

# Stadtwerke Neustadt in Holstein



Integration von wiederverwendbaren Bauteilen und Recyclingbaustoffen und die damit verbundenen Auswirkungen auf den Planungs- und Bauprozess eines Neubaus der Stadtwerke Neustadt (Phase 2)



## Schlussbericht Phase 2

AZ: 32618/02-25

Gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt



Ingo Lütkemeyer, Mathias Salbeck, Martin Spiess

Susanne Korhammer, Kim Maertel

Ulf Lezius, Leif Holthusen

30.03.2022

Projektkennblatt  
der  
**Deutschen Bundesstiftung Umwelt**



Az	32618/02-25	Referat	2	Fördersumme	308.176 €
<b>Antragstitel</b>	Integration von wiederverwendbaren Bauteilen und Recyclingbaustoffen und die damit verbundenen Auswirkungen auf den Planungs- und Bauprozess eines Neubaus der Stadtwerke Neustadt (Phase 2)				
<b>Stichworte</b>	Ressourceneffizienz, wiederverwendbare Bauteile, Kreislauffähiges Bauen, Klimaneutrales Bauen				
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
<b>42</b>	29.6.2017	30.6.2021	<b>2</b>		
Zwischenberichte	11.1.2018	12.7.2018	10.1.2019		
	22.7.2019	3.1.2020	26.1.2021		
<b>Bewilligungsempfänger</b>	Stadtwerke Neustadt in Holstein, ,  Neukoppel 2 23730 Neustadt in Holstein			Tel	04561 5110150
				Fax	
				Projektleitung	Harald Wiese
				Bearbeiter	Harald Wiese
<b>Kooperationspartner</b>	IBUS Architektengesellschaft mbH, Bremen Prof. Ingo Lütkemeyer, Mathias Salbeck Rissmann und Spiess Architekten, Neustadt in Holstein, Martin Spiess Tara Ingenieurbüro GmbH, Varel, Susanne Korhammer, Kim Maertel TH Lübeck, Lübeck, Prof. Ulf Lezius, Leif Holthusen				
<b>Zielsetzung und Anlass des Vorhabens</b>					
<p>Das Vorhaben hatte zum Ziel, modellhaft zu erproben, wie sich energieeffizientes Bauen unter Berücksichtigung des hochwertigen Einsatzes von Recyclingbaustoffen und der Wiederverwendung von Bauteilen durch ein interdisziplinär arbeitendes Team zusammenführen lässt und welche umweltrelevanten Effekte sich daraus ergeben. Darüber hinaus wurde die Demontierbarkeit des Gebäudes (konstruktiv) betrachtet werden. Damit nachvollziehbar Reparaturen und Veränderungen am Gebäude oder gezielt Planungen zur erneuten Verwendung bzw. Entsorgung durchgeführt werden können, sollen die im Bauwerk verwendete Baustoffe und Bauteile in einem Bauteilkatalog dokumentiert werden</p>					
<b>Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden</b>					
<p>Die Forschungsergebnisse der 1. Projektphase (Planung) wurden im Zuge des Bauprozesses umgesetzt. Dabei wurden die Auswirkungen und Konsequenzen für den Bauablauf untersucht. Das Spektrum des Einsatzes von Recyclingbaustoffen und wiederverwendbaren Bauteilen wurde im Hinblick auf die Ausbaugewerke untersucht und deren Potenziale ermittelt. Die Lebenszyklusanalyse wurde auf die Anlagentechnik und das Gesamtgebäude ausgeweitet. Es wurde ein Monitoringkonzept ausgearbeitet und ein Energiemonitoring durchgeführt. Der gesamte Prozess und die Bauteildaten wurden dokumentiert.</p>					
Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190 • <a href="http://www.dbu.de">http://www.dbu.de</a>					

## ***Ergebnisse und Diskussion***

Mit der Planung und dem Bau des Neubaus der Stadtwerke Neustadt in Holstein konnte erfolgreich gezeigt werden, dass Energie- und Ressourceneffizienz in einem konstruktiv und architektonisch qualitativem Gebäude zusammengeführt werden können.

Eine wesentliche Voraussetzung dafür ist, dass mit dem Auftraggeber eine entsprechende Zielsetzung formuliert und vereinbart wird, und diese durch interdisziplinäre Zusammenarbeit und intensive Abstimmung der verschiedenen am Planungsprozess beteiligten Akteure konsequent verfolgt wird.

Die zur Umsetzung eines klimaneutralen Technikkonzeptes erforderlichen Komponenten stehen zur Verfügung, so dass eine Realisierung technisch möglich ist. Es ist dennoch ratsam, einfache technische Strategien einzusetzen, um einen möglichst einfachen Gebäudebetrieb zu gewährleisten.

Die für eine ressourcenschonende Bauweise erforderlichen Materialien und Bauprodukte stehen zur Zeit nur teilweise zur Verfügung. Baumaterialien aus erneuerbaren Rohstoffen sind insbesondere in Form von Holz verfügbar. Weitere Materialien (z.B. Seegras) müssen sich noch weiter am Markt etablieren. Recyclingprodukte, die nicht als zertifizierte oder bautechnisch zugelassene Produkte verfügbar sind, sind nur mit Hemmnissen integrierbar. Allerdings wächst der Markt für zertifizierte Recyclingprodukten und Produkte mit Recyclinganteilen, so dass hier verbesserte Perspektiven zu erwarten sind.

In einem Gebäude für einen öffentlichen Auftraggeber, ist es mit großen Hemmnissen verbunden, „alte“ Bauteile wieder zu verwenden. Materialbeschaffung, Materiallagerung und vergaberechtliche Hürden erschweren die Umsetzung. Dennoch ist es möglich, bei vielen Bauteilen, und auch in nennenswertem Umfang ressourcenschonende Baustoffe einzusetzen.

Die Bedeutung eines Monitorings hat sich darin gezeigt, dass Fehler bei den technischen Installationen entdeckt werden konnte. Die Klimaneutralität wurde durch das Energiemonitoring bestätigt.

## ***Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation***

Das Projekt wurde auf Fachveranstaltungen vorgestellt und mehrfach veröffentlicht. Eine Fachtagung zu den Nachhaltigkeitsaspekten des demontierbaren Bauens und der Integration von wiederverwendbaren Bauteilen und Recyclingbaustoffen bei der Erstellung von Gebäuden wurde durchgeführt.

## ***Fazit***

Mit dem Projekt konnte gezeigt werden, dass es unter den aktuellen Randbedingungen möglich ist, ein ressourceneffizientes, CO<sub>2</sub>-neutrales Gebäude zu planen und zu realisieren. Die Qualität des Projekts wurde anhand verschiedener Auszeichnungen in konzeptioneller, technischer und architektonischer Hinsicht bestätigt.

## Planungs- und Projektteam

Bauherr, Projektträger:	Stadtwerke Neustadt in Holstein 23730 Neustadt in Holstein Tel.: 04561/5110-0, Fax: 04561/5110-600
Architektur:	Arbeitsgemeinschaft IBUS Architektengesellschaft mbH, Bremen Prof. Ingo Lütkemeyer, Mathias Salbeck Rissmann und Spiess Architekten, Neustadt Martin Spieß
Freianlagen:	Alkewitz Armbruster Landschaftsarchitekten, Berlin mit Trüper Gondesen Partner, Lübeck
Tragwerksplanung:	Drewes und Speth, Beratende Ingenieure, Hannover Prof. Martin Speth, Liam Winckler
TGA - Heizung, Lüftung, Sanitär:	Ingenieurbüro Taube und Goerz, Eckernförde
TGA - Elektrotechnik:	Ingenieurbüro Hornecker, Lübeck
Energieberatung, Energieausweis	Susanne Korhammer, Kim Maertel TARA Ingenieurbüro GmbH & Co. KG, Varel
Forschungsteam:	Prof. Ingo Lütkemeyer (Projektleitung) Mathias Salbeck, IBUS Architektengesellschaft mbH  Martin Spieß, Rissmann und Spiess Architekten  Susanne Korhammer, Kim Maertel, TARA Ingenieurbüro GmbH & Co KG  Prof. Dr. Ulf Lezius, Leif Holthusen, TH Lübeck, Kompetenz- und Wissenschaftszentrum für intelligente Energienutzung (WiE)

gefördert durch:

Deutsche Bundesstiftung Umwelt



## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	13
1.1	Ausgangssituation .....	13
1.2	Ziel des Vorhabens .....	14
1.3	Aufgabenstellung .....	14
2	Das Neubauvorhaben der Stadtwerke Neustadt in Holstein .....	16
2.1	Untersuchungsgegenstand / Planungsziele .....	16
2.2	Das Gebäudekonzept .....	16
2.2.1	Städtebauliche Einordnung des Gesamtensembles.....	16
2.2.2	Verwaltungsgebäude .....	20
2.2.3	Werkstatt- und Lagergebäude .....	24
2.2.4	Fahrzeughalle .....	28
2.3	Integrales Planungskonzept .....	33
2.3.1	Nachhaltigkeit .....	33
2.3.2	Funktionale und technische Flexibilität .....	34
2.3.3	Tragwerk und Bauweise (Haus A) .....	36
2.3.4	Demontierbarkeit und Recyclingfähigkeit .....	41
2.3.5	Materialkonzept – Ressourceneffizienz .....	44
2.3.6	Nutzungskomfort / Behaglichkeit, Sonnen- und Blendschutz .....	44
2.3.7	Integration Technik und Konstruktion .....	47
2.3.8	Gebäudeumfeld, Regenwassernutzung / - rückhaltung .....	50
2.3.9	Grauwassernutzung .....	52
3	Recyclingpotenziale und wiederverwendbare Baustoffe in den Ausbaugewerken.....	53
3.1	Planungsprozess .....	53
3.2	Materialbeschaffung .....	54
3.3	Materialkonzept .....	56
3.3.1	Bauteilübersicht .....	56
3.3.2	Fassadenbekleidung aus altem Eichenholz.....	58
3.3.3	Wiederverwendete Bürosystemwände .....	59
3.3.4	Weitere Recyclingmaterialien .....	61

3.3.5	Einrichtung .....	62
3.4	Einsatzmöglichkeiten und Relevanz .....	63
4	Bauprozess .....	64
4.1	Einsatz von wiederverwendbaren Bauteilen und Recyclingbaustoffen in der baupraktischen Umsetzung .....	64
4.1.1	Ausschreibung .....	64
4.1.2	Erfahrungsbericht der Bauleitung bei der Umsetzung .....	66
4.2	Der Bauteilkatalog .....	66
4.2.1	Haus A, Decke über EG: .....	68
4.2.2	Haus A, Dach: .....	70
4.2.3	Haus A, Fenster: .....	72
4.2.4	Haus B, Sohle – Bereich A: .....	74
4.2.5	Haus B, Sohle – Bereich B: .....	75
5	Technikkonzept .....	76
5.1	Integration der technischen und energierelevanten Anforderungen - Umsetzungsphase .....	76
5.2	Variantenvergleich Anlagentechnik .....	76
5.3	EnEV-Nachweis .....	79
5.4	Klimaneutralität .....	80
5.5	integrale Planung und Umsetzung .....	82
6	Lebenszyklusanalyse (LCA) Haus A mit Berücksichtigung der Anlagentechnik .....	82
6.1	Vorgehensweise .....	83
6.2	Bilanzierungsrahmen .....	84
6.3	Ergebnisse .....	91
6.3.1	Gebäude(hülle) - Kostengruppe 300 .....	91
6.3.2	Anlagentechnik, Wasser/Abwasser, Elektro, PV - Kostengruppe 400 .....	94
6.3.3	Vergleich Einzelbauteile .....	94
6.4	Zusammenfassung .....	96
7	Energiemonitoring im Neubau der Stadtwerke Neustadt .....	99
7.1	Überblick und Einleitung .....	99
7.2	Installiertes Messsystem .....	99
7.2.1	Monitoring des elektrischen Systems .....	99

7.2.2	Monitoring des Heizsystems .....	100
7.2.3	Raumluftsensoren .....	101
7.2.4	Überblick über das gesamte System, Vernetzung und Server für die Datenspeicherung.....	102
7.3	Messdaten und Energiebilanz .....	103
7.3.1	Abruf von Messdaten zur Unterstützung der Inbetriebnahme des Gebäudes	103
7.3.2	Energiebilanz und Kohlendioxid-Bilanz .....	104
7.3.3	Einordnung der Bilanz in ein mehrjähriges Mittel der Sonneneinstrahlung ....	109
7.4	Zusammenfassung der Begleitforschung im Projekt .....	110
7.4.1	Lastgangsprognose mit Methoden der künstlichen Intelligenz.....	110
7.4.2	Simulation des Betriebsverhaltens eines Speichers für elektrische Energie ....	114
7.4.3	Simulation des Betriebsverhaltens einer Wärmepumpe in Kombination mit einem Wärmespeicher (Ausblick) .....	115
7.4.4	Ausblick: Nutzung von Prognosen und Simulationen zur Erreichung optimaler Betriebsstrategien .....	115
7.5	Zusammenfassung und Ausblick .....	116
8	Dokumentation des Prozesses und der Ergebnisse.....	118
8.1	Fachveranstaltungen.....	118
8.2	Veröffentlichungen .....	119
8.3	Fachtagung .....	120
8.4	Auszeichnungen .....	121
9	Fazit.....	122
10	Anhang .....	123
	Fotodokumentation .....	123

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1	Baugrenzen .....	17
Abbildung 2-2	Zufahrten und Betriebshof .....	17
Abbildung 2-3	Lageplan .....	17
Abbildung 2-4	Schematische Übersicht der Gebäudeanordnung .....	18
Abbildung 2-5	Gesamtansicht von der Neukoppel .....	18
Abbildung 2-6	Betriebshof, Blick auf das Verwaltungsgebäude .....	19
Abbildung 2-7	Betriebshof, Blick auf Werkstätten, Lagergebäude und Fahrzeughalle.....	19
Abbildung 2-8	Haus A - Erdgeschoss / Besucherebene (IBUS Architekten) .....	20
Abbildung 2-9	Haus A - Obergeschoss – Leitungsebene (IBUS Architekten) .....	21
Abbildung 2-10	Sockelgeschoss – Betriebshofebene (IBUS Architekten) .....	22
Abbildung 2-11	Südansicht Verwaltungsgebäude vom Betriebshof aus gesehen .....	22
Abbildung 2-12	Eingangsfassade (IBUS Architekten).....	23
Abbildung 2-13	Westansicht vom Kreisverkehr aus gesehen .....	23
Abbildung 2-14	Ausschnitt Nordfassade.....	24
Abbildung 2-15	Grundriss Werkstatt- und Lagergebäude (Haus B) .....	25
Abbildung 2-16	Ansichtszeichnung und Längsschnitt Haus B .....	25
Abbildung 2-17	Südansicht Werkstatt- und Lagergebäude vom Betriebshof.....	26
Abbildung 2-18	Nordansicht Werkstatt und Lagergebäude (von der Eutiner Straße aus gesehen) .....	26
Abbildung 2-19	Werkstattgebäude mit Waschhalle, Materialausgabe und Messtechnikhalle .....	27
Abbildung 2-20	Zentraler Flur mit Teeküche im Werkstatt- und Lagergebäude .....	27
Abbildung 2-21	Lagerhalle – Detailaufnahme der unterspannten Holzdeckenkonstruktion .....	28
Abbildung 2-22	Grundriss Fahrzeughalle .....	29
Abbildung 2-23	Fahrzeughalle: Ansichts- und Schnittzeichnung .....	29
Abbildung 2-24	Innenansicht der Fahrzeughalle im Rohbau .....	30
Abbildung 2-25	Holzkonstruktion der Fahrzeughalle mit Sicht auf die unterspannten Brettsperrholzelemente .....	30
Abbildung 2-26	Montage eines unterspannten Brettsperrholzelements .....	31
Abbildung 2-27	Die Fahrzeughalle an der Einfahrt zum Betriebshof.....	31
Abbildung 2-28	Ansicht der Fahrzeughalle vom Betriebshof aus gesehen.....	32
Abbildung 2-29	Fahrzeughalle für Klein-LKW .....	32
Abbildung 2-30	Grundriss Eingangsebene – Kernzone und Büroraumzone mit Zuordnung der Abteilungen .....	34
Abbildung 2-31	Grundrissausschnitt Büro - Ausbauraster.....	35
Abbildung 2-32	Grundrissstruktur mit Darstellung der 2 Nutzungseinheiten je Geschoss.....	36
Abbildung 2-33	Rohbau des Verwaltungsgebäudes – Montage des BSP Deckenelemente .....	37
Abbildung 2-34	Rohbau des Verwaltungsgebäudes .....	37
Abbildung 2-35	Übersicht Deckenkonstruktionen –Kernbereich BSP-Flachdecke, Bürobereich HBV-Konstruktionen .....	38
Abbildung 2-36	Deckenkonstruktionen schematisch .....	38
Abbildung 2-37	Zwei Konstruktionsweisen - links die Holz-Beton-Verbundkonstruktion, rechts die BSP-Konstruktion...39	39
Abbildung 2-38	Brettsperrholzwände Gebäudekern .....	39
Abbildung 2-39	Gebäudekern – Montage eines BSP-Deckenelements .....	40
Abbildung 2-40	Fassadentragwerk – Stützen mit tragender Brüstung aus BSP und den Auflagern der HBV-Decke .....	40
Abbildung 2-41	HBV- Deckenkonstruktion – Betonfertigteile auf dem Fußboden, oben noch ohne Betonelemente .....	41
Abbildung 2-42	Hauptträger mit Regelaussparungen für die technischen Installationen .....	42
Abbildung 2-43	Auflagerbereich für die Betonfertigteile der HBV-Konstruktion .....	42
Abbildung 2-44	Verbindungsmitel zur kraftschlüssigen Verschraubung des Betonfertigteils (Quelle Fa. Würth) .....	43
Abbildung 2-45	Aufsicht auf das Betonfertigteil mit den Verbindungspunkten der Schraubverbindung .....	43
Abbildung 2-46	Aufsicht auf ein BSP-Dachelement und dessen Verschraubung auf den Unterzügen .....	43
Abbildung 2-47	Fassaden- / Fensterdetail .....	45
Abbildung 2-48	Ausschnitt Fassadenansicht .....	46
Abbildung 2-49	Büroraum – Innenansicht mit Blendschutz .....	46
Abbildung 2-50	schematischer Querschnitt des Gebäudes (Haus A) (IBUS Architekten) .....	47
Abbildung 2-51	Integration von Nutzungsstruktur, Tragwerk und technischen Anlagen.....	48

Abbildung 2-52	Installationsführung unter der Flurdecke.....	48
Abbildung 2-53	Lüftungsinstallationen – exemplarisch für das Erdgeschoss .....	49
Abbildung 2-54	Schematischer Schnitt durch eine Büroeinheit (IBUS Architekten).....	49
Abbildung 2-55	Innenansicht einer Büroeinheit.....	50
Abbildung 2-56	Lageplan mit Kennzeichnung der Maßnahmen.....	51
Abbildung 2-57	Blühende “Bienenwiese” .....	51
Abbildung 2-58	Regenwassersammler mit Staufufen zur Wasserrückhaltung .....	52
Abbildung 3-1	Übersicht über die Einsatzbereiche von gebrauchten Bauteilen und Recyclingbaustoffen .....	57
Abbildung 3-2	Übersicht der eingebauten Materialien .....	58
Abbildung 3-3	Für den Einbau geliefertes zugeschnittenes Eichenholz der Fassaden.....	58
Abbildung 3-4	Fassadenansicht – die unterschiedlichen Breiten und Dicken der Eichenhölzer sind erkennbar.....	59
Abbildung 3-5	Schematische Darstellung des Bereichs der wiederverwendeten Systemwände .....	59
Abbildung 3-6:	Einbau der wiederverwendeten Trennwandelemente .....	60
Abbildung 3-7	Wiederverwendete Trennwandelemente, Büro- und Flurseite .....	60
Abbildung 3-8	Akustikabsorber mit Seegrass gefüllt.....	61
Abbildung 3-9	Detailansicht des Akustikabsorbers.....	62
Abbildung 3-10	Aufgearbeitete Tische, 2. Hand- Möbel im Außenbereich .....	62
Abbildung 4-1	Detail Geschossdecke (HBV) Haus A - Bauteilschichten .....	68
Abbildung 4-2	Haus A -Geschossdecke, Auflistung der Bauprodukte / Baustoffe.....	69
Abbildung 4-3	Detail Dach Haus A - Bauteilschichten.....	70
Abbildung 4-4	Haus A -Dach, Auflistung der Bauprodukte / Baustoffe .....	71
Abbildung 4-5	Detail Fenster Haus A.....	72
Abbildung 4-6	Haus A -Fenster, Auflistung der Bauprodukte / Baustoffe .....	72
Abbildung 4-7	Fenster Haus A - Montage und Anschlüsse .....	73
Abbildung 4-8	Fenster Haus A - Gläser .....	73
Abbildung 4-9	Haus B – Detail Gebäudesohle .....	74
Abbildung 4-10	Haus B – Bereich A – Sohle, Bauprodukte .....	74
Abbildung 4-11	Detail Sohle Haus B – Bereich B - Waschhalle .....	75
Abbildung 4-12	Sohle Haus B – Bereich B, Bauprodukte .....	75
Abbildung 5-1	Schematische Zeichnung des erweiterten Technikkonzeptes (TARA Ingenieurbüro GmbH & Co. KG).....	78
Abbildung 5-2	Foto Technikraum (TARA Ingenieurbüro GmbH & Co. KG). .....	78
Abbildung 5-3	Übersicht Low-Tec-Technikkonzept zur Umsetzung (IBUS Architektengesellschaft mbH) .....	79
Abbildung 5-4	Auszug aus dem EnEV-Nachweis (TARA Ingenieurbüro GmbH & Co. KG). .....	80
Abbildung 5-5:	Klimabilanz (TARA Ingenieurbüro GmbH & Co. KG). .....	81
Abbildung 6-1	Darstellung der Bilanzierung von Holz. Links: CO <sub>2</sub> -Ströme von Holz und Holzprodukten in einer Gebäudebilanz. Rechts: Primärenergieströme von Materialien in einer Gebäudebilanz. (F. Dolezal).....	86
Abbildung 6-2	Ansicht Nordwest. Darstellung der identifizierten Bauteile und exemplarisch die Bauteilbeschriftungen für die Ökobilanzierung (TARA Ingenieurbüro GmbH & Co. KG).....	87
Abbildung 6-3	Bauteile in unterschiedlichem Detaillierungsgrad - links: Bauteildokumentation (RISP) und rechts EnEV-Nachweis (TARA Ingenieurbüro GmbH & Co. KG). .....	88
Abbildung 6-4	Oben v. l.: A_OG_AW.7a im Detail, Lokalität des Bauteils in der Ansicht. Unten v. l.: Bauteile A_GD_EG.4 Decke über den Verkehrszonen, A_GD_UG.4 Auskragung über dem Sozialbereich im UG (TARA Ingenieurbüro GmbH & Co. KG). 89	
Abbildung 6-5	Verteilung GWP innerhalb der Kostengruppe 300 (TARA Ingenieurbüro GmbH & Co. KG). .....	91
Abbildung 6-6	Prozentuale Anteile am GWP innerhalb der Kostengruppe 300 (TARA Ingenieurbüro GmbH & Co. KG). .....	92
Abbildung 6-7	Variantenvergleich ohne Wiederverwendung A und mit Wiederverwendung B innerhalb der Kostengruppe 330 (TARA Ingenieurbüro GmbH & Co. KG). .....	93
Abbildung 6-8	Variantenvergleich ohne Wiederverwendung A und mit Wiederverwendung B innerhalb der Kostengruppe 340 (TARA Ingenieurbüro GmbH & Co. KG). .....	93
Abbildung 6-9	Prozentuale Anteile am GWP innerhalb der Kostengruppe 400 (TARA Ingenieurbüro GmbH & Co. KG). .....	94
Abbildung 6-10	Verteilung GWP innerhalb der Kostengruppe 400 (TARA Ingenieurbüro GmbH & Co. KG). .....	94
Abbildung 6-11	Beispiel für die Aufbereitung zur Kommunikation (TARA Ingenieurbüro GmbH & Co. KG). .....	95
Abbildung 6-12	Kommunikation von Einzelbauteilen im Vergleich. Oben: Vortragsfolie. Unten: Darstellung Plakat Eröffnung (TARA Ingenieurbüro GmbH & Co. KG). .....	96

Abbildung 6-13	Vergleich des Gebäudes mit einem Beispielgebäude vom BMUB für GWP (TARA Ingenieurbüro GmbH & Co. KG).	
Abbildung 6-14	Vergleich des Gebäudes mit einem Beispielgebäude vom BMUB für PENRT (TARA Ingenieurbüro GmbH & Co. KG).	
Abbildung 7-1	Überblick über das Monitoring für die elektrische Energie.....	100
Abbildung 7-2	Überblick über das Monitoring des Heizsystems (Wärmeenergie) .....	101
Abbildung 7-3	Überblick über die Vernetzung des gesamten Monitorings mit Server .....	102
Abbildung 7-4	Unplausible Leistungsaufträge an der elektrischen Messstelle "MSR" .....	103
Abbildung 7-5	monatliche bilanzierte Energiemengen .....	106
Abbildung 7-6	monatlich bilanzierte CO <sub>2</sub> -Äquivalente .....	107
Abbildung 7-7	monatliche CO <sub>2</sub> -Bilanzen (gesamt).....	108
Abbildung 7-8	Vergleich verschiedener Vorhersagen für die verbrauchte elektrische Leistung .....	112
Abbildung 7-9	Vergleich verschiedener Vorhersagen für die durch Photovoltaik erzeugte elektrische Leistung .....	112
Abbildung 7-10	Vergleich der Vorhersagen für den elektrischen Verbrauch in den Gebäuden .....	113
Abbildung 7-11	Simulationsmodell (Simulink) für einen kinetischen Energiespeicher mit Schwungmasse und BLDC-Motor	114
Abbildung 10-1	Rohbau – Sohle und UG-Wände Verwaltungsgebäude .....	123
Abbildung 10-2	Sohle Werkstattgebäude – .....	123
Abbildung 10-3	Bewehrung mit Heizungsleitungen für die thermisch aktivierte Sohle .....	123
Abbildung 10-4	Rohbau Erschließungszone Werkstatt/ Lager .....	124
Abbildung 10-5	Rohbau Werkstattgebäude – Brettsperrholzwände.....	124
Abbildung 10-6	Rohbau Kleinteilelager .....	125
Abbildung 10-7	Richtfest im September 2017 .....	125
Abbildung 10-8	Werkstattgebäude und Fahrzeughalle - Fassadenbekleidung im Bau.....	126
Abbildung 10-9	Rohbau Fahrzeughalle.....	126
Abbildung 10-10	Fahrzeughalle- Gebäudehülle ist fast fertiggestellt.....	127
Abbildung 10-11	Montage BSP- Deckenelemente Verwaltungsgebäude .....	127
Abbildung 10-12	Rohbau - Holzfertigteiltreppe.....	128
Abbildung 10-13	Auflager Holztreppe .....	128
Abbildung 10-14	Rohbau Verwaltungsgebäude .....	129
Abbildung 10-15	Rohbau Verwaltungsgebäude - Bürozone.....	129
Abbildung 10-16	Werkstatt im Gebäude B .....	130
Abbildung 10-17	Betriebshof Blickrichtung Verwaltungsgebäude .....	130
Abbildung 10-18	Blick auf die Westfassade des Werkstattgebäudes .....	131
Abbildung 10-19	Stellplätze der Betriebsfahrzeuge zwischen Verwaltungs- und Werkstattgebäude.....	131
Abbildung 10-20	Garage Messtechnikfahrzeug und Rohrlager – Haus B .....	132
Abbildung 10-21	Einfahrt zum Betriebshof mit Blick auf die Fahrzeughalle.....	133
Abbildung 10-22	Fahrzeughalle .....	133
Abbildung 10-23	Fahrstuhlschacht aus Massivholz im Treppenhauskern .....	134
Abbildung 10-24	Treppenhaus Verwaltungsgebäude.....	135
Abbildung 10-25	Eingangshalle mit Blick auf Fahrstuhl und Treppe.....	135
Abbildung 10-26	Besuchereingang mit historischer Gusseisenstütze .....	136
Abbildung 10-27	Treppenraum im Verwaltungsgebäude.....	136
Abbildung 10-28	Erschließungsflur Verwaltungsgebäude .....	137
Abbildung 10-29	Personalküche im Verwaltungsgebäude .....	137
Abbildung 10-30	Ansicht Haupteingang an der Neukoppel.....	138
Abbildung 10-31	Verwaltungsgebäude mit Sozialbereich am Betriebshof.....	138

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 5-1	Gegenüberstellung von zwei möglichen Technikkonzepten der ersten Phase ..... des Forschungsvorhabens (TARA Ingenieurbüro GmbH & Co. KG). ....	76
Tabelle 5-2	Planwerte EnEV-aus Bilanzierung nach 18599 (TARA Ingenieurbüro GmbH & Co. KG). ....	79
Tabelle 5-3	Bewertung der Klimaneutralität durch Eigenstromproduktion (TARA Ingenieurbüro GmbH & Co.KG). ....	81
Tabelle 6-1	Geplante Vorgehensweise zur Datenermittlung für die Lebenszyklusanalyse.....	83
Tabelle 6-2	Masseinsparungen durch Wiederverwendung (TARA Ingenieurbüro GmbH & Co. KG) .....	92
Tabelle 7-1	detaillierte CO <sub>2</sub> -Bilanz für den Zeitraum September 2019 bis August 2020.....	108
Tabelle 7-2	monatliche solare Einstrahlung für den Betrachtungszeitraum am Standort Lübeck.....	109
Tabelle 7-3	Jährliche solare Einstrahlung über einen längeren Zeitraum am Standort Lübeck .....	110

## Zusammenfassung

Das Vorhaben hatte zum Ziel, modellhaft zu erproben, wie sich energieeffizientes Bauen unter Berücksichtigung des hochwertigen Einsatzes von Recyclingbaustoffen und der Wiederverwendung von Bauteilen durch ein interdisziplinär arbeitendes Team realisieren lässt und welche umweltrelevanten Effekte sich daraus ergeben.

Die Forschungsergebnisse der 1. Projektphase wurden im Zuge des Bauprozesses umgesetzt. Dabei wurden die Auswirkungen und Konsequenzen für den Bauablauf untersucht. Das Spektrum des Einsatzes von Recyclingbaustoffen und wiederverwendbaren Bauteilen wurde im Hinblick auf die Ausbaugewerke untersucht und deren Potenziale ermittelt. Die Lebenszyklusanalyse wurde auf die Anlagentechnik und das Gesamtgebäude ausgeweitet. Es wurde ein Monitoringkonzept ausgearbeitet und ein Energiemonitoring durchgeführt. Der gesamte Prozess und die Bauteildaten wurden dokumentiert.

Mit dem Bau des Neubaus der Stadtwerke Neustadt in Holstein konnte erfolgreich gezeigt werden, dass Energie- und Ressourceneffizienz in einem konstruktiv und architektonisch qualitativem Gebäude zusammengeführt werden können.

Die zur Umsetzung eines klimaneutralen Technikkonzeptes erforderlichen Komponenten stehen auf dem Markt zur Verfügung, so dass eine Realisierung technisch möglich ist. Es ist dennoch ratsam, einfache technische Strategien einzusetzen, um einen möglichst einfachen Gebäudebetrieb zu gewährleisten.

Die für eine ressourcenschonende Bauweise erforderlichen Materialien und Bauprodukte stehen dagegen nur teilweise zur Verfügung. Baumaterialien aus erneuerbaren Rohstoffen sind insbesondere in Form von Holz verfügbar. Weitere Materialien (z.B. Seegras) müssen sich noch weiter am Markt etablieren. Recyclingprodukte, die nicht als zertifizierte oder bautechnisch zugelassene Produkte verfügbar sind, können nur mit Hemmnissen integriert werden. Allerdings wächst der Markt für zertifizierte Recyclingprodukten und Produkte mit Recyclinganteilen, so dass hier verbesserte Perspektiven zu erwarten sind.

In einem Gebäude für einen öffentlichen Auftraggeber, ist es mit großen Herausforderungen verbunden, „alte“ Bauteile wieder zu verwenden. Materialbeschaffung, Materiallagerung und vergaberechtliche Hürden erschweren die Umsetzung. Dennoch ist es möglich, bei vielen Bauteilen, und auch in nennenswertem Umfang, ressourcenschonende Baustoffe einzusetzen.

Die Bedeutung eines Monitorings hat sich darin gezeigt, dass Fehler bei den technischen Installationen entdeckt werden konnten. Die Klimaneutralität wurde durch das Energiemonitoring bestätigt.

Die Qualität des hier entwickelten Konzeptes und des realisierten Gebäudes wurde durch verschiedene Auszeichnungen bestätigt.

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangssituation

Klimaneutralität, CO<sub>2</sub>-Abdruck und der Umgang mit Ressourcen sind nur einige Schlagworte, die die Debatte um die drängenden Probleme der Gegenwart mitkennzeichnen. Dabei rücken im Themenbereich der gebauten Umwelt zunehmend besonders die Städte mit den darin gebauten Gebäuden als potentielle Rohstofflager der Zukunft – unter dem Stichwort „Urban Mining“ in das Bewusstsein der Entscheidungsträger und der verantwortlichen Planer.

Zurzeit liegt ein Hauptaugenmerk beim Planen und Bauen von Gebäuden noch hauptsächlich auf dem Energieverbrauch der Immobilien während der Nutzungsphase.

Das Umweltbundesamt beziffert aktuell den Gesamtbestand in Bauwerken in Deutschland mit 50 Milliarden Tonnen. Eine genaue Vorstellung, um welche Materialien es sich handelt und welche Lebenszyklen diese durchlaufen, besteht bisher dabei nicht. Beim Neubau oder in Sanierungsvorhaben werden üblicherweise neben einer unüberschaubaren Vielzahl an Materialien zunehmend Verbundbaustoffe verwendet, deren Recyclingfähigkeit noch unklar ist.

Eine Dokumentation über die verwendeten Baustoffe nach Fertigstellung eines Gebäudes liegt im Einzelnen nicht vor. Eine Bilanzierung des Herstellungsaufwandes (Energie und Rohstoffe) wird nur in Ausnahmen (Zertifizierungsverfahren) als Kriterium für ein effizientes Bauen in Betracht gezogen.

Die mangelnde Wertschätzung von Planung, Herstellungsaufwand und der verwendeten Rohstoffe drückt sich auch in der Grundannahme über den Wert eines neugebauten Gebäudes aus. Wurden vor 20 Jahren Gebäude noch im Schnitt mit 80 Jahren Lebensdauer veranschlagt, minimiert sich diese aktuell auf 50 Jahre (DGNB u.a.).

Bestandsbewahrung und Langlebigkeit, Umnutzung und Veränderbarkeit haben in der (Energie)-Effizienzdiskussion bisher einen vergleichsweise geringen Stellenwert.

Das Bauwesen wird im Sinne des ganzheitlich betrachteten Ressourcenschutzes andere Wege einschlagen müssen. Das Kreislaufwirtschaftsgesetz und die Bauproduktenverordnung geben aktuellen Anlass für eine Neuorientierung.

Im Rahmen des Modellvorhabens „Neubau eines Verwaltungsgebäudes der Stadtwerke Neustadt“, geplant als Plusenergiehaus, unter dem Aspekt der Ressourcen- und Energieeffizienz“ werden beispielhaft die Phasen eines Gebäudes, von der Gewinnung der Rohstoffe bis zur Wiederverwendung bzw. Recycling von einem interdisziplinären Team untersucht. Darüber hinaus sollen die Möglichkeiten des nachhaltigen Konstruierens vom Tragwerk bis zur Materialauswahl, inklusive der Wiederverwendung von Bauteilen als Ersatz für neu produzierte Bauteile, geprüft und dokumentiert werden. Die Besonderheit der Aufgabe

liegt darin, alle materialspezifischen Anforderungen (Neubau Verwaltungsgebäude) beim Wiedereinsatz gebrauchter Bauteile zu erfüllen bzw. die Grenzen auszuloten.

## 1.2 Ziel des Vorhabens

Das Vorhaben hat das Ziel modellhaft zu erproben, wie sich energieeffizientes Bauen mit dem Ziel der Klimaneutralität unter Berücksichtigung des hochwertigen Einsatzes von Recyclingbaustoffen und der Wiederverwendung von Bauteilen durch ein interdisziplinär arbeitendes Team zusammenführen lässt und welche umweltrelevanten Effekte sich daraus ergeben.

Des Weiteren soll der Betrachtung nachgegangen werden, inwieweit das entstandene Gebäude am Ende seiner Nutzungsdauer demontiert werden kann. Die Erstellung eines Bauteilkataloges ist vor diesem Hintergrund sinnvoll und notwendig. Als Orientierungsgrundlage können so nachvollziehbar Reparaturen und Veränderungen am Gebäude oder gezielt Planungen zur erneuten Verwendung bzw. Entsorgung durchgeführt werden können. Die Dokumentation der verwendeten Baustoffe und Bauteile gibt dann wertvolle und nachvollziehbare Auskünfte.

Ferner sollen die hinsichtlich des Betriebs gesetzten Ziele (Nullemissionsgebäude) mit Hilfe eines Monitorings überprüft, optimiert und demonstriert werden.

Die Betrachtungen beziehen sich überwiegend auf das Hauptgebäude (Verwaltung). Lediglich im Bereich der zusammenhängenden Technik wird im Energiekonzept die Grenze erweitert und auf die zusammenhängend thermisch konditionierten Gebäude, das Verwaltungs- und Betriebsgebäude bezogen.

## 1.3 Aufgabenstellung

Neben dem Energiebedarf und den Umweltwirkungen, die während des Betriebs eines Gebäudes entstehen, wurden im Rahmen dieses Vorhabens der Energiebedarf und die Umweltwirkungen, die sich aus dem Herstellungsprozess (von der Rohstoffgewinnung bis zum Werkstor „cradle to gate“) und der Wiederverwendbarkeit und/oder notwendigen Entsorgung der Gebäudeteile und der bei Abbruch anfallenden Baustoffe ergeben, genauer betrachtet.

Die Abfallvermeidung, d.h. Überlegungen zu demontierbaren Konstruktionen und Auswahl der Bauteile/Baustoffe, standen bei der Planung dieses Neubaus im Vordergrund.

Außerdem wurde geprüft, in welchem Maße und in welcher Form alte Bauteile Wiederverwendung und Recyclingbaustoffe bei der Neubauplanung eingesetzt werden können und welche Wirkungen daraus resultieren.

Es wurde untersucht, wie in dem oben beschriebenen begrenzten Zeitraum die Beschaffung gut erhaltener Bauteile organisiert werden kann und welche planerischen Konsequenzen / Maßnahmen daraus entstehen.

Bei der Planung des Neubaus der Stadtwerke Holstein handelt es sich um ein öffentliches Verwaltungsgebäude, woraus besondere Anforderungen innerhalb des Planungs- und Bauprozesses resultieren. Die rechtlich-formalen Rahmenbedingungen erschweren hier den Einsatz von wiederverwendeten Baustoffen, die unter Umständen den gültigen Normen nicht ohne nähere Untersuchung entsprechen. Zudem ist der übliche Planungsablauf nicht auf Entscheidungsflexibilität ausgelegt, eine notwendige Voraussetzung hingegen für ein derart ambitioniertes Bauvorhaben.

Mit der 2. Projektphase sollte erreicht werden, dass die Ergebnisse der 1. Phase umgesetzt werden und dass im Bereich von Ausbau und Einrichtung Recycling-Potentiale erschlossen werden. Es sollte gezeigt werden, wie Gebäude zu planen sind, dass sie nicht nur energieeffizient in der Nutzungsphase, sondern auch ressourceneffizient gebaut sind, d.h. durch die Auswahl der Baustoffe und Bauteile und der ausgewählten Verbindungen in ihrem gesamten Lebenszyklus möglichst einen kleinen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck haben und möglichst keinen Abfall produzieren.

## 2 Das Neubauvorhaben der Stadtwerke Neustadt in Holstein

Ingo Lütkemeyer, Mathias Salbeck – IBUS Architektengesellschaft mbH

### 2.1 Untersuchungsgegenstand / Planungsziele

Untersuchungsgegenstand war der Neubau der Stadtwerke Neustadt in Holstein, der als Ersatzneubau für den bisherigen Betriebshof am Ziegelhof erstellt wurde.

Da einerseits die Möglichkeiten der baulichen Erweiterung am bisherigen Standort eingeschränkt waren und andererseits die Nutzungs- und Sanierungsbedingungen den Erfordernissen hinsichtlich der Arbeitsplatzqualität und der Erreichbarkeit für größere LKWs nicht genügen konnten, wurde der Neubau der Gebäude und des Betriebshofes am Standort Neukoppel vorgesehen.

