der Bilanzierung circa 18 % Warmwasserbedarfs und senkt den Endenergieeinsatz um circa 6.500 kWh, was 2,3 % des Verwaltungsgebäudes entspricht. Die Anforderungen des EE-WärmeG erfüllt sie damit nicht.

4.2 Bewertung Ist-Zustand

Die Bewertung des Ist-Zustands der untersuchten Meistereien erfolgt auf Basis der gesetzlichen Vorgaben der EnEV 2016 und des EEWärmeG 2016. In Tabelle 4-1 ist der Erfüllungsgrad dazu überblicksartig aufgeführt. Mit Verweise auf Tabelle 2-2 ist zu beachten, dass die Fahrzeughallen mit Ausnahme der Werkstattbereiche aufgrund der niedrigen Temperierung nicht unter die gesetzlichen Bestimmungen fallen. Zusätzlich sind energetische Schwachstellen, die während der Vor-Ort-Begehungen dokumentiert wurden, im Anhang A.10 aufgelistet.

Gesetzliche Vorgabe (EnEV 2016 und EEWärmeG 2016) erfüllt (✓), nicht erfüllt (x), nicht ermittelt (o), nicht vorhanden (-)	Meisterei				
	BH	HA	NE	GE	ER
Bestandsanforderungen					
Heizkessel entspricht Stand der Technik (u. a. Baualter < 30 Jahre)	✓	✓	✓	✓	✓
Dämmung oberste Geschossdecke (Mindestwärmeschutz)	✓	o	✓	✓	✓
Dämmung Wärmeverteilungen außerhalb beheizter Räume	-	o	o	o	o
Sachgerechter Betrieb und Instandhaltung Anlagentechnik	✓	✓	✓	✓	x
Anforderungen Bestandssanierung					
Jahres-Gesamtprimärenergiebedarf kleiner gleich 1,4-fachen Referenzwert	✓	x	✓	x	x
Höchstwerte Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) Umfassungsfläche (Raum-Solltemperatur Heizfall: ≥ 19 °C < 19 °C):	✓	x	x	x	x
<ul style="list-style-type: none"> - Außenwände/ -decken: 0,24 W/(m²K) 0,35 W/(m²K) - Fenster: 1,3 W/(m²K) 1,9 W/(m²K) - Fenstertüren: 1,6 W/(m²K) 1,9 W/(m²K) - Dächer/ Decken gegen unbeheizten Dachraum: 0,24 W/(m²K) 0,35 W/(m²K) - Wände/ Decken gegen Erdreich/ unbeheizte Räume: 					

Gesetzliche Vorgabe (EnEV 2016 und EEWärmeG 2016)	Meisterei				
0,3 W/(m ² K) keine Anforderung					
Fußbodenaufbauten: 0,5 W/(m ² K) keine Anforderung					
Neubauanforderungen					
Jahres-Gesamtprimärenergiebedarf kleiner gleich Referenzwert	✓	✗	✓	✗	✗
Höchstwerte mittlere Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) Umfassungsfläche (Raum-Solltemperatur Heizfall: ≥ 19 °C < 19 °C):	✓	✗	✗	✗	✗
- Opake Außenbauteile: 0,28 W/(m ² K) 0,5 W/(m ² K)					
- Transparente Außenbauteile: 1,5 W/(m ² K) 2,8 W/(m ² K)					
- Lichtbänder/ -kuppeln: 2,5 W/(m ² K) 3,1 W/(m ² K)					
Einhaltung sommerlicher Wärmeschutz nach DIN 4108-2:2013	✓	✗	✓	✓	✓
Mindestens ein nachfolgendes Kriterium erfüllt:	✓	✗	✓	✗	✗
<ul style="list-style-type: none"> ■ Mindestwerte Anteil Erneuerbarer Energie an Wärmeversorgung <ul style="list-style-type: none"> - Solarstrahlungsenergie: 15 % - Biomasse, gasförmig: 30 % - Biomasse, fest/ flüssig: 50 % - Umweltwärme: 50 % ■ Ersatzmaßnahmen <ul style="list-style-type: none"> - Anteil Ab-/ Fernwärme/ Kraft-Wärme-Kopplung: 50 % - Unterschreitung EnEV-Anforderungen: 15 % 					

Tabelle 4-1: Gesetzlichen Vorgaben an energetischen Zustand von Gebäuden

Autobahnmeisterei Braunschweig-Hafen

Erwartungsgemäß weist die AM Braunschweig-Hafen im Vergleich den besten energetischen Zustand auf, was sich auch anhand der Verbrauchsdaten widerspiegelt. Sie verfügt u. a. mit der RLT-Anlage über einen hohen Grad technischer Gebäudeausrüstung. Der aus den hygienischen Anforderungen notwendige Luftwechsel für Büro- und Aufenthaltsräume lässt sich bedarfsorientiert über manuelle Fensterlüftung bewerkstelligen. Eine RLT-Anlage mit WRG kann lüftungsbedingte Wärmeverluste zwar minimieren, benötigt für den Betrieb der Lüfter jedoch Elektroenergie und ist sehr wartungsintensiv. In Räumen, wo sie keine weiteren Aufgaben der Raumkonditionierung übernimmt, etwa die Trocknung der Arbeitskleidung, ist ihr Nutzen daher zu hinterfragen.

Das Fehlen eines außenliegenden Sonnenschutzes bedingt die ungewollte Aufheizung der Büroräume im Sommer. Dem wurde mit einer Sonnenschutzverglasung entgegengewirkt, die jedoch auch gewollte solare Wärmeeinträge während der Heizperiode vermindert.

Die gemeinsame Unterbringung von Verwaltung, Werkstattbereichen und Fahrzeughallen in einem Gebäude ist aus energetischer Sicht sehr sinnvoll. Die Wärmeversorgung basiert mit Holzpellets auf einem regenerativen Energieträger, wenngleich hier noch nicht alle Potenziale ausgeschöpft sind. Beispielhaft sei die fehlende Nutzung der Dachfläche für Photovoltaik bzw.

Solarthermie zu nennen. Die Speicherung und vorrangige Verwendung von Oberflächenwasser wirkt sich zwar nicht direkt auf die Energiebilanz aus, ist im Kontext der Trinkwassereinsparung aber ebenfalls hervorzuheben.

Autobahnmeisterei Hannover

Bei der AM Hannover wurden bereits einige energetische Sanierungsmaßnahmen in den letzten Jahren umgesetzt. Die Dächer der Fahrzeughallen und der Werkstattbereich wurden gedämmt sowie die Fenster und Hallentore ersetzt. Das Verwaltungsgebäude befindet sich jedoch in einem schlechten energetischen Zustand. Die Dämmung der Fassade und des Dachs sowie der Austausch der zum Teil noch aus den 1980er-Jahren stammenden Fenster stehen aufgrund fehlender finanzieller Mittel aus, obwohl bereits ein Konzept erarbeitet wurde.

Die Wärmeversorgung wird durch eine veraltete Kesselanlage auf Heizöl-Basis und zusätzlich über Solarkollektoren für die Trinkwassererwärmung bewerkstelligt. Probleme mit Legionellen in der Vergangenheit aufgrund schlecht isolierter und zu groß dimensionierter Trinkwarmwasserleitungen wurden behoben. Dem erhöhten Wärmeeintrag im Sommer wird mit Klimageräten begegnet, die zusätzlich Elektroenergie benötigen. Gleichzeitig existiert kein mit einer Lüftungsanlage ausgestatteter Trocknungsraum für Arbeitskleidung, wie er für eine Meisterei standardgemäß vorgesehen ist.

Autobahnmeisterei Neusitz

Die Gebäude der AM Neusitz weisen ausgeprägte Satteldächer auf, wodurch große Lagerkapazitäten in den unbeheizten Dachgeschossen der Hallen entstehen. Das ungedämmte Dachgeschoss des Verwaltungsgebäudes soll zukünftig vollständig ausgebaut werden. Energetisch problematisch sind die geringen Dämmstärken der beheizten Gebäudehüllen sowie die veralteten Fenster und Hallentore der Gebäude. Gleichzeitig bietet vor allem das Verwaltungsgebäude der Meisterei eine angenehme Arbeitsatmosphäre durch die mit Holz verkleideten Wände.

Die Wärmeversorgung basiert auf der innovativen Kombination einer Feststoffkesselanlage, die mit Holzhackschnitzeln befeuert wird, und einer Luft-Wärmepumpe für die Warmwasserbereitung während der Sommermonate. Die schlechte Abdichtung der Gebäudehülle und die Lüftungsanlage im Trocknungsraum sorgen jedoch für erhöhte Lüftungswärmeverluste, die die Gesamteffizienz der Gebäudebeheizung vermindern.

Straßenmeisterei Erding

Die beiden beheizten Gebäude der SM Erding weisen energetische Mängel in Bezug auf die Gebäudehüllen aufgrund ausbleibender Sanierungsmaßnahmen während der letzten Jahre auf. Generell bietet die Mischnutzung des Hauptgebäudes, bestehend aus Verwaltung, Werkstatt und Fahrzeughalle, aber energetische Vorteile.

Als kleinste der untersuchten Meistereien verfügt sie über eine vergleichsweise kleine Kesselanlage. Die Wärmeversorgung basiert jedoch ausschließlich auf Erdgas und weist sowohl Mängel in der Anlagentechnik als auch im Nutzungsverhalten auf. Beispielsweise ist der Trinkwarmwasserspeicher erodiert und es existiert offenbar keine Sommerabschaltung der Heizung, was bei der Bestandsaufnahme festgestellt wurde.

Die aufgrund der Ausrichtung und Neigung gut für Solarkollektoren geeigneten Dächer wurden von einem externen Betreiber mit PV-Modulen bestückt und dienen nicht zur Eigenver-

brauchsminderung der Meisterei, was bezüglich eines integralen Gebäudekonzeptes als negativ zu bewerten ist.

Straßenmeisterei Gersthofen

Die SM Gersthofen spiegelt die Geschichte des Straßenbetriebsdienstes mit dem zum Teil 80-jährigen Gebäudebestand wider. Während das Verwaltungsgebäude zuletzt im Jahr 2009 saniert wurde, sind jedoch vor allem zwei der Fahrzeughallen in einem schlechten energetischen Zustand.

Zusammen mit einer angrenzenden Autobahnpolizeistation und einem Wohnhaus bildet die Meisterei ein Nahwärmenetz, wobei die Heizöl-Kesselanlage im Keller des Verwaltungsgebäudes untergebracht ist. Zwei der Fahrzeughallen werden separat von einer baugleichen Kesselanlage versorgt, wodurch die Wärmeversorgung ausschließlich nicht erneuerbar ist. Die über 20 Jahre alten Wärmeerzeuger entsprechen nicht mehr dem Stand der Technik.

5 Konzeptentwicklung

5.1 Einzelmaßnahmen

Übersicht

Entsprechend des energetischen Zustands wurden für jede Meisterei Einzelmaßnahmen aus dem Katalog in Tabelle 5-1 untersucht. Die Auswahl basiert auf Vorüberlegungen zu möglichen Einsparpotenzialen unter Beachtung der Wirtschaftlichkeit. Dementsprechend variiert die Anzahl der Maßnahmen je nach Meisterei. Eine Beschreibung der Maßnahmen wird in den folgenden Unterkapiteln vorgenommen.

Nr.	Maßnahme	Meisterei				
		BH	HA	NE	GE	ER
N Nutzungsverhalten						
N1	Absenkung Soll-Raumtemperatur im Heizfall	X	X	X	X	X
N2	Sensibilisierung Nutzerverhalten	X	X	X	X	X
N3	Einführung/ Erweiterung Energie-Monitoring	X	X	X	X	X
G Gebäudehülle						
G1	Austausch Fenster/ Lichtbänder	X	X	X	X	
G2	Austausch Hallentore		X	X	X	
G3	Dämmung Außenwand WDVS	X	X	X	X	
G4	Dämmung Außenwand VHF	X	X	X	X	
G5	Unterdeckendämmung oberstes Geschoss		X	X		
G6	Aufdeckendämmung oberstes Geschoss				X	X
G7	Unterdeckendämmung Kellergeschoss	X	X	X	X	
G8	Zwischensparrendämmung Dach		X	X		
G9	Aufsparrendämmung Dach		X	X	X	
G10	Außendämmung Flachdach	X				
T Technische Gebäudeausrüstung						
T1	Austausch Beleuchtung					X
T2	Einbau Photovoltaik-Anlage	X	X	X	X	
T3	Austausch Trinkwarmwasserspeicher					X
T4	Einbau solarthermische Anlage	X		X	X	
T5	Austausch durch Gas-Brennwertkessel		X		X	X
T6	Austausch durch Feststoffkessel		X		X	X
T7	Einbau Blockheizkraftwerk	X		X		

Tabelle 5-1: Auflistung der Einzelmaßnahmen

Eine gebäudeweise Übersicht der untersuchten Einzelmaßnahmen mit Grobkostenschätzung ist in Anhang A.12 aufgeführt. Die Kostenermittlung dazu ist im nachfolgenden Kapitel 5.2 erläutert. Es wird darauf verwiesen, dass die beschriebenen Maßnahmen im Rahmen einer Fachplanung in Bezug auf die technische Umsetzbarkeit zu prüfen sind. Dafür sind detailliertere Untersuchungen notwendig, die im Rahmen der Studie nicht durchgeführt werden konnten. Erst damit wird auch eine genaue Kostenschätzung möglich.

Nutzungsverhalten

Die Maßnahmen zum Nutzungsverhalten sollten intern mit der Belegschaft jeder Meisterei diskutiert werden. Priorität hat stets die uneingeschränkte Benutzbarkeit der Gebäude und die Behaglichkeit der Nutzenden. Da der Energiebedarf der Gebäude aber eben aus diesen Forderungen entsteht, bestehen hier auch Einsparpotenziale, die in den folgenden drei Maßnahmen beschrieben werden.

■ N1 – Absenkung der Soll-Raumtemperatur im Heizfall

Wie bereits mithilfe von Bild 4-2 erläutert wurde, hängt der Heizenergiebedarf wesentlich von der definierten Soll-Raumtemperatur ab. In beispielsweise Büro- und Sanitärräumen ist diese durch die Behaglichkeitsansprüche der Nutzenden vorgegeben. Die Beheizung der Fahrzeughallen hat jedoch vor allem den Zweck, dass die Fahrzeuge im Winterdienst abtauen und bei Bedarf gereinigt bzw. gewartet werden können. Eine durchgängige Beheizung auf 5 °C, wie für die Bedarfsberechnung definiert wurde, ist demnach nicht notwendig. Die Temperatureinstellung in den Fahrzeughallen der Meistereien erfolgt zentral über den Wärmeverteilkreis und teilweise auch dezentral über die Thermostatventile der Übergabesysteme. Um eine bedarfsgerechte Einstellung zu ermöglichen, sollten ggf. leicht zugängliche Regelungseinheiten für Räume bzw. Zonen nachgerüstet werden. Für die Maßnahme wurde beispielhaft die energetische Einsparung bei einer Absenkung der Soll-Temperatur um 1 K auf 4 °C berechnet, um das Einsparpotenzial zu demonstrieren.