Das Neubauprogramm umfasste

- ein Verwaltungsgebäude mit Sozialräumen,
- Werkstatt- und Lagergebäude
- eine Fahrzeughalle
- Freiflächen mit Lager und Parkplätzen

Mit dem Neubau verfolgten die Stadtwerke das Ziel, flexibel auf die Anforderungen künftiger Betriebsentwicklungen reagieren zu können, der Vorbildfunktion einer öffentlichen Einrichtung nachzukommen und langfristig konkurrenzfähig zu sein. Im Einzelnen sollte Folgendes erreicht werden:

- Erweiterung der Büroflächen
- Verbesserung der Arbeitsbedingungen in der Verwaltung und im gewerblichen Bereich
- Ausrichtung auf zukünftige Bedarfe - Anpassungsfähigkeit, Nutzungsflexibilität
- Angemessenheit in der Gestaltung (repräsentativ / zurückhaltend)
- Ressourceneffizienz in Bau und Betrieb,
- innovatives, zukunftsweisendes Gebäudekonzept
- Minimaler Energiebedarf (CO<sub>2</sub>-neutral, kein End- und Primärenergiebedarf)

### 2.2 Das Gebäudekonzept

#### 2.2.1 Städtebauliche Einordnung des Gesamtensembles

Der Neubau der Verwaltungs- und Betriebsgebäude der Stadtwerke bildet am Ortseingang von Neustadt in Holstein, auf einem exponierten Grundstück, die neue Visitenkarte der Stadt. Das Grundstück ist durch eine leichte Hanglage geprägt und erlaubte es, den Neubau prägnant zu platzieren.

Das Grundstück liegt im Geltungsbereich des Bebauungsplanes Nr. 70 der Stadt Neustadt. Gemäß der dort festgesetzten Baugrenzen mussten die Gebäude im Norden und Westen 20 m Abstand zur Landesstraße (Eutiner Straße und Kreisverkehr) einhalten. Im Osten ist ein geschützter „Knick“ (landschaftstypische Wallhecke) zu erhalten und zu schützen. Das Gelände weist ein Gefälle von ca. 4 m auf, wobei der Hochpunkt im Bereich des Kreisverkehrs liegt. Die Grundstückserschließung ist ausschließlich von der Straße Neukoppel aus möglich.



Abbildung 2-1 Baugrenzen

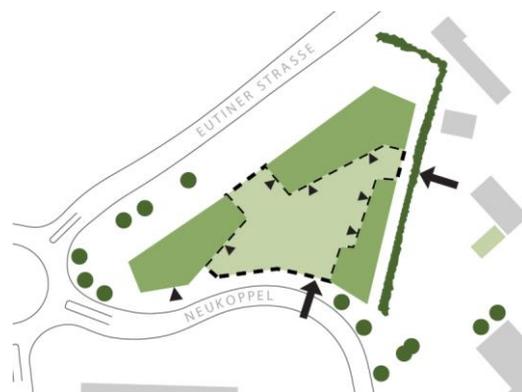
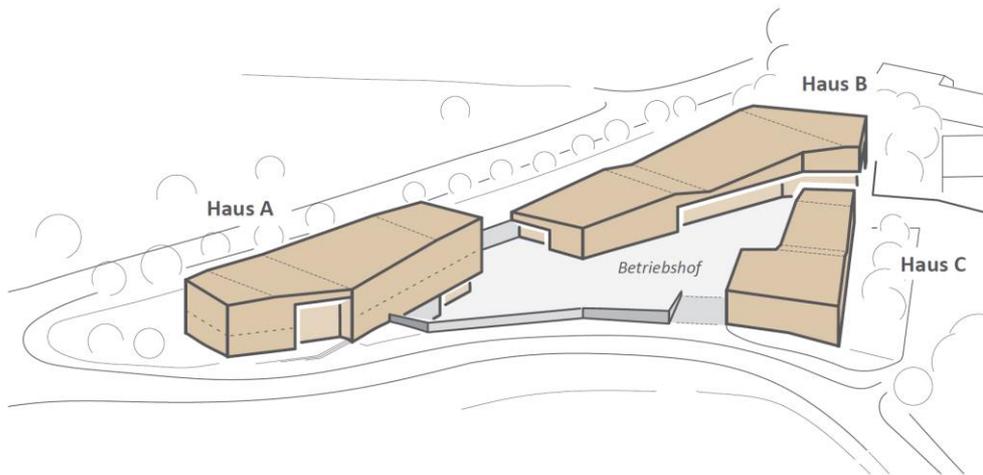


Abbildung 2-2 Zufahrten und Betriebshof



Abbildung 2-3 Lageplan

Das Grundstück grenzt an den städtischen Bauhof an. Aus der Lagekonzentration der beiden städtischen Betriebe ergeben sich zukünftig betriebliche und wirtschaftliche Synergien.



**Abbildung 2-4** Schematische Übersicht der Gebäudeanordnung

Die Gebäude wurden an die Bebauungsgrenzen gerückt und umschließen den zentralen Betriebshof. Der Betriebshof wird von der „Neukoppel“ erschlossen, von dort werden alle Gebäude erreicht. Das Verwaltungsgebäude erhält zudem einen repräsentativen Eingang in der Nähe des Kreisverkehrs.

Das Gesamtprojekt umfasst den Neubau des Verwaltungsgebäudes (Haus A), sowie ein Werkstatt- und Lagergebäude (Haus B) mit Fahrzeugwaschhalle und ein weiteres Lager für Fahrzeuge, Kabel und Rohre (Haus C).

Die Gebäude bilden ein Ensemble, das durch ein gemeinsames Materialkonzept zu einer architektonischen Einheit zusammengeführt wird. Die Gebäude umschließen den Betriebshof und bilden so einen betrieblich nutzbaren „Raum“.



**Abbildung 2-5** Gesamtansicht von der Neukoppel



**Abbildung 2-6** Betriebshof, Blick auf das Verwaltungsgebäude



**Abbildung 2-7** Betriebshof, Blick auf Werkstätten, Lagergebäude und Fahrzeughalle

## 2.2.2 Verwaltungsgebäude

Das Verwaltungsgebäude als Hauptgebäude des gesamten Stadtwerkekomplexes ist Gegenstand des Forschungsvorhabens. Es umfasst alle von der Verwaltung benötigten Räume sowie das Archiv, einen Sozialbereich für alle Mitarbeiter und die Umkleiden.

Das Gebäude hat zwei Obergeschosse und ein Untergeschoss auf dem Niveau des Betriebshofs.

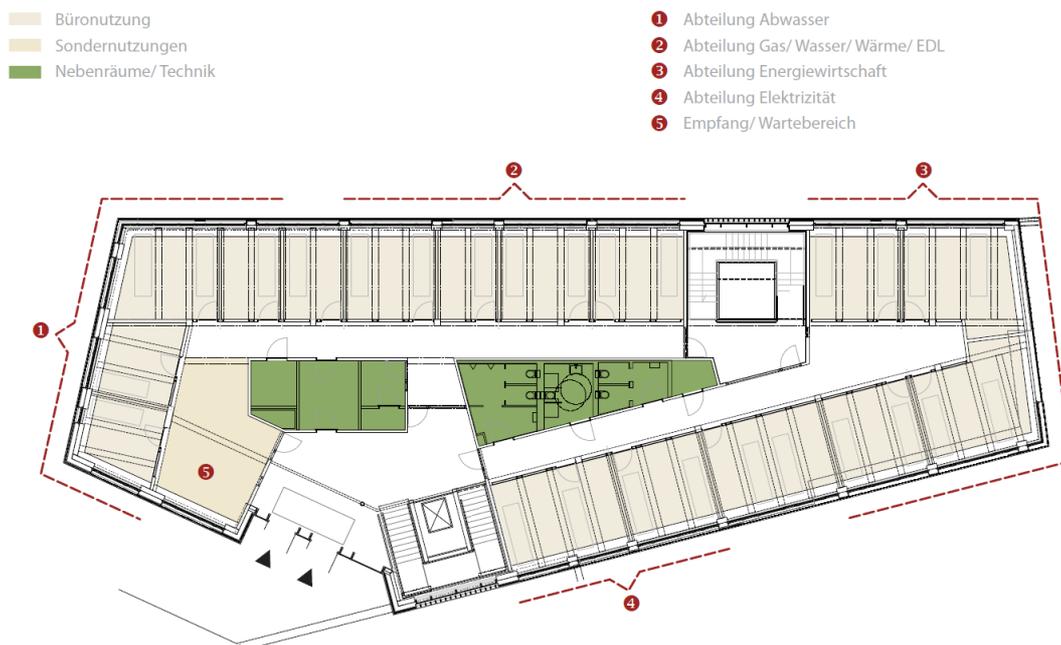


Abbildung 2-8 Haus A - Erdgeschoss / Besucherebene (IBUS Architekten)

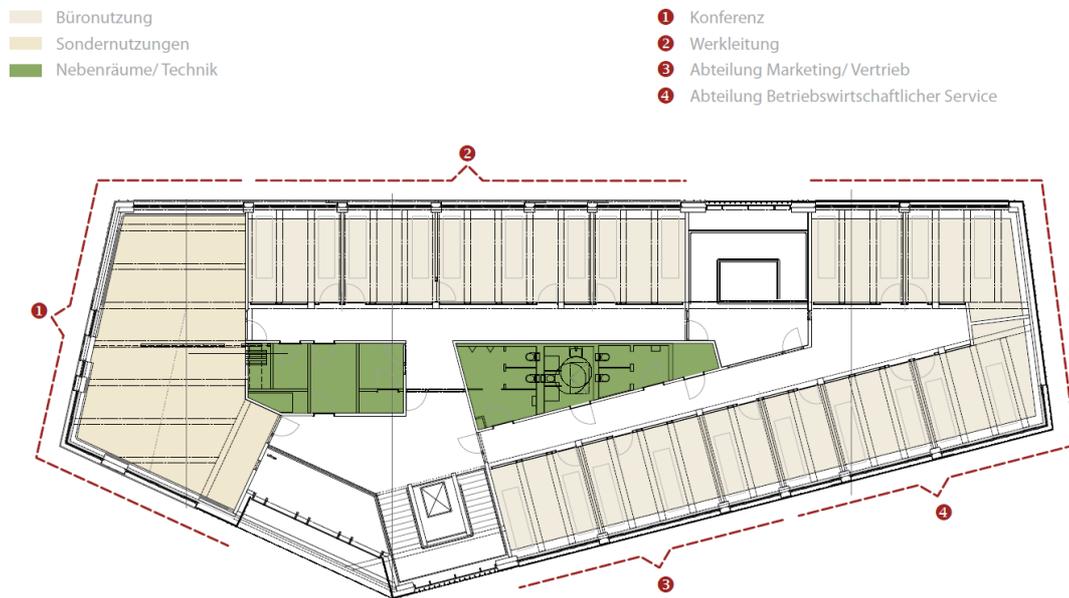
Das Erdgeschoss des Gebäudes befindet sich auf dem Niveau des Kreisverkehrs. Der repräsentative Haupteingang auch konzipiert als Besuchereingang befindet sich auf dieser Ebene an der „Neukoppel“.

Die Büroräume werden entlang der Fassaden umlaufend angeordnet. Ein Flur umschließt den zentralen Versorgungskern. Im Erdgeschoss befinden sich die Abteilungen Abwasser, Gas/Wasser/Wärme, Energiewirtschaft, Elektro- und der Empfangsbereich.

Das Gebäude erhält zwei Treppenhäuser, von denen eines als offene Halle dem Haupteingang zugeordnet ist. Das zweite Treppenhaus dient der internen Erschließung und der Anbindung an den Betriebshof.

Das Geschoss wird in zwei Nutzungseinheiten unterteilt, die jeweils kleiner als 400 m<sup>2</sup> sind und einen direkten Zugang zum Treppenhaus haben. Unter diesen Voraussetzungen wird erreicht,

dass keine Brandschutzanforderungen an die Innenwände innerhalb einer Nutzungseinheit gestellt werden.



**Abbildung 2-9 Haus A - Obergeschoss – Leitungsebene (IBUS Architekten)**

Das 1. Obergeschoss entspricht in der Grundstruktur dem Erdgeschoss. Die Büroräume sind ringförmig um den zentralen Kern angeordnet. Auch hier gibt es zwei Nutzungseinheiten, die ermöglichen, dass es innerhalb der Einheiten keine Brandschutzanforderungen gibt.

An der Eingangshalle sind die Räume der Werkleitung und des Controllings angeordnet. Ferner befinden sich im Obergeschoss die Abteilungen Marketing/Vertrieb und Betriebswirtschaftlicher Service. Von der Eingangshalle aus erreicht man den Besprechungsbereich, der aus einem teilbaren Konferenzraum besteht.

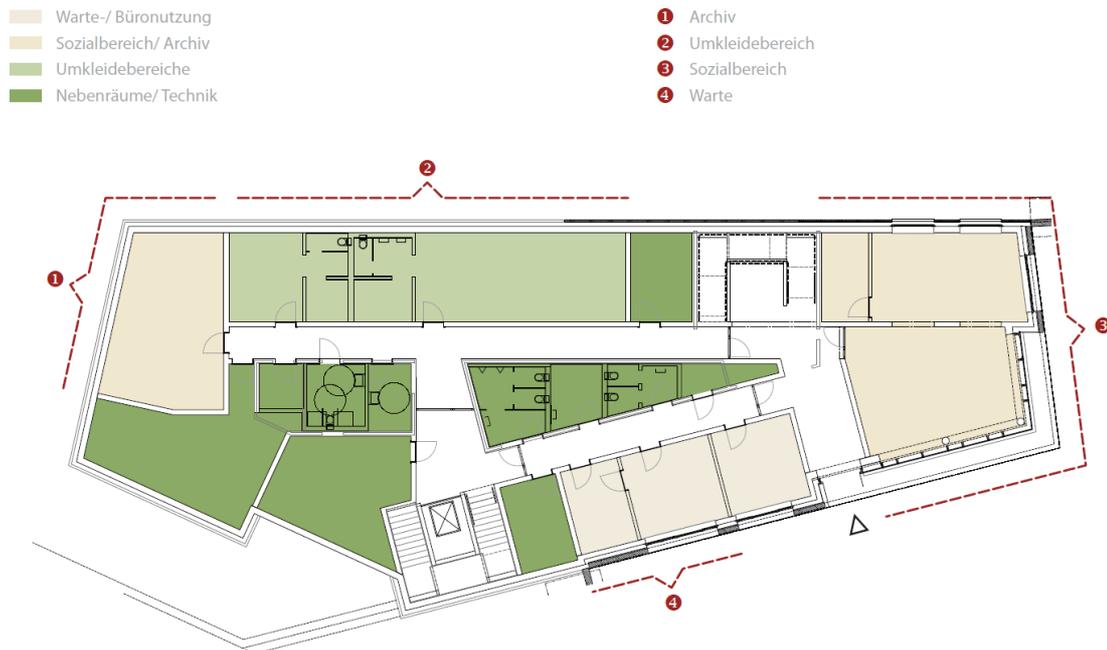


Abbildung 2-10 Sockelgeschoss – Betriebshofebene (IBUS Architekten)

Das Sockelgeschoss auf der Betriebshofebene nimmt in den unterirdischen Bereichen die Technikräume, das Archiv und die Umkleieräume auf. In den Bereichen, wo das Gebäude an den Betriebshof grenzt und entsprechend mit Tageslicht beleuchtet werden kann, befinden sich die Sozialräume (Kantine) und die Leitwarte. Hier ist auch der Gebäudezugang vom Betriebshof vorgesehen. Im Kern des Gesamtgebäudes befinden sich die Sanitärräume.



Abbildung 2-11 Südansicht Verwaltungsgebäude vom Betriebshof aus gesehen



Abbildung 2-12 Eingangsfassade (IBUS Architekten)



Abbildung 2-13 Westansicht vom Kreisverkehr aus gesehen



Abbildung 2-14 Ausschnitt Nordfassade

### 2.2.3 Werkstatt- und Lagergebäude

Das eingeschossige Werkstattgebäude (Haus B) wird vom Betriebshof erschlossen. Es ist in zwei größere Bereiche unterteilt. Der eine Teil beherbergt die Werkstätten für Schlosser und Elektro, einen Besprechungsraum, die Meisterbüros und die Büros für Messstellenbetrieb und eine Fahrzeugwaschhalle. Der zweite Teil umfasst das Zählerlager, das Kleinteilelager und die Lagerverwaltung.

Die Gebäudesohle besteht aus einer thermisch aktivierten Betonplatte, die auf einer Schaumglasschotterdämmung angeordnet ist. Die Oberfläche ist flügelgeglättet und mit einem Anstrich versehen. Die Außenwände haben auf der Nord-, Ost-, und Westseite einen massiven Sockel mit Klinkerverkleidung. Darüber wurde eine Konstruktion aus Brettsperrholzwänden mit Holzfaserdämmung und Eichenholzbekleidung ausgeführt. Zum Betriebshof hin wurde die Ausgabebzone etwas zurückgesetzt, um einen Witterungsschutz zu schaffen. Dieser Fassadenteil wurde mit Faserzementplatten verkleidet. Die Innenwände bestehen ebenfalls aus Brettsperrholz und sind tragend.

Die Dachkonstruktion bestehend aus Brettsperrholzelementen, hat in den Bereichen mit größeren Spannweiten eine Unterspannung aus Stahlseilen erhalten. Auf diese Weise konnten mit relativ dünnen Holzquerschnitten große Spannweiten erzielt werden. Das Dach nimmt auf den nördlich geneigten Flächen eine Gründach auf, auf den südlich geneigten Flächen wurde eine Photovoltaikanlage angeordnet.

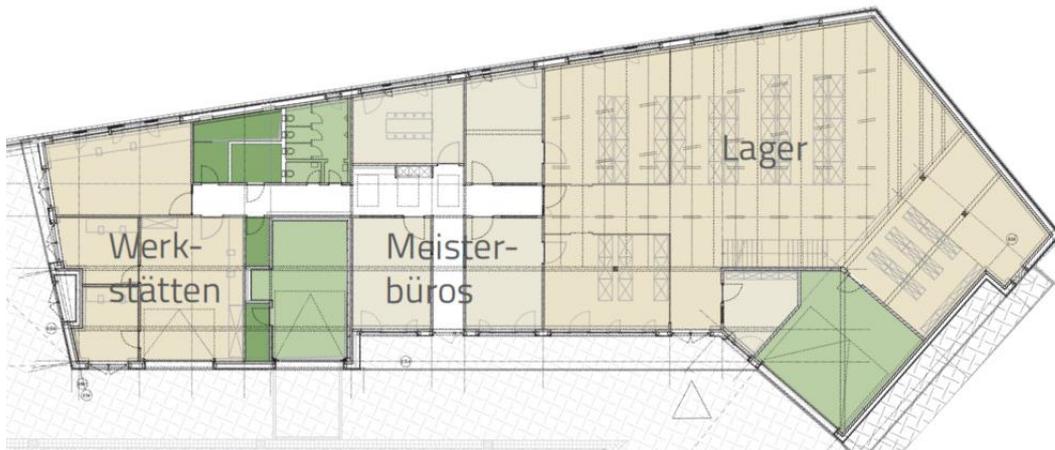


Abbildung 2-15 Grundriss Werkstatt- und Lagergebäude (Haus B)

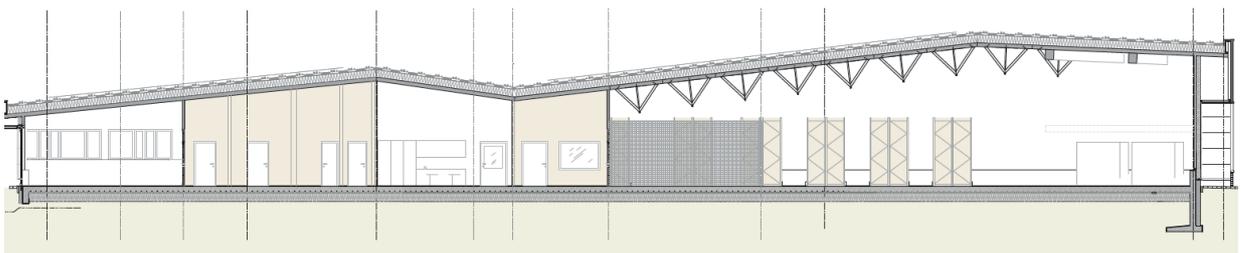
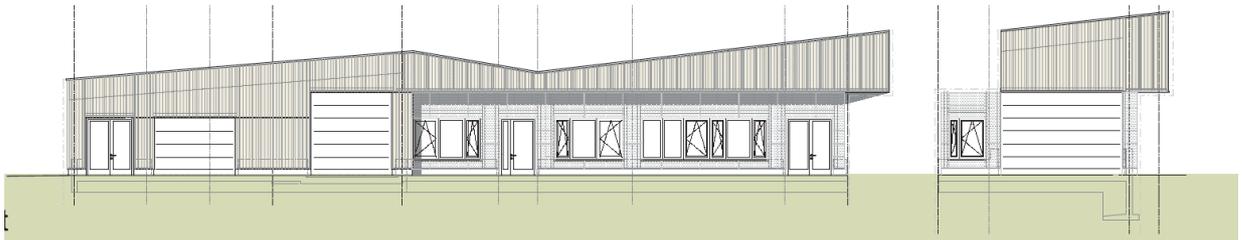


Abbildung 2-16 Ansichtszeichnung und Längsschnitt Haus B



**Abbildung 2-17** Südansicht Werkstatt- und Lagergebäude vom Betriebshof



**Abbildung 2-18** Nordansicht Werkstatt und Lagergebäude (von der Eutiner Straße aus gesehen)



© Oliver Kutry Photography

**Abbildung 2-19** Werkstattgebäude mit Waschhalle, Materialausgabe und Messtechnikhalle



**Abbildung 2-20** Zentraler Flur mit Teeküche im Werkstatt- und Lagergebäude



Abbildung 2-21 Lagerhalle – Detailaufnahme der unterspannten Holzdeckenkonstruktion

#### 2.2.4 Fahrzeughalle

Haus C dient als Fahrzeughalle. Ferner nimmt es das Notstromaggregat zur Sicherstellung der Netzversorgung auf und markiert die Zufahrt zum Betriebshof. Das Gebäude wird als Holzskelettkonstruktion mit unterspannter Brettsperrholzdecke ausgeführt.

Die tragenden Bauteile haben einen massiven Sockel erhalten, der auch als Anprallschutz für die Fahrzeuge dient. Die Fassaden wurden mit Eichenholz verkleidet. Die Ausführung der Verkleidung gewährleistet eine natürliche Belüftung der Fahrzeughalle.

Der Boden ist gepflastert, hier wird der Belag des Betriebshofs in das Gebäude geführt. So ließen sich aufwendige Abdichtungs- und Korrosionsschutzmaßnahmen vermeiden.

Die Dachkonstruktion besteht aus unterspannten Brettsperrholzelementen. Das gefaltete Dach nimmt auf den südlich ausgerichteten Flächen Photovoltaikmodule auf.

Das Gebäude ist nicht beheizt, allerdings muss die Garage für das Messtechnikfahrzeug frostfrei gehalten werden.

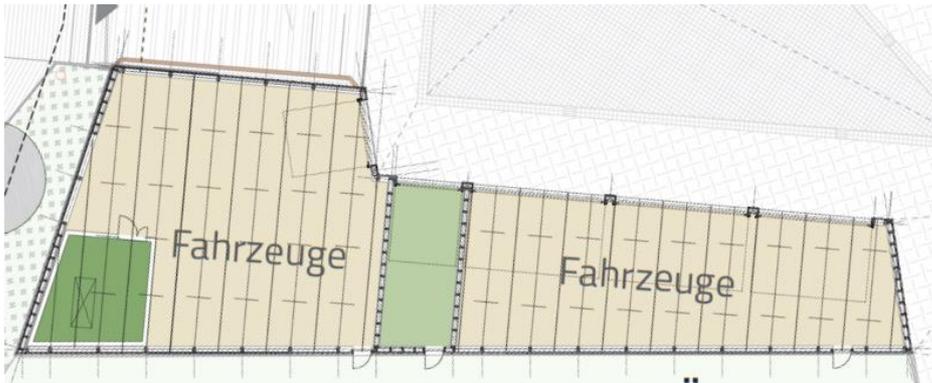


Abbildung 2-22 Grundriss Fahrzeughalle

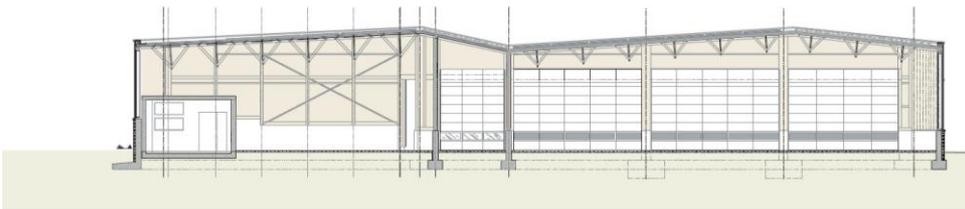
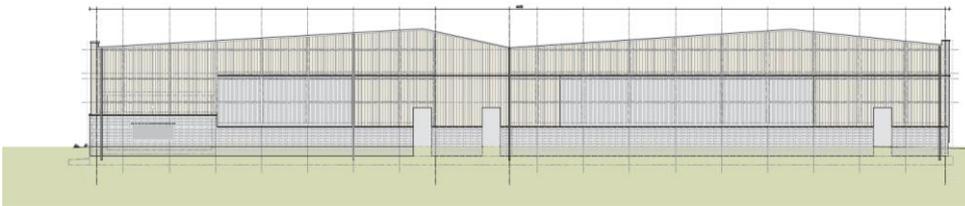
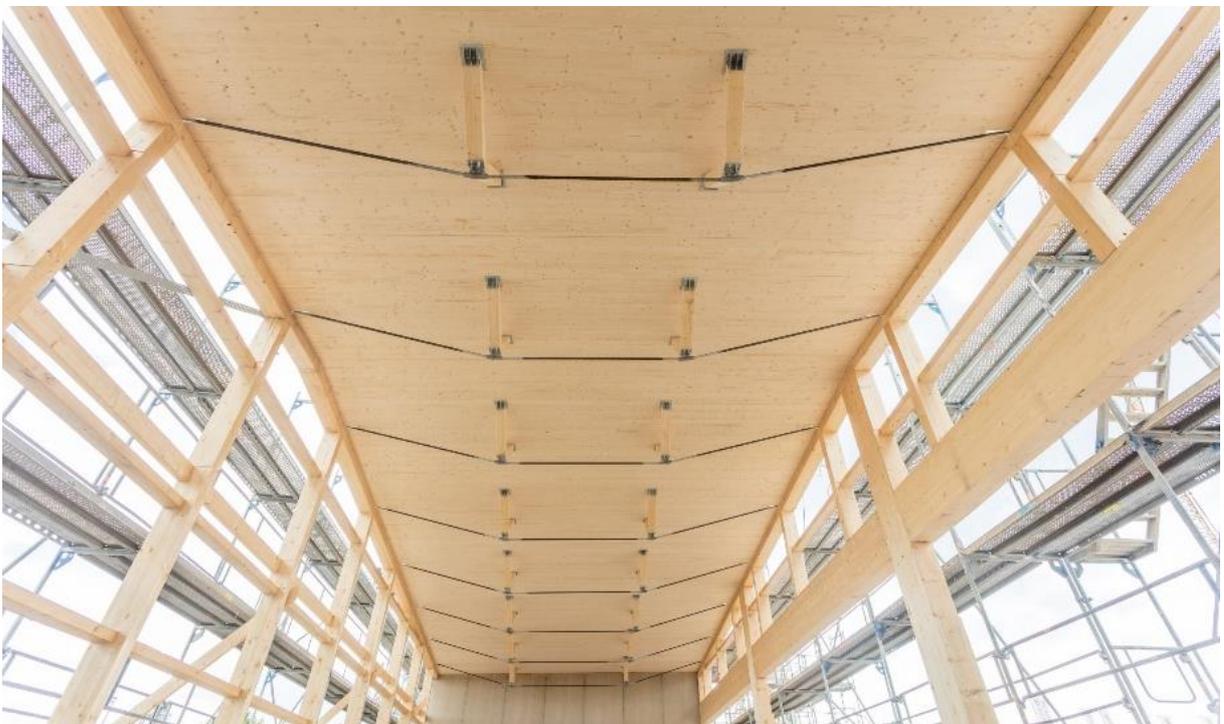


Abbildung 2-23 Fahrzeughalle: Ansichts- und Schnittzeichnung



**Abbildung 2-24** Innenansicht der Fahrzeughalle im Rohbau



**Abbildung 2-25** Holzkonstruktion der Fahrzeughalle mit Sicht auf die unterspannten Brettsperrholzelemente



Abbildung 2-26 Montage eines unterspannten Brettsperreholzelements



Abbildung 2-27 Die Fahrzeughalle an der Einfahrt zum Betriebshof



Abbildung 2-28 Ansicht der Fahrzeughalle vom Betriebshof aus gesehen.



Abbildung 2-29 Fahrzeughalle für Klein-LKW

## 2.3 Integrales Planungskonzept

### 2.3.1 Nachhaltigkeit

Es wurde ein umfassendes Nachhaltigkeitskonzept umgesetzt, das unter Berücksichtigung des Lebenszyklus, sowohl die Wirkungen aus der Herstellung des Gebäudes, aus dem Betrieb und dem Rückbau minimiert.

Im Vordergrund standen dabei einerseits die Wiederverwendung von gebrauchten Bauteilen, der Einsatz von Recyclingbaustoffen und der großflächige Einsatz von Baustoffen aus nachwachsenden Rohstoffen, andererseits der Energiebedarf (Nullenergiegebäude, CO<sub>2</sub>-neutral) und die Betrachtung Umweltindikatoren mit Hilfe von Lebenszyklusanalysen, sowie die Nutzungsqualität. Dazu wurde ein einfaches technisches Konzept bei optimiertem Aufenthaltskomfort umgesetzt. Die Nutzungsanforderungen, die Konstruktion, die Technischen Anlagen für Elektro, Heizung, Lüftung, sowie die Aufenthaltsqualität, die Gestaltung und die Materialwahl sind integrale Bestandteile eines Gesamtkonzeptes.

Die wesentlichen Maßnahmen für die verschiedenen Handlungsfelder sind:

- **Funktion**
  - Effiziente Nutzung der Flächen
  - Betriebsabläufe optimieren
  - Nutzungsflexibilität schaffen
- **Konstruktion**
  - Einsatz demontierbarer, recyclingfähiger Konstruktionen
  - Reduzierung des Materialeinsatzes
- **Baustoffe / Material**
  - weitgehender Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen
  - Wiederverwendung gebrauchter Bauteile
  - Einsatz von Recyclingbaustoffen
  - Vermeidung von Verbundbaustoffen
  - Abfallvermeidung
- **Wärmedämmstandard**
  - Orientierung am Passivhausstandard  
U- Werte Wand, Dach: 0,11 – 0,17 W/(m<sup>2</sup>K)
  - Fenster: U<sub>w</sub>=0,9 W/(m<sup>2</sup>K)
- **Low-Tec-Technikkonzept:**
  - Umweltwärme: Erdreich- Wärmepumpe reversibel
  - Mini BHKW für Warmwasser und Heizungsunterstützung
  - Hybride Lüftung, dezentrale Lüftungsanlagen mit WRG
  - Photovoltaikanlagen 99 kW

- LED- Leuchten, Tageslichtsteuerung
- Reversible Installationen
- **Komfort, Aufenthalts- und Nutzungsqualität**
  - Thermischer, akustischer und visuelle Behaglichkeit
  - Integration von thermisch wirksamen Gebäudemassen, Nachtauskühlung
  - Passive Kühlung (Erdreich)
  - Raumweise Regelung von Heizung, Kühlung
  - Außenliegender Sonnenschutz
  - Innenliegender Blendschutz
- **Lokales Umfeld, Gebäudeumfeld, Freianlagen**
  - Extensive Dachbegrünung
  - Regenwasserretention
  - Grauwassernutzung

Im Folgenden soll auf einige der vorgenannten Handlungsfelder genauer eingegangen werden.

### 2.3.2 Funktionale und technische Flexibilität

Die Gebäudestruktur gewährleistet, dass eine hohe Flexibilität hinsichtlich der Nutzung, der Materialwahl und der Integration der technischen Anforderungen gegeben ist.

Das Gebäude wurde in die „technische“ Kernzone, die Kommunikations- und Verkehrszone und die Bürozone gegliedert. In der Kernzone und der Verkehrszone werden die Leitungen geführt. Die Decken werden in diesen Zonen abgehängt. In den Büroräumen bleiben die Decken sichtbar, so dass die Speicherfähigkeit der Betonelemente zum Tragen kommt.

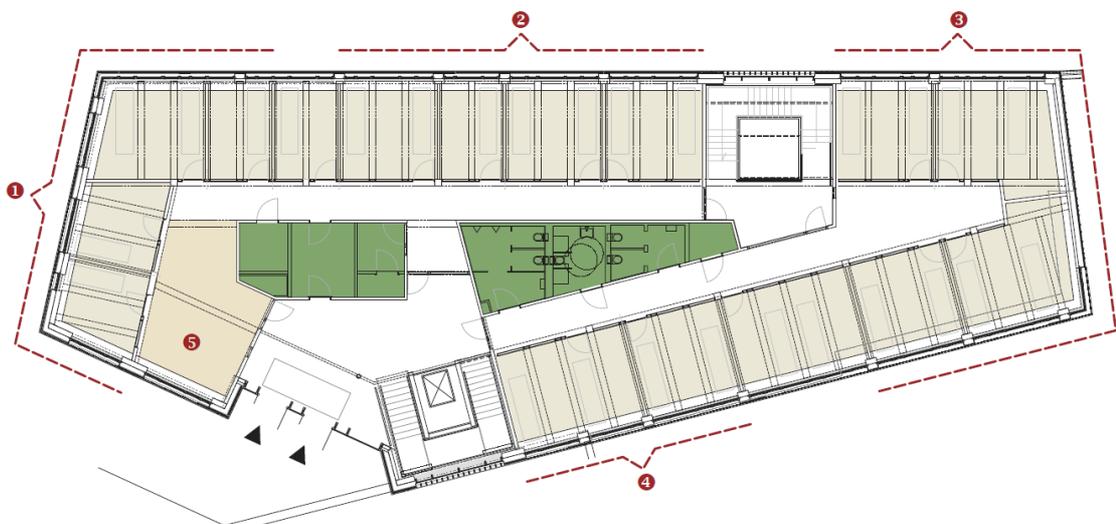


Abbildung 2-30 Grundriss Eingangsebene – Kernzone und Büroraumzone mit Zuordnung der Abteilungen

Obwohl der Baukörper auf einen polygonalen Grundriss aufgebaut ist, konnte durch die Anordnung des Versorgungskerns erreicht werden, dass die Büroräume auf einem relativ

einfachen, weitestgehend rechtwinkligen Raster aufgebaut sind. Das Achsraster beträgt 1,5 m, so dass ein Ein-Personen Büro bei 3 m Raumbreite und ca. 4,5 m Raumtiefe gut nutzbar und gem. ASR ausreichend groß ist. Das Zwei-Personen Büro hat eine Fläche von ca. 4,5 x 4,5 m. Die konsequente Umsetzung dieses Grundmoduls ermöglicht es, Raumgrößen durch Hinzu- oder Wegnahme einer Achse sich ändernden Anforderungen anzupassen. Diesem Grundsatz folgend, lassen sich die Bürotrennwände demontieren und umsetzen, ein Prinzip, das auch für die Wand zum Flur gilt.

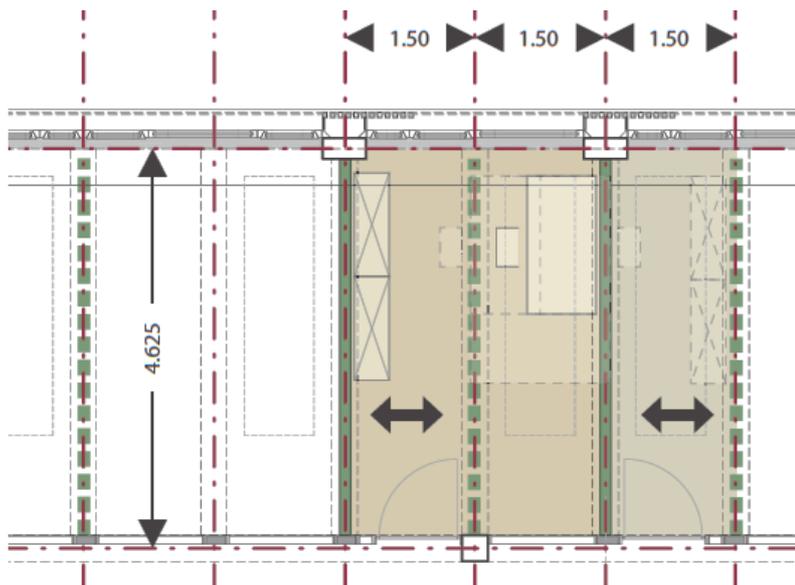


Abbildung 2-31 Grundrissausschnitt Büro - Ausbauraster

Es wurde die Primärstruktur festgelegt und das Gebäude wurde in Nutzungseinheiten unterteilt, die kleiner als 400 m<sup>2</sup> sind und jeweils über zwei bauliche Rettungswege verfügen.

Dies erlaubt es, innerhalb der Nutzungseinheiten nur geringe technische Anforderungen umsetzen zu müssen. So sind zum Beispiel keine baurechtlich notwendigen Flure mit entsprechenden Brandschutzanforderungen nötig. Es konnte damit ein Brandschutzkonzept umgesetzt werden, das größtmögliche Flexibilität erlaubt und „einfach“ ist.

Hinsichtlich der Einbindung der technischen Anlagen und des Material- und Bauteileinsatzes konnten demzufolge die Anforderungen an die einzelnen Bauteile gering gehalten werden.

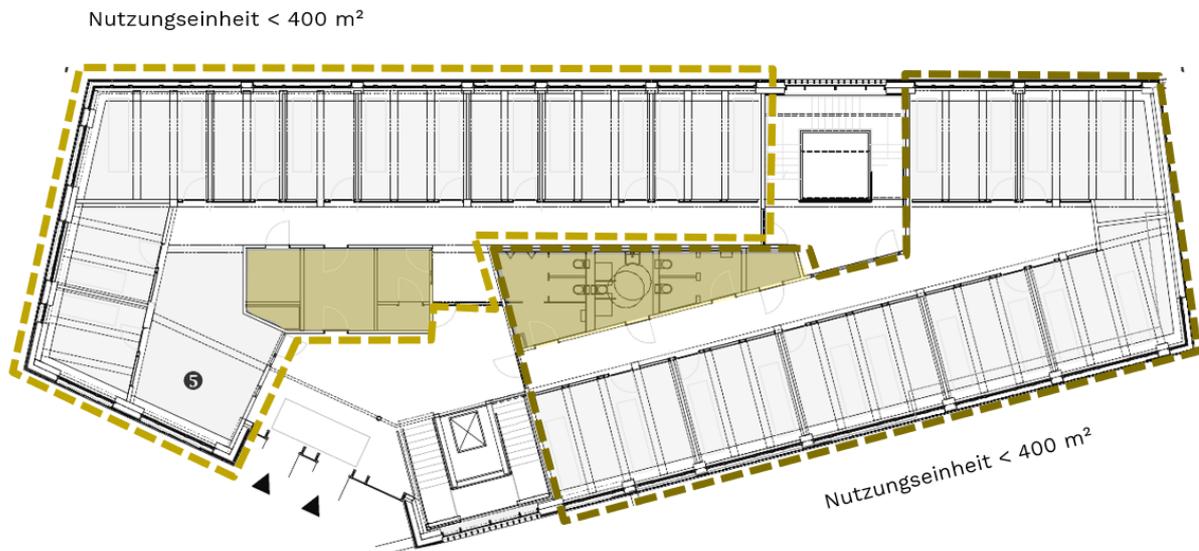


Abbildung 2-32 Grundrissstruktur mit Darstellung der 2 Nutzungseinheiten je Geschoss

### 2.3.3 Tragwerk und Bauweise (Haus A)

Der Standort des Gebäudes ist durch einen ca. 4 m hohen Geländeversatz gekennzeichnet. Aufgrund dieser topografischen Bedingungen und der Baugrundgegebenheiten musste das Gebäude mit einem massiven Sockel aus Stahlbeton hergestellt werden. Es wurde eine Flachgründung und eine Sohle aus WU-Stahlbeton ausgeführt. Die erdberührenden Außenwände wurden als „weiße Wanne“ mit Perimeterdämmung hergestellt.

Die durch Schichtenwasser und drückendes Wasser gekennzeichnete Baugrundsituation und die Anforderungen an die Innenräume (z.B. Archivraum) machten einen sicheren, wasser- und dampfdichten Aufbau der Außenwände erforderlich.

Die Sockelwände erhielten eine Kerndämmung mit einer Vormauerschale aus Klinker.

In den beiden Obergeschossen bilden modulare Holzkonstruktionen aus tragenden Brettschichtholzstützen und -trägern, sowie tragenden Massivholzwänden die Konstruktion der Außenwände. Als Wärmedämmung wurde Holzfaserdämmstoff mit einer Dampfbremse innenseitig und einer Fassadenbahn außenseitig vorgesehen.

Die Fassadenbekleidung besteht aus einer hinterlüfteten Holzverschalung auf einer Unterkonstruktion aus Holzlatten. Die Holzbekleidung setzt sich aus Holzprofilen unterschiedlicher Querschnitte zusammen.



**Abbildung 2-33 Rohbau des Verwaltungsgebäudes – Montage des BSP Deckenelemente**



**Abbildung 2-34 Rohbau des Verwaltungsgebäudes**

Die Konstruktion ist eine Mischkonstruktion aus Holzskelett- und Holztafelbauweise. Im Bereich der Büroräume wurde eine Holz- Beton-Verbunddecke vorgesehen, die von unten sichtbar ausgeführt wurde. Die Holz-Beton-Verbunddecke besteht aus Brettschichtholzträgern, die im Achsraster von 1,5 m senkrecht zur Fassade angeordnet sind. Auf diese Holzträger wurden Betonfertigteile aufgelegt und mittels Schraubverbindungen zu einem Tragsystem verbunden. Die Wände und Decken des Gebäudekerns wurden aus Brettsperrelementen hergestellt.

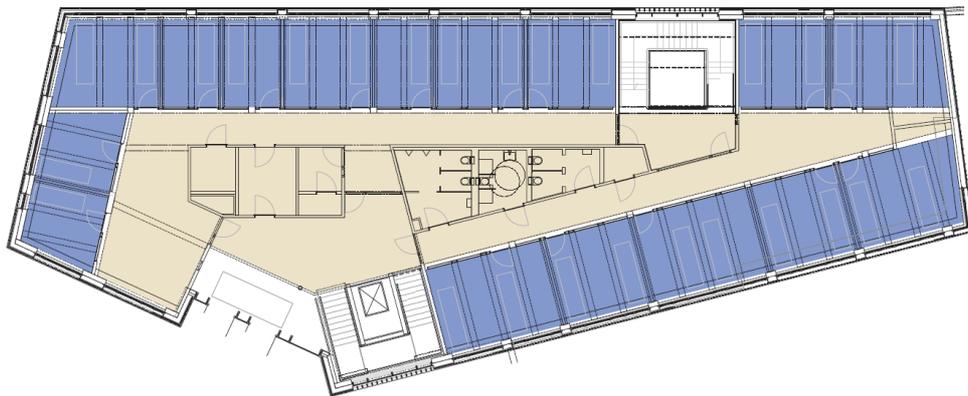
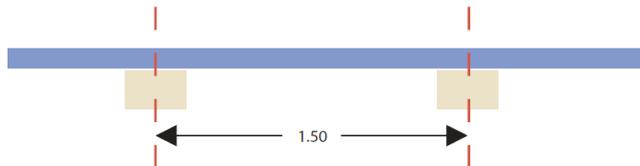


Abbildung 2-35 Übersicht Deckenkonstruktionen –Kernbereich BSP-Flachdecke, Bürobereich HBV-Konstruktionen

Brettsperreholzdecke, d = 12 cm



Holz-Beton-Verbunddecke, GL 24h  
b/ h = 30/ 20 cm, e = 150 cm



Betonfertigteileplatte, d = 10 cm

Abbildung 2-36 Deckenkonstruktionen schematisch



**Abbildung 2-37** Zwei Konstruktionsweisen - links die Holz-Beton-Verbundkonstruktion, rechts die BSP-Konstruktion



**Abbildung 2-38** Brettsperreholzwände Gebäudekern



**Abbildung 2-39** Gebäudekern – Montage eines BSP-Deckenelements



**Abbildung 2-40** Fassadentragwerk – Stützen mit tragender Brüstung aus BSP und den Auflagern der HBV-Decke

### 2.3.4 Demontierbarkeit und Recyclingfähigkeit

Der schadensfreie Ausbau von Bauteilen und die sortenreine Trennung der Baustoffe sorgen bei der Demontage des Gebäudes für eine Reduzierung der Abfälle und einen hohen Grad der Wiederverwendung bzw. Verwertung. Um dieses zu gewährleisten, wurden nach Möglichkeit leicht demontierbare Holzkonstruktionen gewählt. Im Bereich der Büroräume in Haus A wurden, um mehr thermische Masse zu generieren, Holz-Beton-Verbunddecken eingeplant, die aus Fertigbetonteilen bestehen, die kraftschlüssig mit den Holzbalken verschraubt werden. So entsteht eine effiziente Decke mit geringem Materialaufwand, die hohen Anforderungen an Schallschutz und thermischen Qualitäten gerecht wird und sortenrein trennbar zurückgebaut werden kann.



Abbildung 2-41 HBV- Deckenkonstruktion – Betonfertigteile auf dem Fußboden, oben noch ohne Betonelemente



**Abbildung 2-42** Hauptträger mit Regelaussparungen für die technischen Installationen



**Abbildung 2-43** Auflagerbereich für die Betonfertigteile der HBV-Konstruktion



**Abbildung 2-44** Verbindungsmittel zur kraftschlüssigen Verschraubung des Betonfertigteils (Quelle Fa. Würth)



**Abbildung 2-45** Aufsicht auf das Betonfertigteil mit den Verbindungspunkten der Schraubverbindung



**Abbildung 2-46** Aufsicht auf ein BSP-Dachelement und dessen Verschraubung auf den Unterzügen

### 2.3.5 Materialkonzept – Ressourceneffizienz

Von der Herstellung bis zur Entsorgung sowie für die Wartung und Instandhaltung (Nutzung) sollte für den Neubau der Gebäude der Stadtwerke Neustadt ein möglichst geringer Energieeinsatz (Graue Energie) notwendig werden. Die Masse der eingesetzten Materialien hat einen wesentlichen Einfluss auf die benötigte graue Energie. Somit kommt dem Rohbau aufgrund der mit der Konstruktion verbundenen großen Masse eine zentrale Bedeutung zu. Entsprechend ist in einer sehr frühen Planungsphase die Entscheidung über die Bauweise (des Rohbaus) zu treffen.

Da es technisch keine Alternative zur Ausführung des Untergeschosses in Stahlbeton gab, wurde untersucht, inwieweit die Obergeschosse als Holzbau oder als Massivbau hergestellt werden sollen. Bei der Betrachtung des Primärenergieinhaltes und des GWP der Rohbaukonstruktion zeigte sich erwartungsgemäß ein erheblicher Vorteil bei der Holzkonstruktion. Da neben diesen beiden Kriterien auch die Speicherfähigkeit und damit der sommerliche Wärmeschutz in die Betrachtung einbezogen wurden, fiel die Entscheidung auf eine Mischkonstruktion, die alle Vorteile miteinander vereint.<sup>1</sup>

Das Tragwerk besteht aus Holzstützen, tragenden Holzinneiwänden, tragenden Holzaußenwänden und Decken aus Massivholz (Kernbereich des Hauses) und Holz- Beton- Verbunddecken in den Bürobereichen. So wurden maximal mögliche Teile der Konstruktion aus Holz ausgeführt, in den Nutzungsbereichen der Büros aber dennoch thermische Masse zur Verfügung gestellt.

In den Ausbaugewerken wurde der Einsatz von wiederverwendbaren Bauteilen untersucht. (Siehe Kapitel 3)

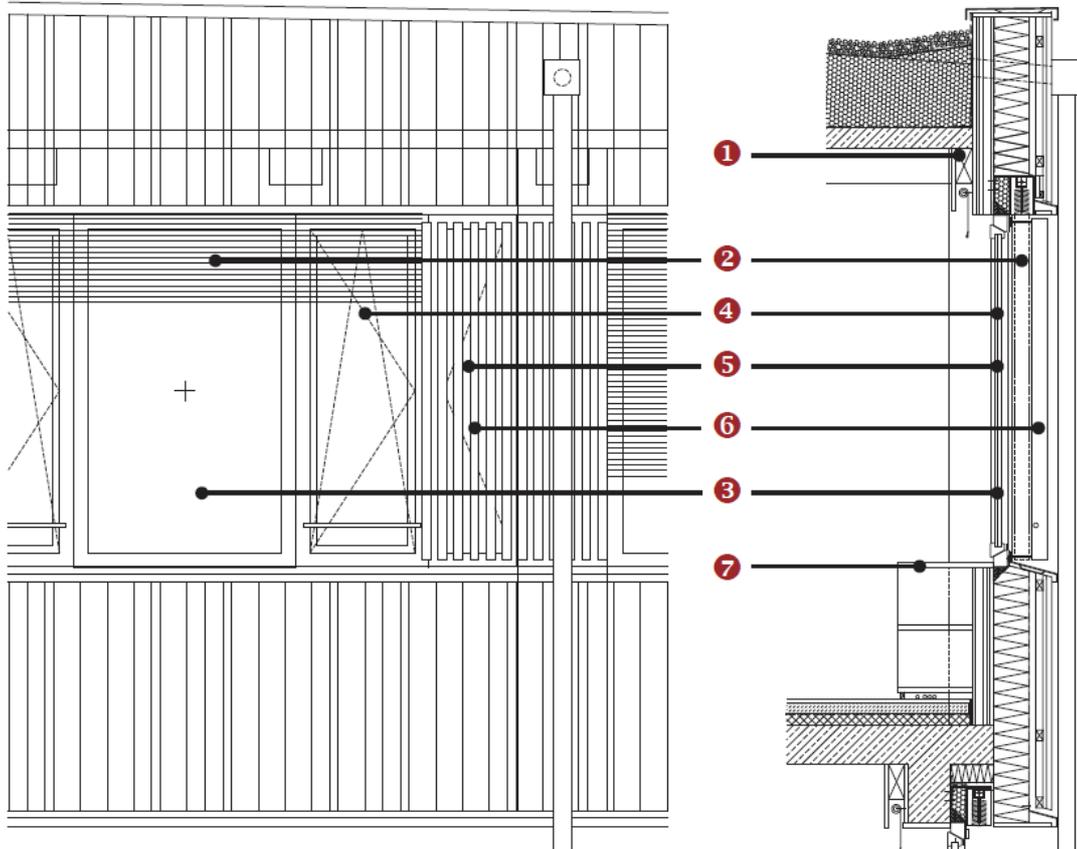
### 2.3.6 Nutzungskomfort / Behaglichkeit, Sonnen- und Blendschutz

Ziel der Planung war es, möglichst optimale Aufenthalts- und Nutzungsbedingungen zu gewährleisten. Neben der Materialwahl und Maßnahmen zur Verbesserung der Raumakustik kommt dem sommerlichen Wärmeschutz, dem Blendschutz und der Lüftung eine besondere Bedeutung zu. Entsprechend wurde ein wesentliches Augenmerk auf die Ausbildung der Fassade, und hier der Fenster gelegt.

Jeder Raum erhält Fenster mit festverglasten Teilen, manuell öffnbaren Fensterflügeln und einem manuell öffnbaren Lüftungsflügel (mit geschlossenem Panel und Lüftungsgitter) für die Nachtlüftung und zum Stoßlüften während der Nutzungszeit. Der außenliegende Sonnenschutz wird als elektrisch fahrbarer Stoffsonnenschutz ausgeführt. Innenliegend erhält jedes Fenster einen Blendschutz. Die Regelung der Anlagen erfolgt raumweise.

---

<sup>1</sup> Siehe hierzu : Abschlußbericht Phase 1



Holzrahmen-Fensterelemente mit äußerer Aluminium Deckschale, pulverbeschichtet.

- (1) Innenliegender Blendschutz, manuell
- (2) Außenliegender Sonnenschutz Außenraffstore, motorisch
- (3) Festverglasung, Element B/ H 125/ 201 cm
- (4) Dreh-/Kippflügel, Element B/ H 75/ 201 cm mit Edelstahlbügel als Absturzsicherung außen vor dem Flügel
- (5) Lüftungsflügel motorisch, Element B/ H 50/ 201 cm
- (6) Feststehendes senkrecht Holzlamellen-Gatter als Sicht- und Einbruchschutz
- (7) Fest verbautes Fensterbankregal, durchlaufend unterseitig mit Installationsebene

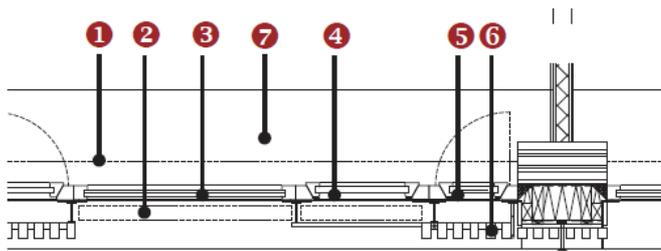


Abbildung 2-47 Fassaden- / Fensterdetail

Die Fassadenbekleidung besteht aus einer hinterlüfteten Holzverschalung in unterschiedlichen Breiten und Stärken. Verwendet wurden dafür alte Eichenholzbalken, die entsprechend zugesägt, sägerauh und unbehandelt eingebaut wurden.

Die Fenster sind Holzfenster mit einer 3-fach-Verglasung und einer äußeren Aluminiumdeckschale.

Die Lüftungsflügel befinden sich geschützt hinter einem vertikalen Holzgatter.



Abbildung 2-48 Ausschnitt Fassadenansicht



Abbildung 2-49 Büroraum – Innenansicht mit Blendschutz

### 2.3.7 Integration Technik und Konstruktion

Das anlagentechnische Konzept und das architektonische Konzept korrespondieren eng miteinander, mit dem Ziel, eine höchstmögliche Energieeffizienz und Innenraumqualität zu schaffen.

Das Gebäude hat einen sehr guten Wärmeschutzstandard, der sich am Passivhausstandard orientiert. Es verfügt über eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung. Die Konstruktion ist wärmebrückenfrei und es wurde eine gute Luftdichtheit realisiert, so dass sowohl die Transmissionswärmeverluste, wie auch die Lüftungswärmeverluste minimiert werden konnten.

Zur Wärmeversorgung wird eine Sole-Wasser Wärmepumpe eingesetzt, die die Erdwärme mittels Erdsonden nutzt. Unterstützt wird die Wärmeerzeugung durch ein Mini-BHKW, das zur Warmwasserbereitung und zur Heizungsunterstützung herangezogen wird.

Effiziente technische Anlagen, der Einsatz von LED-sorgen für einen geringen Strombedarf.

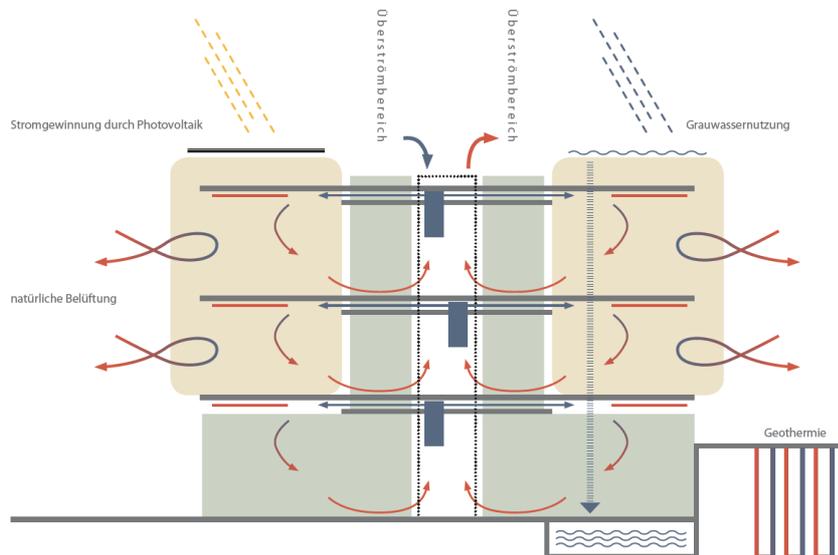


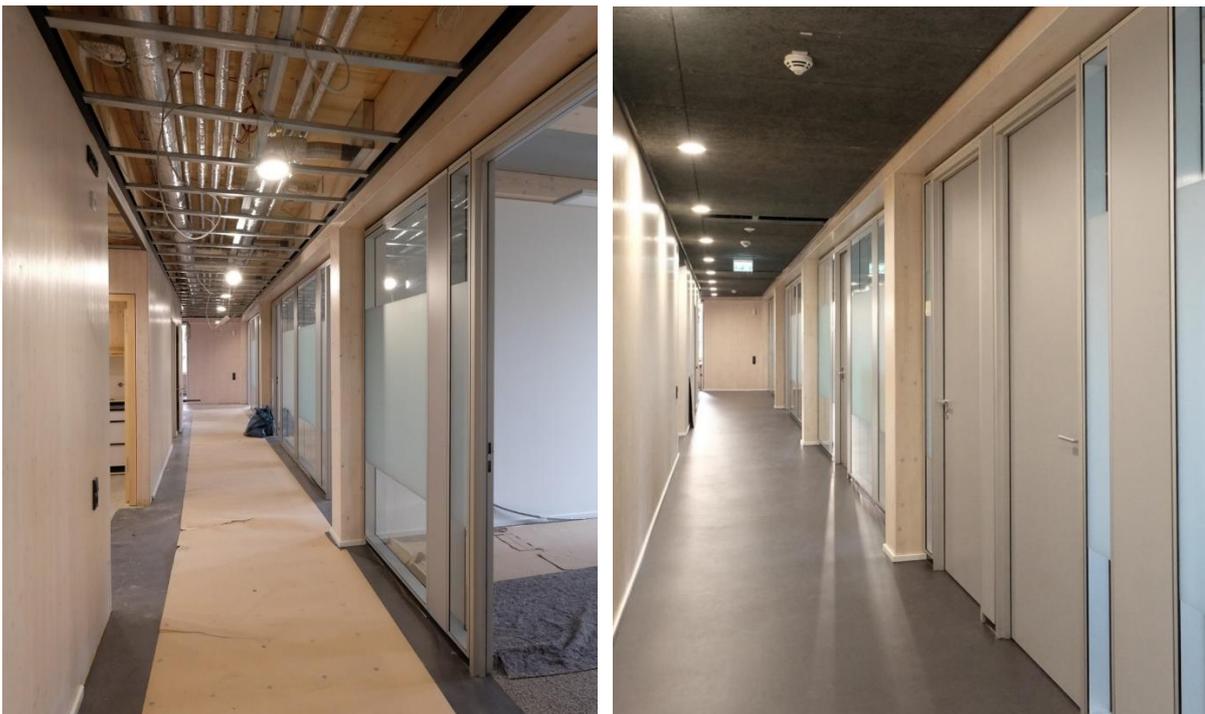
Abbildung 2-50 schematischer Querschnitt des Gebäudes (Haus A) (IBUS Architekten)

Die Konzeption der technischen Anlagen wurde mit der Gebäudeplanung detailliert abgestimmt. Im Kernbereich, dort wo die BSP-Decken als Flachdecken ausgeführt sind, werden die Leitungen geführt. Die technischen Anlagen werden entsprechend der Nutzungsbereiche aufgebaut, so dass aufwendige Durchdringungen weitgehend vermieden werden.



**Abbildung 2-51** Integration von Nutzungsstruktur, Tragwerk und technischen Anlagen

Die Installationen werden reversibel ausgeführt, so dass die Wartung oder der Austausch von Komponenten zerstörungsfrei erfolgen kann.



**Abbildung 2-52** Installationsführung unter der Flurdecke

Das Gebäude erhält insgesamt fünf Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung (zwei für EG und OG und eine im KG). Das Lüftungskonzept sieht die Büroräume als Zuluftzone vor, Verkehrs- und Kommunikationsbereich bilden die Überstromzone. Die Abluft wird aus den Kernzonen (Sanitärräumen) entnommen. Die Zuluftmengen werden gering gehalten. Alle Räume sind über Fenster natürlich zu lüften. Die Büroräume erhalten Deckensegel zur Beheizung, der Eingangsbereich wird über eine Fußbodenheizung beheizt und die Sozial- und Sanitärräume über Heizkörper.

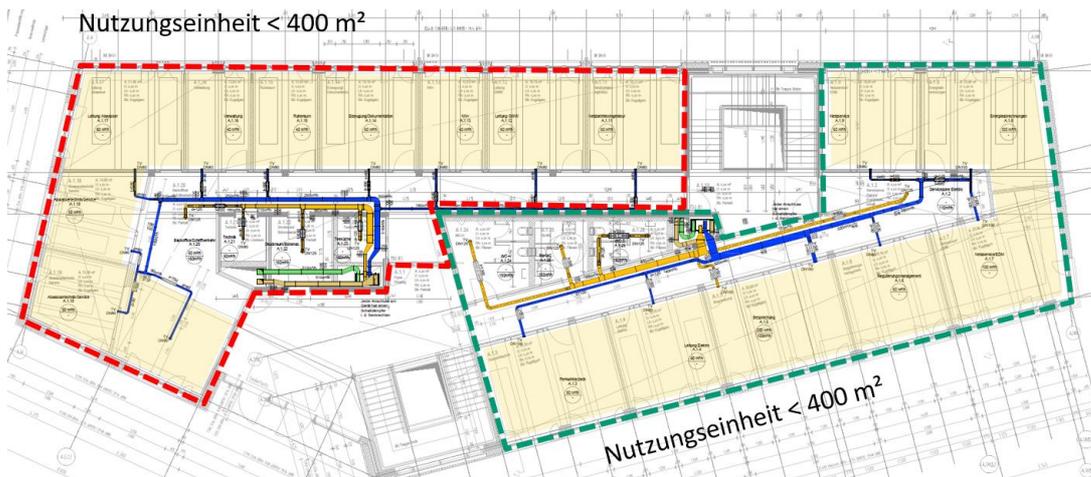


Abbildung 2-53 Lüftungsinstallationen – exemplarisch für das Erdgeschoss

Die Deckensegel können reversibel zur unterstützenden Kühlung eingesetzt werden, indem im Sommer über die Erdsonden passiv gekühlt wird.

Sowohl die Anbindung der Heizkörper (Deckenstrahlplatten), wie auch die Zuluft wird von der Flurzone aus in die Büroräume geführt. In den Büroräumen bleibt so die Deckenkonstruktion sichtbar.

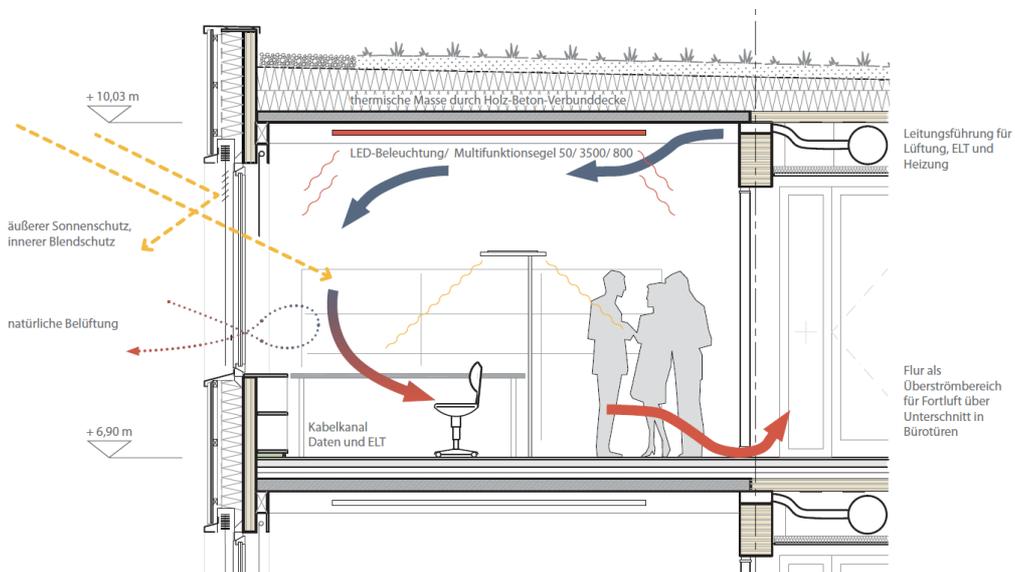


Abbildung 2-54 Schematischer Schnitt durch eine Büroeinheit (IBUS Architekten)



Abbildung 2-55 Innenansicht einer Büroeinheit

### 2.3.8 Gebäudeumfeld, Regenwassernutzung / - rückhaltung

Das Oberflächenwasser der befestigten Flächen wird über Rinnen und Abläufe einem unterirdischen Rückhaltesystem aus Regenwasserroher mit einem Durchmesser von 70 cm zugeführt. Die Ableitung erfolgt mit einer Durchlaufbegrenzung mit erheblicher Verzögerung über die notwendigen Filter etc. im Kanalsystem. Der Abfluss des Dachflächenwassers wird durch Bekiesung und Begrünung verzögert abgeleitet, eine weitere Verzögerung und Verdunstung des Dachregenwassers erfolgt hiernach in den Außenanlagen.

Parallel zur Eutiner Straße wird das Dachwasser in offene Schilfgras-Mulden geleitet und erst am Ablauf erfolgt die Einbindung des Restwassers in den Kanal zum Regenwassersiel. Teile des Regenwassers werden als Grauwasser genutzt.



Abbildung 2-56 Lageplan mit Kennzeichnung der Maßnahmen

Der sogenannte „Knick“ (geschützte landschaftstypische Wallhecke) wurde bis auf einen kleinen Durchbruch erhalten. Die Grünflächen wurden als Bienenwiese angelegt.



Abbildung 2-57 Blühende „Bienenwiese“



**Abbildung 2-58** Regenwassersammler mit Staustufen zur Wasserrückhaltung

### 2.3.9 Grauwassernutzung

Von dem im Außenbereich vorgesehenen Regenwasserreservat werden WCs, Urinale und die Grünflächenbewässerung mit Wasser versorgt. Es wird ausschließlich das Niederschlagswasser der Dachflächen genutzt. Die erste Filtration des Regenwassers erfolgt vor dem Einlauf in das Reservat bzw. direkt im Reservat. Eine zweite Filtration erfolgt in der Druckleitung im Hausanschlussraum. Über eine Nachspeiseeinrichtung wird bei zu niedrigem Wasserstand das Reservat mit Trinkwasser aufgefüllt.

## 3 Recyclingpotenziale und wiederverwendbare Baustoffe in den Ausbaugewerken

Ingo Lütkemeyer, Mathias Salbeck – IBUS Architektengesellschaft mbH

### 3.1 Planungsprozess

Die Absicht, wiederverwendbare Bauteile in ein Gebäude zu integrieren, stellt besondere Anforderungen an die am Planungsprozess Beteiligten. In den fortlaufend voranschreitenden Prozess müssen zahlreiche Fachdisziplinen integriert werden. Deren Kommunikation untereinander muss gewährleistet sein, schließlich ist es notwendig, fortlaufend und schrittweise aktuelle Festlegungen umzusetzen.

Mit zunehmender Größe und Komplexität einer Planungsaufgabe sinkt die Möglichkeit Planungsvarianten zu integrieren oder Entscheidungen offen zu halten, da Festlegungen bezüglich des Planungsrahmens für die Fachplanungen wie die Tragwerksplanung und die Gebäudetechnik getroffen werden müssen. Änderungen werden mit fortschreitender Planung aufwändiger und erzeugen erheblichen Mehraufwand bei allen Beteiligten.

Planung ist verbindlich, da bauordnungs- und planungsrechtliche Festlegungen getroffen werden müssen und bautechnische Nachweise (Statik / Prüfstatik, Brandschutznachweis, Schallschutznachweis u.a.) zu einem Zeitpunkt vorgelegt werden müssen, zu dem noch längst keine Ausführungsplanung vorliegt, oder gar Baufirmen auf der Baustelle sind.

Grundsätzlich sind Planungsentscheidungen kosten- und terminrelevant, wobei die Auswirkungen erheblich sein können, wenn der Zeitpunkt einer Anpassung oder Änderung zu spät erfolgt. Die Spielräume hängen dabei stark von der Gebäudeklasse und der Nutzung ab. Grundsätzlich muss dementsprechend angestrebt werden, Einsatzbereiche für Wiederverwendbare Bauteile zu definieren, wo es möglichst wenig Auswirkungen auf den Bauprozess zu erwarten sind.

Die Planungsphase in der die wesentlichen Planungsentscheidungen getroffen werden ist die Entwurfsplanung. Bei öffentlichen Bauvorhaben wird diese mit der Entwurfsunterlage (EW-Bau, HU-Bau) abgeschlossen. Alle entwerflichen, qualitativen (Material), quantitativen (Kosten und Flächen), konstruktiven und technischen Belange werden dort festgeschrieben, vom Auftraggeber (in der Regel die Finanzbehörde) geprüft und für die weitere Planung und Ausführung freigegeben. Änderungen und Abweichungen von der Entwurfsunterlage müssen begründet und in ihren Auswirkungen (technisch, finanziell, terminlich) dargelegt werden.

Mit der auf die Entwurfsplanung folgenden Phase der Genehmigungsplanung werden die Bauantragsunterlagen und die bautechnischen Nachweise zur behördlichen Genehmigung

eingereicht. Abweichungen hiervon begründen dann eine erneute Antragstellung und Genehmigung.

Mit der anschließenden Ausführungsplanung werden die Festlegungen in eine ausführungsreife Form gebracht, in dem die Planungsinhalte detailliert durchgearbeitet und konkretisiert werden. Planungsänderungen in dieser Phase führen gegebenenfalls zu Änderungserfordernissen in den vorangegangenen Leistungsphasen mit den oben beschriebenen Auswirkungen.

Dies bedeutet, dass der Spielraum für Anpassungen in dieser Planungsphase kleiner wird und möglichst planerische Freiräume geschaffen werden müssen, um wiederverwendbare Bauteile überhaupt einsetzen zu können.

Auf Grundlage der Leistungsbeschreibungen erfolgt die Vergabe der Bauleistungen. Sie bilden die Grundlage für den Bauleistungsvertrag. Leistungen aufgrund von Änderungen, die nach Vertragsschluss getroffen werden sollen, sind in der Regel deutlich teurer als Leistungen, deren Preis in einem wettbewerblichen Verfahren ermittelt wurden.

Die Vergabe von Bauleistungen der öffentlichen Hand ist an das Vergaberecht auf EU- Bundes- und Landesebene gebunden. Die vergaberechtlichen Vorgaben müssen zwingend eingehalten werden, wobei dies der Prüfung durch entsprechende Instanzen (Rechnungshöfe) unterliegt. Ab bestimmten Wertgrenzen muss die Ausschreibung europaweit, oder wenigstens öffentlich (für alle Bieter offen) erfolgen. Das bedeutet, dass keine Vorauswahl infrage kommender Bieter stattfindet. Die Ausschreibung muss diskriminierungsfrei sein, also für alle möglichen Bieter die gleichen Bedingungen bieten. Sämtliche Bauleistungen sind produktneutral auszuschreiben, eine Verhandlung mit Bietern findet nicht statt.

Es müssen also Wege gefunden werden, wie bestimmte Produkte unter Einhaltung der wettbewerbliche / vergaberechtlichen Bedingungen zum Einsatz gebracht werden können.

Mit dem Fortschreiten des Planungsprozesses nehmen die Handlungsspielräume für Planungsanpassungen erheblich ab. Nach Vergabe der Bauleistungen ist kein Spielraum mehr vorhanden.

### **3.2 Materialbeschaffung**

Aus den vorgenannten Bedingungen des Planungs- und Bauprozesses ergeben sich verschiedene Handlungsansätze, die es ermöglichen, flexibel mit unterschiedlichen Material-

oder Bauteiloptionen umgehen zu können. Für den Planungsprozess wurde das bereits oben und im Bericht der 1. Projektphase erläutert<sup>2</sup>.

Während für den Einsatz von Recyclingprodukten und Baustoffen aus nachwachsenden Rohstoffen ein Markt vorhanden ist und geregelte bzw. zugelassene Produkte zur Verfügung stehen, bedarf der Umgang mit wiederzuverwendenden Bauteilen einer genaueren Betrachtung.

- Materialbeschaffung und -lagerung

Im laufenden Planungs- und Bauprozess ist es normalerweise nicht möglich, kurzfristig auf verfügbare Bauteile zu reagieren. Während bei einem kleinen Projekt z.B. eine historische Tür oder ein anderes Bauteil, das spontan entdeckt wird, integriert werden kann, ist dies bei größeren, zumal öffentlichen Bauvorhaben nicht umsetzbar. Es müssen also rechtzeitig Materialien und Bauteile, die zum Einsatz kommen sollen, gefunden und gesichert werden, damit die Planung rechtzeitig auf diese Materialien angepasst werden kann. Dazu ist es einerseits nötig, gezielt nach Bauteilen zu suchen, die geeignet sein können und in ausreichender Menge und Qualität verfügbar sind. Andererseits muss die Beschaffung und die Lagerung für einen späteren Einbau organisiert werden.

Die Beschaffung muss innerhalb der vergaberechtlichen Vorgaben erfolgen. Ein denkbarer Weg könnte es sein, idealerweise unterhalb entsprechender Wertgrenzen, die Bauteile einzukaufen, zu lagern und als bauseitig bereitgestellte Stoffe vorzuhalten.

- Materialeignung

Für gebrauchte Bauteile gibt es in der Regel keine Zulassung hinsichtlich spezifischer technischer Eigenschaften mehr. Das bedeutet, dass nur Einsatzbereiche möglichst ohne oder mit geringen technischen Anforderungen dafür in Frage kommen.

Die Gebrauchstauglichkeit muss dennoch gewährleistet werden. Ferner muss sichergestellt werden, dass die Bauteile schadstofffrei sind. Die Nachweisführung kann hier sehr schwierig oder aufwändig sein.

- Gewährleistung

In diesem Zusammenhang ergibt sich eine besondere Problemstellung hinsichtlich der Gewährleistung für Planer und Ausführende. So tritt z.B. der Handwerker auch in die Haftung bezüglich der bauseits bereitgestellten Produkte ein, da er für seine Gesamtleistung die

---

<sup>2</sup> Abschlussbericht erste Phase

Gewähr übernehmen muss. Dieses Risiko wird mit entsprechenden Aufschlägen in der Kalkulation bewertet werden.

- Konsequenzen

Planung muss so flexibel wie möglich sein und auf die spezifischen Belange des Einsatzes gebrauchter Bauteile ausgerichtet werden. Dabei sollten wiederverwendbare Bauteile dort eingesetzt werden, wo es keine oder geringe technische Anforderungen gibt. Entsprechende Einsatzbereiche müssen planerisch vorgesehen werden

### 3.3 Materialkonzept

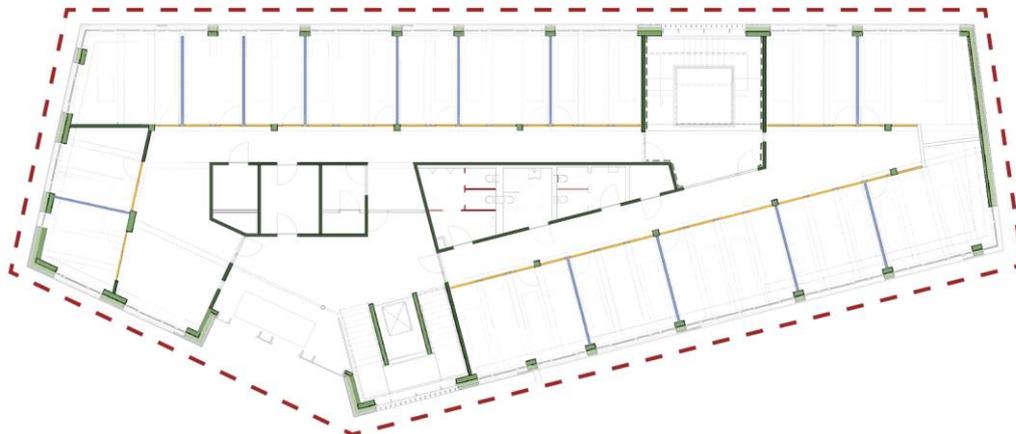
Um unter den beschriebenen Bedingungen das Potenzial für einen möglichst ressourcenschonenden Umgang mit Baustoffen zu erkunden, wurden unter Berücksichtigung der technischen, gestalterischen und organisatorischen Bedingungen die Bauteile definiert, für die gezielt nach „Ersatz“ gesucht werden sollte.

Es wurde ein Materialkonzept entwickelt, das den architektonischen Rahmen und die gestalterischen Absichten abbildet und mögliche Einsatzbereiche für wiederverwendbare Bauteile und Recyclingbaustoffe aufzeigt. Mit dem Ziel, den Primärenergieeinsatz bei der Herstellung des Gebäudes und das Abfallaufkommen zu reduzieren, wurden alle Bauteile unter folgenden Aspekten betrachtet:

- Ist es möglich, vorhandene, gebrauchte Bauteile anstelle von Neubauteilen einzusetzen (Wiederverwendung von Bauteilen)?
- Können Baustoffe aus alten Materialien genutzt und eingesetzt werden (Wiederverwendung von Baustoffen)?
- Können konventionelle Produkte durch marktverfügbare (zugelassene) Recyclingprodukte ersetzt werden (Recyclingbaustoffe)?
- Können Baustoffe aus nachwachsenden Rohstoffen eingesetzt werden?

#### 3.3.1 Bauteilübersicht

Die nachstehende Abbildung zeigt eine Übersicht der Bauteile, für die Möglichkeiten eines Ressourcen schonenden Materialeinsatzes gefunden wurden. Dabei ist zu erkennen, dass für nahezu alle Bauteile Materialien gemäß den oben genannten Kriterien eingesetzt werden konnten.



- |||| Außenfassade
- tragende Massivholzwände
- Bürotrennwände
- Büroelementwände
- WC-Trennwände

**Abbildung 3-1 Übersicht über die Einsatzbereiche von gebrauchten Bauteilen und Recyclingbaustoffen**

#### Gründung:

Aufgrund der Grundwassersituation konnte jedoch nur unter Haus B eine Wärmedämmung aus Schaumglasschotter umgesetzt werden.

#### Außenwände:

Aus technischen Gründen mussten einige Bereiche der Außenwand in Stahlbeton ausgeführt werden. Für die übrigen Flächen konnten Baustoffe gem. der vorstehenden Kriterien eingesetzt werden. Dies waren:

- Tragende Bauteile: Holz – Brettsperrholz oder Holzstützen
- Wärmedämmung aus Holzfaserplatten
- Fassadenbekleidung aus wiederverwendetem Eichenholz
- Foamglasdämmung in den Sockelbereichen

#### Innenwände:

- Tragende Innenwände aus Brettsperrholz
- Bürotrennwände aus wiederverwendeten Systemwänden einer Abbruchmaßnahme
- Gebrauchte Fliesen in den Sanitärräumen
- Alte Stütze aus Gusseisen

#### Decken:

- Holzdecken aus Brettsperrholz und Holzbetonverbunddecken
- Abhangdecken aus Holzwolleleichtbauplatten
- Baupapier als Trennlage
- Teppiche aus Recyclingfasern
- Linoleum

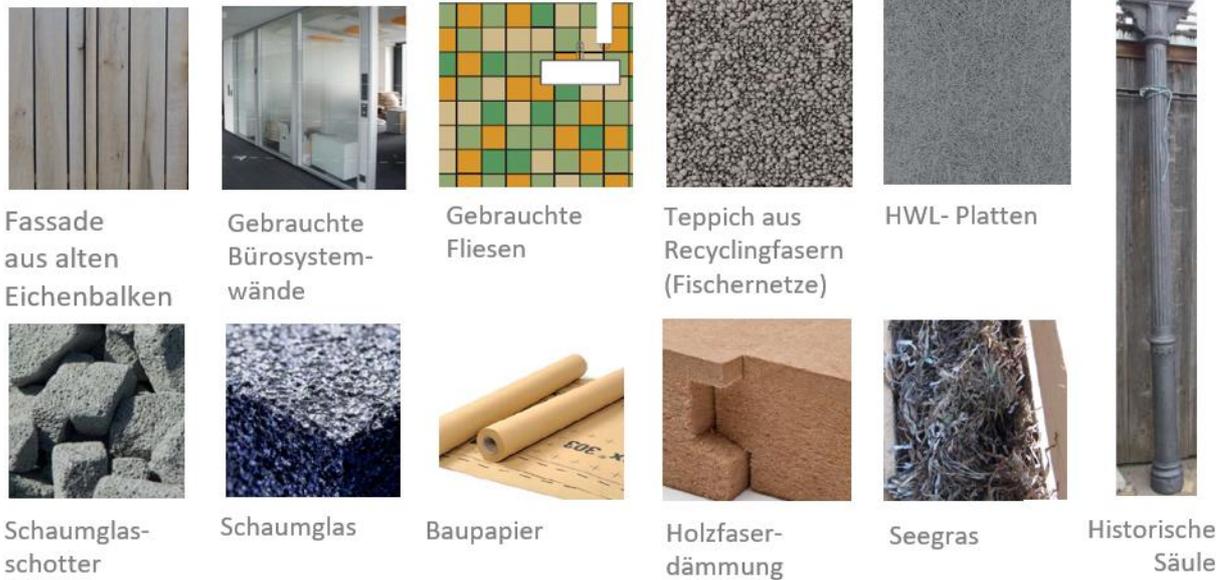


Abbildung 3-2 Übersicht der eingebauten Materialien

### 3.3.2 Fassadenbekleidung aus altem Eichenholz

Die aus unterschiedlichen Holzquerschnitten geplante Fassadenbekleidung aller Häuser wird aus den Eichenbalken von zurückgebauten Fachwerkhäusern oder –scheunen hergestellt. Der ausschlaggebende Aspekt war es hier, die sehr guten spezifischen Holzeigenschaften von jahrelang abgetrocknetem Eichenholz zu nutzen. Die im Holz vorhandene Gerbsäure ermöglicht es, die Holzfassade ohne weiteren Holzschutz als Fassadenmaterial einzusetzen.