■ N2 – Sensibilisierung Nutzerverhalten

Um die Mitarbeitenden für Nutzungsmaßnahmen zur Energieeinsparung zu sensibilisieren, können Verhaltensregeln über Hinweisschilder oder bei Betriebsversammlungen kommuniziert werden. Dazu zählen in der Heizperiode folgende Punkte:

- Hallentore nach Möglichkeit geschlossen halten
- Stoßlüftung statt Fenster auf Kipp
- Bei RLT-Anlage: Fenster geschlossen halten
- Licht beim Verlassen des Raumes ausschalten
- Thermostatventil der Heizung bei längerer Nichtbenutzung auf „Frostfrei“ (Schneeflocken-Symbol)
- Nach Möglichkeit keinen bzw. nur innenliegenden Sonnenschutz verwenden

■ N3 – Einführung/ Erweiterung Energie-Monitoring

Unter Energie-Monitoring versteht man das Erfassen und Auswerten von Energieverbräuchen. Dazu werden im ersten Schritt regelmäßig Zählerstände erfasst, was manuell oder automatisiert durchgeführt werden kann. Im zweiten Schritt werden die Daten grafisch veranschaulicht und miteinander verglichen. Als Ergebnis können Aussagen zu Einsparpotenzialen

und zeitlichen Tendenzen getroffen werden. Je kleiner die dabei erfassten Verbrauchseinheiten und je kürze die zeitlichen Abstände der Zählerablesung gewählt werden, desto konkreter ist die Auswertung. Jedoch erhöhen sich auch die dafür benötigte Arbeitszeit und der messtechnische Aufwand. Für die Meistereien wird vorgeschlagen, die Wärmeverbräuche gebäudeweise und monatlich zu erfassen, wie es in der SM Gersthofen bereits der Fall ist. Dazu müssen Wärmemengenzähler an den Wärmeverteilern installiert werden. Das Ablesen übernimmt eine entsprechend geschulte Person in der Meisterei, während die Auswertung die übergeordnete Behörde oder ein externes Energieberatungsunternehmen durchführt. So können Meistereien miteinander verglichen und sich ableitende Energieeinsparmaßnahmen zentral koordiniert werden. Die niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr wertet die Verbräuche beispielsweise bereits zentral aus (SBM NS 2019).

Gebäudehülle

Die die Gebäudehülle betreffenden Maßnahmen verringern Transmissions- und Lüftungswärmeverluste durch Austausch bzw. Dämmung bestehender Bauteile. Dabei müssen die von der EnEV 2016 vorgeschriebenen U-Werte für Bestandssanierungen berücksichtigt werden. Die AM Braunschweig-Hafen entspricht diesen, weshalb für sie keine Maßnahmen dieser Rubrik untersucht wurden. Zur besseren Identifikation, für welche Gebäude die folgenden Maßnahmen vorgeschlagen werden, wird in Anhang A.12 ein „V“ für die Verwaltungs- und ein „H“ für die Hallengebäude an das Maßnahmenkürzel angefügt.

■ G1 - Austausch Fenster

Genügen die verbauten Fenster nicht den energetischen Standards, können diese ausgetauscht werden. Diese Maßnahme ist in der Regel mit hohen Kosten verbunden und amortisiert sich vor allem dann, wenn im Bestand noch einfachverglaste Fenster verbaut sind oder die Abdichtung unzureichend ist. Es entstehen Kosten für die Anschaffung und den Einbau der neuen Fenster sowie für die Demontage und die Entsorgung der Bestandsfenster.

■ G2 - Austausch Hallentore

Wesentlichen Anteil an der Hülle der Hallengebäude nehmen die Tore ein. Gleichzeitig verursachen sie erhöhte Lüftungs- und Transmissionswärmeverluste. In den Meistereien übernehmen sie die Funktion der Tageslichtversorgung der Hallen über integrierte Fenster. Aus Sicht des Wärmeschutzes ist diese Notwendigkeit zu hinterfragen, da fensterlose Tore erhöhte Wärmedämmeigenschaften aufweisen. Ein automatisiertes Öffnen und Schließen der Tore ist vorteilhaft, um Lüftungswärmeverluste zu reduzieren. Aus diesem Grund eignen sich insbesondere Sektionaltore. Die Gewährleistung einer ausreichenden Durchfahrthöhe bedingt jedoch unter Umständen die Verwendung von Falttoren, die keinen baubedingten Platzbedarf im Deckenbereich benötigen.

■ G3/ G4 – Außenwanddämmung

Liegen keine Denkmalschutz- oder Platzanforderungen vor, lassen sich Fassadenwände in der Regel von außen dämmen. Eine kostengünstige Möglichkeit stellen Wärmedämmverbundsysteme (WDVS) dar, die direkt an die bestehende Fassade angebracht werden. Der Putz wird dabei direkt auf das Dämmmaterial aufgebracht. Nachteile dieser Methode liegen in baulichen Anforderungen, der vergleichsweise kurzen Lebensdauer und der problematischen Entsorgung des Baumaterials. Dem kann mit einer alternativen Methode, der sogenannten vorgehängten hinterlüfteten Fassaden (VHF) begegnet werden. Dabei wird nur die wärmeis-

lierende Schicht auf der Bestandsfassade angebracht. Darüber wird eine über einen Luftspalt separierte Fassadenverkleidung mithilfe einer Unterkonstruktion befestigt. Die Kosten für diese Methode liegen in der Regel allerdings deutlich über denen für ein Wärmedämmverbundsystem.

■ G5/ G6/ G7 – Dämmung der Geschossdecken

Eine nachträgliche Dämmung der Geschossdecken ist dann sinnvoll, wenn sie an nicht beheizte Bereiche, etwa nicht ausgebaute Dachböden oder Keller grenzen. Auch wenn sie damit keine direkte Verbindung zur Außenluft haben, können sie für signifikante Wärmetransmissionsverluste verantwortlich sein. Je nach Beschaffenheit und Nutzung lassen sich Unter- oder Aufdeckendämmungen realisieren. In beiden Fällen reduziert sich jedoch die lichte Raumhöhe, was die Umsetzbarkeit dieser Maßnahmen einschränken kann. Typischerweise werden Kellergeschossdecken von unten und Dachgeschossdecken von oben gedämmt, da die Nutzung dadurch nicht wesentlich eingeschränkt wird und sich Wärmebrücken vermeiden lassen.

■ G8/ G9/ G10 – Dämmung des Dach

Ist das Dachgeschoss ausgebaut oder existiert ein Flachdach, lässt sich eine Dachdämmung ausführen. Bei einer Zwischensparrendämmung wird die Dachhaut nicht angetastet, wodurch diese Variante bei typischen Dachstühlen kostengünstig umgesetzt werden kann. Bei einer Aufsparrendämmung oder der Dämmung eines Flachdachs wird gleichzeitig die Dachhaut erneuert, wodurch zusätzlich nicht energetisch bedingte Kosten entstehen. Letzteres kann jedoch ohnehin notwendig sein und lässt sich zudem mit der Integration von Solarmodulen kombinieren.

Technische Gebäudeausrüstung

Durch Maßnahmen der technischen Gebäudeausrüstung (TGA) kann zum einen die Energieeffizienz erhöht werden, da neuere Anlagentechnik weniger Verluste in der Energieumwandlung von End- in Nutzenergie verursacht. Zum anderen kann der Primärenergiebedarf gesenkt werden, wenn bestehende Energieträger ersetzt bzw. zusätzlich andere Energieträger erschlossen werden.

■ T1 – Austausch Beleuchtung

Die Beleuchtung hat einen wesentlichen Anteil am Stromverbrauch. Aktuelle LED-Technik besitzt einen höheren Wirkungsgrad und eine längere Lebensdauer als die Leuchtstofflampe. Gleichzeitig erhöht sie die Behaglichkeit in Räumen über die Möglichkeit zu dimmen und unterschiedliche Lichtfarben einzusetzen.

■ T2 – Einbau Photovoltaik-Anlage

Aus Sicht des Klimaschutzes sollten alle geeigneten Dachflächen energetisch erschlossen werden. Aus wirtschaftlicher Sicht kann jedoch auch eine kleinere Fläche von Vorteil sein, um eine optimale Amortisationszeit zu erreichen. Den Investitionskosten steht dabei der Ertrag gegenüber, welcher sich wiederum aus der Kosteneinsparung durch den Eigenverbrauch und der Einspeisevergütung zusammensetzt. In Tabelle 5-2 sind die Dachflächen der Meistereigebäude aufgelistet, die ein erhöhtes Nutzungspotenzial für Photovoltaik-Module aufweisen. Die Jahreserträge wurden gemäß DIN V 18599:2011 unter Annahme von Standardwerten ermittelt.

Meisterei	Gebäude	Potenziell energetisch nutzbare Dachflächen			
		Modulfläche	Neigung	Ausrichtung	Jahresertrag
AM Braunschweig-Hafen	Hauptgebäude	1250 m ²	10°	SO	110.508 kWh
AM Hannover	Gebäude 1, 2, 3, 5	2000 m ²	0°	-	176.813 kWh
AM Neusitz	Verwaltung, Salzhalle	600 m ²	52°	S	59.063 kWh
	Hallengebäude	700 m ²	52°	O	60.441 kWh
	Hallengebäude	500 m ²	52°	W	36.094 kWh
SM Gersthofen	Halle A, D	650 m ²	45°	S	68.920 kWh
	Verwaltung	150 m ²	49°	O	14.091 kWh
		200 m ²	49°	W	16.238 kWh
	Halle C	300 m ²	30°	O	29.813 kWh
		300 m ²	30°	W	26.775 kWh

Tabelle 5-2: Potenzielle Photovoltaik-Nutzung der Dachflächen der Meistereigebäude

Der Eigenverbrauchsanteil hängt vom Lastprofil des Elektroenergiebedarfs ab. Wie bereits in der Verbrauchsdatenanalyse in Kapitel 3.6 dargestellt wurde, besitzen die Meistereien aufgrund der EDV-Systeme einen hohen Grundlastanteil. Zusätzlich existieren Batteriespeichersysteme, um eine unterbrechungsfreie Stromversorgung zu gewährleisten, die sich über eine intelligente Steuerung auch als Solarstromspeicher nutzen ließen. Diese beiden Merkmale begünstigen den Einsatz der Photovoltaik in den Meistereien durch einen erhöhten Eigenverbrauchsanteil. Es wurde beispielhaft die Variante mit maximaler Belegung der Dachflächen gerechnet und bei der AM Hannover dabei vom Elektroenergiebedarf der Gesamtliegenschaft ausgegangen. Eine wesentliche Voraussetzung für die Nutzung ist eine ausreichende Traglast der Dächer, die nur über eine Berechnung der Baustatik nachgewiesen werden kann und nicht Bestandteil der Studie ist.

■ T3 – Austausch Trinkwarmwasserspeicher

Durch den Austausch des Trinkwarmwasserspeichers werden Speicherverluste reduziert, was sich positiv auf die Effizienz des Gebäudes auswirkt und zusätzlich hygienische Standards sichergestellt. In maroden Anlagen können sich Krankheitserreger durch zu niedrige Wassertemperaturen bilden oder Stoffe durch Oxidationsprozesse an das Trinkwasser abgegeben werden.

■ T4 – Einbau solarthermische Anlage zur Warmwasserbereitung

Eine solarthermische Anlage eignet sich vor allem zur Unterstützung der Warmwasserbereitung während der Sommermonate. Dann liefert sie zum einen den höchsten Ertrag und vermeidet zum anderen den ineffizienten Betrieb des Hauptwärmeerzeugers in dieser Zeit. Der geringe Wärmebedarf für die Warmwasserbereitung im Sommer bedingt einen getakteten Betrieb bei einer für die Beheizung im Winter ausgelegten Kesselanlage, wodurch Verluste zunehmen und sich der Verschleiß erhöht. Um den Ausnutzungsgrad zu erhöhen, wird eine

solarthermische Anlage um einen Solarspeicher ergänzt, der zusätzlich zum Trinkwarmwasserspeicher oder in Kombination als Bivalent-Speicher ausgeführt werden kann. In der AM Hannover existiert bereits eine solarthermische Anlage für die Warmwasserbereitung.

■ T5 – Austausch Bestandskessel durch Gas-Brennwertkessel

Der Austausch durch einen Kessel mit Brennwerttechnik erhöht die Effizienz der Wärmeerzeugung und reduziert damit den Endenergiebedarf. Zusätzlich können CO₂-Emissionen reduziert werden, wenn dadurch ein Energieträgerwechsel von Heizöl auf Erdgas vollzogen wird. Dabei ist zu beachten, ob die Liegenschaft über das öffentliche Gasnetz oder mithilfe von Flüssiggas versorgt werden kann. Im Rahmen des Kesseltauschs ist stets auch der Zustand der Abgasanlage bzw. des Schornsteins sowie die zentrale Wärmeverteilung inklusive der Umwälzpumpen, Ausdehnungsgefäße und ggf. Speicher oder hydraulischen Weichen zu überprüfen. Es wird zudem empfohlen die herstellerseitige zentrale Regelung der neuen Kesselanlage zu verwenden.

■ T6 – Austausch Bestandskessel durch Feststoffkessel

Im Unterschied zu Maßnahme T5 lässt sich der Primärenergiebedarf der Wärmeenergieversorgung durch eine Feststoffkesselanlage signifikant verringern. Holzpellets bzw. Holzhackschnittel werden nach DIN V 18599:2011 zu regenerativen Energieträger gezählt und haben einen im Vergleich zu Heizöl oder Erdgas sehr geringen Primärenergiefaktor. Jedoch erhöhen sich der Platzbedarf für die Lagerung sowie der Installations- und Wartungsaufwand für die Kesselbeschickung. Auch sind die Umwandlungsverluste brennstoffbedingt höher, so dass sich der Endenergiebedarf leicht erhöhen kann. Die bei der Verbrennung anfallende Asche wird bei modernen Anlagen leicht zugänglich aufgefangen und kann dadurch auch von Mitarbeitenden der Meisterei mit geringem Zeitaufwand entsorgt werden. Die Erfahrungen der AM Braunschweig-Hafen und der AM Neusitz mit dem Betrieb von Feststoffkesseln fielen positiv aus. Zugleich ermöglichen diese Anlagen die energetische Verwertung der anfallenden Grünabfälle bei entsprechender Planung und Ausführung (siehe Kapitel 3.5).

■ T7 – Einbau Gas-Blockheizkraftwerk

Ein Blockheizkraftwerk (BHKW) nutzt die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), um neben Wärme auch Elektroenergie zu erzeugen. Durch die Kombination erreichen diese Anlagen sehr hohe Wirkungsgrade und leisten einen Beitrag zur Reduzierung des Primärenergiebedarfs. Wirtschaftlich können sie immer dann betrieben werden, wenn gleichzeitig ein Wärme- und Elektroenergiebedarf besteht. Sie werden dabei stets wärmegeführt, also in Abhängigkeit des Wärmebedarfs, betrieben und ggf. überschüssiger Strom wird ins Netz eingespeist. Sie eignen sich als ergänzende Wärmeerzeuger zur Grundlastabdeckung, da sie für einen wirtschaftlichen Betrieb eine möglichst hohe Volllaststundenanzahl aufweisen sollten. Es empfiehlt sich daher auch der Einbau von Pufferspeichern, die gleichzeitig als hydraulische Weiche zwischen dem BHKW, dem Bestandswärmeerzeuger und der Verteilung fungieren. Es ist zu beachten, dass die Anlagen einen erhöhten Geräuschpegel aufweisen können und sicherzustellen, dass eine Versorgung über das öffentliche Gasnetz bzw. mit Flüssiggas möglich ist. Um eine optimale Betriebsweise sicherzustellen, ist zudem eine zentrale Regelung notwendig.

5.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen basieren auf der Amortisationsmethode in Anlehnung an VDI 2067. Investitionskosten für die jeweilige Sanierungsmaßnahme werden dabei der erwarteten Einsparung durch verringerte Energiekosten und eventueller Fördermaßnahmen gegenübergestellt. Die Dauer, bis sich diese Kosten ausgleichen, die Maßnahme also kostenneutral wird, ist die Amortisationszeit. Sie stellt einen entscheidenden Faktor für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit dar.

Die angesetzten Investitionskosten sind als Richtwert und erste Grobeinschätzung zu verstehen. Sie ersetzen keine mehrstufige Kostenermittlung nach DIN 276:2018, die eine gebäude-spezifische Fachplanung der einzelnen Maßnahmen bedarf, die nicht Bestandteil der Studie ist. Es wird davon ausgegangen, dass keine Tilgungszinsen für Kredite anfallen, ergo die Investition direkt bezahlt wird. Die bedarfsgebundenen Kosten ergeben sich aus dem Endenergiebedarf je Energieträger und den Arbeitspreisen. Vereinfacht wurden letztere auf Basis der Datenauswertung des Bunds der Energieverbraucher als Einheitspreise kalkuliert (Energie 2019). Sie sind in Tabelle 5-3 aufgelistet. Es wurde zudem ein Kalkulationszinssatz von 2 % pro Jahr für die Kostensteigerung angenommen.

Energieträger		Brutto-Einheitspreis
Brennstoffe	Erdgas, Netz	6,5 ct/kWh
	Flüssiggas	7,0 ct/kWh
	Heizöl EL	6,0 ct/kWh
	Holzpellets	5,0 ct/kWh
Elektroenergie	Bezug, Netz	28,0 ct/kWh
	PV-Einspeisung	-7,0 ct/kWh
	BHKW-Einspeisung	-12,0 ct/kWh

Tabelle 5-3: Brutto-Einheitspreise Energieträger

Eine exakte Wirtschaftlichkeitsberechnung stromproduzierender Anlagen (BHKW, PV-Module) ist nur mit Kenntnis des Lastprofils der jeweiligen Liegenschaft möglich, die im Rahmen der Studie nicht vorlagen. Die Eigenverbrauchsanteile wurden aus diesem Grund auf Basis der Elektroenergieverbräuche (Bild 3-3, Bild 3-5) der Meistereien und praxisüblicher Annahmen bilanziert. Bei Einsatz eines BHKW kommen neben der Einspeisevergütung weitere Kostenvorteile zum Tragen. So ist der Energieträger dieser Anlagen von der Energiesteuer befreit. Zudem wird auch die eigenverbrauchte Elektroenergie mit 4 ct/kWh gefördert. Die Angaben beziehen sich auf ein BHKW mit maximal 50 kW elektrischer Nennleistung und gelten für 60.000 Volllaststunden (KWKG 2015).

Weiterhin müssen Abschreibungszeiten und gesetzliche Beschränkungen Berücksichtigung in Wirtschaftlichkeitsanalysen finden. Die übliche Betriebsdauer von Heizungsanlagen liegt zwischen 10 und 20 Jahren. Der Austausch von Bestandsanlagen ist im Betrachtungszeitraum demnach in der Regel ohnehin notwendig. Ein früherer Austausch im Zuge einer energetischen Sanierung verursacht daher nur anteilige Mehrkosten, was jedoch erst in einem Gesamtkonzept eingepreist werden kann. Gleiches gilt für die Erneuerung der Bausubstanz. Wenn eine Fassade beispielsweise ohnehin neu verputzt werden muss, dürfen diese Kosten

nicht der energetischen Sanierungsmaßnahme angerechnet werden. Sie setzen sich dann nur aus dem Materialpreis für die Wärmedämmung, eventueller zusätzlicher Punkte aufgrund der Erhöhung der Komplexität des Wandaufbaus und der zusätzlichen Arbeitsleistung zusammen. Bild 5-1 veranschaulicht diese Kostenaufteilung.

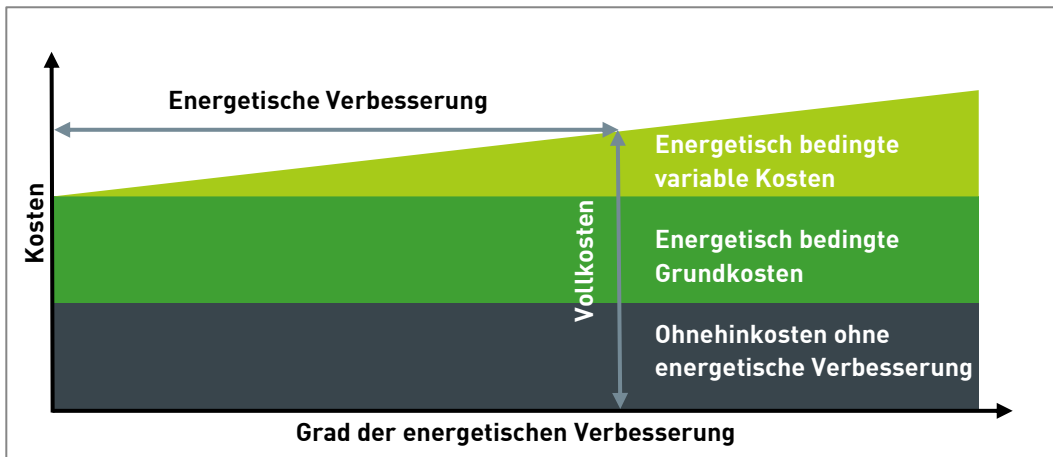


Bild 5-1: Kostenaufteilung bei energetischer Sanierung nach BBSR 2014

5.3 Variantenuntersuchung

Übersicht

In Tabelle 5-4 werden die definierten Varianten mit den notwendigen Einzelmaßnahmen gegenübergestellt, bevor nachfolgend auf die Varianten eingegangen wird.

Meisterei	EnEV-Anforderungen Bestand	EnEV-Anforderungen Sanierung/ Neubau	Vollständige Regenerative Wärmeversorgung	Wirtschaftlich sinnvolle Maßnahmen
AM Braunschweig-Hafen	Bereits erfüllt	Bereits erfüllt	Bereits erfüllt	N1, N2, T2
AM Hannover	Bereits erfüllt	G3V/ G4V, G7V, G10V, T5/ T6	T6, (T4)	N1, N2, G3V, G10V, T2, T5
AM Neusitz	Bereits erfüllt	G1V	Bereits erfüllt	N1, N2, T2, G1V, G1H, G2
SM Gersthofen	Bereits erfüllt	G3V/ G4V, G7V, T6	T6, (T4)	N1, N2, N3, G1H, G2, T2, T5
SM Erding	T3	G6H, G8V, G8H	T6	N1, N2, G2, T5

Tabelle 5-4: Übersicht der Maßnahmen zur Erreichung der definierten Standards

EnEV-Standards

Die Einhaltung der Vorgaben der EnEV 2016 und des EEWärmeG 2016 sind in Tabelle 4-1 aufgeführt. Die Anforderungen an Bestandsgebäude zielen vor allem auf die Anlagentechnik und einen grundlegenden Wärmeschutz ab. Nur der Trinkwarmwasserspeicher der SM Erding wurde bei der Bestandaufnahme als nicht ordnungsgemäß instandgehaltene Anlagentechnik identifiziert. Der Zustand der außenliegenden Wärmeleitungen und der Aufbau des Dachs der

AM Hannover konnten nicht überprüft werden. Bis auf diese Ausnahmen erfüllen die Meistereien die Anforderungen.

Bei einer Bestandssanierung der Gebäudehülle müssen die Anforderungen zu den Wärmedurchgangskoeffizienten der betroffenen Bauteile beachtet werden. Im Gegensatz zum Neubaustandard werden diese nicht als Mittelwert der Gebäudehülle, sondern für jedes energetisch sanierte Bauteil einzeln betrachtet. Die Anwendung der Vorgaben des EnEV-Neubaustandards ist daher nur bedingt bei Bestandsgebäuden möglich. Das Hauptkriterium für die Bewertung ist der Gesamt-Primärenergiebedarf des Gebäudes. Nach einer Bestandssanierung darf dieser den Wert des Referenzgebäudes um maximal 40 % übersteigen. Bei Neubauten gilt der Referenzwert als Maximum und es muss zusätzlich der sommerliche Wärmeschutz sowie die Einhaltung des EEWärmeG 2016 nachgewiesen werden. Diese Vorgaben lassen sich auf Bestandsgebäude übertragen.

Vollständig regenerative Wärmeversorgung

Eine vollständig regenerative Wärmeversorgung meint, dass ausschließlich regenerative Energieträger für die Gebäudebeheizung zum Einsatz kommen. Zu diesen zählen Solarstrahlungsenergie, Biomasse in fester, flüssiger oder gasförmiger Form, Umweltwärme und regenerativ erzeugte Fernwärme. Letztere steht in den betrachteten Autobahnmeistereien aufgrund der exponierten Lage nicht zur Verfügung.

Umweltwärme lässt sich mittels Luft- oder Erdwärmepumpen nutzbar machen, wofür jedoch zusätzlich Elektroenergie benötigt wird. Für eine regenerative Versorgung müsste diese als sogenannter Ökostrom vom Energieversorger bezogen oder über stromproduzierende Anlagen selbst bereitgestellt werden. Wärmepumpen wurden bei der Maßnahmenuntersuchung jedoch ausgeschlossen, da sie vor allem in Kombination mit niedrigtemperierten Wärmeverteilnetzen und Flächenheizsystemen wirtschaftlich betrieben werden können. Diese kommen in den Meistereien nicht vor und eine Umrüstung würde mit erheblichen baulichen Eingriffen sowie den dazugehörigen Kosten einhergehen. Diese Technologie eignet sich daher vor allem bei Neubauten oder komplett energetisch sanierten Gebäuden.

Solarstrahlung kann über solarthermische Anlagen in Wärmeenergie umgewandelt werden. Als alleiniger Wärmeversorger eignet sie sich aufgrund der geringen Verfügbarkeit von solaren Erträgen während der Heizperiode nicht. Sie kann aber als unterstützendes System, insbesondere für die Warmwasserbereitung im Sommer, genutzt werden.

Biogene Brennstoffe lassen sich in fester Form, üblicherweise Holzpellets oder Holzhackschnittel, für Feststoffkessel und in flüssiger Form, beispielsweise Bioethanol, für Blockheizkraftwerke beziehen. Letztere sollten aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten jedoch nur als Grundlast- und nicht als alleiniger Versorger eingesetzt werden. Ein Direktbezug von Biogas wäre in der AM Hannover über die benachbarte Biogasanlage denkbar. Auf Nachfrage beim Betreiber ist diese jedoch ausgelastet und weist auch zukünftig keine Kapazitäten auf. Feststoffkessel stellen eine bereits in zwei der untersuchten Meistereien eingesetzte Technologie dar und eignen sich besonders für die Substitution der bestehenden Anlagentechnik aus Heizöl- bzw. Erdgasbasis. In Kombination mit einer solarthermischen Anlage für die Warmwasserbereitung kann eine ineffiziente Taktung des Kessels während der Sommermonate vermieden werden.

Wirtschaftlich sinnvolles Maßnahmenpaket

Die Entscheidung für Maßnahmen aus rein wirtschaftlicher Betrachtung wurde auf Basis der Amortisationsdauer getroffen. Dabei soll mit einer möglichst kostengünstigen Maßnahme eine möglichst große Endenergieeinsparung erzielt werden, was sich in einer Kosteneinsparung für Energieträger niederschlägt. Ein weiterer Aspekt ist die prognostizierte Nutzungsdauer von Anlagen und Bauteilen, bis diese aufgrund von Mängeln oder Ausfällen saniert bzw. ausgetauscht werden müssen. Auch bei technisch überholten Anlagen kann ein Austausch sinnvoll sein, wenn neue Technologien Einsparungen durch eine höhere Effizienz erzielen.

5.4 Beispielhafter Sanierungsfahrplan

Allgemeines Vorgehen

Energetische Maßnahmen müssen zukunftsorientiert unter Beachtung möglicher Entwicklungsszenarien umgesetzt werden. Aus diesem Grund sollten stets zuerst Maßnahmen ergriffen werden, die die Wärmeverluste über die Gebäudehülle reduzieren, bevor die Gebäudetechnik erneuert bzw. erweitert wird. Es wäre beispielsweise nicht sinnvoll zuerst den Wärmeerzeuger auszutauschen, wenn die Dach und Außenwände durch gesetzliche Vorgaben mittelfristig gedämmt werden müssen. Die Auslegung des neuen Wärmeerzeugers müsste auf dem Energiebedarf des ungedämmten Gebäudes basieren, wodurch er nach der energetischen Sanierung überdimensioniert und damit ineffizient werden würde.

In Bild 5-2 ist eine mögliche Unterteilung in kurz-, mittel- und langfristige Maßnahmen abgebildet. Die Darstellung ist als Anhaltspunkt zu verstehen, da eine zeitliche Einordnung nur anhand eines konkreten Gebäudes und unter Einbeziehung von Fachplanern vorgenommen werden kann. Gleichzeitig sollte im Vorfeld eine Priorisierung der Maßnahmen nach Umsetzbarkeit und Einsparpotenzial erfolgen. So kann der Tausch des Wärmeerzeugers im vorgenannten Beispiel auch durchaus kurzfristig sinnvoll sein, sofern weitere Maßnahmen während der Abschreibungsdauer ausbleiben oder die Anlagentechnik auf sich ändernde Bedarfssituationen angepasst werden kann.

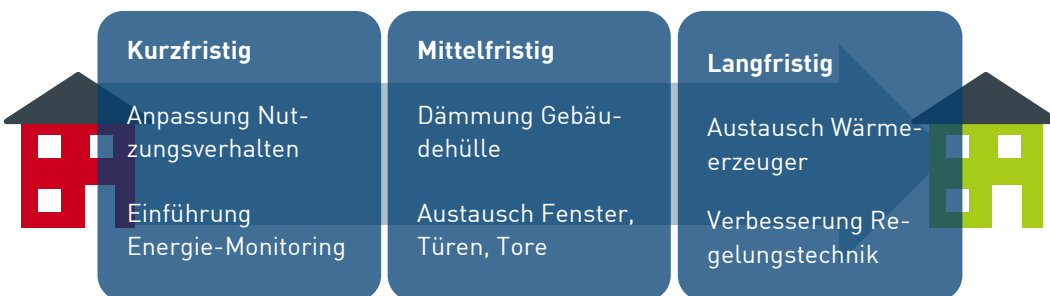


Bild 5-2: Zeitliche Einteilung von Maßnahmen

Contracting als mögliches Finanzierungsmodell

Neben einer möglichen Eigenfinanzierung lassen sich energetische Maßnahmen auch über Dienstleister realisieren. Bei diesem als Contracting bezeichneten Modell wird die Verantwortung für die Durchführung von Maßnahmen abgegeben. Am Markt hat sich aus Erfahrungen der Praxis das Energieliefer-Contracting als verbreiterte Variante etabliert. Dabei übernimmt der Contractor die Anlagentechnik für einen definierten Zeitraum und liefert im Austausch die benötigte Energie zu einem vereinbarten Preis (in der Regel werden hier ein Grund- und Leistungspreis vereinbart).

Der Contractor ist damit auch für die Instandhaltung und Wartung der jeweiligen technischen Anlagen verantwortlich, was eine Risikominimierung gegenüber dem Eigenbetrieb darstellt.