Abbildung 3-3 Für den Einbau geliefertes zugeschnittenes Eichenholz der Fassaden

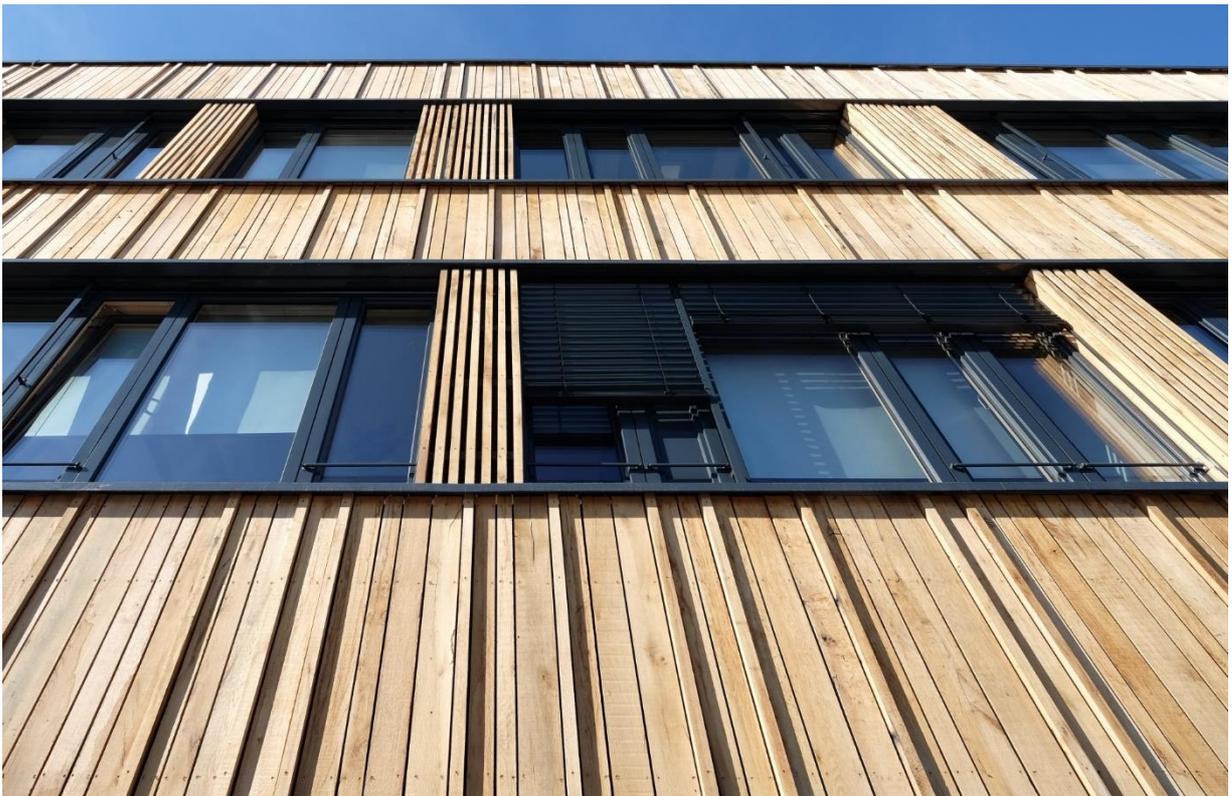


Abbildung 3-4 Fassadenansicht – die unterschiedlichen Breiten und Dicken der Eichenhölzer sind erkennbar

### 3.3.3 Wiederverwendete Bürosystemwände

Für den Innenbereich des Gebäudes konnten Bürotrennwände (Systemwände) aus einer Abbruchmaßnahme in Hamburg verwendet werden. Diese wurden durch wenige neue Bauteile ergänzt und im Haus A wieder eingebaut.

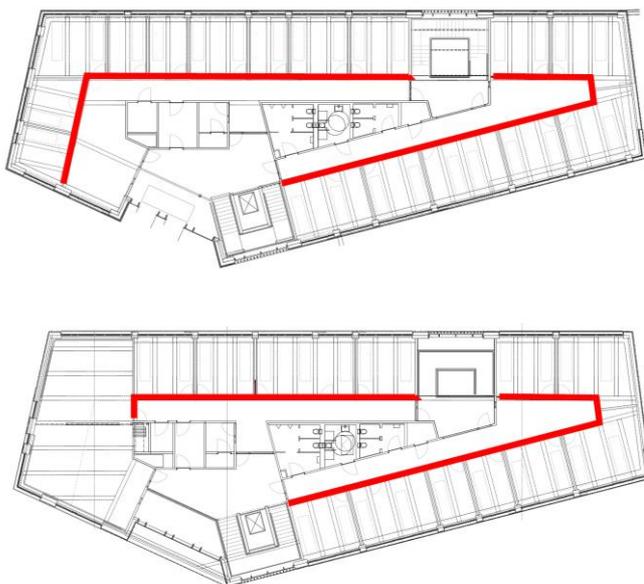


Abbildung 3-5 Schematische Darstellung des Bereichs der wiederverwendeten Systemwände

Durch den Wiedereinsatz von 84 Bürotrennwandelementen und 31 Türen konnte Abfall aus Glas/ Aluminium/ Edelstahl/ Holzwerkstoffplatten mit einer Masse von 8 Tonnen vermieden werden. Es wurden ca. 60.000 kWh<sub>pe</sub> eingespart<sup>3</sup>

Möglich wurde dies, da an die Wand zwischen Flur und Büro keine Brandschutzanforderungen gestellt wurden. Die Höhe des Holzträgers über den Elementen musste in der Ausführungsplanung geringfügig in der Höhe angepasst werden.



**Abbildung 3-6: Einbau der wiederverwendeten Trennwandelemente**



**Abbildung 3-7 Wiederverwendete Trennwandelemente, Büro- und Flurseite**

<sup>3</sup> Vgl. Schlußbericht 1. Phase

### 3.3.4 Weitere Recyclingmaterialien

Es wurden weitere Baustoffe mit hohen Recyclinganteilen eingebaut. So wurden die Büroräume im Verwaltungsgebäude mit textilen Bodenfliesen ausgestattet, die aus einem Recyclinggarn aus alten Fischernetzen bestehen.

Auch die Entscheidung für Teppichfliesen und anstelle von Rollenware erwies sich als rationell und hatte einen bis 20% geringeren Verschchnitt des Materials zur Folge. Der Verzicht auf flächige Verklebung hin zu einer reversiblen punktuellen Befestigung ist eine weiterer Aspekt.

Darüberhinaus wurde der Einsatz von Seegras als Akustikdämmmaterial geprüft. Mit diesem natürlichen Material, das jährlich tonnenweise an den Stränden der Ostsee angespült wird, macht man sich nicht nur einen regional zur Verfügung stehenden Baustoff zunutze. Der Einsatz als Dämmung in den Wänden kam jedoch nicht zustande.

Da kein zugelassenes Produkt am Markt verfügbar war und eine bauaufsichtliche Zulassung zum Einsatz des Materials in Innenwänden im laufenden Prozess nicht zu organisieren war, wurde nach alternativen Umsetzungsmöglichkeiten gesucht.



Abbildung 3-8 Akustikabsorber mit Seegras gefüllt

Es wurde ein Schallabsorber als additives Element zur Verbesserung der Raumakustik entwickelt. Hierzu wurde das Seegras in Elemente aus Streckmetall eingebracht. Diese wurden dann zu größeren Flächen zusammengefügt und auf den Wänden angebracht.



Abbildung 3-9 Detailansicht des Akustikabsorbers

### 3.3.5 Einrichtung

Auch bei der Einrichtung des Gebäudes konnte auf gebrauchte Elemente zurückgegriffen werden. Aus einem Hotel in Neustadt wurden verschiedene Möbel für den Außenbereich und die Gemeinschaftsräume übernommen. Die Stühle des großen Besprechungsraums wurden neu aufgepolstert und bezogen.



Abbildung 3-10 Aufgearbeitete Tische, 2. Hand- Möbel im Außenbereich

### 3.4 Einsatzmöglichkeiten und Relevanz

Unter Bezugnahme auf die obige Fragestellung zeigt sich folgende Erfahrung:

- Nachwachsende Rohstoffe

Der Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen ist in vielen Bereichen möglich. Entsprechende Bauprodukte sind verfügbar und können im „normalen“ Prozess integriert werden. Dies gilt z.B. für den Baustoff Holz, der als tragendes oder nicht tragendes Bauteil eingesetzt werden kann. Einsatzbereiche sind Wand, Decke, Dach, Wärmedämmung, Akustikbekleidungen, u.a.m.

Weitere natürliche Stoffe, wie z.B. Seegras ließen sich nicht ohne Weiteres einsetzen, jedoch ist davon auszugehen, dass weitere Produkte für den Markt erschlossen werden und als zugelassene Produkte dann zur Verfügung stehen.

- Recyclingprodukte

Recyceltes Material wurde beispielsweise bei den Teppichfliesen oder der Schaumglasdämmung eingesetzt. Diese Produkte haben bauaufsichtliche Zulassungen und können im „normalen“ Planungs- und Bauprozess verwendet werden. Der Markt für diese Produkte wächst spürbar und kann helfen, einen nennenswerten Beitrag zur Ressourcenschonung zu liefern.

- Wiederverwendung von Altmaterial

Eine spezifische Form des Recycling ist der Einsatz von aufbereitetem Altmaterial, wie es bei diesem Projekt bei der Nutzung von alten Eichenbalken zur Herstellung der Fassadenbekleidung umgesetzt wurde. Hier wird auf ein Marktsegment (in diesem Fall der Altholzhandel) zugegriffen, das eine Sonderrolle bei der Materiallieferung spielt und neben dem „üblichen“ Baustofflieferanten eine Sonderrolle einnimmt. Das Material hat „besondere“ Eigenschaften, es ist alt, hat Schadstellen, Fremdeinschlüsse u.s.w.. Die Zahl der Anbieter ist klein, die Materialverfügbarkeit kann stark schwanken.

Ähnlich sieht es bei den eingesetzten alten Fliesen aus. Hier wurde auf den Bestand einer Bauteilbörse zurückgegriffen. Aussehen, Qualität und verfügbare Menge waren hier begrenzende Größen.

Die Unwägbarkeiten bei der Beschaffung des Materials wurden in diesem Projekt so gehandhabt, dass die Materialien eingekauft wurden und bauseits zum Einbau bereitgestellt wurden.

- Wiederverwendung von Bauteilen

Die größte Herausforderung stellt sich hinsichtlich der Wiederverwendung gebrauchter Bauteile. Es hat sich eine günstiger Gelegenheit ergeben, indem Bauteile einer Systemwand aus einem Abbruchhaus wiederverwendet werden konnten. Die sorgsam demontierten Bauteile konnten gekauft und gelagert werden. Da es sich hier um eine Systemwand handelte, konnte diese durch noch verfügbare Neubauteile ergänzt und angepasst werden.

Grundsätzlich erscheint es denkbar, dass Systembauteile, wie z.B. Trennwände, Systemböden, Deckenelemente, auch Türen, eine gewisse Bedeutung hinsichtlich eines Wiedereinsatzes bekommen könnten. Allerdings ist der Prozess der Beschaffung sehr aufwändig und stellt ein großes Hemmnis dar.

## 4 Bauprozess

Martin Spieß – Rissmann, Spieß Architekten

### 4.1 Einsatz von wiederverwendbaren Bauteilen und Recyclingbaustoffen in der baupraktischen Umsetzung

#### 4.1.1 Ausschreibung

Der Themenbereich Nachhaltigkeit und die ökologische Betrachtung der Baustoffe hat bei europaweiten und auch bei Ausschreibungen im Inland noch keinen nennenswerten Stellenwert erlangt. Scheinbar bewährt in der gängigen Baukultur war es für die am Bauprozess beteiligten Firmen üblich, das günstigste und geeignete, zugelassene Produkt zu verwenden. Relevant für die Art der Ausschreibung im öffentlichen Bereich sind die Schwellenwerte und Wertgrenzen der verwendeten Baustoffe. Sofern nicht ausdrücklich im Leistungsverzeichnis verlangt, werden ökologische Baustoffe nicht angeboten und die Thematik der Wiederverwendbarkeit von Baustoffen hat bisher allenfalls den Rang einer unkonventionellen Lösungsmöglichkeit erlangt. Die bislang praktizierte Vorgehensweise stellt sich zunehmend jedoch als Sackgasse heraus und macht angesichts der Dringlichkeit der Gesamthematik ein Umdenken notwendig, das auch zum Ziel hat, den Wert eines Baustoffes oder Bauteils gesamtheitlich zu beurteilen.

Noch ist die Verwendung von Recyclingbaustoffen und -Produkten, auch zumindest anteilmäßig, nicht gesetzlich vorgeschrieben. Um die notwendigen Impulse zu setzen, ist hier ein Umdenken und Voranschreiten seitens der öffentlichen Auftraggeber dringend erforderlich. Durch die grundsätzlich verpflichtende Verwendung von Recyclingprodukten und -baustoffen im öffentlichen Bereich könnte auch die Nachfrage und somit auch das Angebot für private Bauherrn angeregt werden.

Für die Verwendung von Recyclingbaustoffen sollten allerdings die gewünschten Kriterien möglichst genau beschrieben werden. Bisher gibt es eine Vielzahl von Gütesiegeln und Zertifizierungen, die hilfreich sein können: Beispielhaft dafür sind:

- Blauer Engel
- nature plus
- Cradle to Cradle
- Emicodes
- GUT
- PEFC
- FSC, etc.

Mittlerweile gibt es für den Rohbau, aber mehr noch für den Ausbau, eine gewisse Auswahl an Bauprodukten und Stoffen. Auch die Verwendung von Recyclingstoffen wird, zumindest teilweise von Herstellern berücksichtigt. Der Sprung vom Angebot eines „Nischenprodukts“ hin zum neuen Standard ist in der Regel durch entsprechende Werbemaßnahmen flankiert.

Beim Neubau der Stadtwerke war es möglich, auf entsprechende Recycling-Baustoffe zurückzugreifen:

- Papier-Dampfbremse und Trennlagen
- Bodenbeläge
- Holzdämmstoffe
- Foam- und Schaumglasdämmung
- abgehängte Decken
- Stoffe für die Verschattung

Ferner konnten folgende Bauteile wiederverwendet werden

- Holz für die Fassade
- Bürotrennwände
- Fliesen
- Blockheizkraftwerk
- Dachrinnen
- Möbel für die Cafeteria

Die Materialbeschreibung für diese Produkte war ohne Probleme zu erstellen. Die alten Eichenbalken kamen bereits geschnitten und in definierten Abmessungen zur Baustelle. Ebenso waren die Bürotrennwände „fast neu“ und beim Hersteller noch im laufenden Sortiment zu bekommen.

Angenommene Unwägbarkeiten hinsichtlich des Einbaues von bauseits gestellten und gebrauchten Produkten oder Bauteilen schlugen sich bei den beteiligten Firmen aber in der Kalkulation nieder und führen zu erhöhten Kosten.

Am Beispiel des Fliesenlegers lässt sich zeigen, dass für den Einbau von den gebrauchten Fliesen (obwohl Materialstärke und Abmessungen definiert waren) ein ca. 20% Aufschlag verlangt wurde.

Für das Stadtwerke-Projekt in Neustadt war es hingegen nicht möglich, Recyclingbeton zu bekommen, was dem Umstand geschuldet war, dass aufgrund zu geringer Nachfrage kein örtlicher Anbieter zu finden war und die Lieferentfernungen infolgedessen zu groß waren.

#### 4.1.2 Erfahrungsbericht der Bauleitung bei der Umsetzung

- Beispiel Fliesen

Die Verwendung von gebrauchten Fliesen war aufgrund der zur Verfügung stehenden geringen Stückzahl nur für kleine Flächen umsetzbar. Hier mussten in der Planung entsprechend Abstriche bezüglich des Fugenbilds gemacht werden, die wiederum eine genauere Abstimmung bei der Umsetzung notwendig machten. Ebenso war es für den Fliesenleger eine ungewohnte und risikobehaftete Ausführung, da die sonst üblichen Anforderungen an das Fugenbild nicht zum Tragen kamen.

- Beispiel Bürotrennwände

Die gebrauchten Trennwände erwiesen sich für das Vorhaben als Glücksgriff. Beim Erwerb waren sie erst vier Jahre alt und somit sogar noch im Portfolio des Herstellers vorhanden. Es konnte über die Ausschreibung eine Firma gewonnen werden, die das Produkt auch neu verarbeitet und sich bestens mit der Montage auskannte. Vereinzelt kleinere Bauteile und Befestigungsmittel konnten beim Hersteller noch bezogen werden. Dies war sehr nützlich, da trotz der erforderlichen Plananpassungen noch Ergänzungssteile benötigt wurden. Für den Einbau waren die notwendigen Fachkenntnisse vorhanden und benötigte Befestigungs- und Verbindungsmaterialien noch im Sortiment zu bekommen. Demzufolge verlief der Einbau reibungslos.

- Beispiel Holzfassade

Bei der Erstellung der Holzfassade aus alten, aufgesägten Deckenbalken gab es keinerlei Probleme, zumal die Arbeitsabläufe bei der Verarbeitung denen mit einem neuen Material gleichen. Lediglich die Beschaffung des Materials lag hier in Hand des Auftraggebers selbst bzw. als dessen Vertreter beim Planer. Logistisch war zu bewerkstelligen, eine konstante Lieferquantität für die ausführende Firma zu gewährleisten, so dass eine störungsfreie Montage erfolgen konnte. Dies war für den bauleitenden Architekten mit erhöhtem Aufwand verbunden.

#### 4.2 Der Bauteilkatalog

Mit der Erstellung des Kataloges und der genauen Darstellung der verwendeten Bauteile und Stoffe, wurde ein Instrument für die Recycling- und Rückbaufähigkeit des Gebäudes geschaffen, damit es am Ende der Nutzungsdauer in die einzelnen Bestandteile zerlegt, und die verwendeten Baustoffe fach- und sachgerecht wieder verwertet oder zumindest in den Recyclingkreislauf zurückgeführt werden können.

Hier wird der Konstruktion, der Verbindung, bzw. Trennung einzelner Bauteile und die Verwendung der Baustoffe eine maßgebliche Rolle beigemessen. Die Holzkonstruktion des

Tragwerks des Stadtwerkebaus bietet dafür gute Voraussetzungen. Die Holzelemente sind miteinander verschraubt, so dass sich die Konstruktionen wieder voneinander trennen lassen.

Auch die Verbindung zwischen den Stahlbetonfertigteildecken, die auf den Holzunterzügen gelagert sind, konnte kraftschlüssig durch Schrauben hergestellt werden, so dass auch hier die spätere Zerlegung in Einzelteile möglich ist. Ebenso sind die in Schichten verschraubten Eichenbretter der Fassade, gut voneinander lösbar. Bei der geklammerten und miteinander verklebten Fassadenbahn könnte ein erhöhter Aufwand bei der Demontage entstehen.

Die Erfassung der Bauteilschichten und deren Verbindung ermöglicht es, auch die Verbindungs- und Befestigungsmittel zu dokumentieren und auch die Inhaltstoffe mit dem Ziel der sachgerechten Verwertung nachvollziehbar festzuhalten.

- Firmenbeteiligung

Die Beteiligung der Firmen an der Dokumentation und Bereitstellung der Unterlagen die über das "normal übliche Maß" hinausgehen sind sehr unterschiedlich. Die Erfahrung zeigt, dass die Firmen des erweiterten Rohbaus eher an dem Thema der Nachhaltigkeit interessiert sind. Empfehlenswert ist auf jeden Fall die Dokumentation während der Bauphase vorzunehmen.

### 4.2.1 Haus A, Decke über EG:

Dokumentation **Haus A**

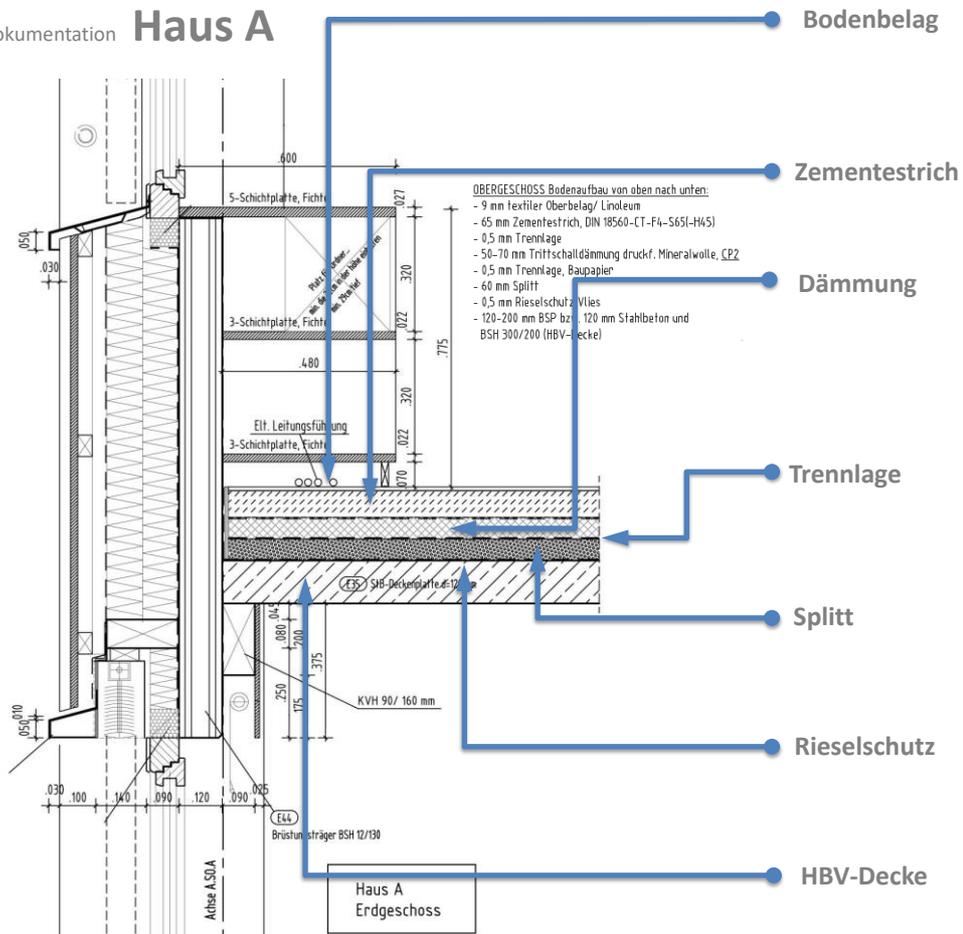


Abbildung 4-1 Detail Geschossdecke (HBV) Haus A - Bauteilschichten

Dokumentation **Haus A**

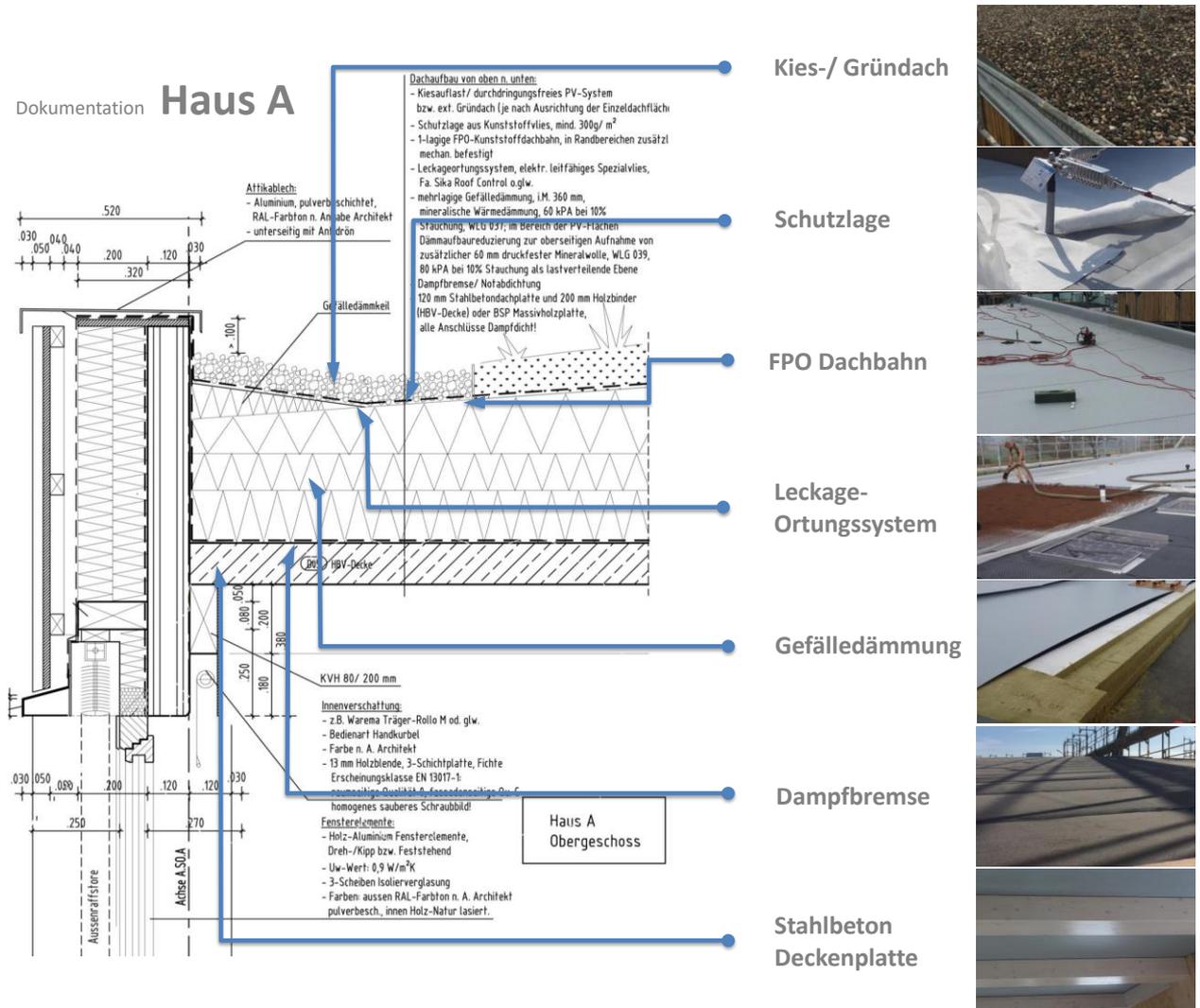
Bauteil / Bauelement	Schicht-dicken	Fabrikat Hersteller	Aufbau	Zusammensetzung / Rohstoffe	Ausf. Gewerk	Herstellungs-ort	Daten-blatt	Bemerkungen
Bodenbelag 1	10 mm	Forbo Marmoleum	Linoleum	natürliche Rohstoffe (Leinöl, Jute, Baumharze, Holz- und Kalksteinmehl)	Bodenleger		ja	
		Okatmos Star 600	Kleber für Linoleum	Kunststoffdispersion, mineralische Füllstoffe, Wasser, Konservierungs- und Verdickungsmittel	Bodenleger		ja	Blauer Engel, EC 1 plus
Bodenbelag 2	10 mm	Tarkett Desso Fields Gold	selbstliegende Teppichfliesen	Polyester Vlies, >75% recyceltem Material	Bodenleger		ja	DGNB Zertifiziert
		Uzin U 1000	Stoppschicht	Polymerdispersion, Konservierungsmittel, Additive, Wasser	Bodenleger		ja	Blauer Engel, EC 1 plus
Bodenbelag 3	10 mm	Lasselsberger Fliesen	Keramisch/Kleber	Ton, Glasur	Fliesenleger			
Ausgleichsmasse		Eurocol 977 Europlan Pro	Ausgleichsmasse für Bodenbeläge	Spezialzemente, mineralische Zuschlagstoffe, Polyvinylacetat, Verflüssiger, Additive	Bodenleger		ja	EC 1 plus
Grundierung		Botament G 110	Grundierung des Estrichs	Kunststoffdispersion	Bodenleger		ja	EC 1 plus
Estrich	65 mm	Cemex Estrichzement CEMI 42,5 N	Zementestrich CT S 5	Hüttensand, Puzzalone, Flugaschen, gebr. Schiefer, Kalkstein, Silikastaub	Estrichbauer	D-15562 Rüdersdorf	ja	
Zuschlagsstoffe Estrich		Berolith M 94	Estrich-Zusatzmittel für einen homogenen Estrich		Estrichbauer		ja	Schadstofffrei, im Bereich der Fußbodenheizung
		Schütz W200 S	Zusatzmittel Heizestrich zur Plastifizierung	modifiziertes Kunstharz	Estrichbauer		ja	
		Powerscreed 980	Erhärtungsbeschleuniger		Estrichbauer		ja	
Trennlage	200 my	Gera Chemie	Bitumen-Estrichabdeckpappe B150	100% Schrenzpapier, Bitumen	Estrichbauer		ja	nachhaltige Gewinnung, PVC frei

Dokumentation **Haus A**

Bauteil / Bauelement	Schicht-dicken	Fabrikat Hersteller	Aufbau	Zusammensetzung / Rohstoffe	Gewerk	Herstellungsort	Daten-blatt	Bemerkungen
Wärmedämmung	40 mm	Rockwool HP Floorrock	mineralisch	Steinwolle Dämmplatte	Estrichbauer	D-45957 Gladbeck	ja	Blauer Engel
Trittschalldämmung	25mm	Rockwool Floorrock SE	mineralisch	Steinwolle Dämmplatte	Estrichbauer	D-45957 Gladbeck	ja	Blauer Engel
Randdämmstreifen	10 mm	Knauf	mineralisch		Estrichbauer		ja	
Spplittbinder	60 mm	Spplittbinder K 102 (Ing.-Büro Köhnke)	Bindemittel zur elastischen Bindung von mineralischen Splitten	wässrige, lösemittelfreie Dispersion, Polymer mit Additiven (synthetisches Latexgemisch)	Estrichbauer		ja	VOC-Level <0,02%
Spplittschütt		Naturbaustoff	mineralisch	mineralisch / Basalt	Estrichbauer			Chemisch und Biologisch neutral, FCKW frei
Rieselschutz Vlies	0,2 mm	Isocell- Öko Natur		100% recycletes zwei- lagiges Kraftpapier mit dazwischen liegendem reißfestem Gewebe	Estrichbauer		ja	100% recycletes Papier
HBV-Decke	200 mm	Betonwerk	120mm bewehrter Stahlbeton/ Auf Holz-UZ	Beton, Stahl	Zimmermann			
Abgehängte Decke 1	25 mm	Celenit AB	Holzwolle-Leichtbauplatten	Holzwolle, Portlandzement, Brandverhalten A2-s1	Trockenbauer		ja	Einbau im Treppenhaus; FSC und PEFC zertifiziert
				Holzwolle, Portlandzement, Brandverhalten Bs1	Trockenbauer		ja	Einbau in den Fluren; FSC und PEFC zertifiziert
Abgehängte Decke 2	15 mm	OWA Sinfonia	Mineralplatte	Mineralplatte, vlieskaschiert	Trockenbauer		ja	Blauer Engel
Unterkonstruktion abgehängte Decken			Tragprofile, Befestigungsmittel	Aluminium	Trockenbauer			

Abbildung 4-2 Haus A -Geschossdecke, Auflistung der Bauprodukte / Baustoffe

### 4.2.2 Haus A, Dach:



Haus A – Bauteil Dach Teilbereich A

Abbildung 4-3 Detail Dach Haus A - Bauteilschichten

Dokumentation **Haus A**

Bauteil / Bauelement	Schichtdicken	Fabrikat - Hersteller	Aufbau	Zusammensetzung / Rohstoffe	Ausf. Unternehmen	Herstellungsort	Datenblatt	Bemerkungen
Attikaabdeckung	1,5 mm		Attikablech	Aluminium, pulverbeschichtet, Unterseite mit Antidrönschichtung, Gummilippendichtung	Dachdecker			
Dachausstieg	900 x 1500 mm	Jet Lichtkuppel TOP 90 Plus	Lichtkuppel	PVC, Kunststoffverglasung	Dachdecker		ja	
		Jet-Metall-Aufsetzkranz Typ ISO-Therm-AK	Ausetzkranz	Stahlblech, Mineralwolle, Hart-PVC	Dachdecker		ja	
Dachbekiesung	50-80mm			mineralisch, gewaschener Rundkies 16/32	Dachdecker	Neustadt/H.		
Kiesfangleiste	0,8 mm	Sarnafil Kiesleiste	vertikale Fangleiste	Edelstahl	Dachdecker		ja	Abgrenzung zwischen Kiesfläche und Gründach
Gründach	ca. 100 mm	Systemlösung von Optigrün	extensives Gründach	vlieskaschierte Schutz-, Drain- und Wasserspeicherbahn Schutzmatten-Randstreifen Vegetation: auf Basis Recycling-Tonziegeln mit Substratkompost + Faserstoffen Pflanzebene: Sedumteppich	Dachdecker			
Schutzlage	300g/mm	Vliepa Vlies	einlagig	Trenn- und Schutzlage aus genadeltem Polyeservlies, (100% Polyester)	Dachdecker	D- 41379 Brüggen	ja	Bereich Kiesauflast
FPO Dachbahn	2,00 mm	Sika Sarnafil TS 77-20	einlagige Abdichtung	Kunststoffbahn, mehrschichtig, Material: Polyolefinen (FPO), mit Polyestergerlege	Dachdecker		ja	
Kleber für Dachbahn		Sika Sarnacol 2170		Kontaktkleber lösungsmittelhaltig auf Nitril- und Kautschuk Basis	Dachdecker		ja	

Dokumentation **Haus A**

Bauteil / Bauelement	Schichtdicken	Fabrikat - Hersteller	Aufbau	Zusammensetzung / Rohstoffe	Ausf. Unternehmen	Herstellungsort	Datenblatt	Bemerkungen
Leckage- Ortungs-system	1,05mm	Sika RCS ROOF CONTROL SYSTEM	Glasfaservlies, elektrisch leitfähig	Glasvlies, Trenn- und Brandschutzlage auf Basis einer elektrisch leitfähigen textilen Glasfaser	Dachdecker		ja	
Wärmedämmung Attikabereich			Gefälledämmkeil	Mineralwolle	Dachdecker			
Wärmedämmung	i.M. 360 mm	Rockwool_Megarock / Durock 037	mehrlagige Gefälledämmung	Diabas/Basaltstein, natürlich(27%-50%) Zementgebundene Formsteine (50%-70%) Phenol-Formaldehydharz (3,5%) Aliphatisches Mineralöl 0,2% Siloxanol 0,1%	Dachdecker		ja	
Dampfbremse		Börner Multiplex AGG4	Dampfbremse	Bitumen Dampfsperrbahn	Dachdecker		ja	
HBV-Decke	120 mm	Betonwerk	Stahlbeton	Stahlbetonfertigteil	Zimmermann	Luschendorf Ostholstein		

**Abbildung 4-4 Haus A -Dach, Auflistung der Bauprodukte / Baustoffe**

### 4.2.3 Haus A, Fenster:

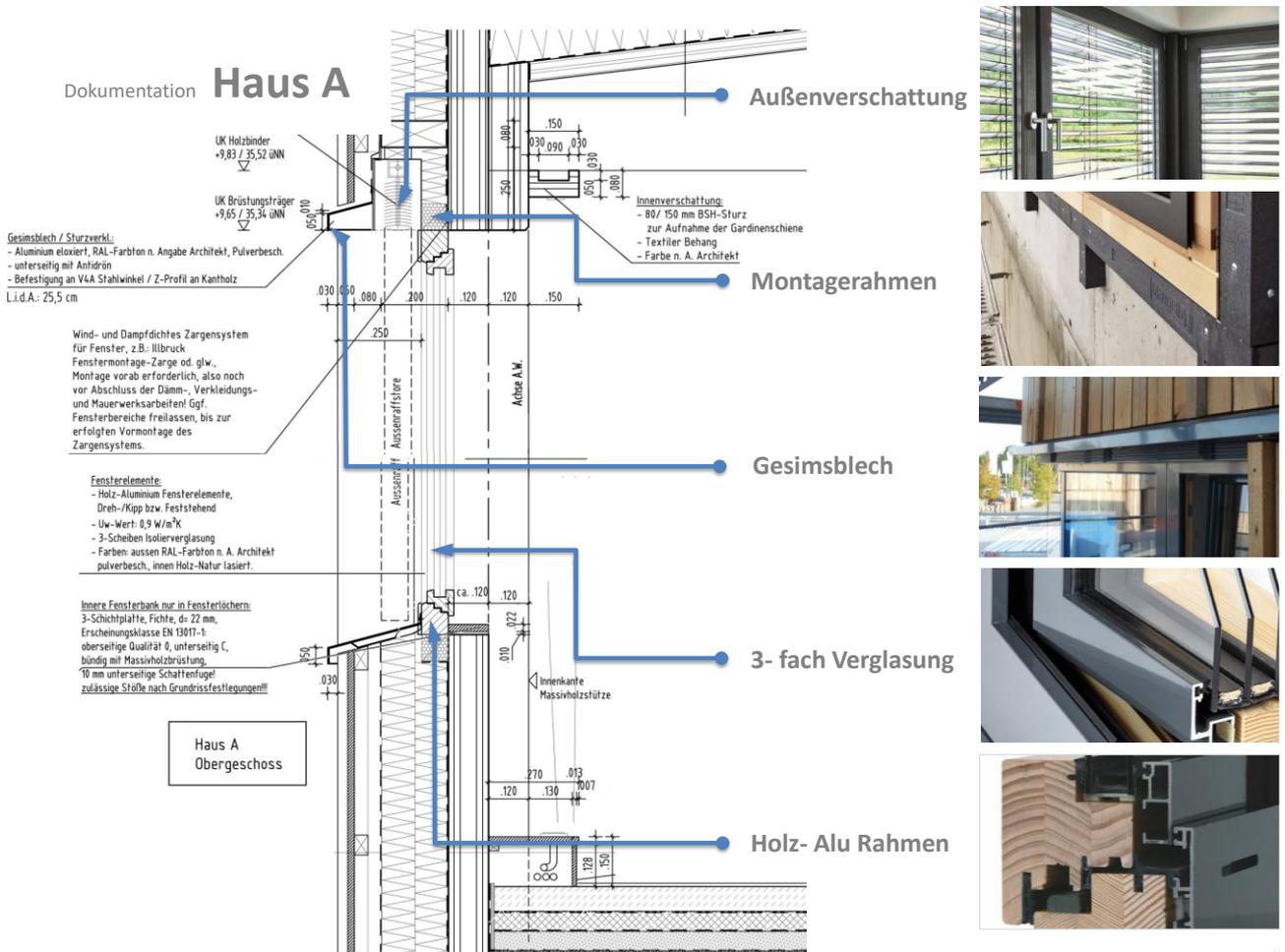


Abbildung 4-5 Detail Fenster Haus A

**Dokumentation Haus A**

Bauteil / Bauelement	Aufbau	Fabrikat - Hersteller	Materialbeschreibung	Ausf. Unternehmen	Herstellungsort	Datenblatt	Bemerkungen
Fensterrahmen	Holz-Aluminium Zargensystem, 3 Scheiben, Gesamtstärke 45,9mm	Sorpotaler TF Duo 78 Holz-Aluminium		Fensterbauer	D-59846 Sundern Sauerland	ja	Einbau der Fenster ohne PU-Schaum
Rahmenholz	Massivholzrahmen: 3-Schicht Nadelholz	Tilly Naturholzplatten	3-Schicht Massivholzplatten mit um 90° versetzter Mittellage, Holz mittlerer Rohdichte 0,37g/m <sup>3</sup> – 0,57 g/m <sup>3</sup>	Fensterbauer	AT-9330 Althofen		
Fensterscheibe	3-fach Verglasung in verschiedenen Aufbauten, 42 - 47,5 mm, mit Argonfüllung		natürliches Glas mit bis zu 5 mal niedrigerem Eisengehalt	Fensterbauer		ja	
Schmelzklebstoff zw. Glasscheiben	Kunststoff, Schmelzklebstoff in Form von Zwischenfolien in Verbund- Sicherheitsglas		Kunststoff aus der Gruppe der Polyvinylbutyrale (PVB)	Fensterbauer			UV-Licht passiert ungefiltert
Luftsicht	Luftsicht		10% Luft, 90% Argon	Fensterbauer			
Lasur	feuchtigkeitsregulierende Dickschichtlasur nach DIN EN 71-3	Induline LW-700	Acrylat/OU, Glycole, Eisenoxid, Organosiloxan, Wasser	Fensterbauer	D-49624 Lönigen	ja	Blauer Engel
Grundierung	wasserregulierende Grundierung, konservierend	Induline GW 360		Fensterbauer		ja	BSW50, RSG zertifiziert
Imprägnierung	flüssiges Holschutzmittel	Induline SW-900	1,2g Propiconazol, 0,30g Jodpropinyl-Butylcarbamate je 100g	Fensterbauer		ja	RSG zertifiziert