Vertraglich lassen sich im Vorfeld auch Vorgaben zur Reduktion des Primärenergiebedarfs festlegen. Der Contractor entscheidet dann, welche Maßnahmen notwendig sind und führt diese eigenständig aus.

Die Anlagenstruktur der untersuchten Meistereien mit zentralen Wärmeerzeugungsanlagen eignet sich prinzipiell für das Energieliefer-Contracting. Die Kesselanlagen der AM Hannover, SM Erding und SM Gersthofen weisen ein Alter von mindestens 15 Jahren auf, was der praxisüblichen Nutzungs- und Abschreibungszeit entspricht. Die Anlagen müssen somit kurz- bis mittelfristig ausgetauscht werden. Die Kosten für Planung und Investition der Neuanlagen lassen sich über das Contracting abdecken, wodurch diese drei Meistereien aus wirtschaftlicher Sicht besonders geeignet dafür sind.

Eine weitere Variante ist das sogenannte Einspar-Contracting, bei dem die energetische Einsparung als Gewinnpotenzial des Contractors fungiert. Aufgrund zu großer Unsicherheiten bei der Kalkulation im Vorfeld und sich ändernder Nutzungsverhältnisse während der Laufzeit stellt diese Form des Contractings eher eine Ausnahme dar und ist laut Aussagen der Marktteilnehmer rückläufig.

Dennoch lassen sich vielseitige Möglichkeiten über ein Contracting abbilden und neben der Energielieferung beispielsweise auch die Abrechnung mehrerer Nutzerparteien oder der Aufbau von Infrastruktur für die Elektromobilität realisieren. Energetische Maßnahmen an der Gebäudehülle sind davon in der Regel ausgeschlossen, da nicht das Gebäude, sondern nur die Anlagentechnik vom Dienstleister übernommen wird.

Ob ein Contracting auch aus wirtschaftlicher Sicht sinnvoll sein kann, lässt sich im Sinne dieses Forschungsprojekts nicht beantworten. Hierfür sind weitere technisch-wirtschaftliche, aber auch rechtliche Untersuchungen notwendig. Ebenfalls fehlt es bisher an konkret definierten Zielstellungen, wie etwa einem konkreten Energiestandard oder verbindlich vereinbarter CO₂-Minderungsziele für im Bestand befindliche oder neu zu errichtende Liegenschaften.

SM Gersthofen – Halle C

Die Fahrzeughalle C der SM Gersthofen wurde im Gegensatz zum Hallengebäude A der Meisterei noch keiner energetischen Sanierung unterzogen. Sie besteht aus einem Abstellbereich für Fahrzeuge und Geräte sowie mehrerer separat abgetrennter Waschhallen. Das Gebäude besitzt ein Satteldach mit geringer Neigung. Der Zugang wird über zehn an der Ostfassade integrierte Falttore gewährleistet. In der gegenüberliegenden Westfassade sind Fensterbänder eingebracht, die in den Waschhallen circa zwei Drittel der Fläche ausmachen. Die Giebelseiten besitzen keine Öffnungen und der Dachraum wird aufgrund seiner geringen Höhe nicht genutzt. Da die Halle C und D eine gemeinsame Wärmeerzeugung und einen sehr ähnlichen Aufbau besitzen, wird empfohlen die nachfolgenden Maßnahmen parallel durchzuführen. Der Sanierungsfahrplan ist in zeitlich chronologischer Reihenfolge in Tabelle 5-5 aufgeführt.

Maßnahme Beschreibung

- | | |
|----|--|
| N1 | <ul style="list-style-type: none">■ Überprüfen, welche Innenraumtemperatur notwendig ist in Fahrzeugbereich und Waschhallen■ Einstellen der Thermostatventile |
|----|--|
-

Maßnahme	Beschreibung
	<ul style="list-style-type: none"> Information zum Vorgehen an Mitarbeitende
G1	<ul style="list-style-type: none"> Überprüfen, ob Fensterfronten verkleinert werden können (vor allem in Waschhallen) Austausch der einfach verglasten Lichtbänder gegen zweifach Wärmedämmglas, $U_w = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2/\text{a})$
G2	<ul style="list-style-type: none"> Überprüfen, welche Durchfahrtshöhe erforderlich ist Überprüfen, ob Fensteranteil der Tore verringert werden kann Austausch der Hallentore gegen wärmegeämmte Tore, $U = 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2/\text{a})$
G6 + G3	<ul style="list-style-type: none"> Aufdeckendämmung Geschossdecke, Dämmmatten, $U = 0,35 \text{ W}/(\text{m}^2/\text{a})$ Außendämmung Wandflächen, WDVS, $U = 0,35 \text{ W}/(\text{m}^2/\text{a})$
T2	<ul style="list-style-type: none"> Statikprüfung zur Traglast des Dachstuhls Aufbringen von Photovoltaik-Modulen auf Ost- und Westseite Einbau Wechselrichter in Fahrzeugbereich Netzanschluss inklusive Zähler
T6	<ul style="list-style-type: none"> Ermittlung Nennleistung Wärmeerzeuger über Heizlastberechnung Überprüfung der Wärmeverteilung und -übergabe Austausch Heizöl-Kesselanlage in benachbarter Halle D gegen Feststoffkesselanlage Bauliche Maßnahmen zur Integration des Brennstofflagers im KG Halle D

Tabelle 5-5: SM Gersthofen, Halle C - Zeitliche Abfolge der Sanierungsmaßnahmen

AM Hannover – Verwaltungsgebäude

Für das Verwaltungsgebäude der AM Hannover wurde bereits eine energetische Sanierung der Gebäudehülle geplant, bisher aber nicht ausgeführt. Es besteht aus zwei Vollgeschossen und einem unbeheizten Keller, der teilweise als Bunkeranlage gebaut wurde. Der aus Stahlbeton bestehende Flachbau wird auf beiden Etagen von zweifach verglasten Fensterbändern umzogen, die bei einer energetischen Sanierung bereits ausgetauscht wurden. Durch die großen Fensterfronten ist der sommerliche Wärmeschutz nicht gewährleistet. Der Sanierungs-fahrplan ist in zeitlich chronologischer Reihenfolge in Tabelle 5-6 aufgeführt.

Maßnahme	Beschreibung
G7	<ul style="list-style-type: none"> Unterdeckendämmung der Kellergeschossdecke Dämmplatten, unverkleidet, $U = 0,30 \text{ W}/(\text{m}^2/\text{a})$
G4	<ul style="list-style-type: none"> Außendämmung Wandflächen VHF, Blechverkleidung, $U = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2/\text{a})$
G10	<ul style="list-style-type: none"> Außendämmung Flachdach Dämmplatten, Bitumen-Abdichtung, $U = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2/\text{a})$
T2	<ul style="list-style-type: none"> Aufbringen aufgeständerte Photovoltaik-Anlage, Südausrichtung Einbau Wechselrichter im KG Ggf. Einbau Batteriespeichersystem in Kombination mit USV Netzanschluss inklusive Zähler
T6	<ul style="list-style-type: none"> Ermittlung Nennleistung Wärmeerzeuger über Heizlastberechnung Überprüfung der Wärmeverteilung und -übergabe Austausch Heizöl-Kesselanlage gegen Feststoffkesselanlage

Maßnahme Beschreibung

- Bauliche Maßnahmen zur Integration des Brennstofflagers im KG
-

Tabelle 5-6: AM Hannover, Verwaltungsgebäude – Zeitliche Abfolge der Sanierungsmaßnahmen

AM Neusitz – Dienstgebäude

Das Dienstgebäude der AM Neusitz besteht aus einem Voll- und einem teilweise ausgebauten Dachgeschoss. Zusätzlich verfügt es über ein Kellergeschoss, dass mit Ausnahme des Trocknungsraums für Arbeitskleidung unbeheizt ist. Die Fassaden- und Innenverkleidung des Gebäudes ist von Holz geprägt. Bei Sanierungsmaßnahmen sollte diese Charakteristik erhalten bleiben. Durch den ausgeprägten Giebel des Satteldachs ist das Dachgeschoss groß dimensioniert und soll in Zukunft komplett ausgebaut werden, um den gestiegenen Platzbedarf für Umkleieräume zu decken. Dies wurde im nachfolgenden in Sanierungsfahrplan berücksichtigt, der in zeitlich chronologischer Reihenfolge in Tabelle 5-7 aufgeführt ist.

Maßnahme Beschreibung

T2/ T4	<ul style="list-style-type: none"> ■ Statikprüfung zur Traglast des Dachstuhls ■ Prüfung des Zustands der Dachhaut
G8/ G9	<ul style="list-style-type: none"> ■ Ausbau DG ■ Wenn Dachhaut intakt und Traglast des Dachstuhls für Solar-Module ausreichend: Zwischensparrendämmung Dachstuhl, Dämmwolle, $U = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2/\text{a})$ ■ Andernfalls: Aufsparrendämmung mit Erneuerung Dachhaut und ggf. Verstärkung Dachstuhl, Dämmplatten, $U = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2/\text{a})$
G1	<ul style="list-style-type: none"> ■ Austausch undichte Bestandsfenster gegen Holzrahmenfenster, $U_w = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2/\text{a})$ ■ Ggf. Verzicht auf Ziersprossen, da Wärmebrücke
G4	<ul style="list-style-type: none"> ■ Außendämmung Wandflächen ■ VHF, Holzverkleidung im Giebelbereich, $U = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2/\text{a})$

Tabelle 5-7: AM Neusitz, Dienstgebäude – Zeitliche Abfolge der Sanierungsmaßnahmen

6 Übertragbarkeit und Ausblick

Die Autobahn- bzw. Straßenmeistereien im Bundesgebiet bestehen funktionsbedingt aus vergleichbaren Gebäudeeinheiten. Die Ergebnisse der fünf betrachteten Liegenschaften lassen sich demnach auf andere Meistereien übertragen. Nimmt man die aus den bereitgestellten Fragebögen gebildete Durchschnittsmeisterei (siehe Kapitel 3.1) als Ausgangspunkt, wird ersichtlich, dass ein hohes Einsparpotenzial existiert. So basiert die Wärmeerzeugung im Mittel auf mit Heizöl betriebenen, veralteten Kesselanlagen und die Gebäude wurden in den 1980er erbaut, als es nur rudimentäre Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz gab. Energetische Sanierungsmaßnahmen wurden vor allem in Form eines Fenstertauschs durchgeführt.

Die Untersuchung hat jedoch auch gezeigt, dass bei einer energetischen Bewertung der Liegenschaften verschiedene Besonderheiten berücksichtigt werden müssen. Zum einen lässt sich die tatsächliche Nutzung der Gebäude nicht über die Standardbilanzierung nach DIN V 18599:2011 abbilden, was beim Abgleich der berechneten Bedarfs- mit den vorliegenden Verbrauchswerten festgestellt werden konnte. Individuelle Anpassungen erschweren jedoch Bildung von Sanierungskonzepten und erhöhen das Fehlerpotenzial bei der Planung. Zum anderen fallen die Fahrzeughallen nicht unter die Anforderungen der EnEV 2016, da sie niedriger temperiert werden.

In Anbetracht der hohen Anzahl an Autobahn- und Straßenmeistereien wird die Entwicklung eines eigenen Energiestandards bestehend aus konkreten Zielen in Verbindung mit einer Berechnungsmethodik empfohlen. Dieser Standard könnte demnach ein Nutzungsprofil für Meistereien gemäß der DIN V 18599:2011 beinhalten, das die Gebäudestruktur und Nutzungsszenarien wie beispielsweise den Winterdienst abbildet. Des Weiteren sollten energetische Kennwerte für Hallengebäude in Anlehnung an die EnEV 2016 definiert werden. Die aktuellen gesetzlichen Vorgaben werden einem integralen Ansatz zur Reduktion von Treibhausgasemissionen jedoch nur teilweise gerecht. Im Hinblick auf Nachhaltigkeitszertifizierungen muss auch die sogenannte „graue Energie“ berücksichtigt werden, die für die Herstellung, den Transport und die Entsorgung von Baumaterialien und Anlagen benötigt wird. Auch die nicht mit den Gebäuden im Zusammenhang stehenden Bereiche, vor allem die Fahrzeugflotte und Streusalzherstellung, könnten in einem Energiestandard Berücksichtigung finden. Die Definition konkreter Ziele und die Beschreibung der Meisterei als ein ganzheitliches System ermöglicht es Empfehlungen für einen optimierten Betrieb zu geben.

Literatur

- ASINAG 2016 Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft (ASINAG). *Wege zur nachhaltigen Mobilität. Nachhaltigkeitsbericht 2016*. Bericht. Wien. 2016.
- Autobahn 2019 Die Autobahn GmbH des Bundes. <https://www.autobahn.de/>. Unternehmenswebsite. Abgerufen am 16. Jul. 2019.
- BASt 2006 ROMMEIB, N., THRÄN, D., SCHLÄGL, T., DANIEL, J., SCHOLWIN, F. *Energetische Verwertung von Grünabfällen aus dem Straßenbetriebsdienst*. Institut für Energetik und Umwelt gGmbH (IE) Leipzig. Hrsg. Bundesanstalt für Straßenwesen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Verkehrstechnik. Heft V 150. Bergisch Gladbach. Dez. 2006.
- BASt 2012 SCHMAUDER, M., JUNG, P., PARITSCHKOW, S. *Anlagenkonzeption für Meistereigehöfte. Optimierung von Arbeitsabläufen*. Institut für technische Logistik und Arbeitssysteme, Technische Universität Dresden. Hrsg. Bundesanstalt für Straßenwesen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Verkehrstechnik. Heft V 212. Bergisch Gladbach. Apr. 2012.
- BBSR 2014 OSCHATZ, B., ROSENKRANZ, J., STEUERLEIN, A. *Kosten energierelevanter Bau- und technischer Anlagenteile bei der energetischen Sanierung von Nichtwohngebäuden/Bundesliegenschaften*. Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden (ITG). Hrsg. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR). BBSR-Online-Publikation 06/2014. Bonn. Mai 2014.
- BKI 2019 Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern (BKI). *BKI Kostenplaner 21, Version 21.0.26*. Software für Baukostenplanung. Stuttgart. 2019.
- BMU 2016 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), Arbeitsgruppe IK III 1. *Klimaschutzplan 2050. Klimaschutzpolitische Ziele der Bundesregierung*. Absichtserklärung. Berlin. Nov. 2016.
- BMVBS 2009 THIEL, D., BLUME, J. *Leitfaden für Energiebedarfsausweise im Nichtwohnungsbau. Ausgabe EnEV 2009*. Schmidt Reuter – Integrale Planung und Beratung GmbH. Hrsg. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Berlin. Dez. 2009.
- BMVI 2014 Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. *Richtlinie für die Anlage von Meistereien (RAM) – Baukonzeption für Autobahn- und Straßenmeistereien*. Bonn. Jun. 2014.
- BMVI 2019 Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. *Reform der Bundesfernstraßenverwaltung*. <https://www.bmvi.de/DE/Themen/Mobilitaet/Strasse/Reform-Der-Bundesfernstrassenverwaltung/reform-der-bundesfernstrassenverwaltung.html>. Abgerufen am 16. Jul. 2019.
- DWD 2019 Deutscher Wetterdienst. *Standortbezogene Klimadaten zu Außentemperatur, Gradtagen, Klimafaktoren*. Abgerufen Sep. 2019.

- DIN 276:2018 DIN Deutsches Institut für Normung e. V. *DIN 276: Kosten im Bauwesen*. Norm. Berlin. Dez. 2018.
- DIN 4108-2:2013 DIN Deutsches Institut für Normung e. V. *DIN 4108-2: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz*. Norm. Berlin. Feb. 2013.
- DIN EN 12831-1:2017 DIN Deutsches Institut für Normung e. V. *DIN EN 12831-1: Energetische Bewertung von Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast*. Norm. Berlin. Sep. 2017.
- DIN V 18599:2011 DIN Deutsches Institut für Normung e. V. *DIN V 18599: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung*. Norm. Berlin. Dez. 2011.
- EEWärmeG 2016 Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. *Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz – EEWärmeG)*. Bundesgesetz. Berlin. Stand: 20. Okt. 2015.
- Energie 2019 Bund der Energieverbraucher e.V. *Download Daten Preisentwicklung in Deutschland (25.01.2019)*. https://www.energieverbraucher.de/de/preise__981/. Abgerufen am 20. Sep. 2019.
- EnEV 2016 Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. *Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV)*. Bundesrechtsverordnung. Berlin. Stand: 28. Okt. 2015.
- FIGAWA 2011 ROSENKRANZ, J. et al. *Gesamtanalyse Energieeffizienz von Hallengebäuden*. Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden. Universität Kassel – Fachgebiet Bauphysik. Hrsg. FIGAWA Bundesverband der Firmen im Gas- und Wasserfach e. V. Dresden. 30. Jun. 2011.
- GEMIS 2017 Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien (IINAS). *Globales Emissions-Modell integrierter Systeme (GEMIS)*. Datenbank. Version 4.95. Apr. 2017
- GERSDORF 2019 GERSDORF, F., AUERBACH, M. *Einsatzpotentiale erneuerbarer Energien für Verkehr und Infrastruktur verstärkt erschließen. Vortrag zum BMVI-Expertenetzwerk*. Bergisch Gladbach. 07. Mrz. 2019.
- IWU 2001 LOGA, T., BORN, R., GROßKLOS, M., BIALLY, M. *Energiebilanz-Toolbox. Arbeitshilfe und Ergänzungen zum Energiepass Heizung/ Warmwasser*. Bericht. Institut Wohnen und Umwelt GmbH. Darmstadt. 13. Dez. 2001.
- IWU 2002 DIEFENBACH, N., LOGA, T., BORN, R., GROßKLOS, M., HERBERT, C. *Energetische Kenngrößen für Heizungsanlagen im Bestand. Eine Untersuchung des Ingenieurbüros für energieeffiziente Gebäudetechnik VENTECS, Bremen*. Bericht. Institut Wohnen und Umwelt GmbH. Darmstadt. 01. Nov. 2002.
- KWKG 2015 Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. *Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (Kraft-Wärme-*

Kopplungsgesetz - KWKG. Bundesgesetz. Berlin. Stand: 13. Mai 2019.

- Mikado 2014 JACOB-FREITAG, S. *Fünf Hallen für freie Fahrt*. Artikel. mikado 1 - 2.2014. Kissing.
- LORENZ 2006 LORENZ, M., LORENZ, J. *Handbuch Straßenbau - Grundlagen für Ausbildung und Praxis*. Fraunhofer IRB Verlag. Stuttgart. 2006.
- RAM 2014 Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. *Richtlinie für die Anlage von Meistereien (RAM) – Baukonzeption für Autobahn- und Straßenmeistereien*. Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 11/2014. Berlin. Stand: Nov. 2014.
- SBM NS 2019 Staatliches Baumanagement Niedersachsen. SB Weser-Leine. *Telefoninterview mit Hr. Atze, Sachbearbeiter für die AM Hannover*. 14.08.2019.
- SOLAR 2017 SOLAR-COMPUTER GmbH. *Energieeffizienz Gebäude DIN V 18599. Modul B55. Version 5.18.01*. Bilanzierungssoftware. Göttingen. Okt. 2017.
- VDI 2067 Verein Deutscher Ingenieure. *VDI 2067: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen*. Richtlinie. Düsseldorf. Blatt 1 ersch. Sep. 2012.
- VDI 3807 Verein Deutscher Ingenieure. *VDI 3807: Verbrauchskennwerte für Gebäude*. Richtlinie. Düsseldorf. Blatt 1 ersch. Jun. 2013.
- VKS 2010 Verband der Kali- und Salzindustrie e. V. *Winterdienst - wirtschaftlich und umweltgerecht*. 3. überarb. Neuauflage. Broschüre. Berlin. 2010.

Abkürzungen

AM	Autobahnmeisterei
BASt	Bundesanstalt für Straßenwesen
BGF	Brutto-Grundfläche
BHKW	Blockheizkraftwerk
BKI	Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DG	Dachgeschoss
DIN	Deutsches Institut für Normung
EEWärmeG	Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EG	Erdgeschoss
EnEV	Energieeinsparverordnung
EVG	Elektronisches Vorschaltgerät
FS	Feuchtsalz
g-Wert	Gesamtenergiedurchlassgrad (bei Verglasungen)
HD	Hochdruck
HZG	(Gebäude-)Heizung
KG	Kellergeschoss
KWK	Kraftwärmekopplung
KVG	Konventionelles Vorschaltgerät
LED	Lichtemissionsdiode
LKW	Lastkraftwagen
NRF	Netto-Raumfläche
OG	Obergeschoss

PKW	Personenkraftwagen
P-Regler	Proportionalregler
PV	Photovoltaik
RL	Rücklauf
RLT	Raumluftechnik
Rel	In Relation, relativ
SM	Straßenmeisterei
ST	Solarthermie
TGA	Technische Gebäudeausrüstung
TWW	Trinkwarmwasser
U-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient
USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VHF	Vorgehängte hinterlüftete Fassade
VL	Vorlauf
WB	Wärmebrücke
WDVS	Wärmedämmverbundsystem
WLG	Wärmeleitgruppe
WRG	Wärmerückgewinnung (in RLT-Anlagen)
WWB	Warmwasserbereitung

Tabellen

Tabelle 2-1: Bilanzgrößen nach DIN V 18599

Tabelle 2-2: Vereinfachungen für Energiebilanzen nach EnEV 2016

Tabelle 3-1: Typische Meisterei anhand Auswertung der vorliegenden Fragebögen

Tabelle 3-2: Merkmale der Gebäudehüllen

Tabelle 3-3: Übersicht der Wärmeerzeuger für Heizung und Trinkwarmwasser (TWW)

Tabelle 3-4: Kennwerte der verbauten RLT-Anlagen

Tabelle 3-5: Übersicht der HD-Reiniger

Tabelle 3-6: verwendete Nutzungsprofile für Zonierung nach DIN V 18599:2011

Tabelle 4-1: Gesetzlichen Vorgaben an energetischen Zustand von Gebäuden

Tabelle 5-1: Auflistung der Einzelmaßnahmen

Tabelle 5-2: Potenzielle Photovoltaik-Nutzung der Dachflächen der Meistereigebäude

Tabelle 5-3: Brutto-Einheitspreise Energieträger

Tabelle 5-4: Übersicht der Maßnahmen zur Erreichung der definierten Standards

Tabelle 5-5: SM Gersthofen, Halle C - Zeitliche Abfolge der Sanierungsmaßnahmen

Tabelle 5-6: AM Hannover, Verwaltungsgebäude – Zeitliche Abfolge der Sanierungsmaßnahmen

Tabelle 5-7: AM Neusitz, Dienstgebäude - Zeitliche Abfolge der Sanierungsmaßnahmen

Bilder

Bild 2-1: Darstellung der Datenerhebung

Bild 2-2: Vorgehen bei der Bilanzierung nach DIN V 18599

Bild 2-3: Anlagentechnik nach DIN V 18599 im Programm der Firma SOLAR-COMPUTER

Bild 2-4: Unterteilung der Energieströme nach DIN V 18599:2011

Bild 3-1: Witterungsbereinigte, monatliche Wärmeverbräuche der SM Gersthofen

Bild 3-2: Vergleich der witterungsbereinigten Wärmeenergieverbräuche

Bild 3-3: Vergleich der Elektroenergieverbräuche (Mittelwerte 2016 bis 2018)

Bild 3-4: Vergleich der Trink- und Abwasserverbräuche (Mittelwerte 2016 bis 2018)

Bild 3-5: Monatsbilanz Elektroenergieverbrauch AM Hannover für das Jahr 2018

Bild 3-6: Zu unterhaltende Streckenlänge der Meistereien

Bild 3-7: Vergleich der Emissionen aus Treibstoffverbräuchen der Meistereien

Bild 4-1: Gesamt-End- und Nutzenergiebedarfe der Meistereigebäude

Bild 4-2: Endenergiebedarf in Abhängigkeit der Soll-Innentemperatur in Hallengebäuden

Bild 4-3: Gesamt-Primärenergiebedarf und Emission CO₂-Äquivalente der Meistereigebäude

Bild 4-4: Verteilung der Primärenergiebedarfe innerhalb der Meistereien

Bild 4-5: Vergleich Flächenanteil und Wärmetransmissionsverlust über Gebäudehülle

Bild 4-6: Primärenergiebedarfe für Luftförderung und HD-Reiniger

Bild 5-1: Kostenaufteilung bei energetischer Sanierung nach BBSR 2014

Bild 5-2: Zeitliche Einteilung von Maßnahmen

Anhang

A.1 Beispiel BASt-Fragebogen zum Energieverbrauch



Themenfeld 5:

Einsatzpotentiale erneuerbarer Energien für Verkehr und Infrastruktur verstärkt erschließen

Fragebogen zum Energieverbrauch

Teil I: Fahrzeuge

Hinweis: Die folgenden Fragen dienen dazu, die Nutzungsanforderungen an Straßenbetriebsdienstfahrzeuge zu identifizieren. Ziel dabei ist es, abzuleiten, ob eine Umstellung der Fahrzeuge des Straßenbetriebsdienstes auf alternative Antriebstechnologien in naher Zukunft möglich sein kann. Unter dem Begriff 'alternative Antriebstechnologien' werden im Folgenden Fahrzeuge mit Erdgas-Antrieb, Fahrzeuge mit Brennstoffzellen/Wasserstoff-Antrieb und reine Elektrofahrzeuge verstanden.

Für welchen Bereich ist die Autobahnmeisterei zuständig?

Streckenlänge [Kilometer]:	76
zzgl. Astlängen [Kilometer]:	98
Verkehrsanlagen:	
Ingenieurbauwerke:	700

Welche Fahrzeuge sind für den Betrieb der Bundesfernstraßen im Einsatz?

Fahrzeugtyp	Anzahl der Fahrzeuge	Jährl. Kilometerleistung summiert	Jährl. Treibstoffmenge summiert	Art des Treibstoffs
Lastkraftwagen ohne Ladekran	1LKW 2 Achsen	40000	13500	Diesel
Lastkraftwagen mit Ladekran	1LKW 3 Achsen	35000	12800	Diesel
Lastkraftwagen mit Ladekran	3LKW 3 Achsen Container	109000	40500	Diesel
Mehrzweckgeräteträger	2 Unimog	50000	21500	Diesel
Radlader	1		650	Diesel
Straßenkehrfahrzeug	1	14000	9000	Diesel
Sonstiges Fahrzeug	3 Sprinter	63300	9200	Diesel
Sonstiges Fahrzeug	2 Vario	43000	7700	Diesel
Sonstiges Fahrzeug	1 T6	35000	3100	Diesel
Sonstiges Fahrzeug	1 Hubsteiger	6300	700	Diesel

Wie sieht ein tägliches Nutzungsprofil der verschiedenen Fahrzeugtypen aus?

Zur Ermittlung eines Nutzungsprofils bitten wir Sie, die **Detailfragen (DF)** der nachstehenden Tabelle zu beantworten. Sämtliche Detailfragen beziehen sich auf ein Szenario mit intensivem Fahrzeugeinsatz (z.B. bedingt durch langanhaltenden Schneefall). Zwei der Detailfragen bedürfen dabei einer detaillierteren Erläuterung der Fragestellung:

DF7 fragt nach der zeitkritischen Notwendigkeit der durchgeführten Arbeiten, die an dem Tag mit intensivem Fahrzeugeinsatz stattgefunden haben. Sofern Alternativen durch andere zur Verfügung stehender Fahrzeuge zur Durchführung der Arbeiten denkbar gewesen wären, bitten wir Sie, diese hier zu beschreiben. Andernfalls genügt die Angabe 'keine Alternative vorhanden'.

DF8 fragt, ob für ein Fahrzeug < 7,5 t (bzw. ein Fahrzeug > 7,5 t) ein Ladevorgang mit einer Dauer von 30 Minuten (bzw. 120 Minuten) für eine Reichweite von 200 km zeitlich denkbar gewesen wäre – trotz des intensiven Fahrzeugeinsatzes. Bitte versuchen Sie, dieses Szenario einzuschätzen.

DF 1: Fahrzeug- typ	DF 2: Maximale tägliche Fahrt- strecke [Kilometer]	DF3: Maximale tägliche Einsatz- zeit [Minuten]	DF 4: Spann- weite der längsten täglichen Pausenzeit im Gehört, Angabe bitte je Schicht [Minuten]	DF 5: Minimale tägliche Anzahl an Pausen	DF 6: Durch- geführte Arbeiten	DF 7: Einschät-zung des Einsatzes möglicher Fahrzeug- alternativen	DF 8: Einschätzung, ob längere Batterie- Ladevorgänge zeitlich hätten integriert werden können
Mehrzweck geräteträger	450	1300	60	3	WD	keine Alternative vorhanden	
Lastkraftwa- gen ohne Ladekran	700	1300	60	3	WD	keine Alternative vorhanden	
Lastkraftwa- gen mit Ladekran	650	1300	60	3	WD	keine Alternative vorhanden	
Lastkraftwa- gen mit Ladekran	700	1300	60	3	WD	keine Alternative vorhanden	
Radlader		600	120	3	WD		
Straßenkeh- rfahrzeug	200	480	240	1	FB reinigen		
Sonstiges Fahrzeug	150	600	30	1	divers		
Sonstiges Fahrzeug	150	600	30	1	divers		
Sonstiges Fahrzeug	200	480	30	1	Strecken- ontrolle		
Sonstiges Fahrzeug	250	480	30	1	Hubsteige- r		

Ließe sich ein erweiterter Strombezug mit hohen kurzzeitigen Verbräuchen realisieren?

ja nein nicht bekannt

Teil II: Salzmanagement

Hinweis: Die folgenden Angaben werden zur Analyse des Energiebedarfs benötigt, welcher für die Herstellung und den Transport des Salzes bzw. der Salzlösung aufgewendet wird. Bitte beziehen Sie sich bei Ihren Angaben auf die letzten drei Winter.

Wie hoch ist der saisonale Trockensalzverbrauch? Bei eigener Lösungsherstellung ist der dafür genutzte Trockenstoffanteil einzubeziehen.

Wintersaison	Salzmenge [Tonnen]	Lagerstätte, aus der das Salz stammt – Falls verschiedene Lagerstätten gegeben sind, bitte die Mengenangaben je Lagerstätte benennen.
2017/2018	2500	AM 1360 /AK 960 /AS Hämelerwald 170
2016/2017	3600	AM 1930 /AK 950 /AS Hämelerwald 180
2015/2016	4300	AM 2250 /AK 1700 /AS Hämelerwald 330

Wie hoch ist der saisonale Bezug von extern hergestellten Lösungsmengen?