Abbildung 4-6 Haus A -Fenster, Auflistung der Bauprodukte / Baustoffe

Dokumentation **Haus A**

Bauteil / Bauelement	Aufbau	Fabrikat - Hersteller	Materialbeschreibung	Ausf. Unternehmen	Herstellungsort	Datenblatt	Bemerkungen
Montagerahmen	Abdichtungssystem zwischen Fenster und Baukörper in Vorwandmontage	Blaugelb Triotherm+ Profile	hochdichtes Expandiertes Polystyrol (EPS) 100% recyclebar, frei von HFCKW und HFKW	Tischler		ja	Blaugelb Triotherm Systemkomponente
Verschraubung (f. Montagerahmen)		Blaugelb Rahmenfixschraube FK-T30		Tischler		ja	Blaugelb Triotherm Systemkomponente
Dichtmasse (f. Montagerahmen)	einkomponentige Dichtmasse	Blaugelb Hybrid Polymer Power Fix	1K Hybrid Polymer frei von Silikon, Isocyanat, Lösemittel, Halogen, Säure	Tischler		ja	Blaugelb Triotherm Systemkomponente; EC 1 plus
Multifunktionsklebeband	2-Ebenen Multifunktionsband, vorkomprimiert	Blaugelb Duo SDL300	Imprägnierter PU- Schaum	Tischler			
Allwetterfolie	Abdichtungsbahn aus kunststoffmodifiziertem Bitumen	Blaugelb Allwetterfolie	Kunststoffmodifizierter Bitumen, kombiniert mit reissfester HDPE- Folie	Tischler			
Fensterbauschrauben, Stockschrauben	Edelstahlschrauben mit Holz- und metrischen Gewinde	Würth	Edelstahl A2	Tischler			
Sechskantmutter selbstsichernd	Sechskantmutter mit innen liegendem Kunststoffring	Würth	Stahl verzinkt, Kunststoff (PP)	Tischler			
Dichtscheibe mit Metallrücken	Dichtscheibe mit Metallrücken	Würth	Edelstahlscheibe A2 blank mit aufvulkanisierter Elastomerdichtung	Tischler			
Gesimsblech	pulverbeschichtetes Aluminium			Klempner			
Klebeband	Klebeband aus 4 Schichten	Hanno	Folie-Vlies Kombination aus PES Polyamid, Acrylat , 160g/qm, Haftkleber 240g/qm	Tischler	D-30880 Laatzen	ja	EC 1 plus
Verschattung	Lamellen	Warema	Aluminium	Tischler		ja	

Abbildung 4-7 Fenster Haus A - Montage und Anschlüsse

Dokumentation **Haus A**

Variante	1. Glas (außen)	Luftschicht	2. Glas	Luftschicht	3. Glas (innen)	Gesamtstärke
1	6mm Float Glass Extra Clear Clima Guard Premium 2	14 mm 10% Luft + 90% Argon	4mm Float Glass Extra Clear	14 mm 10% Luft + 90% Argon	4mm Clima Guard Premium 2 Float Glass Extra Clear	42 mm
2	4mm Float Glass Extra Clear Clima Guard Premium 2	14 mm 10% Luft + 90% Argon	4mm Float Glass Extra Clear	14 mm 10% Luft + 90% Argon	Clima Guard Premium 4mm Float Glass Extra Clear 1,52mm PVB Clear 4mm Float Glass Extra Clear	45,52 mm
3	6mm Float Glass Extra Clear Sunn Guard SN 70/37	14 mm 10% Luft + 90% Argon	4mm Float Glass Extra Clear	14 mm 10% Luft + 90% Argon	Clima Guard Premium 4mm Float Glass Extra Clear 1,52mm PVB Clear 4mm Float Glass Extra Clear	47,52 mm
4	6mm Float Glass Extra Clear Sun Guard SN 70/37	14 mm 10% Luft + 90% Argon	4mm Float Glass Extra Clear	14 mm 10% Luft + 90% Argon	4mm Clima Guard Premium 2 Float Glass Extra Clear	42 mm
5	6mm Float Glass Extra Clear Sun Guard SN 70/37	12 mm 10% Luft + 90% Argon	6mm Float Glass Extra Clear	14 mm 10% Luft + 90% Argon	Clima Guard Premium 2 6mm Float Glass Extra Clear	44 mm
6	4mm Float Glass Extra Clear 0,76mm PVB Clear 4mm Float Glass Extra Clear Sun Guard SN 70/37	12 mm 10% Luft + 90% Argon	4mm Float Glass Extra Clear	10 mm 10% Luft + 90% Argon	Clima Guard Premium 2 4mm Float Glass Extra Clear 1,52mm PVB Clear 4mm Float Glass Extra Clear	44,28 mm

Abbildung 4-8 Fenster Haus A - Gläser

#### 4.2.4 Haus B, Sohle – Bereich A:

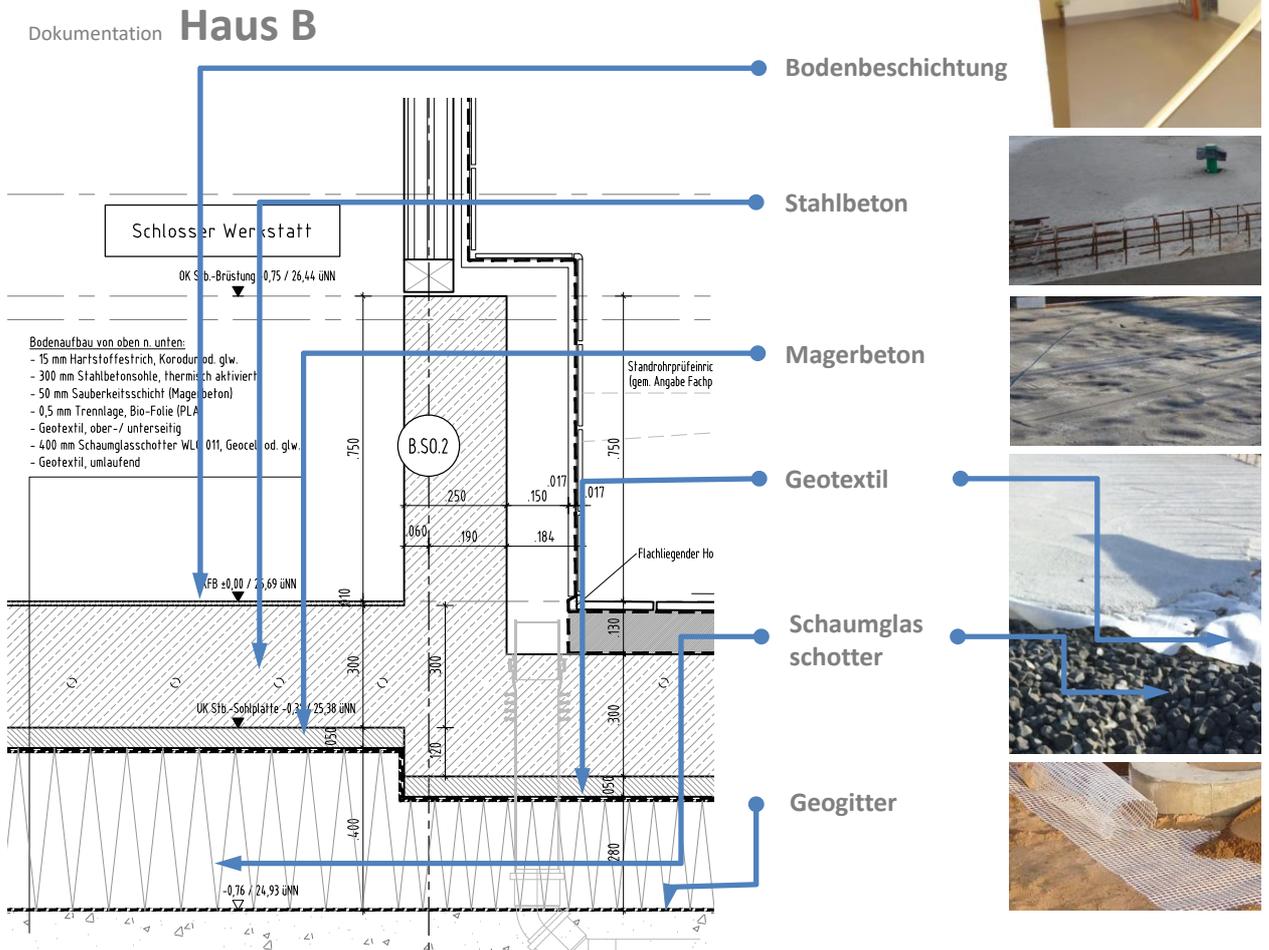


Abbildung 4-9 Haus B – Detail Gebäudesohle

Bauteil / Bauelement	Schicht-dicken	Hersteller Fabrikat	Aufbau	Zusammensetzung / Rohstoffe	Ausf. Unternehmen	Herstellungs-ort	Daten-blatt	Bemerkungen
Bodenbeschichtung (OS 8)		Epoxy Primer PF New	Grundierung	2K-Epoxidharz	Beschichter		ja	
		Epoxy Color Top	Kopfversiegelung	2K-Epoxidharz	Beschichter		ja	
Wandanschluss	5 mm	Sika KAB 150	PU-Fuge	Thermoplast PVC-P NB mit Quellschnur auf Elastomer Basis	Beschichter		ja	
Betonsohle	300 mm	TBN Transportbeton Nord	Stahlbeton, WU Beton C25/30 XC4 XF1	zementgebundener Werkfrischmörtel, hydraulisch gebundene Tragschicht	Rohbau	D-20547 Hamburg	ja	
		Viega Fonterra Industry 20	Bauteilaktivierung	PE-Xc Rohr, 20 x 2 mm	Rohbau			
Sauberkeitsschicht	50 mm		Magerbeton	erdfeuchtes Kies-Zement-Gemisch im Verhältnis 8 : 1, Körnung 0,8mm	Rohbau			
Trennlage/ Geotextil		Aduxa Geotextilvlies	mechanisch und thermisch verfestigtes PP Vlies	Polypropylen (PP) / Polyester (weiß)	Rohbau		ja	
Dämmung	400 mm	Veriso Schaumglas	Schaumglasschotter	Herstellung aus recyceltem Glasmehl, Korngröße 10/60	Rohbau	Schaumglas Husum GmbH 31632 Husum	ja	
Geogitter		Naua Geogitter Secugrid	Geogitter	Polypropylen (PP) Flachstäbe mit verschweißten Knoten	Rohbau	D-32339 Espelkamp-Fiestel	ja	Randbereich

Abbildung 4-10 Haus B – Bereich A – Sohle, Bauprodukte

#### 4.2.5 Haus B, Sohle – Bereich B:

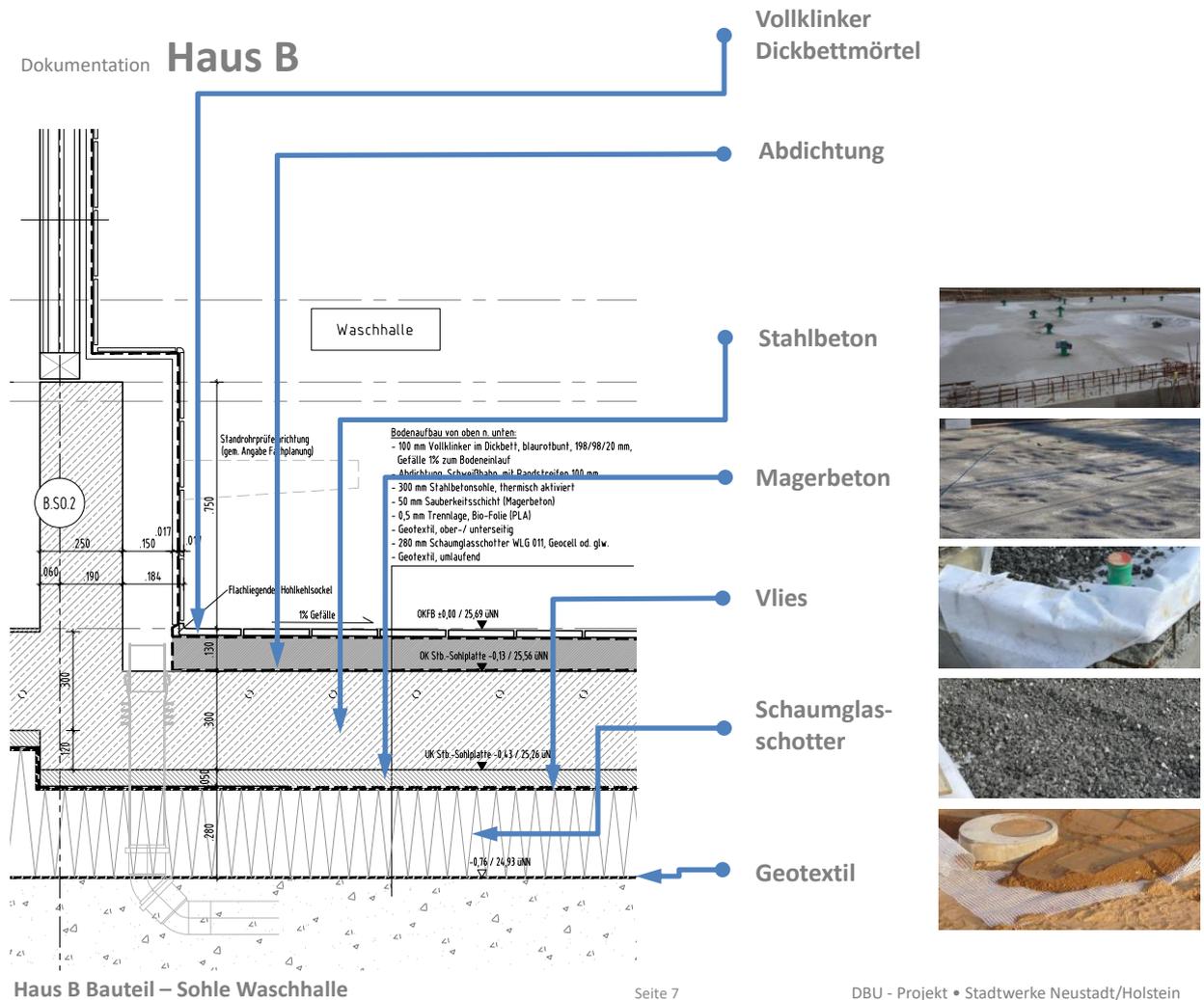


Abbildung 4-11 Detail Sohle Haus B – Bereich B - Waschhalle

Bauteil/ Bauelement	Schicht-dicken	Hersteller Fabrikat	Aufbau	Zusammensetzung / Rohstoffe	Ausf. Unternehmen	Herstellungs-ort	Daten-blatt	Bemerkungen
Bodenbelag	100 mm	Argelith 198 x 98 x 20 mm	Vollklinker im Dickbettmörtel	Vollklinker	Fliesenleger			
Verfugung		Kerakoll Fugalite	Schwerlastverfugung	auf Epoxidharzbasis, Polyamine	Fliesenleger		ja	EC 1 plus
Abdichtung	0,6 mm	Trevi Pro Dicht		Polypropylen-Vlies, Polyethylen	Fliesenleger		ja	
Betonsohle	300 mm	TBN Transportbeton Nord	Stahlbeton, WU Beton C25/30 XC4 XF1	zementgebundener Werkfrischmörtel hydraulisch gebundene Tragschicht	Rohbau	D-20547 Hamburg	ja	
Sauberkeitsschicht	50 mm		Magerbeton		Rohbau			
Vlies		Aduxa Geotextilvlies	Mechanisch und thermisch verfestigtes PP Vlies	Polypropylen (PP) weiß	Rohbau		ja	
Dämmung	280mm	Veriso Schaumglas	Schaumglasschotter	Herstellung aus recyceltem Glasmehl, Korngröße 10/60	Rohbau	Schaumglas Husum GmbH 31632 Husum	ja	
Geogitter		Naua Geogitter Secugrid	Geogitter	Polypropylen (PP) Flachstäbe mit verschweißten Knoten	Rohbau	D-32339 Espelkamp-Fiestel	ja	

Abbildung 4-12 Sohle Haus B – Bereich B, Bauprodukte

## 5 Technikkonzept

Susanne Korhammer, Kim Maertel - Tara Ingenieurbüro GmbH und CO KG

### 5.1 Integration der technischen und energierelevanten Anforderungen - Umsetzungsphase

Bei der Gestaltung des Technikkonzeptes ging es schwerpunktmäßig um die Reversibilität der technischen Anlagen und die ressourcensparende Optimierung der Verteilernetze, ohne Berücksichtigung wiederverwendeter Bauteile. Dies liegt hauptsächlich in der zwingend erforderlichen Versorgungssicherheit in der Wärme-, Wasser- und Elektroverteilebene begründet.

### 5.2 Variantenvergleich Anlagentechnik

Es wurde ein Low-Tec-Technikkonzept nach dem Motto „So wenig wie möglich, so viel wie nötig“ entwickelt, bei dem neben der Ressourcenschonung maßgeblich die Reversibilität im Fokus stand.

Hierzu wurden in der ersten Phase des DBU-Projektes zwei Varianten untersucht und miteinander verglichen (siehe Tabelle 5-1).

**Tabelle 5-1** Gegenüberstellung von zwei möglichen Technikkonzepten der ersten Phase des Forschungsvorhabens (TARA Ingenieurbüro GmbH & Co. KG).

Variante 1	Variante 2
Erdgasbetriebenes BHKW als Grundlastherzeugung, erdgasbetriebener Gas-Brennwertkessel als Spitzenlast	Sole-Wasser-Wärmepumpe, Einsatz von Erdsonden
Deckenstrahlplatten zur Wärmeübergabe	Deckenstrahlplatten zur Wärme- und Kälteübergabe
Zentrale Warmwasserbereitung	Zentrale Warmwasserbereitung im Sozialtrakt, ansonsten dezentrale elektrische Warmwasserbereitung durch Mini-Durchlauferhitzer
Klimatisierung der Räume in Haus A über mehrere Lüftungsanlagen mit WRG, Ausstattung der Lüftungsanlagen mit einem Wärme- und Kältereister	Be- und Entlüftung der Räume in Haus A über mehrere Lüftungsanlagen mit WRG, Ausstattung der Lüftungsanlagen mit einem Wärmeregister
Be- und Entlüftung der Räume in Haus B über eine Lüftungsanlage mit WRG, Ausstattung der Lüftungsanlage mit einem Wärmeregister	Be- und Entlüftung der Räume in Haus B über eine Lüftungsanlage mit WRG, Ausstattung der Lüftungsanlage mit einem Wärmeregister
Sommerliche Bereitstellung von Kälte über eine elektrisch betriebene zentrale Kälteanlage	Passive Kühlung des Gebäudes über das Erdsondenfeld
Keine Berücksichtigung einer passiven Kühlung beim sommerlichen Wärmeschutz	<i>Reversibler Betrieb der Wärmepumpe zur aktiven Kühlung über die Deckenstrahlplatten</i>
Installation einer Photovoltaikanlage zur Kompensation der Energienutzung zur Gebäudekonditionierung. Haus A: 29,64 kWp Haus B: 31,98 kWp	Installation einer Photovoltaikanlage zur Kompensation der Energienutzung zur Gebäudekonditionierung. Haus A: 29,64 kWp Haus B: 31,98 kWp

Energetisch untersucht wurden beide Anlagentechnikkonzepte unter dem Gesichtspunkt der Ressourceneffizienz. Nebenvorgabe ist die Zielsetzung, **end- und primärenergetisch ein klimaneutrales Gebäude** zu erreichen. Weiterhin sind sämtliche Vorgaben der EnEV einzuhalten und die Vorgaben eines KfW 55 Effizienzhauses zu unterschreiten.

Im Rahmen der zweiten Phase des DBU-Projektes wurden die Varianten überprüft und diverse Anpassungen vorgenommen. Diese lagen im Bereich des Wärmepumpenbetriebes, des Einsatzes von Solarthermie und Photovoltaik.

Um den Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz zu genügen, wurde von einer aktiven sommerlichen Kühlung abgesehen. Als Folge wurde Variante 2 dahingehend geändert, dass kein reversibler Betrieb der Wärmepumpe zur aktiven Kühlung über die Deckenstrahlplatten geplant wurde.

Der Einsatz einer thermischen Solaranlage zur Warmwasserbereitung für den Sozialbereich wurde erneut übergeprüft, aber aufgrund des geringen Warmwasserbedarfes verworfen.

Der Einsatz von Photovoltaikanlagen zur Kompensation des Stromverbrauchs wurde als energetisch und wirtschaftlich sinnvolle Maßnahme angesetzt und im Laufe der Planung vergrößert, so dass auch das Dach der Fahrzeughalle für den Einsatz einer Photovoltaikanlage genutzt wurde.

Zur Umsetzung empfohlen wurde die angepasste Variante 2, da mit dieser Variante die projektinterne Nebenvorgabe, ein end- und primärenergetisch klimaneutrales Gebäude zu errichten, erreicht werden kann und der sommerliche Wärmeschutz durch Nutzung einer passiven Kühlung kostengünstiger eingehalten werden kann.

Im Laufe der Ausführungsplanung ergaben sich stark erhöhte umweltrechtliche Anforderungen an die Erstellung von Erdsonden, welche zu einer immensen Kostensteigerung in diesem Bereich geführt hätten. Um die Anzahl der Sonden zu verringern und damit die Kostensteigerung aufzufangen, bot sich die Option an, ein Mini-BHKW in das Technikkonzept zu integrieren. Da es sich um die Wiederverwendung eines BHKWs handelt, erweiterte diese Technikanpassung das Projekt um ein wiederverwendetes Bauteil im Bereich der Anlagentechnik.

Die Kosteneinsparung durch Verringerung um zwei Erdsonden und eine kostengünstigere Wärmepumpe (da kein Hochtemperatureinsatz zur WW-Bereitung) wurden den Mehrkosten (Erdgasanschluss, Transport, Überholung und Einbau BHKW, Abgasführung, Erweiterung der Regelung) gegenübergestellt und es ergab sich ein eindeutiger Kostenvorteil für die BHKW-Prüfung. Die Nebenvorgabe ein end- und primärenergetisch neutrales Gebäude zu erreichen wird weiterhin erreicht. Dies gilt ebenfalls für sämtliche Vorgaben der EnEV und die Vorgaben eines KfW 55 Effizienzhauses.

Nachfolgend ist schematisch das erweiterte Technikkonzept dargestellt.

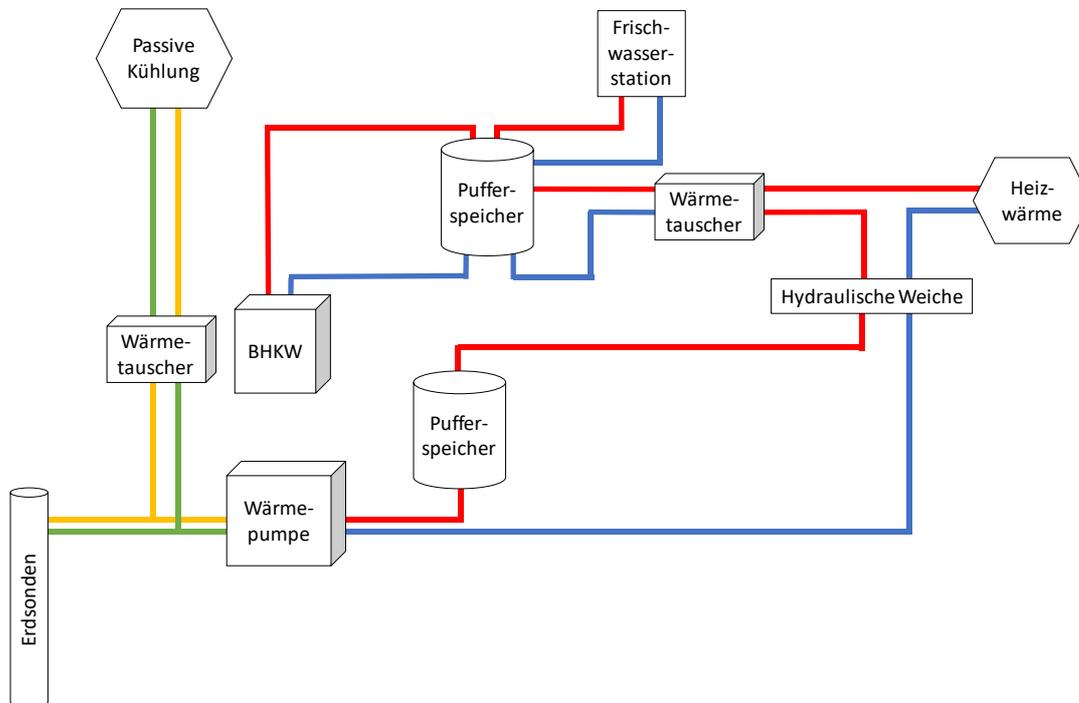


Abbildung 5-1 Schematische Zeichnung des erweiterten Technikkonzeptes (TARA Ingenieurbüro GmbH & Co. KG).

Das BHKW ist ganzjährig in Betrieb und übernimmt die Warmwasserbereitung über die Frischwasserstation. Während des Heizbetriebes wird über die Wärmepumpe der Pufferspeicher auf maximal 35°C erwärmt. Ist diese Temperatur zu gering um die benötigte Heizwärmemetemperatur bereitzustellen, übernimmt der vom BHKW versorgte Pufferspeicher die Nacherhitzung. Dies führt dazu, dass die Wärmepumpe während der Heizzeit mit einem optimalen Wirkungsgrad (COP-Wert) betrieben werden kann, da der Temperaturhub gering ist.



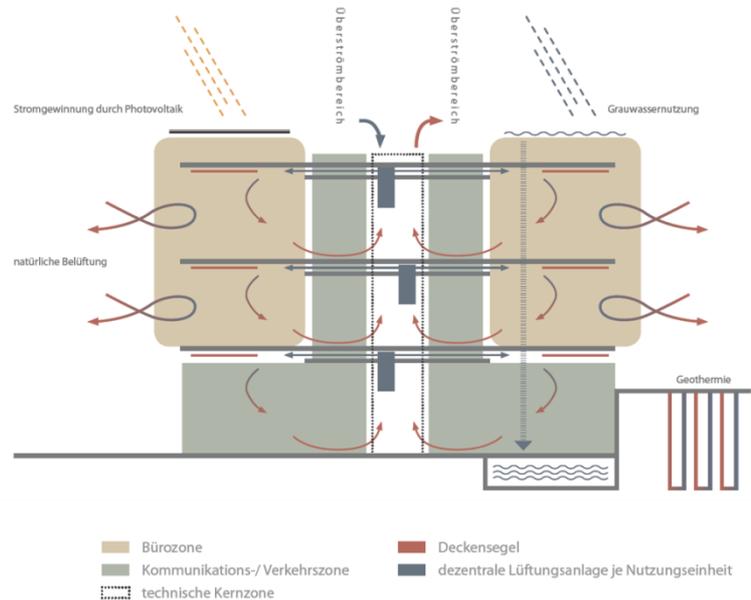
Abbildung 5-2 Foto Technikraum (TARA Ingenieurbüro GmbH & Co. KG).

Die Abbildung 5-2 zeigt den Technikraum mit der Wärmepumpe und dem Pufferspeicher, der hydraulische Weiche und dem Vorlaufverteiler.

Zur Umsetzung war das nachfolgende Technikkonzept geplant:

**Low-Tec-Technikkonzept:**

- Erdreich- Wärmepumpe reversibel  
11 Bohrungen bis 100 m Tiefe
- Mini BHKW für Warmwasser und Heizungsunterstützung
- Hybride Lüftung, dezentrale Lüftungsanlagen mit WRG
- Photovoltaikanlagen 99 kW
- Raumweise Regelung der Deckenstrahlplatten
- LED- Leuchten, Tageslichtsteuerung
- Reversible Installationen
- Grauwassernutzung (WC)
- Regenwasserretention



**Abbildung 5-3** Übersicht Low-Tec-Technikkonzept zur Umsetzung (IBUS Architektengesellschaft mbH)

Während der Umsetzungsphase kam es zu folgenden Änderungen:

- Die fünf dezentralen Lüftungsanlagen wurden in eine zentrale Steuerung integriert
- Die in der Konzeption manuell einfach zu bedienenden Einzelraumregelungen wurden durch komplexe und an die zentrale Steuerung angeschlossene Einzelraumregler ersetzt.
- Die Tageslichtsteuerung der Büroräume wurde nicht umgesetzt.

**5.3 EnEV-Nachweis**

Mit den nachfolgenden Planwerten wurde die Umsetzungsphase begonnen.

**Tabelle 5-2** Planwerte EnEV-aus Bilanzierung nach 18599 (TARA Ingenieurbüro GmbH & Co. KG).

	Ist-Wert	Referenzgebäude (EnEV)	KfW-EH 55 (EnEV)
Jahres-Primärenergiebedarf $q_p$ [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	52,44	121,40 <sup>1)</sup>	66,77
Mittlere U-Werte [W/(m <sup>2</sup> a)]			
- Opake Außenbauteile	0,180	0,35 <sup>2)</sup>	0,22
- Transparente Außenbauteile	0,920	1,9 <sup>2)</sup>	1,2
- Vorhangfassade	0,920	1,9 <sup>2)</sup>	1,2

<sup>1)</sup> Jahres-Primärenergiebedarf für das entsprechende Referenzgebäude nach EnEV Anlage 2 Tabelle 1.

<sup>2)</sup> Höchstwert(e) der Wärmedurchgangskoeffizienten nach EnEV Anlage 2 Tabelle 2.

Das Gebäude erfüllt die EnEV und unterschreitet den KfW55 Effizienzhaus Standard um 18 %. Die Anforderungen an die Außenbauteile werden um 49 % bzw. 52 % unterschritten. Während der Bauphase wurden sämtliche geplanten U-Werte eingehalten. Der Primärenergiebedarf verschlechterte sich durch die Nichtumsetzung der Tageslichtsteuerung leicht auf 54,9 kWh/m<sup>2</sup>a. Der primärenergetische Anforderungswert der EnEV wird um über 55% unterschritten.

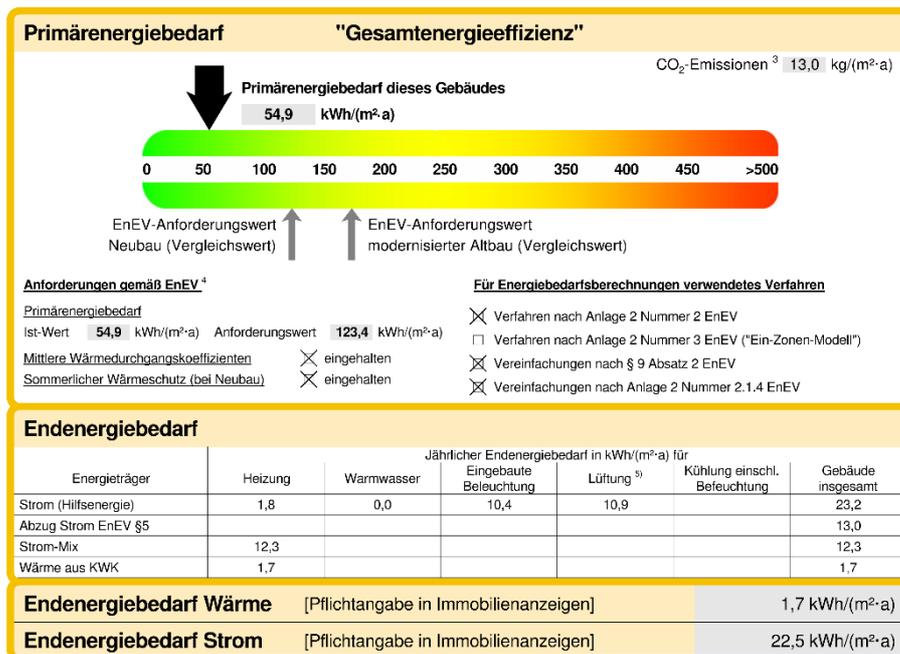


Abbildung 5-4 Auszug aus dem EnEV-Nachweis (TARA Ingenieurbüro GmbH & Co. KG).

Der Erdgas-Endenergiebedarf Wärme beträgt 1,7 kWh/m<sup>2</sup>a. Der Endenergiebedarf Strom zur Beheizung, Beleuchtung, Be- und Endlüftung beträgt 35,5 kWh/m<sup>2</sup>. Unter Berücksichtigung des photovoltaisch erzeugten Stromes beträgt der Strom-Endenergiebedarf 22,5 kWh/m<sup>2</sup>.

### 5.4 Klimaneutralität

Die Ergebnisse der EnEV- Berechnung zeigen, dass allein über die Stromproduktion der Photovoltaikanlage auf dem Dach des Gebäudes keine Klimaneutralität erreicht wird. Um dies zu erreichen, wurde der Gesamtkomplex der Gebäude bestehend aus dem untersuchten Verwaltungsgebäude, dem benachbarten Werkstattgebäude und der benachbarten Fahrzeughalle (unbeheizt) in die Berechnung einbezogen. Als klimaneutral angesetzt wird ein in der Jahresbilanz ausgeglichener CO<sub>2</sub>- Haushalt. Um dies zu berechnen wurde der End- und Primärenergiebedarf des Verwaltungs- und Werkstattgebäudes ohne Berücksichtigung der Photovoltaikanlage gemäß §16 EnEV berechnet und der Einsparung der Photovoltaikanlage gegenübergestellt. Der Solarertrag wurde mit 920 kWh/kW<sub>peak</sub> angesetzt.

Tabelle 5-3 Bewertung der Klimaneutralität durch Eigenstromproduktion (TARA Ingenieurbüro GmbH & Co.KG).

Bewertung Klimaneutralität	Endenergie Bedarf Gebäude	Endenergie Produktion	Primärenergie Bedarf Gebäude	Primär-energie Produktion	CO <sub>2</sub> -Ausstoß	verm. CO <sub>2</sub> -Ausstoß
	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kg/a	kg/a
Photovoltaik Verwaltungsgebäude		27.306		65.533		15.837
Photovoltaik Werkstattgebäude		43.792		105.101		25.399
Photovoltaik Fahrzeugunterstand		20.093		48.223		11.654
Energiebilanzierung Bürogebäude ohne Ber. Photovoltaik nach EnEV 2014	61.919		144.000		33.365	
Energiebilanzierung Werkstattgebäude ohne Ber. Photovoltaik nach EnEV 2014	32.457		74.260		19.114	
<b>Gesamt</b>	<b>94.376</b>	<b>91.190</b>	<b>218.259</b>	<b>218.857</b>	<b>52.479</b>	<b>52.890</b>

Das Ergebnis zeigt, dass die Gebäude in den Bereichen Primärenergie und CO<sub>2</sub>- Ausstoß als klimaneutral bezeichnet werden können.

Im Bereich der Endenergie sind die Gebäude nahezu klimaneutral. Hier übersteigt der Endenergiebedarf die Endenergieproduktion knapp um 3,4 %.

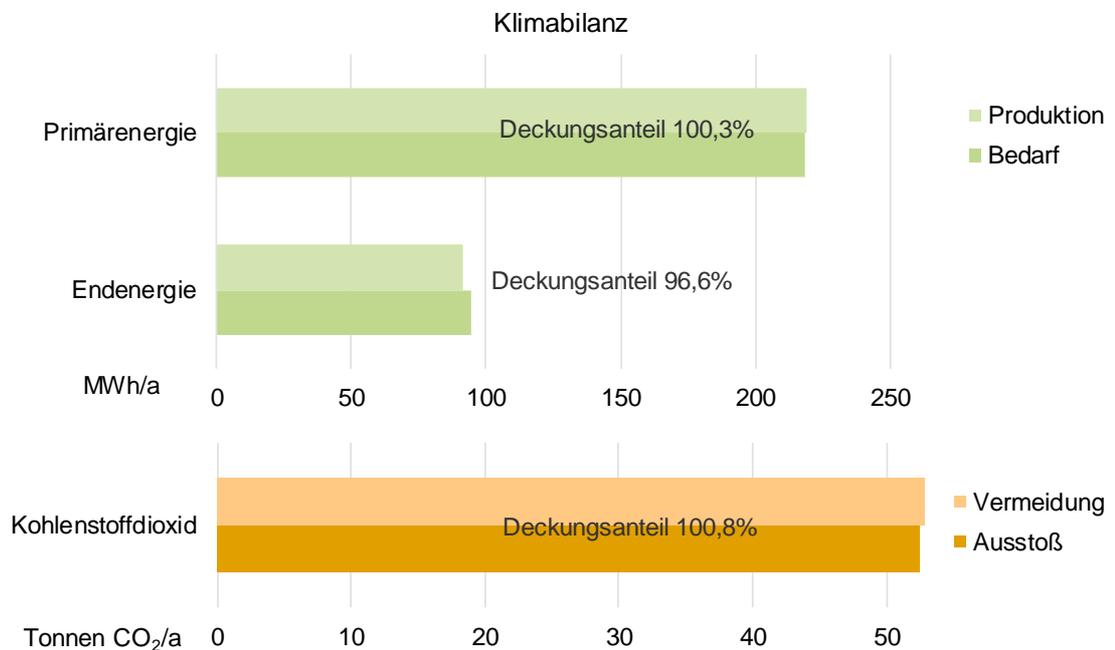


Abbildung 5-5: Klimabilanz (TARA Ingenieurbüro GmbH & Co. KG).

Die Klimaneutralität hängt von der tatsächlichen Energieproduktion der Solarstromanlage ab. Diese wurde im Rahmen des Monitorings ermittelt (siehe Kapitel 7.3.2.)

## 5.5 integrale Planung und Umsetzung

Um die Vorteile einer integralen Planung auszuschöpfen, muss in der Umsetzung auch das Prinzip der interdisziplinären Abstimmung zwischen den einzelnen Gewerken fortgeführt werden. Über eine kontinuierliche Abstimmung und Verzahnung der bautechnischen Anforderungen mit den anlagentechnischen Anforderungen können im Bauprozess noch Änderungen und Anpassungen vorgenommen werden, nicht integral geplante Schnittstellen können aufgedeckt und angepasst werden.

Mit der Umsetzung des Projektes kann in zwei Bereichen beispielhaft gezeigt werden, was mit einer integralen Umsetzung sowohl positiv bewirkt werden kann, als auch welche Herausforderungen durch eine unvollständige interdisziplinäre Abstimmung entstehen.

Herausforderungen entstanden bspw. durch den nachträglichen Einsatz einer zentralen Steuerung der dezentralen Lüftungsanlagen. Während in der Planung und Ausschreibung noch eine rein dezentrale Steuerung der Lüftungsanlagen hinsichtlich Zeiten und gewünschten Vorlauftemperaturen vorgesehen war, erfolgen jetzt zentrale Vorgaben über die Steuerung. Dies stellte in der Anfangsphase bei der nutzergerechten Inbetriebnahme der Steuerung eher ein Hindernis dar.

Analog gilt dies für die Einzelraumregler. Diese wurden in der Planung bewusst einfach gehalten, da über die Einzelraumregler ausschließlich die Wärmezufuhr zu den Deckenstrahlplatten variiert werden sollte. Zur Ausführung kamen digitale Einzelraumregler, welche sich dann aber nicht automatisiert von Winter- in den Sommerbetrieb schalteten.

Als Beispiel für eine gelungene integrale Abstimmung ist die nachträgliche Einbindung eines BHKW. Durch eine kontinuierliche Abstimmung war es möglich, während der Ausführungsplanung nachträglich die Wärmeerzeugung um das BHKW zu erweitern. Dieses benötigte einen Gasanschluss, eine Abgasführung, einen Aufstellungsplatz und eine Anbindung in das Regelungskonzept der Wärmeerzeugung. All die genannten Punkte konnten ohne relevante Mehrkosten während des Bauprozesses umgesetzt werden. Mit der Integration des BHKW kann gezeigt werden, dass auch im Bereich der Anlagentechnik Möglichkeiten bestehen, wiederverwendete technische Bauteile einzusetzen.

## 6 Lebenszyklusanalyse (LCA) Haus A mit Berücksichtigung der Anlagentechnik

Susanne Korhammer, Kim Maertel - Tara Ingenieurbüro GmbH und Co KG

In der ersten Phase des Forschungsprojektes wurden bereits einzelne Bestandteile der Anlagentechnik und der Gebäudehülle von Haus A und Haus B durch eine Bilanzierung gegenübergestellt, um die möglichen Umwelteinwirkungen abschätzen und das Technikkonzept und die Baustoffe während der Planung ggf. anpassen zu können. Bereits bei der Planung der Gebäude wurde Wiederverwendung, Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung in jedem Schritt berücksichtigt.

In der zweiten Phase wurde die Lebenszyklusanalyse auf das gesamte Gebäude A ausgeweitet, um einen Überblick über die eingesetzten Materialien und Baustoffe in Bezug auf deren Umweltwirkung zu ermöglichen. Hierfür wurde eine LCA mit Hilfe des eLCA-Tools erstellt, die nicht nur das Gebäude an sich beinhaltet, sondern ebenfalls die Anlagentechnik soweit möglich erfasst.

Zur Eingabe des Gebäudes wurde dieses in einzelne Bauteile zerlegt, sowohl die Gebäudehülle als auch die Anlagentechnik. Während die Bilanzierungen in der ersten Phase auf der ÖKOBAUDAT 2016-I (Stand 18.05.2016) basierten, basieren die Berechnungen der zweiten Phase auf der aktuellen Version ÖKOBAUDAT 2017-I (Stand 27.11.2017).