Wintersaison	Lösungsmenge [Liter]	Produktionsstätte, aus der die Lösung stammt – Falls verschiedene Lagerstätten gegeben sind, bitte die Mengenangaben je Lagerstätte benennen.
2017/2018	300Tonnen	AM 32 /AK 180 /AS Hämelerwald 90
2016/2017	240Tonnen	AK 240
2015/2016	730Tonnen	AM 200 /AK 470 /AS Hämelerwald 60

Teil III: Gebäudeinformationen

Hinweis: Die folgenden Angaben werden zur Analyse des Energiebedarfs benötigt, welcher für die Heizung, Kühlung oder Lüftung der Gebäude aufgewendet wird. Bitte beziehen Sie Ihre Angaben auf die drei wichtigsten Gebäudeteile.

Bestehen unterschiedliche Gebäudeteile auf dem Gelände?

Nr. des Gebäudeteils:	G1	G2	G3
Name des Gebäudeteils:	Verwaltungsgebäude	Große KFZ Halle	Kleine KFZ Halle
Baujahr:	1974	1974	1974
Nettogrundfläche:	425 m ²	960 m ²	460 m ²

Wurden in den vergangenen 25 Jahren Sanierungen, Instandsetzungen oder Modernisierungen durchgeführt? Hierbei sind ausschließlich energetische Optimierungen von Interesse. Bitte beschreiben Sie diese.

Nr.	Datum von	Datum bis	Art der energetischen Optimierung	Unterlagen und Dokumentation
G1:				
G2:				
G3:				

Teil IV: Verbrauchserfassung Heizung

Hinweis: Die folgenden Daten können den letzten Heizkostenabrechnungen entnommen werden (sowie dem Schornsteinfegerprotokoll). Falls die Heizung während eines Abrechnungszeitraumes erneuert wurde, geben Sie bitte auch die Werte der alten Heizung und das Datum des Austausches an.

Wie hoch ist der jährliche Energiebedarf für die Heizung?

Nr.	Datum von	Datum bis	Verbrauch inkl. Einheit	Faktor kWh	Art der Anlage	Art des Brennstoffs	Anmerkung
G1:	01.01.2018	31.12.2018	47200 Liter		Zentral	Heizöl	
G2:	01.01.2017	31.12.2017	47300 Liter		Zentral	Heizöl	Für G1
G3:	01.01.2016	31.12.2016	30100 Liter		Zentral	Heizöl	Für G1

Gab es während der genannten Zeiträume Leerstände in den Gebäudeteilen?

Für die genannten Zeiträume sind

keine Leerstände zu berücksichtigen.

Leerstände zu berücksichtigen; und zwar für folgende Gebäudeteile: G1 G2 G3

von:		bis:		geschätzter Flächenanteil [%]:	
------	--	------	--	--------------------------------	--

Enthalten oben genannte Angaben zur Heizungsanlagen den Energiebedarf für die Warmwasseraufbereitung?

Der Energiebedarf für die Warmwasseraufbereitung ist in den Verbrauchswerten

enthalten.

nicht enthalten.

teilweise enthalten; und zwar für folgende Gebäudeteile: G1 G2 G3

Die Warmwasseraufbereitung erfolgt

zentral über Heizkessel. über Sonnenkollektoren und Heizung. dezentral.

Teil V: Verbrauchserfassung Strom

Hinweis: Die folgenden Daten können den letzten Stromabrechnungen entnommen werden.

Wie hoch ist der jährliche Strombedarf?

Nr.	Datum von	Datum bis	Verbrauch [kWh]	Einschätzung des Strombedarfs in Abhängigkeit der Tages- und Jahreszeit
G1:	01.01.2018	31.12.2018	175252	Gesamtes Gehöft
G2:				
G3:				

Wird das Gebäude klimatisiert und/oder belüftet?

Eine Kälteanlage ist

vorhanden.

nicht vorhanden.

teilweise vorhanden; und zwar in folgenden Gebäudeteilen: G1 G2 G3

Eine Lüftungsanlage ist

vorhanden.

nicht vorhanden.

teilweise vorhanden; und zwar in folgenden Gebäudeteilen: G1 G2 G3

Sofern eine Lüftungsanlage vorhanden ist, handelt es sich um folgende Art einer Lüftungsanlage:

nur Abluft ohne Wärmerückgewinnung

nur Zuluft mit Wärmerückgewinnung

Zu- und Abluft

Teil VI: Bauliche Voraussetzungen für eine Photovoltaik-Anlage (PV)

Hinweis: Die folgenden Fragen beziehen sich auf den Gebäudeteil, welcher für eine PV-Anlage am ehesten geeignet erscheint.

Um welche Dachkonstruktion handelt es sich bei dem Gebäudeteil?

- Flachdach Tonnen- oder Bogendach Satteldach
 Sonstiges Schrägdach: Schrägdach

Wie groß ist die Dachfläche in m²? 430m² Remise, G1-G3 ca. 1800m²

Falls es sich um ein Schrägdach handelt: Welche Dachneigung liegt vor?

- genaue Angabe möglich: 15° Remise
 Angabe kann nur geschätzt werden. Bitte in diesem Fall den Neigungswinkel schätzen:
 10° bis 20° 21° bis 30° 31° bis 40°
 41° bis 50° 51° bis 60° > 60°

Welche Ausrichtung der Dachfläche liegt vor?

- Ost Südost Süd Südwest
 West Nordwest Nord Nordost

Ist eine Verschattung durch andere Gebäude oder Bäume gegeben?

- ja nein

Bemerkung:

Remise ist nicht verschattet. Flachdach sind teilweise verschattet


Das zusätzliche Gewicht, welches durch eine PV-Anlage herbeigeführt wird, beträgt ca. 25 kg/m². Wie schätzen Sie die Statik des Dachs ein: Ist das Dach geeignet ein, um eine PV-Anlage darauf zu installieren?

- ja nein keine Aussage möglich

Bemerkung:

A.2 Beispiel Interview-Fragebogen der Bestandsaufnahme

Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)
1526 - Energiekonzepte Autobahnmeistereien
 → Fragebogen Begehung



1 9 7 9
 2 0 1 9
 celebrating 40 years

Liegenschaft:

Autobahnmeisterei Langenhagen (Hannover)

Leiter(in):

Herr Steffen Sadowski

Telefon:

0511 97319613

E-Mail:

Steffen.Sadowski@nlstbv.niedersachsen.de

Nr.	Frage	Antwort
Gebäude		
1	Schwachstellen bzw. Mängel an Gebäuden vorhanden?	<ul style="list-style-type: none"> - Fenster 1970, teilweise erneuert - Dichtungen - Energie Maßnahmen auf Keller - Heizleitung zu Keller gedämmt - neue Kellertore (5a)
2	Probleme bzw. Optimierungspotenziale bei Betriebsabläufen (Lieferungen, Wartung, Verfügbarkeiten)? Erfahrungen anderer Meistereien?	
3	Zufriedenheit und Behaglichkeit der Mitarbeitenden in Gebäuden (Wärme-, Kälte-, Lüftungsbedarf)?	<ul style="list-style-type: none"> - Klimaanlage in 3 Büros vorhanden - im Winter kalt
4	Einschätzung der Entwicklung der Liegenschaft (Erweiterung bzw. Rückbau, Bedarfswandel, etc.)?	<ul style="list-style-type: none"> - Verkehrsmanagement zentrale, daher Modernisierung - Trocknungsanlage Kollegen verschoben
5	Wie ist die Verbrauchsstruktur (Großverbraucher, Besonderheiten)?	<ul style="list-style-type: none"> - HD-Reiniger 1x/2a - 1000l - Getreide Silo - Kasse - Seife - Kombination FM7
6	Ist Mess-, Steuer und Regelungstechnik vorhanden (Betriebszeiten, Temperaturen, Sommer-/Winterbetrieb)?	- nicht bekannt
7	Verfügbarkeit alternativer Energieträger (Hackschnitzel aus Gehölzpflanze, Fernwärme, etc.)?	- Biogasanlage Bawer ums Eck, wurde erweitert
8	Gab es bereits energetische Untersuchungen? Welche Wünsche bzw. Erwartungen bestehen an Energiekonzept?	<ul style="list-style-type: none"> - überdht Dautstellen - TW-Rohre zu groß, Legionellen, Rost, fehlende Isolation

hc/1526_13_90711_BASt_EE_AM_Fragebogen_Begehung

11. Juli 2019
Seite 1 von 2

Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)
 1526 - Energiekonzepte Autobahnmeistereien
 → Fragebogen Begehung

intep

Nr.	Frage	Antwort
Fahrzeugflotte / Salzmanagement		
9	Einschätzung Möglichkeiten der Substitution mit Elektro-/Wasserstofffahrzeugen?	- Mannschaftsmangel ja - LKW nein, sofern Minin-Wechsel - Kraft - Traktor auf Schöff - Leistungs vorhanden
10	Salzmanagement: Wie und welches Salz wird ausgebracht? Lieferscheine vorhanden? Ist Lagergröße sinnvoll dimensioniert?	- Salzwedel - Zistern Oberflächenwasser, sonst TW - rein TW für Fahrzeuge
Sonstiges		
	o Solarthermie auf Dach	o FMZ kommt in Leitkontrolle (geplant)
	o Mischkalkulation	o Problem, Wasserqualität → Filter fehlt
	o Autobahn Symbol positiv	50.000 l - Erdtank
	- MS seit 2005 keine Karte mehr	
	- Fehlentwicklung	

A.3 Methodik zur Ermittlung der Wärmedurchgangskoeffizienten

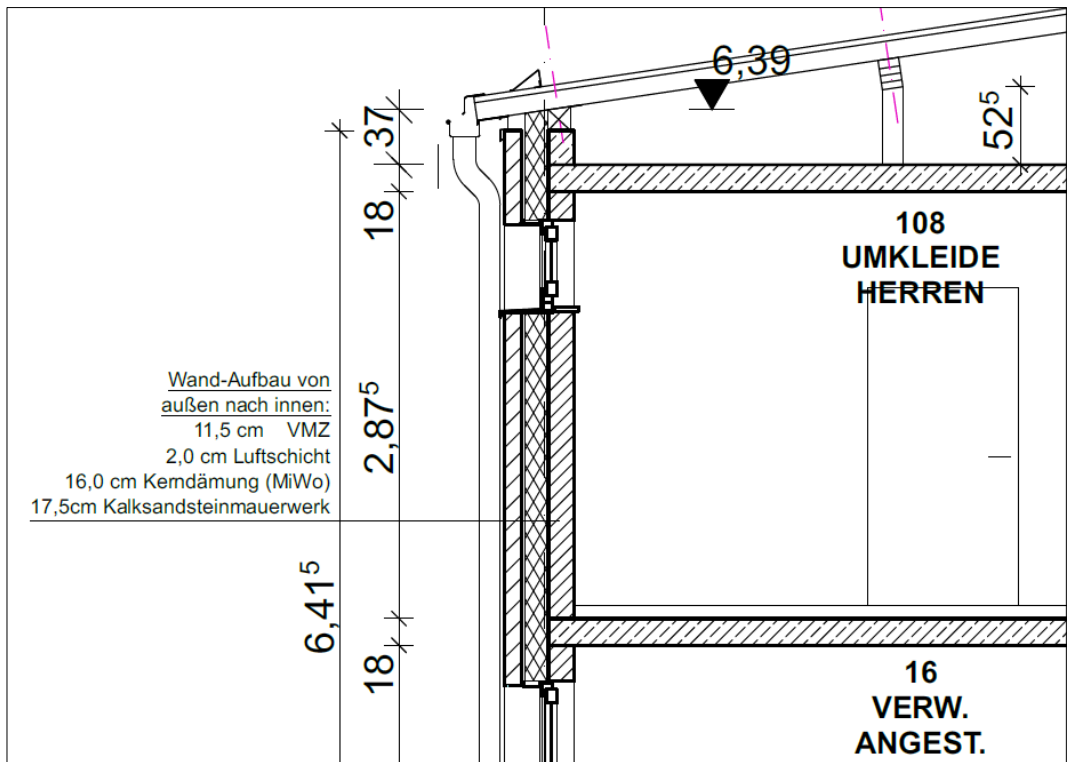


Bild A.3-1: Sichtung der Bestandsunterlagen, hier Schnitt des Verwaltungsteils der AM Braunschweig-Hafen

A.5 Daten des Deutschen Wetterdienstes zur Witterungsbereinigung

Gradtage (G)

Meisterei Stations-ID	BS-Hafen 662	Hannover 2014	Neusitz 4287	Gersthofen 232	Erding 1262
Jan. 08-17	582,6	571,7	614,5	628,7	631,0
Feb. 08-17	506,0	498,3	537,8	553,2	550,1
Mrz. 08-17	451,4	451,7	463,3	478,7	467,3
Apr. 08-17	297,3	300,6	310,5	327,8	312,4
Mai. 08-17	176,3	180,2	177,9	182,7	170,2
Jun. 08-17	68,1	69,3	73,8	73,2	59,2
Jul. 08-17	22,1	21,2	26,9	31,3	19,3
Aug. 08-17	24,2	23,0	34,6	35,6	26,5
Sep. 08-17	128,4	129,3	154,4	174,9	161,1
Okt. 08-17	293,1	287,3	328,8	339,7	335,2
Nov. 08-17	412,3	404,1	446,7	462,2	457,0
Dez. 08-17	523,4	515,4	565,2	582,0	581,7
G_a,m	3485,2	3452,1	3734,4	3870,0	3771,0
Jan. 16	587,5	568,5	571,5	572,9	581,1
Feb. 16	470,4	469,5	485,7	466,9	457,1
Mrz. 16	469,6	468,4	504,0	501,3	484,9
Apr. 16	335,9	345,0	365,6	357,3	345,7
Mai. 16	126,7	126,7	162,0	180,4	191,4
Jun. 16	15,9	11,7	59,7	51,6	39,5
Jul. 16	16,3	16,0	19,3	31,1	19,0
Aug. 16	20,2	21,8	21,2	25,3	25,3
Sep. 16	30,7	30,0	80,1	95,4	98,1
Okt. 16	332,5	337,6	368,1	368,8	368,4
Nov. 16	468,9	465,3	486,7	499,5	493,0
Dez. 16	509,0	494,2	589,3	606,6	610,2
G_a,m	3383,6	3354,7	3713,2	3757,1	3713,7
G_a,m/G_a	1,03	1,03	1,01	1,03	1,02
Jan. 17	629,8	617,9	733,7	774,1	789,8
Feb. 17	468,9	462,2	460,8	483,0	487,2
Mrz. 17	365,2	364,8	380,5	402,3	399,7
Apr. 17	360,2	367,4	374,5	383,5	372,5
Mai. 17	135,3	135,8	161,1	155,8	149,6
Jun. 17	12,1	12,4	20,5	27,2	21,4
Jul. 17	10,7	5,4	30,5	24,5	23,7
Aug. 17	27,5	22,1	30,6	35,8	24,6
Sep. 17	160,5	173,0	209,8	232,2	236,5
Okt. 17	225,6	220,3	275,1	308,5	304,4
Nov. 17	411,9	406,9	467,3	471,7	475,3
Dez. 17	491,8	487,5	566,2	573,2	573,3
G_a,m	3299,5	3275,7	3710,6	3871,8	3858,0
G_a,m/G_a	1,06	1,05	1,01	1,00	0,98

Meisterei Stations-ID	BS-Hafen 662	Hannover 2014	Neusitz 4287	Gersthofen 232	Erding 1262
Jan. 18	492,0	487,1	493,6	497,0	503,2
Feb. 18	586,0	587,3	629,2	635,8	627,4
Mrz. 18	533,9	532,0	526,8	531,8	526,6
Apr. 18	176,9	195,2	190,4	197,5	181,2
Mai. 18	80,6	82,1	84,6	73,5	67,5
Jun. 18	33,1	38,1	34,0	45,2	37,5
Jul. 18	6,1	13,0	5,6	6,1	0,0
Aug. 18	17,7	18,1	21,0	21,0	19,8
Sep. 18	91,0	98,6	93,4	99,6	100,8
Okt. 18	238,2	241,2	259,2	306,0	312,0
Nov. 18	421,0	419,5	445,9	480,0	476,9
Dez. 18	456,7	452,4	519,6	527,7	529,5
G_a,m	3133,2	3164,6	3303,3	3421,2	3382,4
G_a,m/G_a	1,11	1,09	1,13	1,13	1,11

Klimafaktoren (KF)

Meisterei	BS-Hafen	Hannover	Neusitz	Gersthofen	Erding
PLZ	38179	30855	09861	86368	85435
2016	1,07	1,11	0,97	0,98	0,99
2017	1,09	1,14	0,97	0,97	0,98
2018	1,15	1,19	1,07	1,09	1,01

A.6 Beispiel Heizlast-Berechnung, vereinfachtes Verfahren für Einzelräume nach DIN EN 12831-1:2017

Gebäude	AM Hannover, Verwaltungsgebäude				
Raum	Büro Leiter, EG		Gemeinschaftsraum, OG		
Bauteil	Fläche [m ²]	Fläche [m ²]	U [W/m ² K]	ΔU_{WB} [W/m ² K]	f _x [-]
Außenwand	29,87	35,97	1,0	0,1	1,0
Außenfenster	10,38	16,29	1,9	0,1	1,0
Decke gegen Außenluft	-	59,49	0,8	0,1	1,0
Fußboden gegen Keller	25,16	-	1,0	0,1	0,5
Volumen, V _i [m ³]	54,31	147,11			
Luftwechsel, n _i [1/h]					0,50
Innentemperatur, t _{int,i} [°C]					20
Außentemperatur, t _e [°C]					-12
Heizlast, Transmission [W]	2.159	4.021			
Heizlast, Luftaustausch [W]	295	800			
Gesamt-Heizlast [W]	2.454	4.822			

Wärmeübergabesystem	Stahlrohr radiator	
Dimensionen (HxT) [mm]	600 x 65	
Norm-Heizleistung (75/65/20°C) pro Glied [W]	44	
Heizkörperexponent, n [-]	1,3	
Anzahl Glieder [-]	70	140
Korrekturfaktor [-]	0,80	0,84
minimales Temperaturniveau (VL/RL)* [°C]	70/55	70/55

*

Korrekturfaktor [-]	VL [°C]	RL [°C]
1,26	90	70
0,99	80	60
1,00	75	65
0,80	70	55
0,56	60	45
0,51	55	45
0,30	45	35

A.7 Beispiel Nachweis sommerlicher Wärmeschutz, vereinfachtes Verfahren nach DIN 4108-2:2013

Gebäude	SM Gersthofen, Verwaltungsgebäude			
Raum	Büro Straßen- meister, EG	Büro 2, EG		
Klimaregion			B	
Raumfläche [m ²]	24,12	15,95		
Fensterfläche [m ²]	7,16	3,12		
Anteil, f_WG	30%	20%	Nachweisverzicht f_WG < 10%	
Nachweispflicht	Ja	Ja		
Energiedurchlassgrad, g			0,6	
Abminderungsfaktor, F_C			0,25	
Gesamtdurchlassgrad, g_tot			0,15	
S_1			0,081	
S_2	-0,004			0,008
S_3				0
S_4				0
S_5				0
S_6				0
Sonneneintragswert, S_zul		0,077		
Sonneneintragswert, S_vorh	0,044			0,029
Sommerlicher Wärmeschutz DIN 4108-2 erfüllt	Ja			Ja

A.8 Auswertung der BASt-Fragebögen

Typ	Ort, Bundesland	Gebäude 1			Gebäude 2			Gebäude 3					
		Name	Baujahr	NRF [m ²]	saniert	Name	Baujahr	NRF [m ²]	saniert	Name	Baujahr	NRF [m ²]	saniert
AM	Braunschweig-Hafen	NS Kompakthalle	2012		nein					Bürogebäude	2012		nein
AM	Hannover	NS Große Halle	1974	960	nein	Kleine Halle	1974	460	nein	Bürogebäude	1974	425	nein
AM	Neusitz	BY Große Halle	1985	844	nein	Kleine Halle	1885	544	nein	Bürogebäude	1985	350	nein
SM	Erding	BY Kfz-Halle	1972	650	nein					Hauptgebäude	1972	650	nein
SM	Gersthofen	BY Kfz-Hallen	1970	2.613	2015	Werkstatt	1938	175	nein	Bürogebäude	1938	325	nein
AM	Freising	BY Große Halle	1985	993	nein	Kleine Halle	1985	481	nein	Bürogebäude	1985	352	2017
AM	Greding	BY Große Halle	1939	2.031	1999					Bürogebäude	1939	338	1972
AM	Ingolstadt	BY Ingolstadt	1953	1.000	nein	Werkstatt	1985	700	nein	Siegenburg	1982	500	nein
AM	Kist	BY Große Halle	2014	1.360	nein	Kleine Halle	1964	153	nein	Bürogebäude	1964	724	2018
AM	Rosenheim	BY Halle A	1937	646	nein	Halle C	1937	494	nein	Bürogebäude	1937	453	nein
AM	Sulzberg	BY Große Halle	1981	713	nein	Kleine Halle	2008	664	nein	Bürogebäude	1981	350	nein
AM	Trockau	BY Vermittlung	1966		nein	Werkstatt	2014		nein	Dienstgebäude	1937		nein
SM	Ansbach	BY Halle	2007	1.584	nein	Werkstatt	2007	973	nein	Bürogebäude	2007	237	nein
SM	Krumbach	BY Fahrzeughalle	2008	491	nein					Hauptgebäude	1979	1.149	2007
SM	Passau	BY Fahrzeughalle	2016	425	nein								
SM	Rödelmeier	BY Fahrzeughalle	2004		nein								
SM	Taufkirchen	BY Fahrzeughalle	1997	360	nein	Werkstatt	1997	370	nein	Bürogebäude	2004		nein
SM	Vohenstrauß	BY				Werkstatt	2002	884	nein	Bürogebäude	2002	403	nein
Typische Meistereie		Große Halle	1980er	1.000	nein	Kleine Halle	1980er	500	nein	Bürogebäude	1980er	450	nein

Typ	Ort, Bundesland	Wärmeerzeugung			Elektroenergie				
		Energieträger	Verbrauch [kWh]*	WWB	Verbrauch [kWh]*	Klimaanlage	RLT-Anlage	WRG	
AM	Braunschweig-Hafen	NS	Holzpellelets	131.560	zentral	1.347	nein	ja	ja
AM	Hannover	NS	Heizöl EL	520.300	Solarthermie	175.252	teilweise	ja	nein
AM	Neusitz	BY	Holzhackschmitzel	258.116	zentral	55.556	nein	nein	nein
SM	Erding	BY	Erdgas	188.055	zentral	22.126	nein	nein	nein
SM	Gersthofen	BY	Heizöl EL	385.811	zentral	66.757	nein	ja	ja
AM	Freising	BY	Fernwärme	370.000	zentral	101.811	nein	nein	nein
AM	Greding	BY	Heizöl EL	306.636	zentral	77.200	nein	ja	nein
AM	Ingolstadt	BY	Erdgas/ Heizöl EL				nein	nein	nein
AM	Kist	BY	Heizöl EL	386.100	Solarthermie	30.653	nein	ja	ja
AM	Rosenheim	BY	Heizöl EL	412.500	zentral	93.766	nein	nein	nein
AM	Sulzberg	BY	Heizöl EL	250.778	Solarthermie	54.682	nein	nein	nein
AM	Trockau	BY	Heizöl EL	649.880	zentral	149.734	teilweise	ja	nein
SM	Ansbach	BY	Holzhackschmitzel	126.000	Solarthermie	69.344	nein	nein	nein
SM	Krumbach	BY	Heizöl EL	88.090	zentral	30.753	nein	nein	nein
SM	Passau	BY				244	nein	nein	nein
SM	Rödelmeier	BY	Flüssiggas	79.450	zentral	47.610	nein	nein	nein
SM	Taufkirchen	BY	Heizöl EL	105.000	zentral	30.069	nein	ja	nein
SM	Vohenstrauß	BY	Erdgas	200	Solarthermie	40.225	nein	nein	nein
Typische Meisterei			Heizöl EL	250.000	zentral	60.000	nein	ja	nein

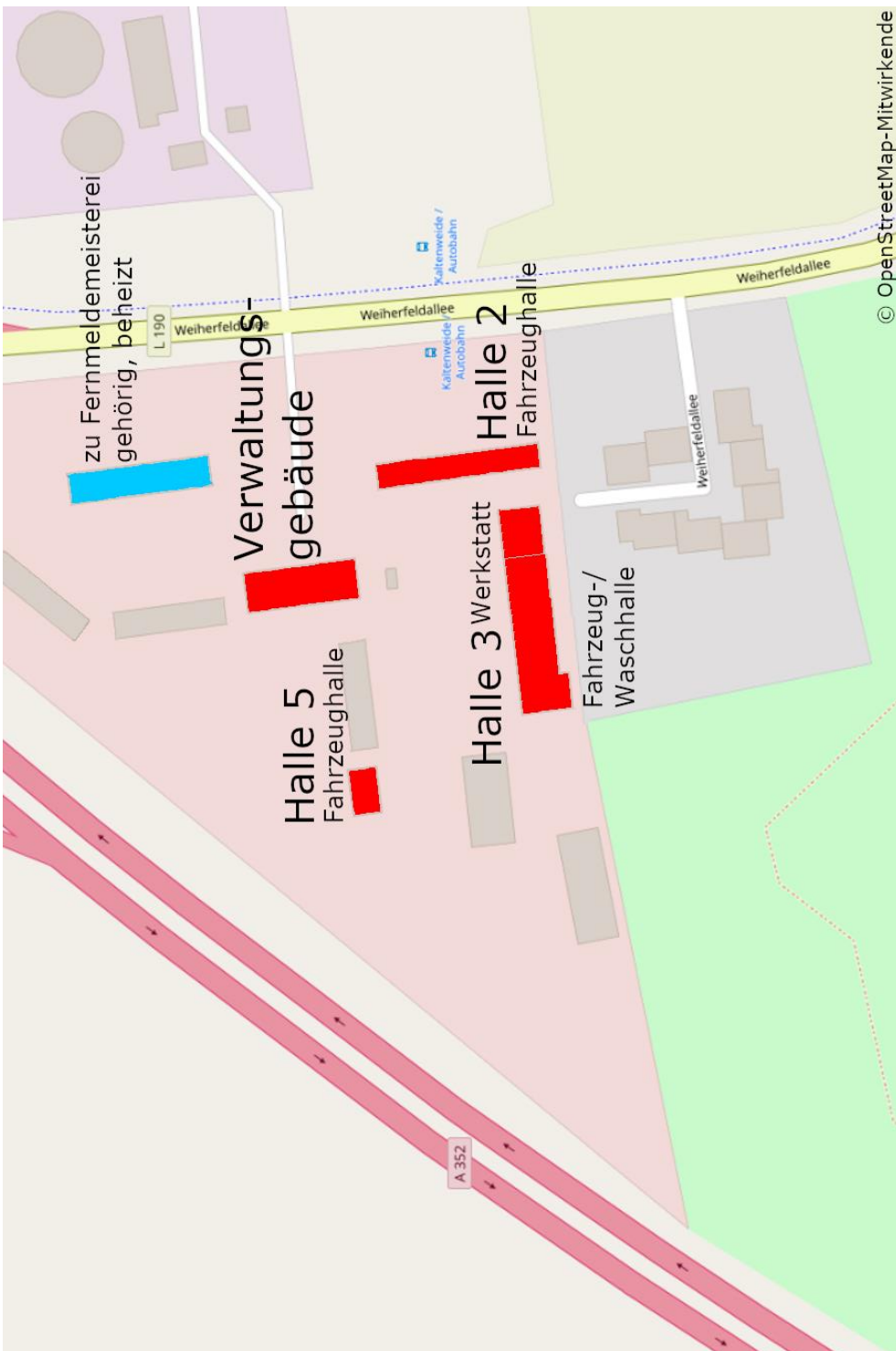
*Mittelwert bei Angabe mehrerer Jahre

A.9 Lagepläne der Meistereien

Autobahnmeisterei Braunschweig-Hafen (analysierte Gebäude rot markiert)



Autobahnmeisterei Hannover (analysierte Gebäude rot markiert)



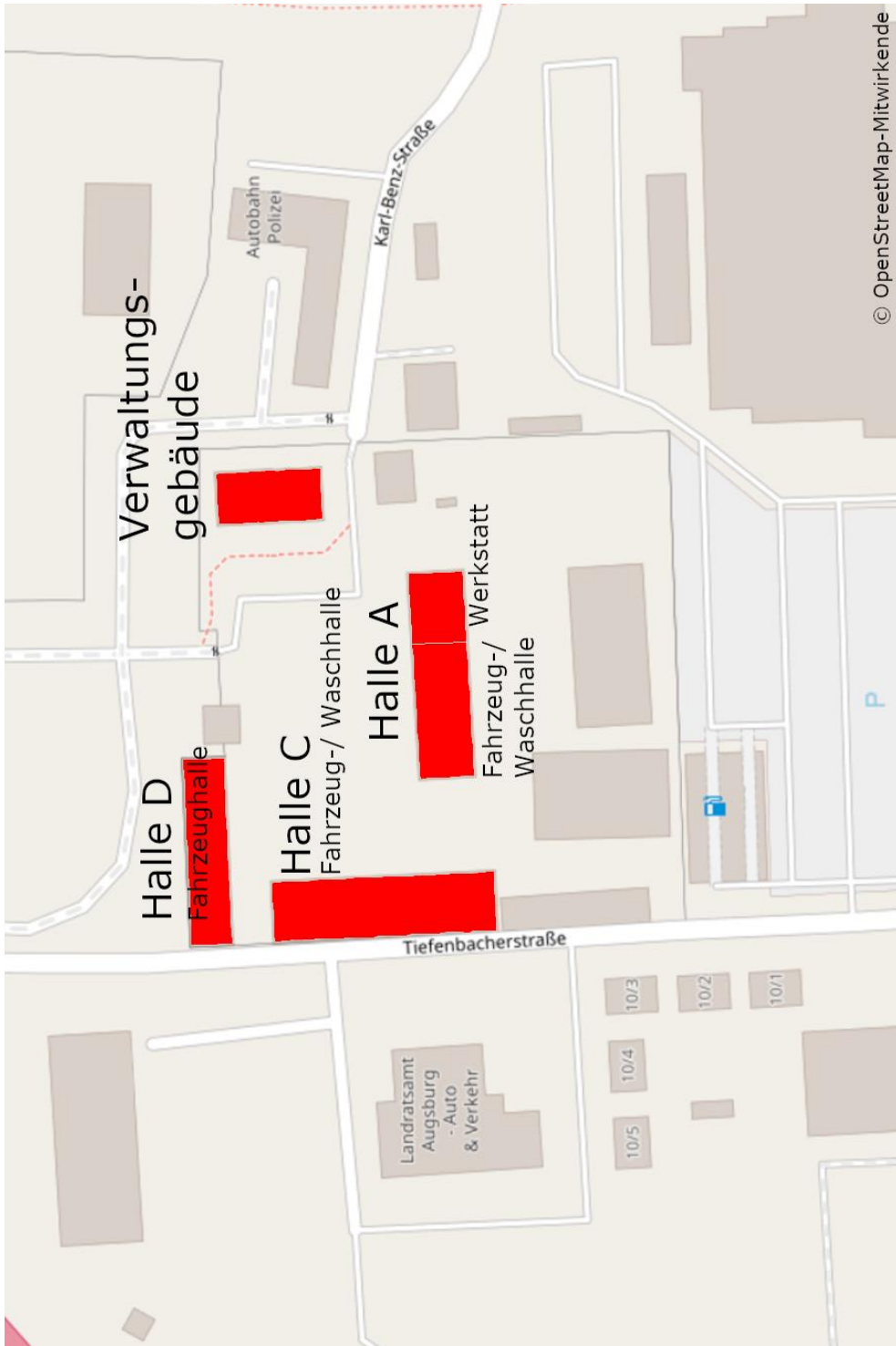
Autobahnmeisterei Neusitz (analysierte Gebäude rot markiert)