Als Ziel wurde keine Zertifizierung nach DGNB-Standard angestrebt, weshalb die Bilanzierungsinhalte individuell festgelegt wurden und nicht exakt den Vorgaben der DGNB entsprechen. Während beispielsweise bei einer Ökobilanzierung nach dem vereinfachten Verfahren nur die Wärmeerzeugung berücksichtigt wird, wurde in dieser LCA auch die sonst vernachlässigbare Wärmeverteilung, RLT-Technik und Photovoltaik berücksichtigt. Dies muss bei der Betrachtung der Bilanzierung und dem Vergleich mit anderen Gebäuden berücksichtigt werden.

## 6.1 Vorgehensweise

Im Vorfeld der Analyse wurden gemeinsam mit dem Forschungsteam die möglichen Datengrundlagen besprochen. Hierzu wurde während eines Treffens das durch TARA entwickelte Konzept mit den jeweiligen Verantwortlichen abgestimmt (Tabelle 6-1).

**Tabelle 6-1 Geplante Vorgehensweise zur Datenermittlung für die Lebenszyklusanalyse**

	Basis	Vorgehensweise
Gebäudehülle	Analog KfW-Baubegleitung und EnEV-Nachweis	Anlage der Bauteilaufbauten Kostengruppe 300
Anlagentechnik	Materialeinsatz laut Ausschreibung <ul style="list-style-type: none"> <li>• Heizung</li> <li>• Lüftung</li> </ul>	Anlage Kostengruppe 400 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Erzeuger</li> <li>• Wärme- und Luftverteilungen nach Dimensionen und Längen</li> <li>• Dämmung der Wärme- und Luftverteilungen nach Dimensionen und Längen der Verteilungen</li> <li>• Übergabe nach Ausschreibung</li> </ul>
Wasser/Abwasser	Materialeinsatz laut Ausschreibung (ausschl. Verteilungen)	Anlage der Leitungen nach Dimensionen und Längen (Kostengruppe 400)
Elektro	Materialeinsatz laut Ausschreibung (ausschl. Verteilungen)	Anlage der Leitungen nach Dimensionen und Längen (Kostengruppe 400)
PV	Materialeinsatz laut Ausschreibung	Anlage der Module (Kostengruppe 400)

Nach der Klärung der Datengrundlagen wurde ersichtlich, dass die Kostengruppen 300 nach DIN 276 vollständig und die Kostengruppe 400 nach DIN 276 soweit eine Eingabe in das Tool möglich ist durchgeführt werden sollte. Die Datengrundlage im Bereich Haustechnik (Kostengruppe 400) ist derzeit noch nicht sehr weit ausgebaut, so dass in diesem Bereich

hauptsächlich einzelne Materialien eingegeben werden können. Bei einem abschließenden Vergleich mit einer Bilanzierung eines vergleichbaren Verwaltungsgebäudes sollte die Eingabe der Anlagentechnik bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden.

Es wurde ein mehrstufiger Plan zur Bilanzierung entwickelt, um durch unterschiedliche Varianten den Fortschritt im Projekt für alle Beteiligten verfolgbar und die Ergebnisse besser nachvollziehbar zu gestalten.

1. Gebäudehülle inkl. Recycling-Fassade (Eiche)
2. Zusätzlich Innenwände und Decken inkl. Recycling-Trennwandsystem
3. Zusätzlich Anlagentechnik (Lüftung, Heizung, Elektro, ohne PV)
4. Zusätzlich PV

Damit ist das Gebäude in den Hauptbestandteilen bilanziert.

5. Einsparung durch Wiederverwendung (Eichenfassade und Trennwandsystem)

Hierdurch sollen die Recycling-Materialien herausgestellt werden.

6. Vergleich mit einem konventionellen EnEV-Gebäude

Durch die verschiedenen Stufen können die einzelnen Einflüsse deutlich herausgearbeitet und kommuniziert werden.

## 6.2 Bilanzierungsrahmen

Nach den Erfahrungen der ersten Phase in Bezug auf die Kommunikation der Ergebnisse der LCA-Analysen, wurde in Absprache mit dem Forschungsteam und der Empfehlung von Herrn Rössig (BBSR) eine Beschränkung auf die Wirkungskategorien Global Warming Potential **GWP in kg CO<sub>2e</sub>** (Indikator für Umweltwirkungen) und Primärenergie nicht erneuerbar **PENRT ges. in MJ bzw. in kWh** (Indikator für Ressourceninanspruchnahme) vereinbart.

Als Berechnungsgrundlage werden die folgenden Lebenszyklusmodule in die Berechnung zur Beschreibung des erwarteten Lebenszyklus des Gebäudes einbezogen:

### ***Konstruktion und Endenergiebilanz***

- A1-A3 Herstellung
- B6 Energieeinsatz für das Betreiben des Gebäudes
- C3 Abfallbehandlung zur Wiederverwendung, Rückgewinnung und/oder zum Recycling
- C4 Beseitigung

### ***Instandhaltung***

- A1-A3 Herstellung
- C3 Abfallbehandlung zur Wiederverwendung, Rückgewinnung und/oder zum Recycling
- C4 Beseitigung

In den genannten Modulen werden die Phasen der Herstellung der Rohstoffe bis zu ihrer Wiederverwendung und Entsorgung berücksichtigt. Das Modul „D Recyclingpotential“ wird zwar – wo vorhanden – ausgegeben, jedoch nicht in Form von Gutschriften in der Gesamtauswertung bei den Modulen A bis C eingerechnet<sup>4</sup>. Da eine Abgrenzung zu den anderen Modulen oftmals nicht eindeutig ist und die Umsetzung sehr unterschiedlich innerhalb der Branchen variiert, ist eine Normierung für dieses Modul nicht anzuwenden.

Die Lebensdauer des Bauwerkes wurde auf 50 Jahre festgelegt und zur Bilanzierung nach dem DGNB-System wurde der Endenergieverbrauch in der Nutzungsphase nach der aktuellen EnEV berücksichtigt. Innerhalb der Bauteilaufbauten sind die vom Tool angesetzten Lebensdauern beibehalten worden, die sich nach einer Tabelle des BSSR<sup>5</sup> mit abgestimmten Werten zur Baukonstruktion der Kostengruppe 300 nach DIN 276 richten. Für die Anlagentechnik werden ebenfalls die voreingestellten Lebensdauern gemäß den Angaben der VDI-Richtlinie verwendet, so dass keine eigenen Lebensdauern verzeichnet sind.

Zusätzlich wurde abgestimmt, dass sich die Darstellung nicht nur auf einen Wert für das Gesamtgebäude beschränken soll, da dieser nur in Verbindung mit vergleichbaren Werten aus anderen Projekten greifbar wäre. Auch in der zweiten Phase soll die Bilanzierung von Einzelbauteilen zu einer fassbaren Einschätzung für das Gebäude und der eingesetzten Materialien und deren Umweltwirkungen führen. Hierzu wurden auch im Bereich der Anlagentechnik, wie bei der Gebäudehülle, verschiedene Systeme zur Wärmeübergabe gegeneinandergestellt.

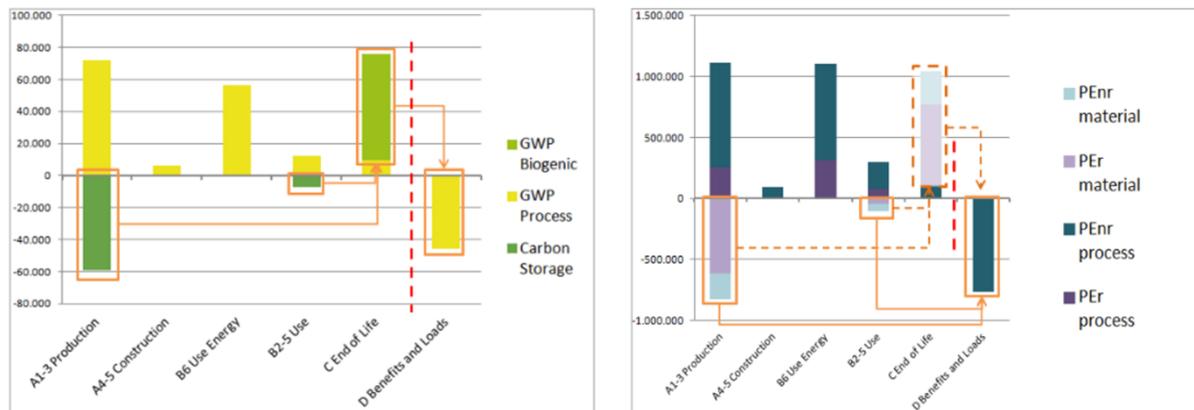
### **Spezialfall Holz**

In diesem Kontext ist das im Gebäude verbaute Holz als spezieller Baustoff zu nennen, bei dem es besonders wichtig ist, die Bilanzierungsweise im Hintergrund zu verstehen. In den folgenden Graphiken<sup>6</sup> sind die Besonderheiten bei der Bilanzierung von Holz und Holzprodukten in Bezug auf das GWP und die PE dargestellt.

<sup>4</sup> <https://www.bundestag.de/resource/blob/536712/b5de7c6e99ae5d531619a5a45c680da9/wd-8-046-17-pdf-data.pdf>, letzter Aufruf: 25.06.2019

<sup>5</sup> [https://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/baustoff\\_gebauedaten/BNB\\_Nutzungsdauern\\_von\\_Bauteilen\\_\\_2011-11-03.pdf](https://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/baustoff_gebauedaten/BNB_Nutzungsdauern_von_Bauteilen__2011-11-03.pdf), letzter Aufruf: 25.06.2019

<sup>6</sup> 19. Internationales Holzbau-Forum 2013: Ökobilanzierung von Holzprodukten – Methodik und Beispiele, F. Dolezal



**Abbildung 6-1** Darstellung der Bilanzierung von Holz. Links: CO<sub>2</sub>-Ströme von Holz und Holzprodukten in einer Gebäudebilanz. Rechts: Primärenergieströme von Materialien in einer Gebäudebilanz. (F. Dolezal)

Bei dem Material Holz wird die Vorkette der Produktion, d.h. in diesem speziellen Fall das Wachstum der Bäume, in der Bilanz berücksichtigt. Dies spiegelt sich sowohl in den GWP-Werten als auch in den PE-Werten von Holz und Holzprodukten wider.

### **Global Warming Potential – Berücksichtigung Kohlenstoffbindung**

Durch das heranwachsende Holz wird der Atmosphäre CO<sub>2</sub> entzogen und in dem Baum gespeichert (ca. 1,83 kg CO<sub>2</sub> pro kg Holz nach F. Dolezal). Wird dieser Baum zu Bauholz verarbeitet und verbaut, wird das CO<sub>2</sub> dadurch langfristig der Umwelt entzogen, was zu einer negativen Bilanz für die Herstellung führt. Wird dieses verbaute Holz am Lebensende wie üblich thermisch verwertet, wird das gespeicherte CO<sub>2</sub> wieder freigesetzt. Zusätzlich kann es zu negativen CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Phase D des Lebenszyklus kommen, da durch die thermische Verwertung des Holzes Strom erzeugt wird und durch die Produktion fossile Brennstoffe zur Energieerzeugung ersetzt werden.

### **Primärenergie – Berücksichtigung Sonnenenergie**

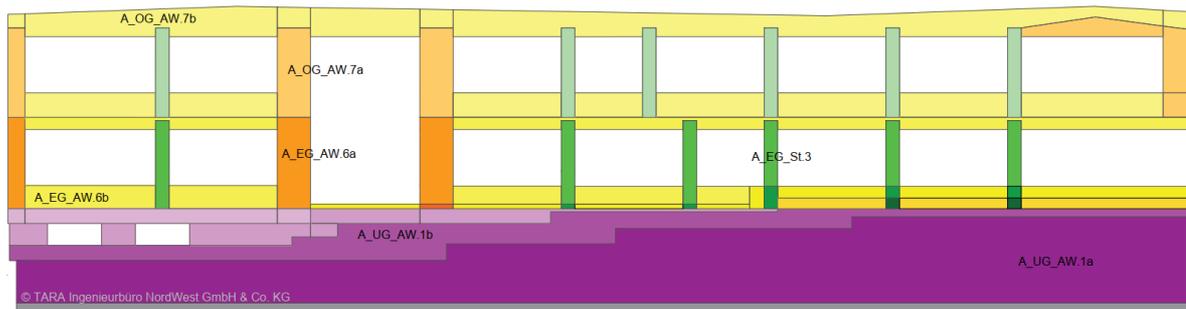
Bei den Primärenergieströmen verhält es sich ähnlich. Hierbei wird die gespeicherte Sonnenenergie, die zum Wachstum des Baumes benötigt wird, als unterer Heizwert in der Lebenszyklusbilanz berücksichtigt. Dadurch ergeben sich die gleichen Verteilungsmuster der Ströme wie beim GWP.

Durch diese berücksichtigten Vorketten verursachen Holz und Holzprodukte verhältnismäßig geringe CO<sub>2e</sub>-Emissionen und benötigen wenig Primärenergie während des Lebenszyklus. Besonders im Bereich der Wiederverwendung in der Fassade (alte Holzbalken) ist dieser Hintergrund wichtig zu kennen. Die daraus resultierende geringe prozentuale Einsparung würde andernfalls dem Baustoff nicht gerecht werden und dem zunehmenden Einsatz von nachwachsendem Holz entgegenwirken.

### **Gebäude(hülle) – Kostengruppe 300**

Durch die Lage im Hang und die sich abstufoende Geländeoberkante wechseln die Bauteilaufbauten von Haus A verhältnismäßig oft, sowohl vertikal als auch horizontal innerhalb der Geschosse (Abbildung 6-2).

Während dieses Projektes wurde bei der Erfassung der Bauteile die unterschiedliche Herangehensweise der Projektbeteiligten deutlich, in deren Arbeitspaketen unterschiedliche Daten erfasst wurden und je nach spezifischer Anforderung der Detaillierungsgrad variierte.

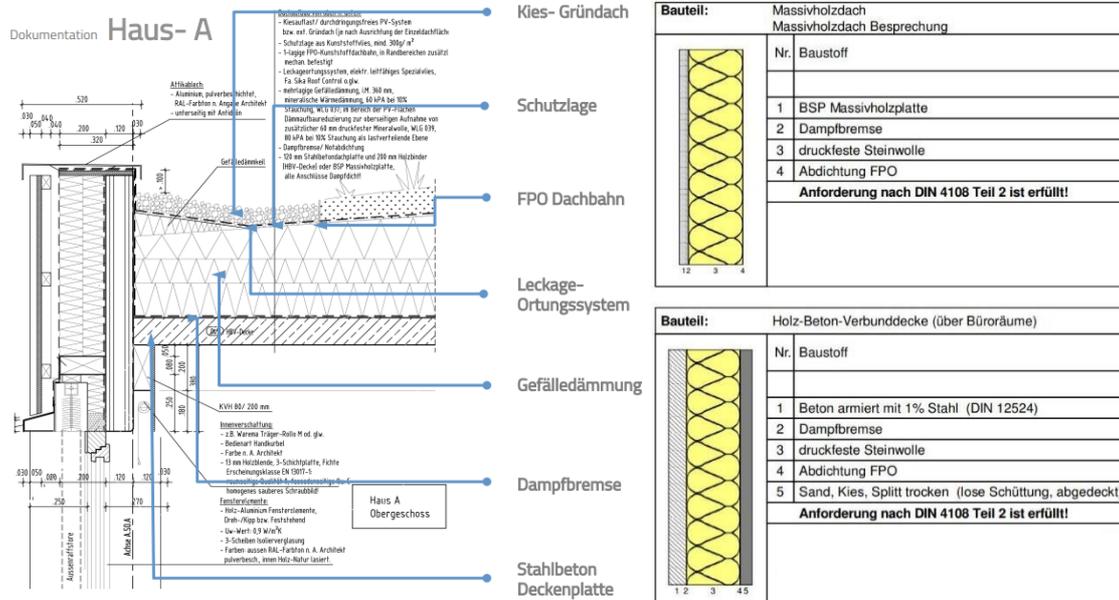


**Abbildung 6-2** Ansicht Nordwest. Darstellung der identifizierten Bauteile und exemplarisch die Bauteilbeschriftungen für die Ökobilanzierung (TARA Ingenieurbüro GmbH & Co. KG).

Die ursprüngliche Herangehensweise, den EnEV-Nachweis und die KfW-Förderunterlagen zur Übertragung der Bauteilaufbauten in das eLCA-Tool zu nutzen, stellte sich als nicht zielführend heraus. An dieser Stelle zeigte sich deutlich die unterschiedliche Definition von *Bauteil*.

Während bei der Erstellung eines EnEV-Nachweises (Abbildung 6-3 rechts) nicht zwingend die Trennlagen und Verbindungsmittel eingegeben werden, weil diese den U-Wert eines Bauteilaufbaus nicht beeinflussen, werden diese in einer Lebenszyklusanalyse erfasst. Dadurch wird die Umweltwirkung dieser Materialien ermittelt und während der Planung kann beispielsweise Kunststoff als Trennlage gegen Baupapier ausgetauscht werden. Des Weiteren mussten beispielsweise zur Anwendung des Fensterassistenten zusätzliche Details (Anschlussfugen, Blend- und Flügelrahmen) eingegeben werden, die im EnEV-Nachweis nicht erfasst werden.

Bei der Bauteildokumentation als Bestandteil der Revisionsunterlagen (Abbildung 6-3 links) werden standardmäßig die Hauptbauteile mit den Schichtenfolgen erfasst, wobei bei unterschiedlichen Stärken der sonst gleichen Schichtenfolgen die Bauteile nicht voneinander unterschieden werden. Diese Unterschiede führen bei der Lebenszyklusanalyse hingegen zu jeweils einem einzelnen Bauteil, damit Massen und Umweltwirkungen genau ermittelt werden können.



**Abbildung 6-3** Bauteile in unterschiedlichem Detaillierungsgrad - links: Bauteildokumentation (RISP) und rechts EnEV-Nachweis (TARA Ingenieurbüro GmbH & Co. KG).

Schlussendlich wurde die EnEV-Datenerfassung in enger Zusammenarbeit mit den planenden Architekten um die erforderlichen Schichten erweitert und in das eLCA-Tool des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BSR) eingegeben. Grundlage für die Bauteilermittlung sind ergänzend die Grundrisspläne, Ansichten und Detailzeichnungen (Ausführungsplanung) der Arbeitsgemeinschaft IBUS und RISP.

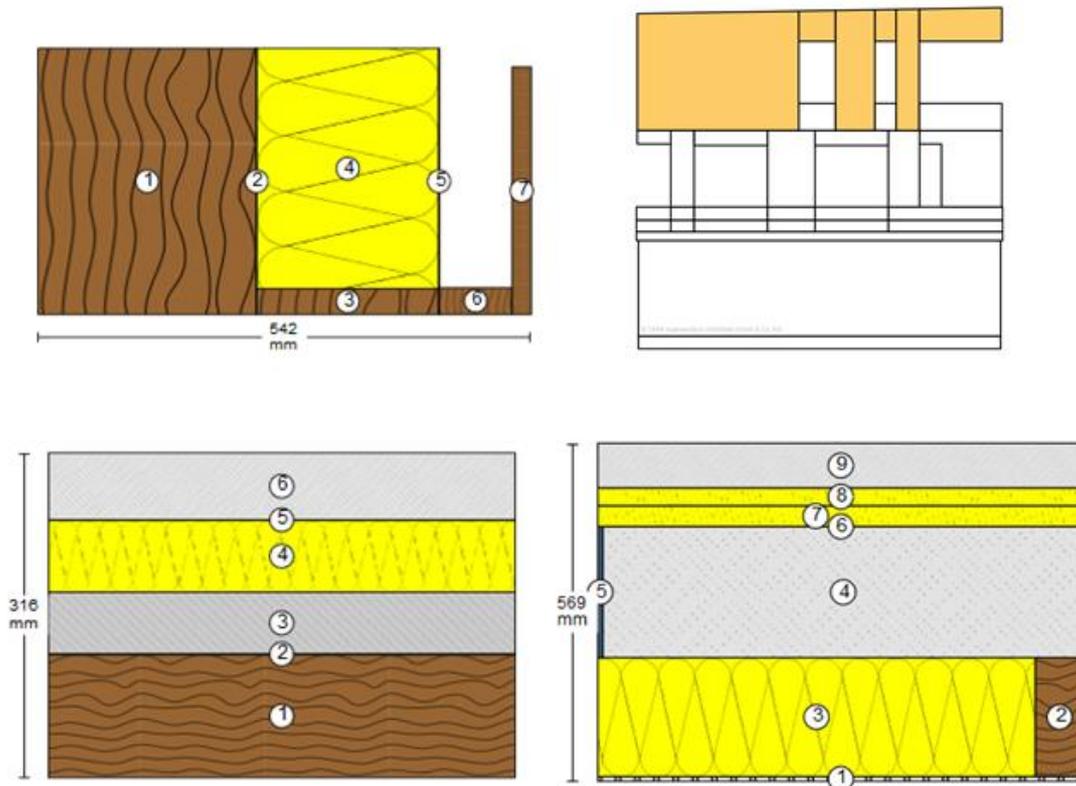
Die Bauteilbeschriftung erfolgte nach einer frei gewählten Nomenklatur.

- Die Bauteilbezeichnung beginnt mit A für Kennzeichnung Haus A
- Danach folgt für die Außenwände das Geschoss in dem das Bauteil lokalisiert werden kann - UG (Betriebshofebene), EG (Besucherebene) oder OG. Für das Dach und die Sohle wären diese Angaben überflüssig.
- Nach den Angaben zur Lage des Bauteils folgt die Spezifikation um welche Art Bauteil es sich handelt.
  - Sohlplatte (SP)
  - Außenwände (AW)
  - Stützen (St.)
  - Dach (DA)
  - Geschossdecken (GD)

*Bsp. A\_UG\_AW.3 bedeutet, dass das Bauteil im Untergeschoss von Haus A zu finden ist und es sich um einen Teil der Außenwand handelt.*

Die Bauteile der AW sind grundsätzlich vom Untergeschoss (1-4) über das Erdgeschoss (5-6) bis zur Attika (7) nummeriert.

Durch die Bauweise und Lage des Gebäudes sind im Untergeschoss diverse Wechsel von Dämmmaterial und Fassadenmaterial innerhalb des Geschosses und der unterschiedlichen Seiten des Gebäudes vorhanden. Die Fortführung der Nummerierung 1-4 und der zusätzlichen Kennzeichnungen a-c ergaben sich bei der Erfassung der Bauteile mit Hilfe der Pläne. Für eine genauere Lokalisierung und den Schichtenaufbau muss ein detaillierter Blick in die Aufzeichnungen ergänzt werden.



**Abbildung 6-4** Oben v. l.: A\_OG\_AW.7a im Detail, Lokalität des Bauteils in der Ansicht. Unten v. l.: Bauteile A\_GD\_EG.4 Decke über den Verkehrszonen, A\_GD\_UG.4 Auskragung über dem Sozialbereich im UG (TARA Ingenieurbüro GmbH & Co. KG).

Die Gebäudehülle wurde in insgesamt 29 Bauteile unterteilt, die sich in folgende Kostengruppen aufteilen:

- 320 Gründung (ein Bauteil)
- 330 Außenwände (23 Bauteile)
- 360 Dächer (fünf Bauteile)

Zusätzlich wurde im Innenbereich Kostengruppe 340 Innenwände (30 Bauteile) und Kostengruppe 350 Decken (fünf Bauteile) berücksichtigt.

Im Bereich der Wände wurden die Schichten ohne die Oberflächenbehandlung, wie ggf. den finalen Anstrich, berücksichtigt. Für die Bodenaufbauten endet die Erfassung beim Estrich und berücksichtigt nicht den abschließenden Bodenbelag (Fliese, PVC, o.ä.).

Für die LCA sind die Bestandteile nicht nur auf die Baustoffe beschränkt, die den massenmäßigen Hauptanteil des Bauteils ausmachen oder den U-Wert beeinflussen.

Die bilanzierten Bestandteile der Gebäudehülle inklusive des Gebäudeinneren sind:

- Tragende Konstruktion: Stahlbeton, Brettschichtholz, Brettsperrholz, Kalksandstein
- Nicht tragende Innenwände: Metallständerwerk, Dämmung
- Innenwandbekleidungen: Gipskarton, Putz
- Elementierte Innenwände (wiederverwendet): Glas, Aluminium, Dichtungen, beschichtete Spanplatten
- Dämmung: Steinwolldämmung, Holzfaserdämmung, XPS
- Deckenbeläge, Fußboden: Splitt, EPS, Estrich, Steinwolle
- Trennschichten: PE-Folien, Vliese, Dampfbremsen, Unterspannbahnen, Kraftpapier
- Fassaden: Konstruktionsholz, HPL-Platten, Holzschalung aus alten Eichenbalken

Der Dachaufbau wurde bis zur äußersten Abdichtung berücksichtigt, die Dachauflage in Form des Substrats und der Pflanzen wurde vernachlässigt. Ebenso wie die Treppen, die zur Hälfte als Betontreppe und zur anderen Hälfte als Holztreppe ausgeführt sind.

#### **Anlagentechnik, Wasser/Abwasser, Elektro, PV – Kostengruppe 400**

Für die Kostengruppe 400 gestaltete sich die Bilanzierung im Gegensatz zur Kostengruppe 300 schwieriger. Anhand der Ausschreibungsunterlagen, Massenbilanzen und der Pläne der Taube + Goerz GmbH (Lüftung, Heizung, Sanitär) und der Ingenieurbüro Hornecker GmbH (Elektro, PV) konnten die Massen zwar gut nachvollzogen werden, die Erfassung im eLCA-Tool war jedoch aufgrund der nicht vorhandenen Datensätze komplizierter.

Im Endeffekt ist die Erfassung der Komponenten im Bereich Anlagentechnik analog zu der Gebäudehülle nur über die Erfassung der einzelnen Materialien zu gewährleisten. Da es jedoch nur in den geringsten Fällen möglich ist, die genaue Materialzusammensetzung beispielweise einer Gasbrennwerttherme zu bestimmen, ist die Erfassung der Anlagentechnik auf den in diesem Rahmen möglichen Umfang beschränkt.

Die erfassten Komponenten sind innerhalb der Kostengruppe 420 Wärmeversorgungsanlagen:

- Sole/Wasser-Wärmepumpe
- Heizungsverteilung inklusive Dämmung
- Deckenstrahlplatten, Fußbodenheizung und Heizkörper.

Innerhalb der Kostengruppe 430 Lufttechnische Anlagen:

- Lüftungsanlagen
- Verteilleitungen inklusive Dämmung
- Brandschutzklappen.

Innerhalb der Kostengruppe 440 Starkstromanlagen:

- Eigenstromversorgungsanlagen (PV)
- Niederspannungsinstallationsanlagen (Verteilkabel).

Das eingesetzte BHKW zur Wärme- und Stromerzeugung ist von dem alten Standort der Stadtwerke übernommen und wird aus diesem Grund, wie alle anderen wiederverwendeten Bauteile, nicht in der LCA bilanziert.

### 6.3 Ergebnisse

Im folgenden Kapitel sollen alle Ergebnisse der Lebenszyklusanalyse zusammen dargestellt werden. Hierbei werden hauptsächlich die Auswertungen und Graphiken aus dem eLCA-Tool gezeigt. In den dargestellten Ergebnissen ist die Wiederverwendung bereits berücksichtigt, indem die Bauteile und Baustoffe entsprechend nicht als neu hergestelltes Material bilanziert wurden.

Es zeigt sich bei der Auswertung der Ergebnisse jeweils eine Korrelation des Umweltpotentials innerhalb der gewählten Wirkungskategorien GWP und PENRT. Das heißt, dass die Verhältnisse bei beiden Kategorien ähnlich sind. Aus diesem Grund ist im Folgenden die Darstellung der Ergebnisse zur Vereinfachung auf das GWP beschränkt, gilt verhältnismäßig jedoch analog auch für den PENRT.

#### 6.3.1 Gebäude(hülle) - Kostengruppe 300

Insgesamt bedingt die erfasste Gebäudehülle ca. 72% des GWP des bilanzierten Gebäudes (inklusive der Anlagentechnik), die sich auf die Kostengruppen 320 (Gründung) bis 360 (Dächer) aufteilen (Abbildung 6-5).

An dieser Stelle sei noch einmal der Hinweis gegeben, dass aufgrund der eingeschränkten Eingabe von Bestandteilen der Haustechnik die Anteile leicht verschoben sein können. Die Erfassung der Gebäudehülle ist deutlich detaillierter möglich.

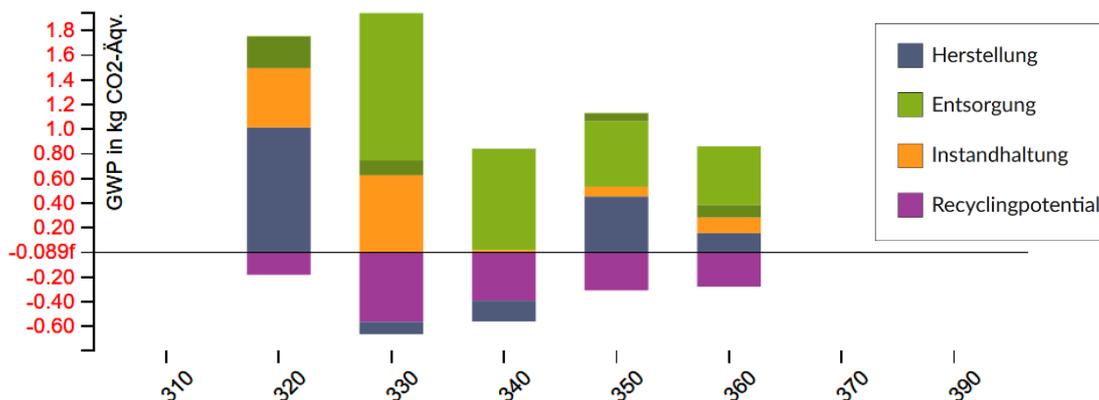


Abbildung 6-5 Verteilung GWP innerhalb der Kostengruppe 300 (TARA Ingenieurbüro GmbH & Co. KG).

Innerhalb der Kostengruppe 300 entfallen knapp 60% des GWP auf die Gründung und die Außenwände, ein weiteres Drittel auf die Decken und das Dach (Abbildung 6-6). Der Anteil der Innenwände am GWP ist aufgrund des Materials und der Wiederverwendung verhältnismäßig gering (11%).

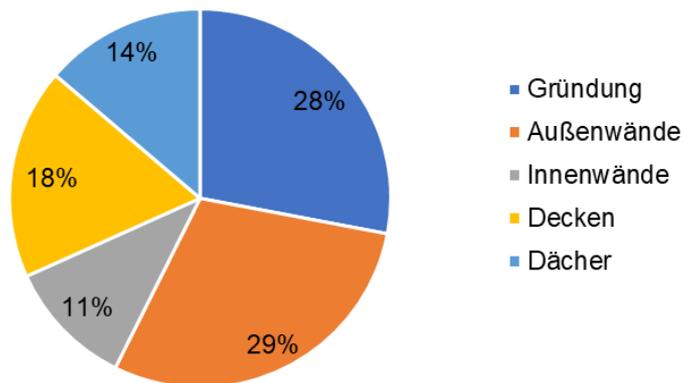


Abbildung 6-6 Prozentuale Anteile am GWP innerhalb der Kostengruppe 300 (TARA Ingenieurbüro GmbH & Co. KG).

### Wiederverwendung

Da neben der Auswahl der Baustoffe und Materialien die Ressourcenschonung ein entscheidender Bestandteil einer nachhaltigen Bauweise ist, wird im Folgenden die Masseneinsparung durch die Wiederverwendung von Bauteilen und Materialien dargestellt. Bei den wiederverwendeten Bestandteilen, die in der Gebäudehülle berücksichtigt wurden, handelt es sich um:

- Holz aus Eichenbalken für die Holzfassade (Kostengruppe 330)
- Elementierte Bürotrennwände inklusive Innentüren (Kostengruppe 340).

Tabelle 6-2 Masseinsparungen durch Wiederverwendung (TARA Ingenieurbüro GmbH & Co. KG)

Baustoff (eLCA)	Masse
Laubschnittholz - getrocknet (Durchschnitt DE)	7.144 kg
Isolierglas 2-Scheiben	2.487 kg
Spanplatte - melaminbeschichtet (Durchschnitt DE)	1.518 kg
Aluminium-Rahmenprofil, pulverbeschichtet	576 kg
<b>Einsparung Masse</b>	<b>11.725 kg</b>

Insgesamt konnte durch die Wiederverwendung in der Gebäudehülle gut 11,7 Tonnen Material eingespart werden, wobei gut 60% davon durch die Holzfassade und 40% durch die elementierten Trennwände erreicht wurde (Tabelle 6-2). Im Kontext von „Urban Mining“ wird diese Art der Wiederverwendung von Ressourcen einen immer größeren Stellenwert im Bausektor erreichen.

Der zweite positive Effekt der Wiederverwendung ist die Einsparung von CO<sub>2e</sub> die bei der Herstellung von Baustoffen und Bauteilen emittiert werden würde. In diesem Zusammenhang ist für die Ergebnisauswertung erneut die spezielle Eigenschaft von Holz in der Bilanzierung zu nennen (vgl. 6.2 Bilanzierungsrahmen).

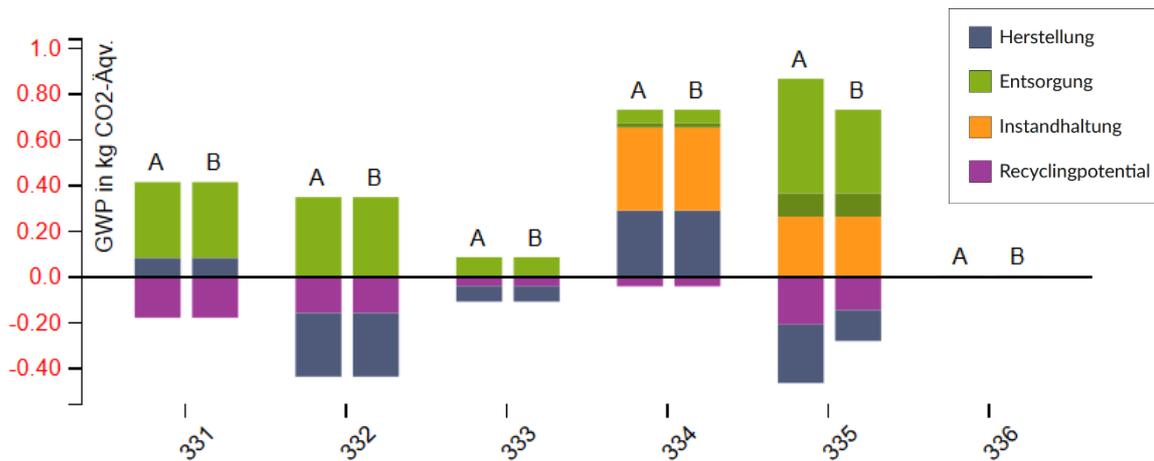


Abbildung 6-7 Variantenvergleich ohne Wiederverwendung A und mit Wiederverwendung B innerhalb der Kostengruppe 330 (TARA Ingenieurbüro GmbH & Co. KG).

In der Abbildung 6-7 ist der Vergleich der beiden Varianten A ohne Wiederverwendung und B mit Wiederverwendung innerhalb der Kostengruppe 330 dargestellt. Es zeigt sich, dass die Einsparung innerhalb der Kostengruppe für die Phase Entsorgung abgenommen hat, für die Phasen Herstellung und Recyclingpotential hingegen im negativen Bereich jeweils leicht angestiegen ist (Kostengruppe 335). Dies liegt an dem Baustoff Holz, durch dessen Wiederverwendung die negativen Werte wegfallen.

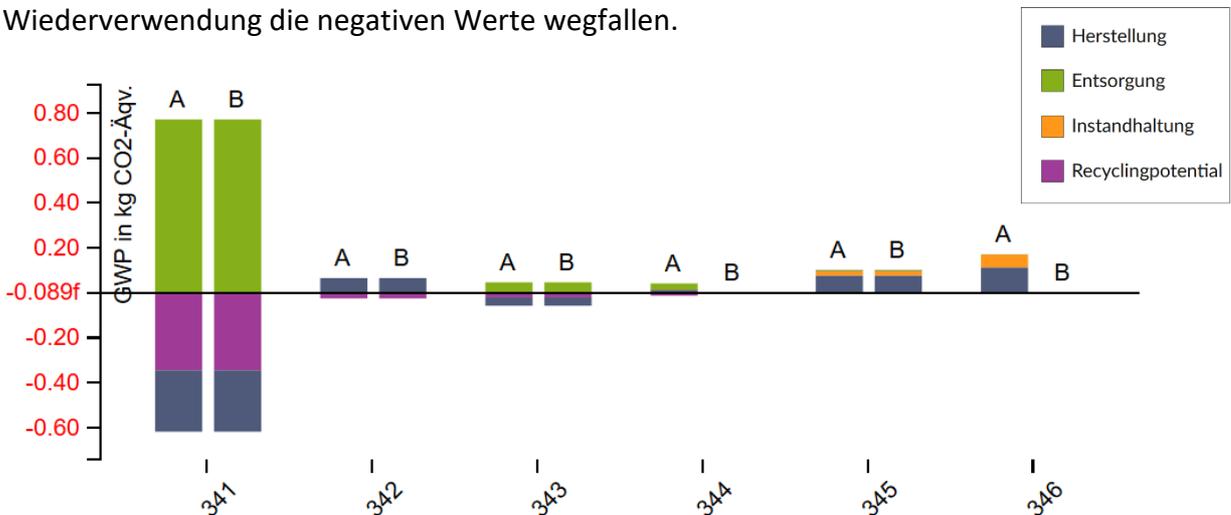


Abbildung 6-8 Variantenvergleich ohne Wiederverwendung A und mit Wiederverwendung B innerhalb der Kostengruppe 340 (TARA Ingenieurbüro GmbH & Co. KG).

Für den Variantenvergleich innerhalb der Innenwände (Kostengruppe 340) zeigt sich in Abbildung 6-8 eine Einsparung im Bereich der Instandhaltung und Herstellung für die Innentüren und die elementierten Bürotrennwände hauptsächlich bestehend aus Aluminium-Rahmenprofilen und Glas.

### 6.3.2 Anlagentechnik, Wasser/Abwasser, Elektro, PV - Kostengruppe 400

In der Abbildung 6-9 ist zu erkennen, dass innerhalb der Kostengruppe 400 knapp 75% des GWP auf die Starkstromanlagen (Kostengruppe 440) entfallen.

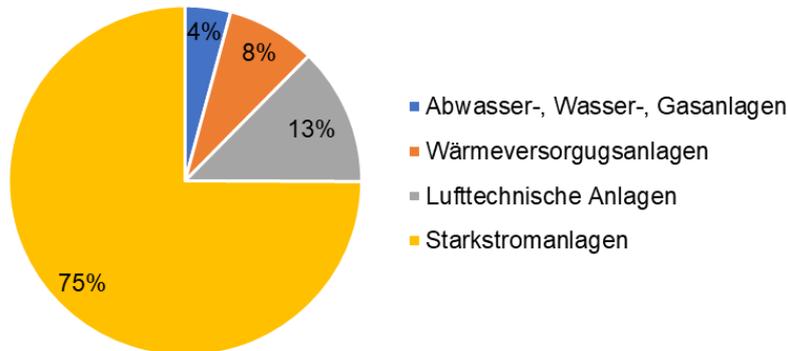


Abbildung 6-9 Prozentuale Anteile am GWP innerhalb der Kostengruppe 400 (TARA Ingenieurbüro GmbH & Co. KG).

Bei einer detaillierten Auswertung dieser Kostengruppe wird deutlich, dass es sich dabei hauptsächlich um die PV-Module handelt, ergänzt durch die Daten- und Kunststoffkabel (Kostengruppe 444).

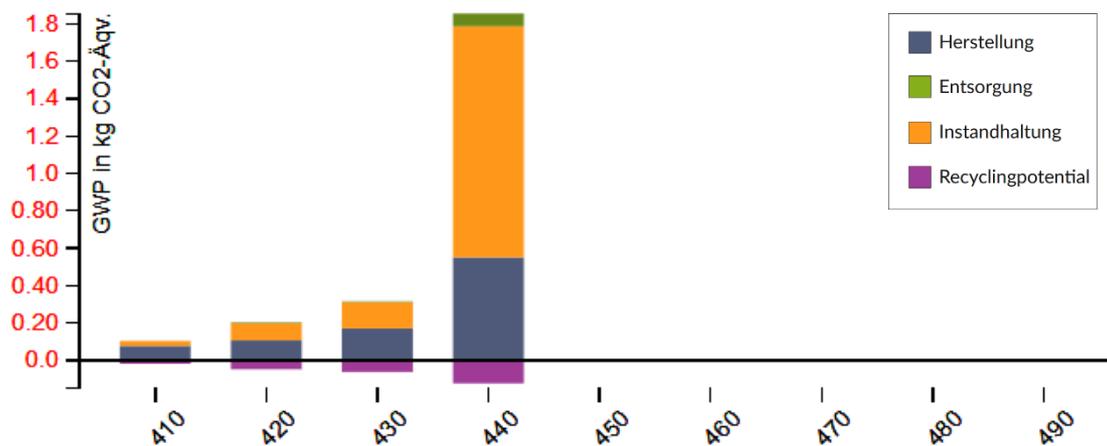


Abbildung 6-10 Verteilung GWP innerhalb der Kostengruppe 400 (TARA Ingenieurbüro GmbH & Co. KG).