Straßenmeisterei Erding (analysierte Gebäude rot markiert)



Straßenmeisterei Gersthofen (analyisierte Gebäude rot markiert)



A.10 Fotoprotokoll energetischer Schwachstellen

Meisterei	Beschreibung	Bildnachweis
AM Braun- schweig- Hafen	<ul style="list-style-type: none"> - RLT-Anlage in Aufenthalts- und Büroräumen mit frei öffentbaren Fenstern - Kein außenliegender Sonnenschutz 	
AM Hannover	<ul style="list-style-type: none"> - Unzureichender Wärmeschutz Fassaden und Dächer Verwaltungsgebäude - Unzureichende Abdichtung Fenster - Feuchtigkeitsschäden 	
	<ul style="list-style-type: none"> - Veraltete Kesselanlage (15 Jahre) 	
	<ul style="list-style-type: none"> - Ineffiziente Trink-Warmwasserbereitung und -verteilung 	
	<ul style="list-style-type: none"> - Kühlung über Mono-Splitgeräte - Zusätzlicher Energiebedarf 	
	<ul style="list-style-type: none"> - Kein Trocknungsraum vorhanden - verdeckte Radiatoren - Gefahr von Feuchtigkeitsschäden 	

Meisterei	Beschreibung	Bildnachweis
AM Neusitz	- Unzureichender Wärmeschutz Fassaden und Dächer Verwaltungs- und Hallengebäude	
	- RLT-Anlage Trocknungsraum ohne Wärmerückgewinnung	
	- Veraltete Hallentore - Fehlende Abdichtung	
	- Veraltete Holzrahmenfenster - Schlechte Abdichtung	
	- Fenster mit 1-Scheibenverglasung in Fahrzeughallen	
SM Erding	- Unzureichender Wärmeschutz Fassaden und Dächer Verwaltungs- und Hallengebäude - Unzureichende Abdichtung Fenster - Feuchtigkeitsschäden	
	- Veraltete Leuchtmittel mit KVG	

Meisterei	Beschreibung	Bildnachweis
	- Veraltete Kesselanlage ohne Brennwerttechnik (15 Jahre)	
	- Maroder Trink-Warmwasserspeicher	
	- RLT-Anlage Trocknungsraum ohne Wärmerückgewinnung	
	- Marode Konvektoren in Hallen	
SM Gersthofen	- Veraltete Kesselanlagen (jeweils 21 Jahre)	
	- Teilweise unzureichende Isolation Heizungsleitungen	

Meisterei	Beschreibung	Bildnachweis
	<ul style="list-style-type: none">- Veraltete Hallentore- Unzureichende Abdichtung	
	<ul style="list-style-type: none">- Große Glasfronten mit 1-Scheibenverglasung in Fahrzeughallen C und D	
	<ul style="list-style-type: none">- Unzureichender Wärmeschutz Wände und Dächer Verwaltungs- und Hallengebäude	
	<ul style="list-style-type: none">- RLT-Anlage in Aufenthaltsraum mit frei öffnbaren Fenstern	

A.11 Ein-und Ausgabewerte Energiebedarfsberechnung

Dateien siehe Datenträger, Benennung wie folgt:

AM Braunschweig-Hafen

- Gesamtgebäude 1526_12_90930_DINV18599_AM_BH.pdf

AM Hannover

- Verwaltungsgebäude (Geb. 1) 1526_12_90930_DINV18599_AM_HA.pdf
- Große Fahrzeughalle (Geb. 2) 1526_12_90930_DINV18599_AM_HA_2.pdf
- Werkstatt-/Fahrzeughalle (Geb. 3) 1526_12_90930_DINV18599_AM_HA_3.pdf
- Kleine Fahrzeughalle (Geb. 5) 1526_12_90930_DINV18599_AM_HA_5.pdf

AM Neusitz

- Verwaltungsgebäude 1526_12_90930_DINV18599_AM_NE.pdf
- Große Halle 1526_12_90930_DINV18599_AM_NE_G.pdf
- Kleine Halle 1526_12_90930_DINV18599_AM_NE_K.pdf

SM Gersthofen

- Verwaltungsgebäude 1526_12_90930_DINV18599_AM_GE.pdf
- Werkstatt-/Fahrzeughalle A 1526_12_90930_DINV18599_AM_GE_A.pdf
- Fahrzeughalle C 1526_12_90930_DINV18599_AM_GE_C.pdf
- Werkstatt-/Fahrzeughalle D 1526_12_90930_DINV18599_AM_GE_D.pdf

SM Erding

- Verwaltungs-/ Werkstattgebäude 1526_12_90930_DINV18599_AM_ER.pdf
- Hallengebäude 1526_12_90930_DINV18599_AM_ER_2.pdf

A.12 Übersicht untersuchter Einzelmaßnahmen

Maßnahme		Jährliche energetische Einsparung				Kosten	
Nr.	Bezeichnung	Endenergie, absolut [kWh]	Primärenergie, absolut [kWh]	Primärenergie, relativ zu Meisterei	Dämmstärke/ neuer U-Wert	Investition, gesamt netto [EUR]	Amortisation [Jahre]
AM Braunschweig-Hafen – Gesamtliegenschaft							
N1	Soll-Temperatur	14.340	3.241	5,3 %	-	Keine	Sofort
N2	Nutzerverhalten			Keine Angaben, nur qualitativ betrachtet			
N3	Monitoring			Keine Angaben, nur qualitativ betrachtet			
T2	PV-Anlage	110.508	198.914	321 %	-	205.125,-	11,8
T4	ST-Anlage	8.405	849	1,4 %	-	27.010,-	> 30
AM Hannover – Gesamtliegenschaft							
N2	Nutzerverhalten			Keine Angaben, nur qualitativ betrachtet			
N3	Monitoring			Keine Angaben, nur qualitativ betrachtet			
T2	PV-Anlage	176.813	318.263	78 %	-	333.000,-	10,0
T5	Brennwärtekessel	23.615	34.019	8,3 %	-	41.900,-	> 20
T6	Feststoffkessel	-13.117	301.004	74 %	-	109.100,-	Keine
T7	BHKW	-1.075	33.468	8,2 %	-	35.327,-	3,6

Maßnahme		Jährliche energetische Einsparung				Kosten	
AM Hannover – Verwaltungsgebäude							
G3	Außenwand WDVS	60.326	63.254	15,5 %	12 cm / 0,23 W/(m ² K)	39.970,-	10,1
G4	Außenwand VHF	60.326	63.254	15,5 %	12 cm / 0,23 W/(m ² K)	132.025,-	27,6
G7	Dämmung KG	27.995	29.341	7,2 %	9 cm / 0,28 W/(m ² K)	26.928,-	14,1
G10	Dämmung Dach	37.219	39.022	9,6 %	12 cm / 0,23 W/(m ² K)	33.565,-	12,2
AM Hannover – Hallen 2, 3, 5							
N1	Soll-Temperatur	11.831	12.426	3,0 %	-	Keine	Sofort
G3	Außenwand WDVS	13.154	13.974	3,4 %	-	72.836,-	> 30 Jahre
AM Neusitz – Gesamtliegenschaft							
N2	Nutzerverhalten	Keine Angaben, nur qualitativ betrachtet					
N3	Monitoring	Keine Angaben, nur qualitativ betrachtet					
T2	PV-Anlage	155.598	28.076	345 %	-	298.500,-	16,3
T4	ST-Anlage	7.394	6.82	0,8 %	-	23.410,-	> 30

Maßnahme		Jährliche energetische Einsparung				Kosten	
AM Neusitz – Verwaltungsgebäude							
G1	Austausch Fenster	3.574	720	0,9 %	1,1 W/(m ² K)	21.472,-	> 30
G3	Außenwand WDVS	8.464	1.704	2,1 %	9 cm / 0,24 W/(m ² K)	22.012,-	> 30
G4	Außenwand VHF	8464	1.704	2,1 %	9 cm / 0,24 W/(m ² K)	82.957,-	> 50
G7	Dämmung KG	19.060	3.888	4,8 %	12 cm / 0,23 W/(m ² K)	21.420,-	20,5
G8	Dämmung Dach	Nur qualitativ betrachtet, da Vergrößerung Nutzfläche			13 cm / 0,24 W/(m ² K)	26.503,-	Nicht berechnet
G9	Dämmung Dach	Nur qualitativ betrachtet, da Vergrößerung Nutzfläche			13 cm / 0,24 W/(m ² K)	85.432,-	Nicht berechnet
AM Neusitz – Große Halle							
N1	Soll-Temperatur	11.483	2.380	2,9 %	-	Keine	Sofort
G1	Austausch Fenster	5.995	1.330	1,6 %	1,3 W/(m ² K)	8.562,-	ca. 25
G2	Austausch Tore	16.355	3.697	4,6 %	1,2 W/(m ² K)	33.600,-	> 20
AM Neusitz – Kleine Halle							
N1	Soll-Temperatur	10.390	1.536	1,9 %	-	Keine	Sofort
G1	Austausch Fenster	11.296	2.410	3,0 %	1,3 W/(m ² K)	18.286,-	ca. 25
G2	Austausch Tore	17.021	3.394	4,2 %	1,2 W/(m ² K)	42.000,-	> 20

Maßnahme		Jährliche energetische Einsparung				Kosten	
SM Gersthofen – Gesamtliegenschaft							
N2	Nutzerverhalten	Keine Angaben, nur qualitativ betrachtet					
N3	Monitoring	Keine Angaben, nur qualitativ betrachtet					
T2	PV-Anlage	155.837	280.507	68 %	-	270.000,-	14,0
T4	ST-Anlage	10.766	10.296	2,5 %	-	40.210,-	> 30
T5	Brennwertkessel	28.300	36.474	8,8 %	-	66.040,-	> 20
T6	Feststoffkessel	-11.165	309.237	75 %	-	177.100,-	Keine
T7	BHKW	415	24.956	6,0 %	-	29.285,-	4,1
SM Gersthofen – Verwaltungsgebäude							
G3	Außenwand WDVS	31.716	33.241	8,0 %	12 cm / 0,24 W/(m²K)	46.064,-	26,5
G4	Außenwand VHF	31.716	33.241	8,0 %	12 cm / 0,24 W/(m²K)	166.169,-	> 50
G7	Dämmung KG	20.706	21.705	5,3 %	9 cm / 0,28 W/(m²K)	24.174,-	21,3
G8	Dämmung Dach	Nur qualitativ betrachtet, da Vergrößerung Nutzfläche			13 cm / 0,24 W/(m²K)	30.746,-	Nicht berechnet

Maßnahme		Jährliche energetische Einsparung				Kosten	
SM Gersthofen – Halle A							
N1	Soll-Temperatur	9.014	9.516	2,3 %	-	Keine	Sofort
G2	Austausch Tore	10.619	11.344	2,7 %	1,2 W/(m ² K)	22.400,-	> 20
G3	Außenwand WDVS	8.917	9.515	2,3 %	7 cm / 0,35 W/(m ² K)	45.651,-	> 30
G6	Dämmung OG	12.800	13.672	3,3 %	8 cm / 0,32 W/(m ² K)	11.263,-	16,1
SM Gersthofen – Halle C							
N1	Soll-Temperatur	15.970	17.041	4,1 %	-	Keine	Sofort
G1	Austausch Fenster	5.296	5.653	1,4 %	1,3 W/(m ² K)	16.832,-	> 30
G2	Austausch Tore	14.968	15.982	3,9 %	1,2 W/(m ² K)	28.000,-	> 20
G3	Außenwand WDVS	7.712	8.231	2,0 %	9 cm / 0,33 W/(m ² K)	29.104,-	> 30
G6	Dämmung OG	8.503	9.078	2,2 %	8 cm / 0,32 W/(m ² K)	11.201,-	24,1
SM Gersthofen – Halle D							
N1	Soll-Temperatur	9.673	10.303	2,5 %	-	Keine	Sofort
G1	Austausch Fenster	3.864	4.103	1,0 %	1,3 W/(m ² K)	12.768,-	> 30
G2	Austausch Tore	9.528	10.197	2,5 %	1,2 W/(m ² K)	25.200,-	> 20
G3	Außenwand WDVS	4.750	5.044	1,2 %	9 cm / 0,33 W/(m ² K)	29.564,-	> 30
G6	Dämmung OG	4.933	5.238	1,3 %	8 cm / 0,32 W/(m ² K)	6.677,-	24,7

Maßnahme		Jährliche energetische Einsparung			Kosten		
SM Erding – Gesamtliegenschaft							
N1	Soll-Temperatur	2.947	2.963	1,1 %	-	Keine	Sofort
N2	Nutzerverhalten	Keine Angaben, nur qualitativ betrachtet					
N3	Monitoring	Keine Angaben, nur qualitativ betrachtet					
T1	Beleuchtung	Keine Angaben, nur qualitativ betrachtet					
T5	Brennwertkessel	29.405	27.804	10,0 %	-	20.950,-	10,0
T6	Feststoffkessel	4.273	214.315	77 %	-	58.100,-	Keine
SM Erding – Hauptgebäude							
T3	TWW-Speicher	Keine Angaben, nur qualitativ betrachtet					
G2	Austausch Tore	15.775	15.776	5,7 %	1,2 W/(m²K)	11.200,-	13
G3	Außenwand WDVS	14.994	14.990	5,4 %	12 cm / 0,23 W/(m²K)	52.652,-	> 30
G4	Außenwand VHF	14.994	14.990	5,4 %	12 cm / 0,23 W/(m²K)	175.562,-	> 50
G8	Dämmung Dach	29.342	29.332	10,6 %	12 cm / 0,22 W/(m²K)	25.112,-	15,6
G9	Dämmung Dach	29.342	29.332	10,6 %	12 cm / 0,22 W/(m²K)	85.436,-	> 30

Maßnahme		Jährliche energetische Einsparung				Kosten	
SM Erding - Halle							
G2	Austausch Tore	8.205	8.329	3,0 %	1,2 W/(m ² K)	14.000,-	> 20
G3	Außenwand WDVS	4.823	4.892	1,8 %	9 cm / 0,33 W/(m ² K)	4.145,-	15,7
G6	Dämmung OG	9.628	9.772	3,5 %	9 cm / 0,33 W/(m ² K)	2.974,-	5,6