Anders als bei dem Bauwerk entfallen Zweidrittel des GWP auf die Instandhaltung und ca. ein Drittel auf die Herstellung (Abbildung 6-10). Die Entsorgung spielt in der Kostengruppe nur eine untergeordnete Rolle und ist in der Gesamtbilanz vernachlässigbar gering.

### 6.3.3 Vergleich Einzelbauteile

Eine Herausforderung im Bereich der Lebenszyklusanalyse ist die Kommunikation der Ergebnisse. Je nach Adressaten sind die Darstellung und Auswahl der Ergebnisse entscheidend für eine zielführende Kommunikation.

Um die CO<sub>2</sub>-Relevanz von einzelnen Bauteilen zu kommunizieren, ist ein Gebäude als Konglomerat vieler verschiedener Bauteile ungeeignet, da dies zu diffizil ist.

Vor diesem Hintergrund wurden exemplarisch Einzelbauteile aus dem Bereich Gebäudehülle und Anlagentechnik bilanziert und gegenübergestellt.

Die Erfahrung aus Vorträgen und öffentlichen Informationsveranstaltungen zeigt, dass die Darstellung des Vergleichs von Einzelbauteilen Verständnis und Interesse für die Thematik hervorruft. Hierzu wurde in Vorträgen beispielsweise ein Heizkörper einer vergleichbaren Deckenstrahlplatte gegenübergestellt (Abbildung 6-12). Das Ergebnis zeigt, dass die erzeugten CO<sub>2e</sub>-Emissionen bei einer Deckenstrahlplatte um 60% niedriger sind als bei einem Heizkörper mit vergleichbarer Heizleistung. Besonders in der Instandhaltung zeigt die Bilanz eine deutliche Differenz zwischen den beiden Heizsystemen.

**Beispiel: Heizkörper im Vergleich zu Deckenstrahlplatten (ÖKOBAUDAT 2016-I)**

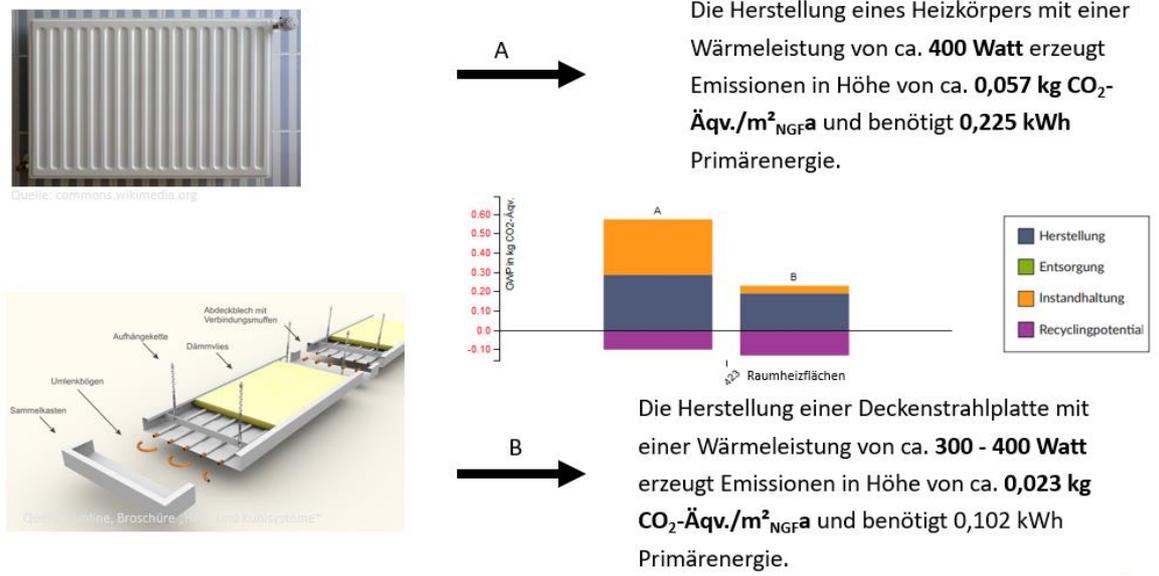
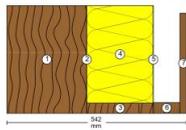


Abbildung 6-11 Beispiel für die Aufbereitung zur Kommunikation (TARA Ingenieurbüro GmbH & Co. KG).

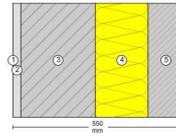
Auch für die Gebäudehülle eignen sich die Einzelbauteile besser zur Kommunikation. Im Bereich der Außenwände wurde beispielsweise zur Eröffnung des Gebäudes ein Vergleich zwischen zwei Außenwandaufbauten mit gleichem U-Wert auf den Plakaten dargestellt. Die Holzkonstruktion spart in dem Beispiel gegenüber einer Stahlbetonkonstruktion 39% CO<sub>2e</sub> ein (Abbildung 6-12).

Vergleich Bauteile Stadtwerke Neubau vs. Bauteile EnEV-Gebäude Neubau

Baukostengruppe 330 - Außenwand



- ① Brettsperrholz - Standardform (Durchschnitt DE), 240,00mm
- ② Dampfsperre PE, 0,50mm
- ③ Mineralwollebattschicht (Durchschnitt DE), 200,00mm
- ④ Holzwerkstoffputz, 20,00mm
- ⑤ Unterputzputz PP, 0,50mm
- ⑥ Mineralwollebattschicht (Durchschnitt DE), 60,00mm
- ⑦ Laubholztafel - getrocknet (Durchschnitt DE), 21,00mm

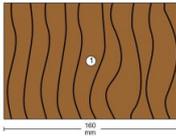


- ① Innerelektre Dispersionsbeton schwachfest, 0,50mm
- ② Kalksandstein, 20,00mm
- ③ Kalksandstein Mix, 240,00mm
- ④ EPS-Hartschaum (Dämmung für Klima und Dämmung WE-EISE), 110,00mm
- ⑤ Kalksandputz, 110,00mm

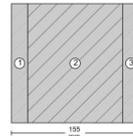
Vergleich zweier Außenwände mit dem gleichen U-Wert (0,17 W/m<sup>2</sup>K). Holzkonstruktion gegen Stahlbetonkonstruktion.

GWP-Einsparung durch Holzkonstruktion: 39% CO<sub>2e</sub>

Baukostengruppe 340 - Innenwand



- ① Brettsperrholz (Durchschnitt DE), 160,00mm

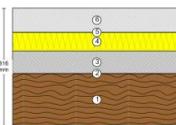


- ① Gipsputz (Gips), 20,00mm
- ② Kalksandstein Mix, 115,00mm
- ③ Gipsputz (Gips), 20,00mm

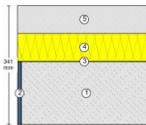
Vergleich zweier Innenwände. Brettsperrholz gegen Kalksandstein.

GWP-Einsparung durch Innenwände aus Brettsperrholz: 40% CO<sub>2e</sub>

Baukostengruppe 350 - Geschossdecke



- ① Brettsperrholz (Durchschnitt DE), 140,00mm
- ② Klebbauteil, 0,50mm
- ③ Sperr 210, 60,00mm
- ④ Spanplatte-Glasmatte im hohen Rohdichtebereich, 50,00mm
- ⑤ Faserflockungsgeländer PE/PP-Folie, 0,50mm
- ⑥ Estrichbeton-Zementestrich, 80,00mm



- ① Transportbeton C20/25, 180,00mm
- ② Bewehrungsstahl, 180,00mm
- ③ Dampfsperre PE, 1,00mm
- ④ Mineralwolle (Boden-Dämmung), 80,00mm
- ⑤ Estrichbeton-Zementestrich, 80,00mm

Vergleich zweier Geschossdecken. Brettsperrholzdecke mit Splittschüttung gegen Stahlbetondecke.

GWP-Einsparung durch Geschossdecke aus Brettsperrholz: 51% CO<sub>2e</sub>

Abbildung 6-12 Kommunikation von Einzelbauteilen im Vergleich. Oben: Vortragsfolie. Unten: Darstellung Plakat Eröffnung (TARA Ingenieurbüro GmbH & Co. KG).

Durch den Vergleich mit und zwischen bekannten Systemen wurde der Erfolg, die Adressaten zu erreichen und entsprechend der Vorkenntnisse und Interessen abzuholen, deutlich erhöht.

## 6.4 Zusammenfassung

Zum Abschluss der LCA soll jeweils ein Gesamtwert für die Wirkungskategorien GWP und PENRT als Indikatoren für Umweltwirkungen und Ressourceninanspruchnahme für das bilanzierte Gebäude stehen, die das Gebäude mit anderen Verwaltungsgebäuden vergleichbar macht.

Als Vergleich wird im Folgenden ein Wert für ein Beispielgebäude nach dem vereinfachten Verfahren vom BMUB herangezogen<sup>7</sup>. An dieser Stelle ist bei der Interpretation der Ergebnisse erneut darauf hingewiesen, dass die durchgeführte Bilanzierung von der des vereinfachten Verfahrens abweicht. Aus diesem Grund lassen sich die Werte nur als Tendenzen bewerten.

<sup>7</sup> [https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/fileadmin/steckbriefe/verwaltungsgebäude/neubau/v\\_2015/Bilanzierungsregeln\\_BNB\\_BN\\_2015.pdf](https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/fileadmin/steckbriefe/verwaltungsgebäude/neubau/v_2015/Bilanzierungsregeln_BNB_BN_2015.pdf), letzter Aufruf 25.06.2019

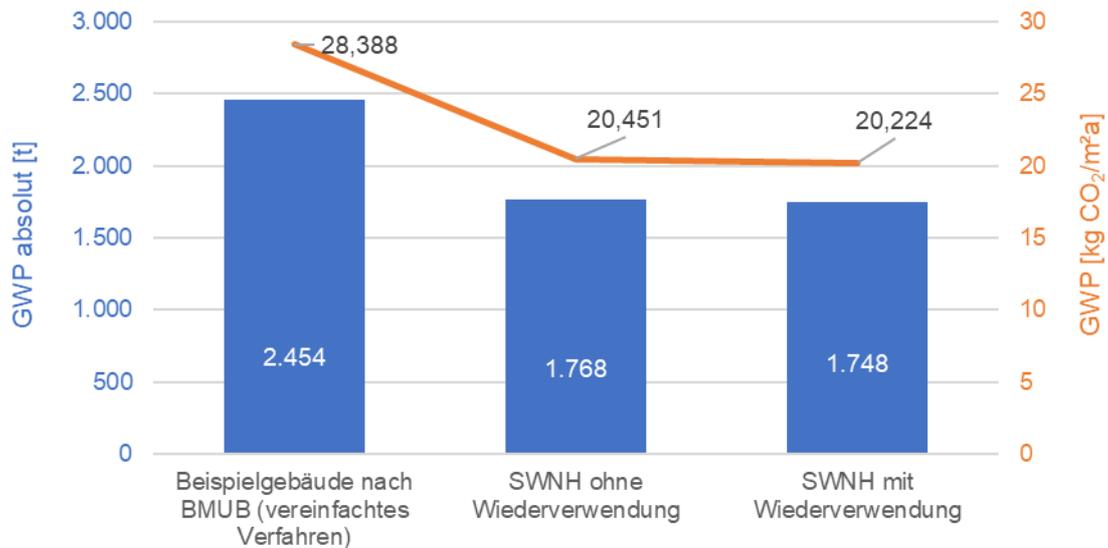


Abbildung 6-13 Vergleich des Gebäudes mit einem Beispielgebäude vom BMUB für GWP (TARA Ingenieurbüro GmbH & Co. KG).

In Abbildung 6-13 ist der Vergleich für das GWP dargestellt und es wird ersichtlich, dass durch das Gebäude bereits ohne die Berücksichtigung der Wiederverwendung ca. 28% der CO<sub>2</sub>-Emissionen während des Lebenszyklus vermieden werden kann. Durch die Wiederverwendung erhöht sich diese Einsparung noch auf knapp 29%. Durch den Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen wie Holz und nachhaltigen Materialien konnten die Umweltwirkungen des neuerrichteten Gebäudes um mehr als ein Viertel reduziert werden.

Für das PENRT in Abbildung 6-14 zeigen sich ähnliche Relationen, die Gesamteinsparung liegt hier bei guten 49% gegenüber dem Beispielgebäude. Der reduzierte Primärenergieverbrauch zeigt einen ressourcenschonenden Einsatz von Material und Energie.

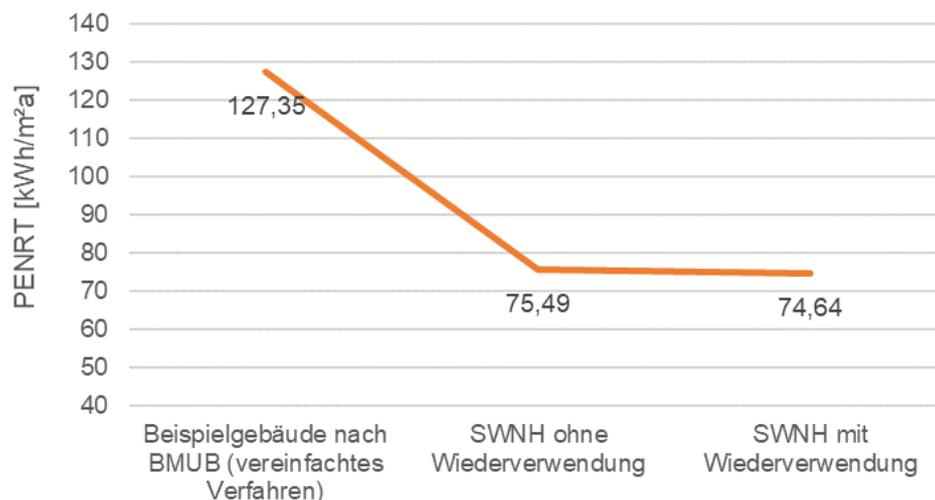


Abbildung 6-14 Vergleich des Gebäudes mit einem Beispielgebäude vom BMUB für PENRT (TARA Ingenieurbüro GmbH & Co. KG).

Damit die LCA den Vorgaben und Kriterien für eine Zertifizierung nach dem vereinfachten Verfahren der DNGB entspricht, ist eine Anpassung der Bauteile und Baustoffe notwendig. Dies

betrifft die Bodenaufbauten (Bodenbeläge) und die eingegebene Anlagentechnik kann um beispielsweise die Wärmeverteilung reduziert werden. Die genauen Vorgaben sind den einzelnen Steckbriefen zu entnehmen

Auch wenn die Energiebilanz des Gebäudes nahezu klimaneutral ist, verursacht die Herstellung der Materialien, die Errichtung, der Betrieb und die Entsorgung des Gebäudes über 50 Jahre betrachtet ein GWP von 20,224 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>a.

Um die Ergebnisse auch den Mitarbeitenden transparent darstellen zu können, wurde ergänzend ein spezifischer Wert pro Mitarbeiter/in als Mittel ausgewählt, auch als CO<sub>2</sub>-Rucksack bezeichnet.

**Für das Verwaltungsgebäude der Stadtwerke Neustadt in Holstein ergeben sich bei 33 Mitarbeitenden innerhalb des Gebäudes 1.059 kg CO<sub>2</sub> pro Person und Jahr.**

Dies übertragen auf ein 100 m<sup>2</sup> Einfamilienhausneubau im gleichen Standard, bewohnt von zwei Personen führt zu einem persönlichen CO<sub>2</sub>-Rucksack von einer Tonne CO<sub>2</sub>/a durch den Hausbau.

Diese Berechnungen veranschaulichen, dass selbst ein ressourceneffizientes und klimaneutrales Gebäude einen nicht zu vernachlässigenden CO<sub>2</sub>-Rucksack verursacht. Von daher ist es umso wichtiger, dass im Baubereich Ressourcen und Energie nachhaltig eingesetzt werden und nach Möglichkeit viele Materialien und Baustoffe wiederverwendet werden.

## 7 Energiemonitoring im Neubau der Stadtwerke Neustadt

Ulf Lezius, Leif Holthusen – TH Lübeck, Wissenschaftszentrum für intelligente Energienutzung

### 7.1 Überblick und Einleitung

In den folgenden Berichtsabschnitten wird der Anteil der TH Lübeck am Gesamtprojekt dargestellt. Im Wesentlichen umfasst dieser Teil den Aufbau eines Energiemonitorings, also dem Einbau und der Anbindung von Sensoren zur Erfassung der umgesetzten Energien Gebäude. Diese Messdaten werden auf einem Server gespeichert und stehen für Auswertungen zur Verfügung. Eine für dieses Projekt wichtige Auswertung ist dabei die Aufstellung einer Kohlendioxid-Bilanz über den Zeitraum von einem Jahr. Damit soll ein Projektziel abgesichert bzw. die Erreichung des Projektziels nachgewiesen werden: das hier ein CO<sub>2</sub>-neutraler Gebäudebetrieb möglich ist. Weiter wurden die aufgezeichneten Daten in verschiedenen Ansätzen im Rahmen der Begleitforschung verwendet. Dabei wurden beispielsweise Lastgangsprognosen mit Hilfe von Methoden der künstlichen Intelligenz erstellt, es wurden Simulationen verschiedener Komponenten des Energiesystems parametrisiert und durchgeführt. Dies alles sind wichtige Voraussetzungen für die Entwicklung und Implementierung von modellprädiktiven Regelungen, die ein sehr leistungsfähiges Instrument in der optimalen Steuerung von Energiesystemen sein können.

### 7.2 Installiertes Messsystem

Für die Erhebung der im Projekt benötigten Messdaten wurde im Neubau der Stadtwerke Neustadt ein Messsystem zur Erfassung der unterschiedlichen Einspeisungen und Verbräuche der verschiedenen Energiearten im Gebäude installiert. Dieses Energiemonitoring umfasst im wesentlichen Zähler für elektrische Energie, Zähler für Wärme sowie spezielle Raumluftsensoren. Alle diese Sensoren sind mit Datenschnittstellen ausgerüstet, die eine Fernauslesung der aktuellen Zählerstände bzw. Messwerte ermöglichen. Gateways fassen diese Datenströme zusammen und übertragen die Daten über LAN-Leitungen an einen Server. Dieser Rechner speichert die Verläufe der Werte und ermöglicht den späteren Abruf und die Auswertung der Daten.

#### 7.2.1 Monitoring des elektrischen Systems

Die Abbildung 7-1 zeigt eine Überblicksdarstellung über die installierten Elektrozähler. Die Pfeile in der Abbildung symbolisieren mögliche Energieflüsse, also Verbrauch bzw. Einspeisung von elektrischer Energie.

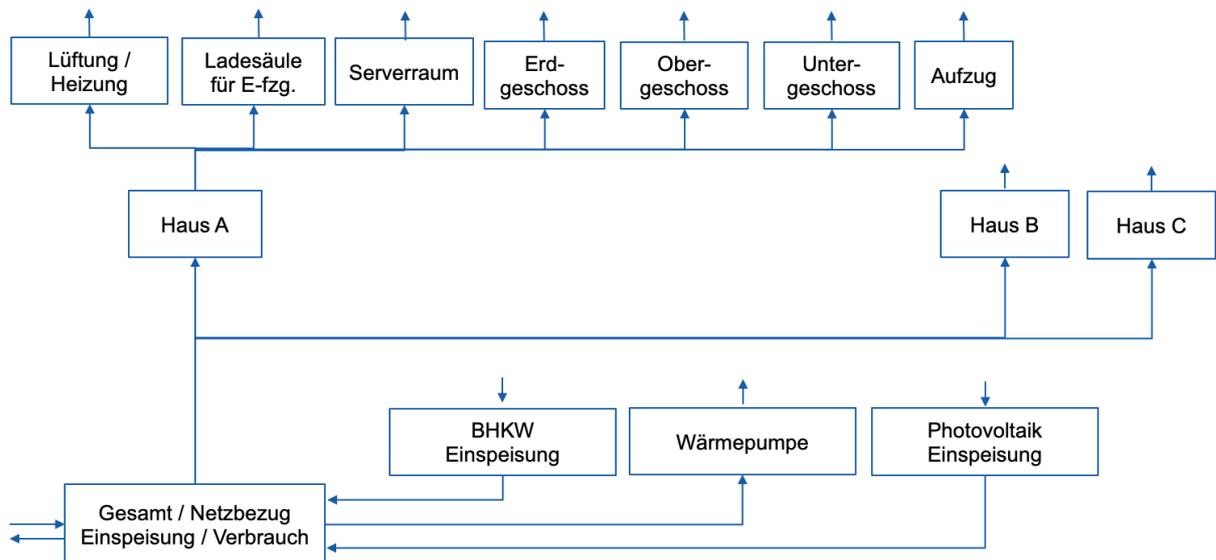


Abbildung 7-1 Überblick über das Monitoring für die elektrische Energie

Für den Erfassung des Verbrauchs und die Erzeugung von elektrischer Energie im Gebäude wurden insgesamt 14 Elektrozähler der Fima EMU AG in extra dafür vorbereiteten Elektroschränken installiert. Für Messstellen, die lediglich einen Energieverbrauch repräsentieren, wurden Zähler aus der Allround-Serie von EMU benutzt. Für Messstellen, die eine Energieeinspeisung bzw. Verbrauch und Einspeisung repräsentieren, wurden Zähler aus der Profi-Serie des Herstellers benutzt. Die verwendeten Elektrozähler verfügen über eine M-Bus Schnittstelle. Da sich alle installierten Zähler in einem Raum befinden, genügte ein Gateway vom Typ Elvaco CMe3000, welches die Umsetzung der digitalen M-Bus Schnittstelle auf das TCP/IP Protokoll übernimmt. Da das verwendete Gateway lediglich 8 M-Bus Teilnehmer anbinden kann wurde es mit einem Elvaco CMex40 M-Bus Modul gekoppelt. So konnten dann alle 14 Zähler im Raum angebunden werden.

## 7.2.2 Monitoring des Heizsystems

Der andere wesentliche Bereich im Gebäude in dem Energie umgesetzt wird, ist das Heizsystem. Die Abbildung 7-2 zeigt einen schematischen Überblick. Im Wesentlichen erfolgt die Wärmeerzeugung für die Heizung durch eine Wärmepumpe mit Erdsonde. Die Versorgung mit Warmwasser und eine im Bedarf abrufbare Reserveheizleistung wird durch Ein Blockheizkraftwerk sichergestellt. Dies verbraucht im Betrieb Erdgas und gibt sowohl elektrische Energie als auch nutzbare Wärme ab.

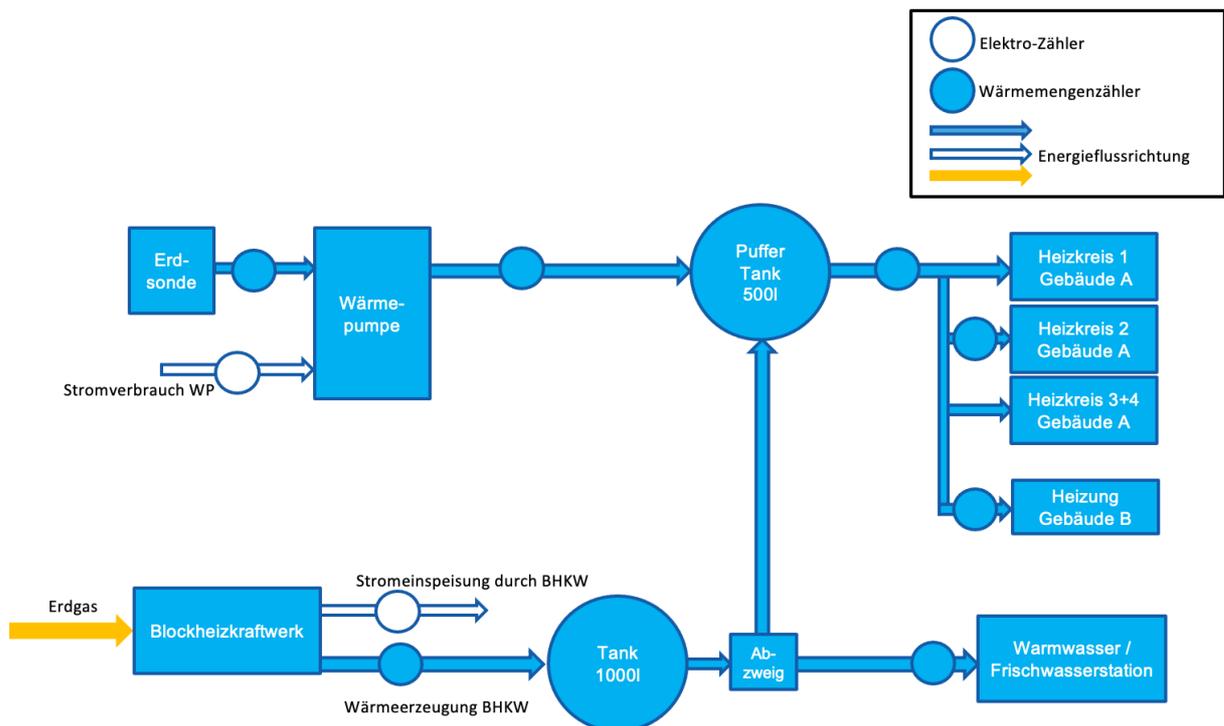


Abbildung 7-2 Überblick über das Monitoring des Heizsystems (Wärmeenergie)

In der Abbildung 7-2 sind die Messstellen für die Wärmemengenzähler im Heizsystem durch kleine blaue Kreise gekennzeichnet. Folgende Messstellen wurden mit Hilfe von Allmess-Wärmemengenzählern realisiert:

Wärmezufuhr aus der Erdsonde zur Wärmepumpe

- von der Wärmepumpe ins Heizsystem gespeiste Wärme
- vom BHKW ins Heizsystem gespeiste Wärme
- in den Gebäuden A und B verbrauchte Wärme
- für die Warmwasseraufbereitung verbrauchte Wärme
- im Heizkreis 2 des Gebäude A verbrauchte Wärme
- für die Heizung im Gebäude B verbrauchte Wärme

Ebenfalls in der Abbildung 7-2 enthalten sind zwei Messstellen für elektrische Energie (dargestellt durch weiß gefüllte kleine Kreise): Stromeinspeisung durch das BHKW und Stromverbrauch durch die Wärmepumpe. Diese Messstellen sind natürlich ebenfalls in Abbildung 7-1 enthalten.

Alle sieben Wärmemengenzähler sind mit einer M-Bus-Schnittstelle und befinden im gleichen Heizungsraum. Sie können also mit Hilfe eines Elvaco CMe3000 Gateway an das LAN angebunden werden.

### 7.2.3 Raumluftsensoren

Für die Überwachung des Betriebsverhaltens des Heiz- und Lüftungssystems sowie zur Unterstützung der Inbetriebnahme von Gebäude, Heizung und Lüftung wurden in fünf ausgewählten Räumen Raumluftsensoren vom Typ Aerasgard RFTM-CO2 MODBUS

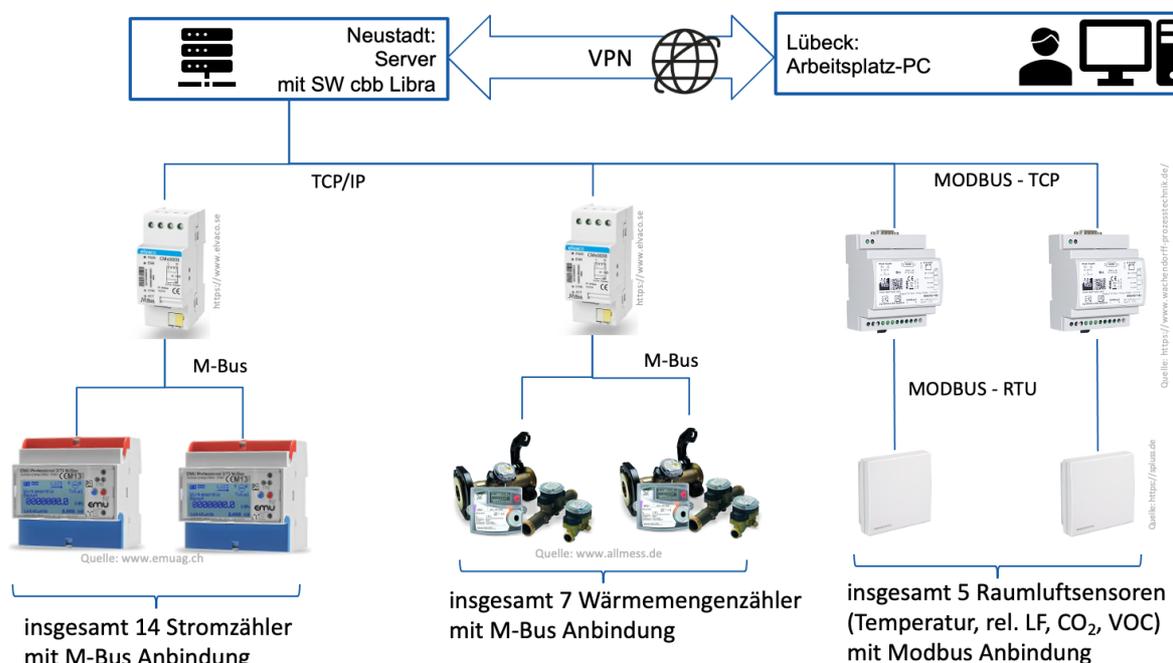
installiert. Diese Geräte erlauben die Erfassung folgender Messgrößen:

- Raumlufttemperatur
- Relative Luftfeuchte
- CO<sub>2</sub>-Konzentration
- Konzentration von flüchtigen organischen Komponenten (VOC) in der Luft

Da die Sensoren nicht in einem einzigen Raum konzentriert sind, benötigt jeder sein eigenes Gateway zur Umsetzung der MODBUS RTU Schnittstelle auf den MODBUS TCP Standard. Verwendet wurden zu diesem Zweck Wachendorff HD 67507-B2 Gateways.

### 7.2.4 Überblick über das gesamte System, Vernetzung und Server für die Datenspeicherung

In der Abbildung 7-3 ist ein grober Überblick über das gesamte System des Energiemonitorings dargestellt. Es gibt die wesentlichen 3 Säulen: Messung der elektrischen Leistungen, Messung der Wärmemengen, Raumluftsensoren. Alle sensorischen Komponenten sind über Gateways an LAN-Leitungen angebunden. Aus Sicherheitsgründen wurde dabei nicht das hausinterne Computernetzwerk genutzt, sondern separate Netzwerkleitungen. Auf diese Weise kann ein potenziell schädlicher Einfluss der „fremden“ Hard- und Software auf den Betrieb der Stadtwerke ausgeschlossen werden.



**Abbildung 7-3** Überblick über die Vernetzung des gesamten Monitorings mit Server

Zur Datenerfassung und -speicherung wurde ein Server mit der für solche Anwendungszwecke geeigneten Software cbb Libra eingerichtet. Da der Rechner lokal im Keller des Geschäftsgebäudes der Stadtwerke Neustadt steht, ist für den bequemen Zugriff auf die Messdaten von den Räumlichkeiten der TH Lübeck aus ein Fernzugriff notwendig. Zu diesem

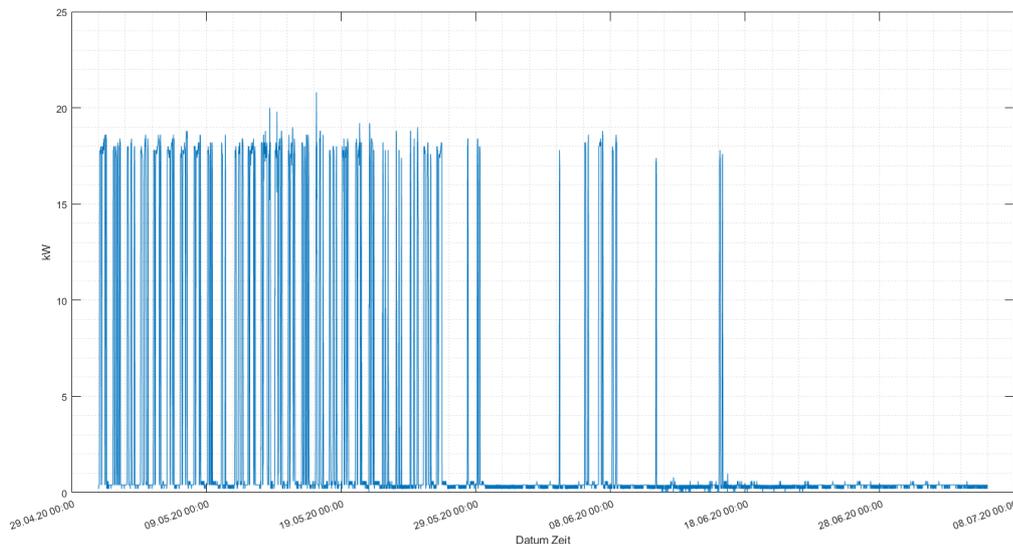
Zweck wurde durch die IT-Abteilungen der Stadtwerke Neustadt und der TH Lübeck ein VPN-Tunnel installiert.

## 7.3 Messdaten und Energiebilanz

### 7.3.1 Abruf von Messdaten zur Unterstützung der Inbetriebnahme des Gebäudes

Während des Projekts wurden regelmäßig Datensätze aus dem Energiemonitoring abgerufen, in Projektbesprechungen gezeigt und von den beteiligten Personen analysiert. Dies diente der Inbetriebnahme und Optimierung der Steuerstrategien für Heizung und Belüftung. Ein Beispiel aus diesem Kontext soll im Folgenden nachgezeichnet werden.

In Projektbesprechungen im Sommer 2020 wurde ein Problem angesprochen, dass sich in den Messdaten des Energiemonitorings zeigte: laut der Messdatenauswertung wurde in der Heizperiode 19/20 in den Gebäuden A und B mehr Wärme verbraucht, als von BHKW und Wärmepumpe zusammen produziert wurden. Dies wurde zunächst als ein unplausibler und klärungsbedürftiger Sachstand eingestuft. Parallel fiel auf, dass die Messstelle für elektrische Leistung ungewöhnlich hohe Leistungsausflüge zeigte, welche sich niemand erklären konnte (siehe Abbildung 7-4) .



**Abbildung 7-4 Unplausible Leistungsaufläge an der elektrischen Messstelle "MSR"**

Verschiedene Fehlerursachen (z.B. reguläre Messtoleranzen, sachliche Fehler in der Datenauswertung) wurden in Betracht gezogen, konnten aber nach eingehender Prüfung nicht bestätigt werden. In der Analyse verblieb die Hypothese, dass es im Heizungssystem eine weitere, bislang nicht erfasste Wärmequelle geben muss. Bei einer Inaugenscheinnahme des Heizungsraums am 03.07.2020 wurde festgestellt, dass in dem 1000L Wasserspeicher drei elektrisch betriebene Heizstäbe mit je 9kW Heizleistung installiert sind. Diese waren tatsächlich angeschlossen und in die Heizungssteuerung eingebunden. Diese Tatsache erklärt

auch die ungewöhnlich hohen Leistungspeaks in der Messstelle für elektrische Leistung „MSR“ (Abbildung 7-4) . Im Nachgang konnte auch plausibilisiert werden, dass die elektrische Energie in den Peaks der der Messstelle „MSR“ recht genau mit dem scheinbar überzähligen Energieverbrauch im Heizsystem für den gleichen Zeitraum übereinstimmte.

Aus der Sicht des Gebäudebetriebs ist eine Heizung mit Heizstäben natürlich suboptimal. Elektrische Energie ist eine teure Energieform, die aktuell auf dem deutschen Energiemarkt einen recht hohen CO<sub>2</sub>-Ausstoß verursacht. Wenn aber das Ziel ein CO<sub>2</sub>-neutraler Gebäudebetrieb ist, dann sollten die Heizstäbe nur in seltenen Ausnahmefällen eingeschaltet werden.

Als Ergebnis der Besichtigung des Heizungsraums wurden die Heizstäbe durch Techniker der Stadtwerke Neustadt umgehend stillgelegt. Für die Datenauswertung in der CO<sub>2</sub>-Bilanz soll eine Korrektur des zusätzlichen Energieverbrauchs vorgenommen werden, um hier zu realistischen Ergebnissen zu kommen.

### 7.3.2 Energiebilanz und Kohlendioxid-Bilanz

Ein Ziel bei der Konzeptionierung des neuen Geschäftsgebäudes und seines Energiesystems war die Darstellung eines CO<sub>2</sub>-neutralen Gebäudebetriebes. Damit ist im Wesentlichen gemeint, dass die vom Energieverbrauch des Gebäudes verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen über den Jahresverlauf durch Einspeisungen elektrischer Energie zu kompensieren. Dies erfolgt zum größten Teil durch die großzügig ausgelegte Photovoltaik-Anlage des Gebäudes. Im folgenden Abschnitt soll nun die Vorgehensweise bei der Bilanzierung beschrieben werden. Die Messdaten aus dem Energiemonitoring werden dargestellt und die verbrauchten und eingespeisten Energiemengen berechnet. Diese Energiemengen werden in CO<sub>2</sub>-Äquivalente umgerechnet, so dass die gewünschte Bilanzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen und -Einsparungen erfolgen kann.

#### 7.3.2.1 Bilanzgrenzen und Vorgehensweise bei der Bilanzierung

Für die aufzustellende CO<sub>2</sub>-Bilanz gilt ganz allgemein, dass sie für den Energieverbrauch und die Gebäude aufzustellen ist. Das Verhalten der Menschen und der von ihnen verursachte Energieverbrauch soll hier keine Rolle spielen. Folgende gemessene Energieverbräuche und -einspeisungen werden für die Bilanz berücksichtigt:

- Erzeugte elektrische Energie aus der Photovoltaik-Anlage
- Erzeugte elektrische Energie aus dem Blockheizkraftwerk
- Verbrauch von elektrischer Energie durch die Wärmepumpe
- Stromverbrauch des Technik-Raums für die Heizungsanlage („MSR“)

Einige Werte können nicht an Hand von Messungen bestimmt werden, weil es für sie keine verfügbare Messstelle gibt. Sie werden den in den EnEV-Unterlagen für das Gebäude angegebenen berechneten Werten entnommen:

- Verbrauch von elektrischer Energie für die Beleuchtung von Gebäude A
- Verbrauch von elektrischer Energie für die Beleuchtung von Gebäude B
- Verbrauch von elektrischer Energie für die Belüftung von Gebäude A
- Verbrauch von elektrischer Energie für die Belüftung von Gebäude B

Der Gasverbrauch für das Blockheizkraftwerk wird an Hand der gemessenen erzeugten elektrischen Energie, der gemessenen erzeugten Wärmemenge und eines Wirkungsgrades näherungsweise berechnet.

Auf diese Weise können für die verschiedenen Energien im Gebäude Verbrauchswerte und Einspeisewerte angegeben werden. Ziel ist hier aber nicht, eine Energiebilanz aufzustellen. Es soll vielmehr die vom Gebäudebetrieb verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen den durch die Rückspeisungen von Energie erreichten CO<sub>2</sub>-Einsparungen gegenüber zu stellen. Zu diesem Zweck lassen sich über Umrechnungsfaktoren sogenannte CO<sub>2</sub>-Äquivalente berechnen. Hier wurden folgende Umrechnungsfaktoren benutzt [2]:

- für elektrischen Strom:        0,537 t CO<sub>2</sub> / MWh
- für Erdgas:                    0,202 t CO<sub>2</sub> / MWh

Diese CO<sub>2</sub>-Äquivalente berücksichtigen z.B. auch, dass bei der Nutzung von Erdgas als Energieform nicht nur das lokal bei der Verbrennung entstehende Kohlendioxid in die Atmosphäre gelangt. Für die Förderung, Aufbereitung und den Transport des Gases ist unter Umständen ebenfalls Energie erforderlich, so dass hier weitere CO<sub>2</sub>-Emissionen anzusetzen sind. Ähnlich ist es bei der Bilanzierung von elektrischer Energie. Einerseits muss der aktuelle Energiemix im deutschen Stromnetz aus erneuerbaren Energien, Strom aus Kernkraftwerken, Strom aus fossilen Brennstoffen berücksichtigt werden. Natürlich müssen die direkten Emissionen, die bei der Verbrennung fossiler Energieträger entstehen, in die Bilanz eingehen. Zusätzlich müssen aber auch die weiteren Emissionen die bei Förderung, Verarbeitung, Transport und Lagerung der jeweiligen Energieträger entstehen, bilanziert werden. Mit Hilfe der oben dargestellten CO<sub>2</sub>-Äquivalente können lassen sich auf einfache Weise für die jeweilige Energieform nahezu vollständige Kohlendioxid-Bilanzen aufstellen.

Das im Abschnitt 7.1. dargestellte Problem mit der falschen Ansteuerung der Heizstäbe betrifft auch den gewählten Betrachtungszeitraum der hier darzustellenden Energiebilanz. Die elektrischen Heizstäbe haben zusätzlich elektrische Energie verbraucht, um Wärme für den Gebäudebetrieb zu erzeugen. Dies wäre bei einem normalen Betrieb der Heizungsanlage nicht

passiert. Wir haben uns dafür entschieden, die Messwerte an dieser Stelle zu korrigieren. Dazu wurden:

- der elektrische Verbrauch an der Messstelle MSR nachträglich um die summierte Energie in den charakteristischen Leistungsausflügen rechnerisch verringert
- die Wärmemenge die das BHKW erzeugt hat, um genau den gleichen Betrag rechnerisch erhöht (korrigiert)
- parallel dazu die elektrische Einspeisung, die das BHKW gleistet hat, um einen proportionalen Betrag erhöht
- der Betrag des Gasverbrauchs für das BHKW wird um einen entsprechenden Betrag erhöht

### 7.3.2.2 Messdaten und Bilanzergebnisse

In diesem Abschnitt sollen nun die konkreten Ergebnisse aus dem Energiemonitoring und die daraus erstellte Kohlendioxid-Bilanz für den Neubau der Stadtwerke Neustadt über einen Zeitraum von zwölf Monaten dargestellt werden. Als Betrachtungszeitraum wurden die Monate September 2019 bis August 2020 gewählt. Die **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt die in den jeweiligen Monaten angefallenen Energieverbräuche und -einspeisungen. Die Energiemengen sind dabei noch ohne Berücksichtigung eines Vorzeichens „aufeinandergestapelt“. Eine Unterscheidung von Einspeisung und Verbrauch ist über den Farbton möglich: eingespeiste Energie wird in einem grünen Ton dargestellt.

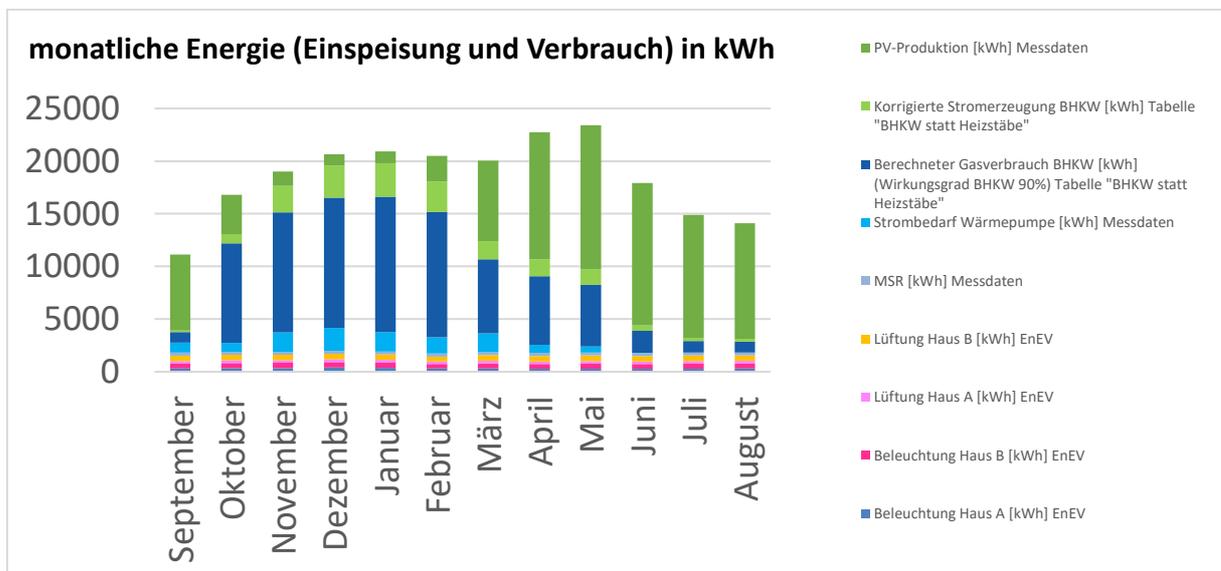


Abbildung 7-5 monatliche bilanzierte Energiemengen

Im nächsten Schritt werden die einzelnen Energiemengen in Kohlendioxid-Äquivalente umgerechnet. Dazu werden die Faktoren aus dem Abschnitt 7.3.2.1 angesetzt. Die Abbildung 7-6 zeigt die Ergebnisse. Im Grunde ist die Darstellung sehr ähnlich wie in Abbildung 7-5 gewählt. Man erkennt die stärkere Gewichtung der Energieform Elektrizität gegenüber Erdgas.

Dieser Effekt resultiert aus dem größeren Umrechnungsfaktor für das CO<sub>2</sub>-Äquivalent von Strom.

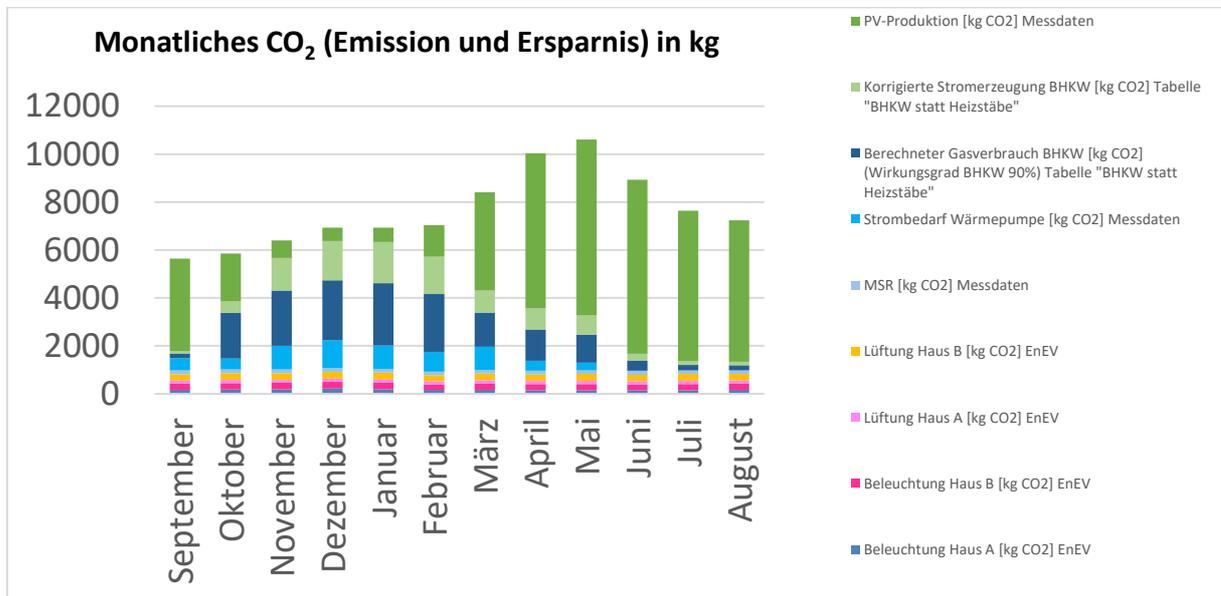


Abbildung 7-6 monatlich bilanzierte CO<sub>2</sub>-Äquivalente

In der Abbildung 7-7 sind die monatlichen CO<sub>2</sub>-Äquivalente in monatliche Kohlendioxid-Bilanzen umgerechnet worden. Dazu wurden von den Emissionen die erreichten Einsparungen subtrahiert. Eine positive Differenz ist hier also eine überwiegende Kohlendioxid-Emission, eine negative Differenz kann als überwiegende CO<sub>2</sub>-Ersparnis interpretiert werden. Man erkennt, dass während der Heizperiode mit wenig Einspeisung durch die Photovoltaik-Anlage die Emissionen überwiegen. In den Sommermonaten mit wenig Energieverbrauch aber viel Energieerzeugung aus der Photovoltaik-Anlage überwiegen die Einsparungen an Kohlendioxid, die das Gebäude erzielen kann.

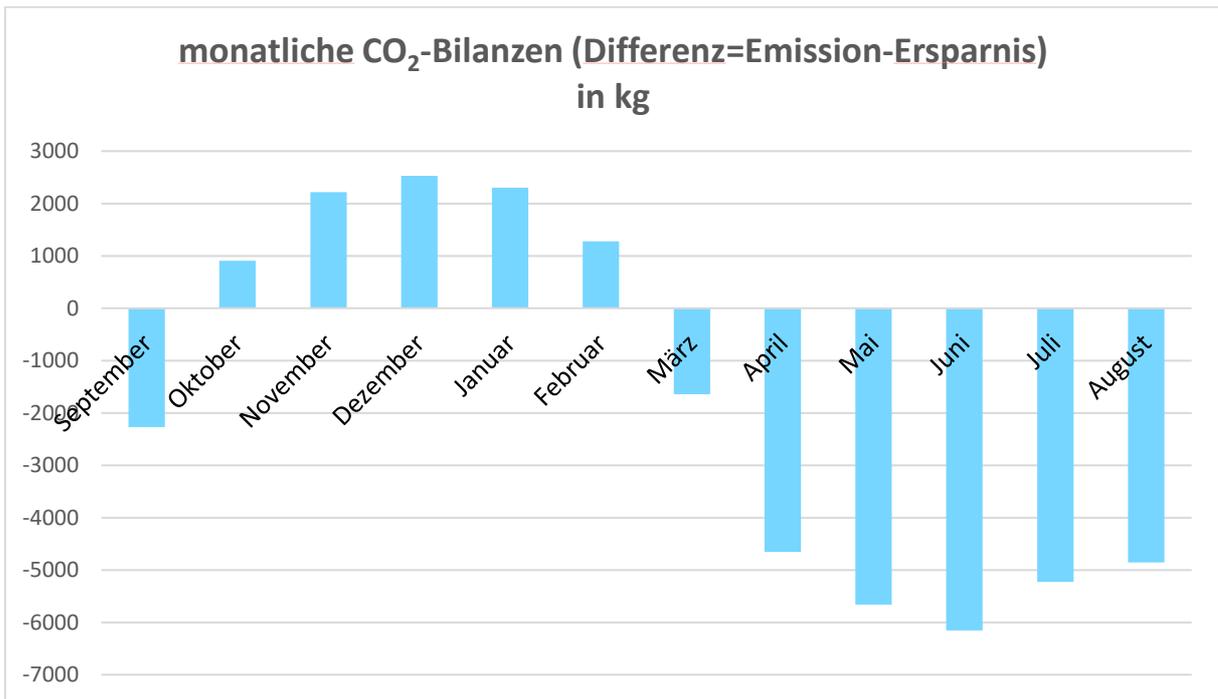


Abbildung 7-7 monatliche CO<sub>2</sub>-Bilanzen (gesamt)

Die Tabelle 7-1 schlüsselt die verwendeten Daten noch einmal in etwas detaillierter Form auf. Hier werden die Energiesummen zunächst für jede Verbrauchsstelle oder Einspeisung in Jahressummen addiert. Dann werden die Kohlendioxid-Äquivalente der Jahressummen berechnet. Diese werden dann zu einer CO<sub>2</sub>-Bilanz für die gesamten zwölf Monate addiert, wobei auch hier die Einsparungen von Kohlendioxid negativ verrechnet werden.

Verbraucher / Erzeuger	Quelle	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Jahr [kWh]	Jahr Co2 [Kg]
Beleuchtung Haus A [kWh]	EnEV	309	342	358	403	362	303	315	292	293	282	295	304	3858	2072
Beleuchtung Haus B [kWh]	EnEV	465	491	489	521	501	441	479	457	468	452	469	474	5707	3065
Lüftung Haus A [kWh]	EnEV	246	254	246	254	254	229	254	246	254	246	254	254	2991	1606
Lüftung Haus B [kWh]	EnEV	509	526	509	526	526	475	526	509	526	509	526	509	6176	3317
MSR [kWh]	Messdaten	288	288	288	288	288	288	288	288	288	288	288	288	3456	1856
Strombedarf Wärmepumpe [kWh]	Messdaten	950	834	1846	2166	1838	1536	1795	768	584	21	0	0	12339	6626
Berechneter Gasverbrauch BHKW [kWh]	Tabelle	992	9456	11393	12381	12853	11878	7035	6507	5845	2092	1092	1030	82554	16676
Korrigierte Stromerzeugung BHKW [kWh]	Tabelle	163	890	2531	3044	3187	2925	1724	1627	1486	528	303	283	18691	10037
PV-Produktion [kWh]	Messdaten	7201	3714	1365	1058	1126	2439	7634	12044	13661	13517	11670	10971	86399	46396
														<b>Bilanz</b>	
														<b>kWh</b>	<b>kg CO2</b>
														<b>11990</b>	<b>-21217</b>

Tabelle 7-1 detaillierte CO<sub>2</sub>-Bilanz für den Zeitraum September 2019 bis August 2020

Als Ergebnis stehen hier 21217kg Kohlendioxid, die durch den Betrieb des Gebäudes im Zeitraum September 2019 bis August 2020 eingespart wurden. Damit kann das Gebäude als mindestens CO<sub>2</sub>-neutral über einen Betrachtungszeitraum von einem Jahr angesehen werden. Die hier dargestellte CO<sub>2</sub>-Bilanz des Neubaus der Stadtwerke Neustadt wurde auch bereits auf einer Fachtagung [1] im Frühjahr 2021 dargestellt.

### 7.3.3 Einordnung der Bilanz in ein mehrjähriges Mittel der Sonneneinstrahlung

Die im Abschnitt 3.2.2 gezeigten Ergebnisse müssen zunächst einmal als sehr erfreulich bezeichnet werden. Sie übertreffen die in der Projektierung vorausgesagten Werte. Deshalb soll hier nun eine Einordnung des betrachteten Jahres vorgenommen werden. Dies betrifft die Leistung der Photovoltaik-Anlage, wobei deren Leistung im Zeitraum Sept. 19 bis Aug. 20 gegen einen mehrjährigen Mittelwert verglichen werden soll.

An der TH Lübeck werden fortlaufend Messungen der auf eine waagerechte Fläche eingestrahlte Leistung vorgenommen. Die Tabelle 7-2 zeigt diese Messwerte für den Betrachtungszeitraum des Projekts am Standort Lübeck.

Monat	Jahr	Strahlungsenergie
September	2019	103,0352 kWh / m <sup>2</sup>
Oktober	2019	52,975 kWh / m <sup>2</sup>
November	2019	19,5031 kWh / m <sup>2</sup>
Dezember	2019	16,7168 kWh / m <sup>2</sup>
Januar	2020	15,7747 kWh / m <sup>2</sup>
Februar	2020	35,9229 kWh / m <sup>2</sup>
März	2020	105,9717 kWh / m <sup>2</sup>
April	2020	180,0934 kWh / m <sup>2</sup>
Mai	2020	196,5681 kWh / m <sup>2</sup>
Juni	2020	203,6917 kWh / m <sup>2</sup>
Juli	2020	173,6566 kWh / m <sup>2</sup>
August	2020	177,1783 kWh / m <sup>2</sup>

Summe (12 Monate) 1281,0875 kWh / m<sup>2</sup>

**Tabelle 7-2 monatliche solare Einstrahlung für den Betrachtungszeitraum am Standort Lübeck**

Die Tabelle 7-3 zeigt Vergleichswerte für die am Standort Lübeck über jeweils komplette Jahre eingestrahlte Leistung für die Jahre 1985 bis 2004.

Jahr	Summe (12 Monate) [kWh/m <sup>2</sup> ]
1985	873,7

1986	919,1
1987	837,1
1988	881
1989	968,7
1990	917,6
1991	1012,7
1992	1145,7
1993	1047,5
1994	1038,5
1995	1001,4
1996	953,7
1997	1035,8
1998	907,7
1999	1044,8
2000	952
2001	972,4
2002	961,2
2003	1075,7
2004	942,7

**Mittelwert [kWh/m<sup>2</sup>] 971,063**

**Tabelle 7-3** Jährliche solare Einstrahlung über einen längeren Zeitraum am Standort Lübeck

Man kann erkennen, dass am Standort Lübeck für den gewählten Betrachtungszeitraum eine gegenüber dem mehrjährigen Mittel um 31,9% erhöhte Strahlungsleistung feststellbar war. Mit Abstrichen lässt sich dieses Ergebnis sicher auf den Standort Neustadt übertragen. Man kann also davon ausgehen, dass die gemessene Produktion der Photovoltaik-Anlage auch 31,9% über dem Durchschnittswert lag. Wird nun rechnerisch die eingespeiste Energie der Photovoltaik-Anlage von 86.399 kWh auf 75,8% dieses Wertes reduziert, so ergeben sich 65.490 kWh für eine zu erwartende Produktion der Anlage über 12 durchschnittliche Monate. Dies entspricht einem CO<sub>2</sub>-Äquivalent für elektrische Energie von 35.168 kg. Diese CO<sub>2</sub>-Einsparung ist um 11.227 kg gegenüber der gemessenen Realität Sept. 19 – Aug. 20 verringert. Aber auch noch mit dieser kleineren zu erwartenden jährlichen Einsparung verbliebe eine CO<sub>2</sub>-Einsparung von 9.989 kg in der Gesamtbilanz.

Somit lässt sich sagen, dass die Erreichung eines Kohlendioxid-neutralen Gebäudebetriebs nicht nur in außergewöhnlich guten Sonnenjahren erwartet werden kann.

## 7.4 Zusammenfassung der Begleitforschung im Projekt

### 7.4.1 Lastgangsprognose mit Methoden der künstlichen Intelligenz

Im Rahmen des Projekts wurde untersucht, inwieweit sich die Lastgänge der verbrauchten und eingespeisten Energie im Gebäude der Stadtwerke Neustadt vorhersagen lassen, wenn hier Methoden der künstlichen Intelligenz angewendet werden. Dabei wurden über 12 Monate

aufgezeichnete Verläufe der Messdaten aus dem Energiemonitoring benutzt, um ein Training der Netzwerke durchzuführen. Daten aus zwei weiteren Monaten, welche nicht in das Training eingeflossen sind, wurden als Testdaten für die Überprüfung der Netzwerke benutzt.

Als Eingangsdaten für die Netzwerke wurden Zeitreihen für folgende Größen benutzt:

- Lufttemperatur,
- Relative Luftfeuchte,
- Taupunkttemperatur,
- Feuchtkugeltemperatur,
- Sonnenscheindauer,
- Stunde,
- Wochentag,
- Symbolisches Flag für Werktag oder Feiertag bzw. Wochenende,
- Kalenderwoche,
- Mittelwert 24h Photovoltaik,
- Mittelwert 24h Stromverbrauch,
- Mittelwert 24h Wärmeverbrauch,
- Rückliegend 24h Photovoltaik,
- Rückliegend 24h Stromverbrauch,
- Rückliegend 24h Wärmeverbrauch,
- Rückliegend 7d Photovoltaik,
- Rückliegend 7d Stromverbrauch,
- Rückliegend 7d Wärmeverbrauch,
- Zeitstempel

Die mit verschiedenen Verfahren angelernten Netzwerke sollen folgende Größen an Hand wiedererkannter Muster in den Eingangsgrößen vorhersagen können:

- Stromerzeugung aus der Photovoltaik aktuell,
- im Gebäude Stromverbrauch aktuell,
- Wärmeverbrauch aktuell,

Im Folgenden sollen exemplarisch einzelne Vorhersagen aus den zwei Testmonaten gezeigt werden.

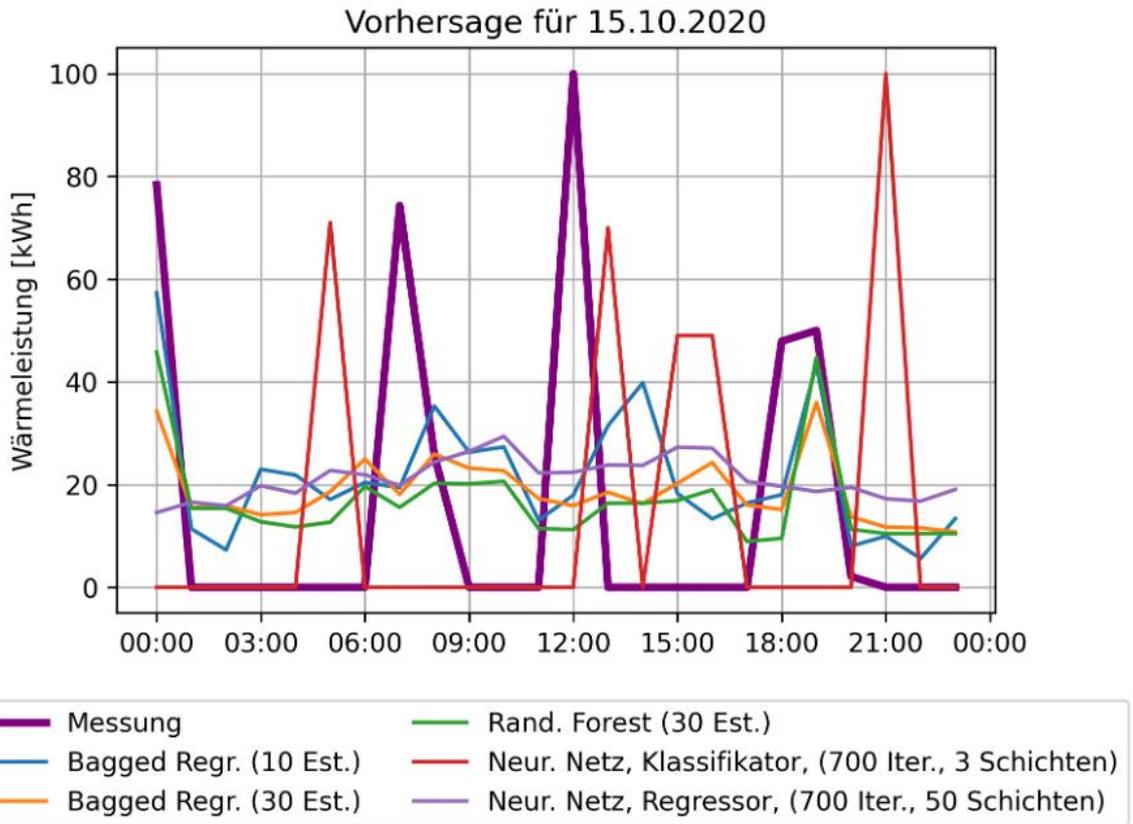


Abbildung 7-8 Vergleich verschiedener Vorhersagen für die verbrauchte elektrische Leistung

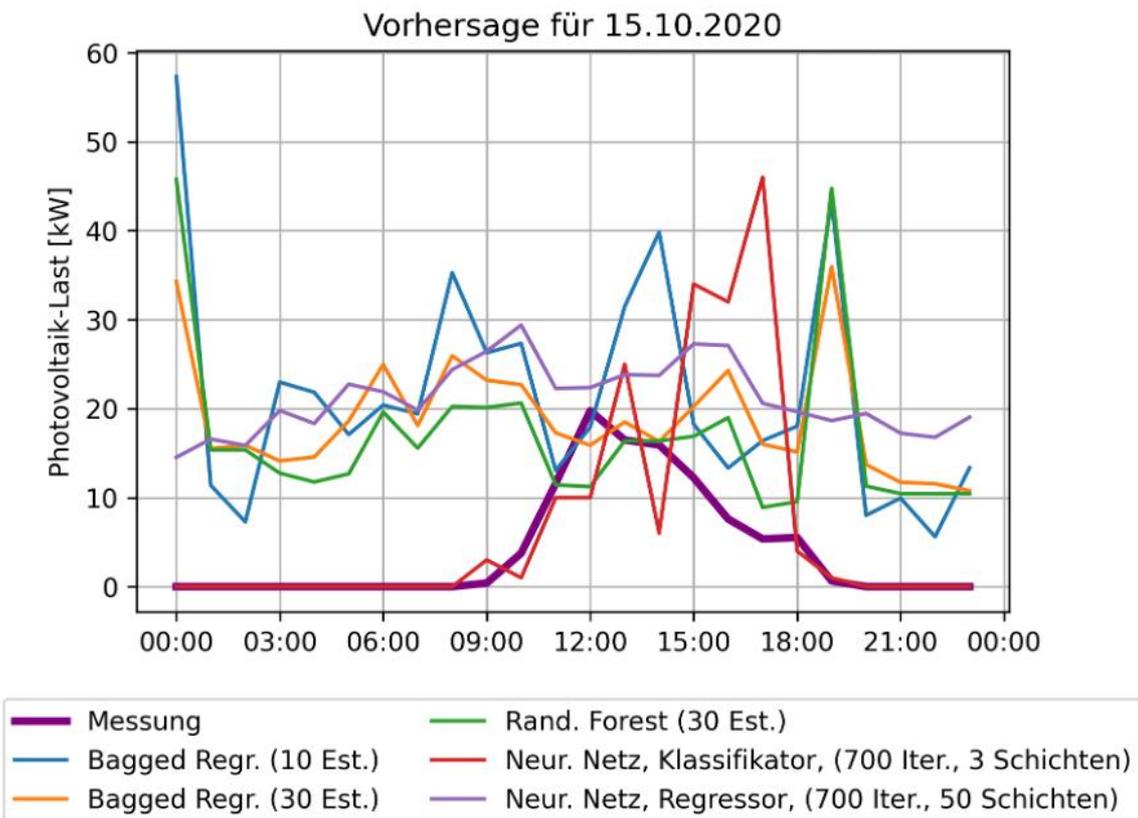
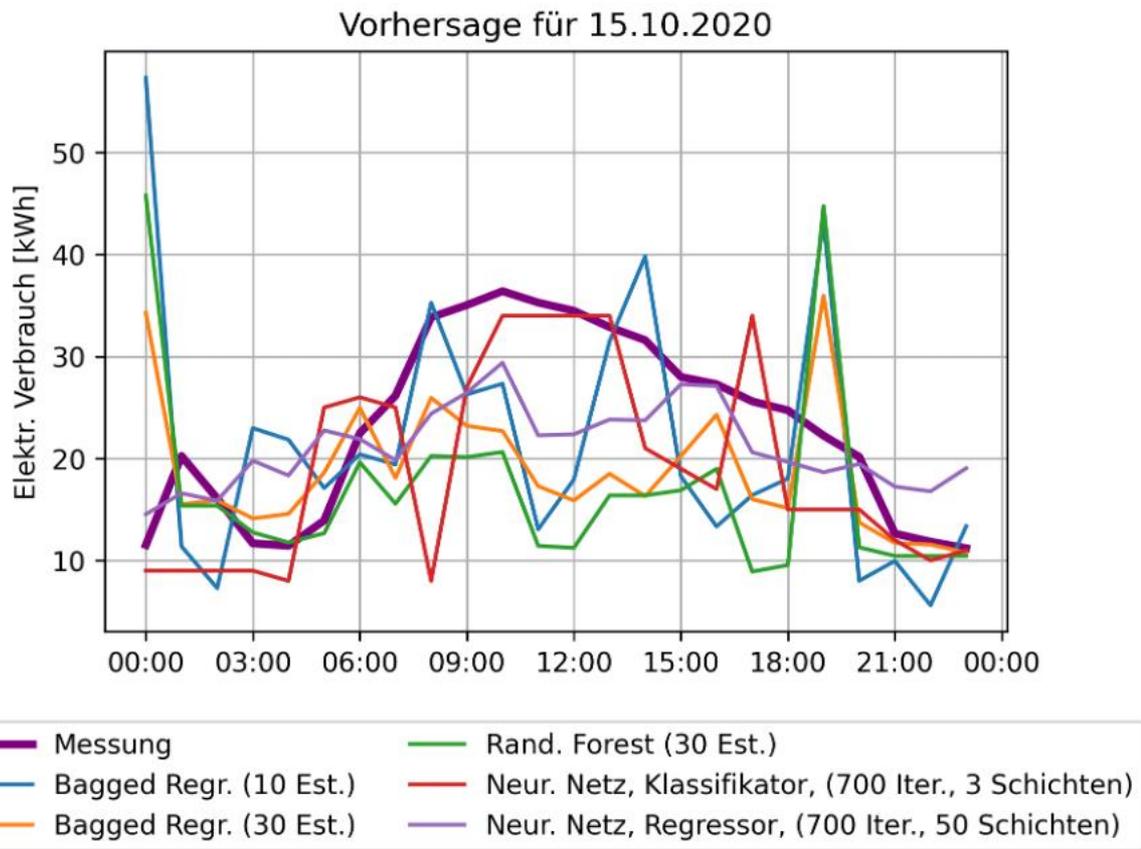


Abbildung 7-9 Vergleich verschiedener Vorhersagen für die durch Photovoltaik erzeugte elektrische Leistung



**Abbildung 7-10 Vergleich der Vorhersagen für den elektrischen Verbrauch in den Gebäuden**

Die Abbildung 7-8, Abbildung 7-9 und Abbildung 7-10 zeigen den Vergleich zwischen den gemessenen Verläufen der Stromerzeugung, des Stromverbrauchs und des Wärmeverbrauchs mit den Vorhersagen der verschiedenen Netzwerke für den 16.10.2020. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Bagged Regression Estimator und der Random Forest Estimator hier keine brauchbaren Prädiktionen geliefert haben. Der Klassifikator auf der Basis eines neuronalen Netzes zeigt Ergebnisse, die als Ausgangsbasis für eine Weiterentwicklung dienen können. Die Vorhersage des konkreten Verlaufs der Wärmeleistung über einen konkreten Tag wird aufgrund des sprunghaften und zufälligen Charakters der Messdaten wohl immer schwierig bleiben.

Einschränkend muss dazu gesagt werden, dass für den Test der Netzwerke noch die real aufgezeichneten Wetterdaten des DWD benutzt wurden (Temperaturen, Luftfeuchte, Sonnenscheindauer). Dies ist sinnvoll, um die Qualität des Trainings zu beurteilen. Später ist es natürlich notwendig, diese Messdaten durch die Daten einer Wettervorhersage zu ersetzen. So kann dann eine praktikable Lastgangsprognose erreicht werden.

Weiterhin sollten noch weitere Netzwerktypen zur Prädiktion getestet werden und der Umfang der Trainingsdaten sollte gesteigert werden. Damit kann die Zuverlässigkeit der Vorhersagen noch gesteigert werden.

## 7.4.2 Simulation des Betriebsverhaltens eines Speichers für elektrische Energie

Ein weiterer Aspekt in dem vorliegenden Bericht ist die Untersuchung von möglichen Speicherstrategien für erneuerbare Energien. Das betrachtete Gebäude ist im Wesentlichen ohne nennenswerte Energiespeicher geplant und umgesetzt worden. Das hat sicher gute Gründe, der Nutzer des Gebäudes sind die Stadtwerke selbst. Wahrscheinlich ergeben sich hier andere wirtschaftliche Randbedingungen bei der Einspeisung von elektrischer Energie ins Netz als für andere Anwender. Im allgemeinen Anwendungsfall kann es wirtschaftlich und auch ökologisch sinnvoll sein, lokal erzeugte elektrische Energie zu speichern und sie wieder lokal zu verbrauchen und dabei die Einspeisung ins Netz zu vermeiden. Hier wurde eine Variante eines solchen Energiespeichers betrachtet: ein kinetischer Energiespeicher mit Schwungrad und Elektromotor. Dabei sollte es ausdrücklich nicht darum gehen, für das Gebäude der Stadtwerke Neustadt einen Anwendungsfall zu untersuchen oder eine Installation eines solchen Speichers zu empfehlen. Ziel der Begleitforschung im Projekt war die Weiterentwicklung und Darstellung von möglichen Strategien zur Steuerung von solchen Speichersystemen. Das Vorhandensein eines Simulationsmodells mit Kenntnis der konkreten Modellparameter der Komponenten ist da eine wichtige Voraussetzung. Vorgehensweise und Ergebnisse wurden im Rahmen einer Bachelorarbeit [4] dargelegt. Die Abbildung 7-11 zeigt ein in Simulink realisiertes Simulationsmodell eines kinetischen Energiespeichers. Berücksichtigt werden betriebspunktabhängige Wirkungsgrade eines realistischen BLDC-Motors, sowie Verluste durch Reibung.

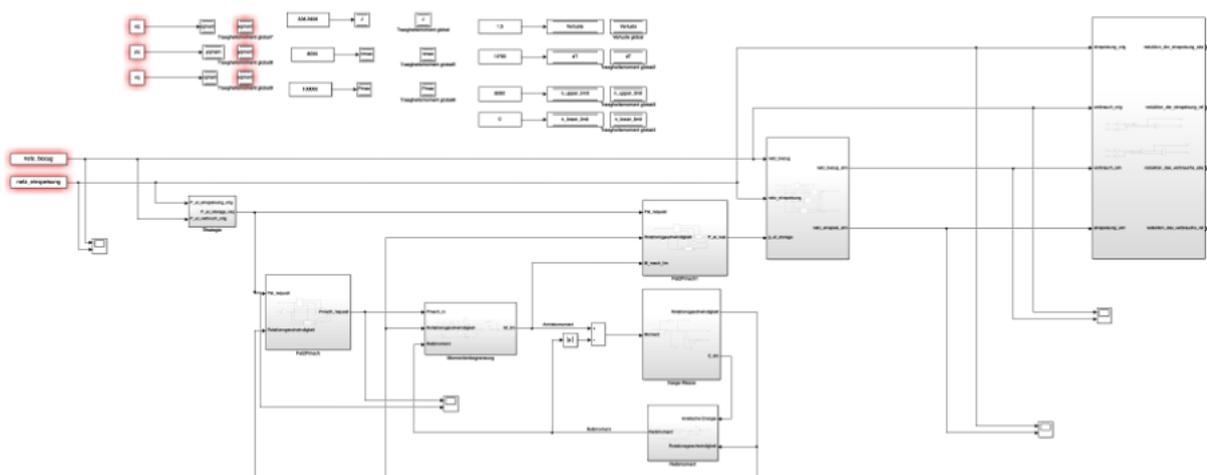


Abbildung 7-11 Simulationsmodell (Simulink) für einen kinetischen Energiespeicher mit Schwungrad und BLDC-Motor

Das erstellte Simulationsmodell ermöglicht die Betrachtung des Einflusses der Speicherstrategie auf die resultierenden Verläufe von Netzeinspeisung und Verbrauch des Gebäudes. Hier kann dann eine intelligente Steuerstrategie ansetzen und nach einem gewählten Kriterium (z.B. Minimierung der Energiekosten oder Minimierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen oder Maximierung des Autarkiegrades) den Verlauf der eingespeicherten elektrischen Leistung variieren bzw. festlegen.

#### **7.4.3 Simulation des Betriebsverhaltens einer Wärmepumpe in Kombination mit einem Wärmespeicher (Ausblick)**

Im Rahmen einer weiteren Bachelorarbeit [5] wurde die Möglichkeit untersucht, Einfluss auf die Betriebsstrategie einer Wärmepumpe zu nehmen, wenn die Wärmepumpe an einen Speicher für thermische Energie angeschlossen wird.

Dazu wurden ein Simulationsmodell einer Wärmepumpe aus der Literatur leicht modifiziert und mit Hilfe einer numerischen Optimierung an die vorliegenden Messdaten aus dem Gebäude der Stadtwerke Neustadt angepasst. Ein realistischer Latentwärmespeicher wurde durch Annahmen modelliert. In einer gekoppelten Simulation des Systems aus Wärmepumpe und Speicher wurde gezeigt, dass allein durch Lastpunktverschiebungen der Wärmepumpe Wirkungsgradsteigerungen und Energieeinsparungen grundsätzlich möglich sind.

Trotzdem muss man auch hier feststellen, dass es recht schwer ist, die Installation eines Energiespeichers ökonomisch mit den erreichbaren Einsparpotenzialen zu begründen. Ziel ist hier eher die Verfügbarmachung von Simulationsmodellen, um später an der TH Lübeck Steuerstrategien für intelligente, vernetzte Energiespeicher zu untersuchen bzw. zu implementieren.

#### **7.4.4 Ausblick: Nutzung von Prognosen und Simulationen zur Erreichung optimaler Betriebsstrategien**

In den vorangegangenen Abschnitten wurde dargestellt, wie im Rahmen des Projekts an Lastgangsprognosen und Simulationsmodellen von Energiespeichern gearbeitet wurde. Für komplexe Energiesysteme mit der Möglichkeit, erneuerbare Energie zu erzeugen und diese selbst zu nutzen, einzuspeichern oder ins Netz zu speisen, ist es entscheidend, über leistungsfähige Steuerstrategien für den Energiefluss zu verfügen. Eine Möglichkeit, solche Strategien zu implementieren, bieten modellprädiktive Regelungen (model predictive control – MPC). Dabei wird ein Simulationsmodell genutzt, um zukünftige Zeitverläufe relevanter Größen des vorliegenden Systems vorherzusagen. Gleichzeitig können bestimmte Einflussparameter in unterschiedlichen Simulationsläufen variiert werden und die Auswirkungen auf die berechneten Zeitverläufe können bewertet werden. Auf diese Weise kann ein Suchalgorithmus die Einflussgrößen immer wieder verändern, dann die Simulation neu durchführen und danach die neuen Ergebnisse wieder bewerten. Dies wird solange fortgesetzt, bis ein gemäß eines gewählten Kriteriums optimaler Verlauf der Einflussgröße gefunden wird. Dies ist eine grobe Beschreibung des Funktionsprinzips von modellprädiktiven

Regelungen. Voraussetzungen für die Realisierung solcher Algorithmen sind das Vorliegen von Prognosen der Zukunft, Simulationsmodellen des betrachteten Systems und die Fähigkeit, die Simulationen ausreichend schnell durchzuführen.

Das hier an Prognosen und Simulationsmodellen gearbeitet wurde ist bereits gezeigt worden. Die Arbeit an leistungsfähigen Echtzeitimplementierungen von modellprädiktiven Regelungen ist ein Aspekt für zukünftige Tätigkeiten an der TH Lübeck.

## 7.5 Zusammenfassung und Ausblick

In dem vorliegenden Projektbericht wurde beschrieben, wie im Neubau der Stadtwerke Neustadt ein Messsystem zur Aufzeichnung der verbrauchten und eingespeisten Energien im Gebäude installiert wurde. Primäres Ziel war die Aufstellung einer Energie- und Kohlendioxid-Bilanz. Damit sollte der CO<sub>2</sub>-neutrale Betrieb des Gebäudes über einen Betrachtungszeitraum von einem Jahr real bewiesen werden. Der geforderte Nachweis konnte hier erbracht werden.

In begleitender Forschung wurden Ansätze entwickelt, bestimmte Komponenten eines Energiesystems zu simulieren:

- Simulation eines Schwungradspeichers für elektrische Energie
- Simulation eines gekoppelten Systems aus Wärmepumpe und Latentwärmespeicher
- Lastgangsprognose für die zeitlichen Verläufe von Energieerzeugung und -Verbrauch im Gebäude mit Hilfe von Methoden der künstlichen Intelligenz

In den Ergebnissen sieht man immer wieder, dass es recht schwierig ist, für Energiespeicher in Gebäuden rentable Nutzungsszenarien darzustellen. Insofern kann man gut verstehen, warum das Projekt „Neubau für die Stadtwerke Neustadt“ zwar großzügig mit erneuerbaren Energien aber eben nicht mit lokalen Energiespeichern geplant wurde. Um so wichtiger ist es, an intelligenten Strategien zur möglichst effizienten Energiespeicherung zu arbeiten.

Voraussetzungen dafür sind:

- Simulationsmodelle der beteiligten Komponenten, die vor allem realistische Wirkungsgrade bei Energietransport und der -speicherung berechnen können
- Vorhersagen über zur Verfügung stehende Energiespeisungen oder benötigte Energiemengen
- leistungsfähige Algorithmen zur Berechnung optimaler Speichervorgänge, wobei zur Verfügung stehende Prognosen und Simulationen ausgenutzt werden

Dies sind gerade die Schwerpunkte, die im Projekt betrachtet wurden und die auch in weiteren Tätigkeiten an der TH Lübeck, dem Kompetenzzentrum WiE und der Fachgruppe „Regelungstechnik, Mechatronik und Robotik“ weiterverfolgt werden sollen.

## Quellenverzeichnis

- [1] Lezius U., Holthusen L.: Evaluation und Monitoring – Eine Erfolgsgeschichte!, Online-Fachtagung: Klimaneutrales und Ressourcenschonendes Bauen, [www.energiekonsens.de](http://www.energiekonsens.de), 2021
- [2] <https://www.net4energy.com/wiki/emissionsfaktor>, abgerufen am 1.3.2021
- [3] Icha, P., Kuhs, G.: Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid- Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 – 2019, Publikation des Umweltbundesamtes, Dessau-Roßlau, 2020  
[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-04-01\\_climate-change\\_13-2020\\_strommix\\_2020\\_fin.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-04-01_climate-change_13-2020_strommix_2020_fin.pdf), abgerufen am 21.9.2021
- [4] Aljudaybi, Y.: Simulation eines kinetischen Energiespeichers für ein Geschäftsgebäude mit Photovoltaik-Anlage, Ladesäule, BHKW und Wärmepumpe, Bachelorarbeit, TH Lübeck, 2021
- [5] Algerbawi, M.: Bachelorarbeit (noch nicht eingereicht), TH Lübeck, 2021

## 8 Dokumentation des Prozesses und der Ergebnisse

Das Vorhaben wurde in den verschiedenen Phasen des Projekts der Öffentlichkeit und der Fachöffentlichkeit vorgestellt. Hierzu hat es zahlreiche Beteiligungen an Fachkonferenzen, Fachveranstaltungen und Weiterbildungsveranstaltungen gegeben. Ferner wurde das Projekt bei mehreren Preisverfahren eingereicht und dabei mehrfach ausgezeichnet.

### 8.1 Fachveranstaltungen

10.3.2018

Internationale Passivhauskonferenz München, 2018

Neubau Stadtwerke Neustadt in Holstein - Nullemissionsgebäude in nachhaltiger Bauweise

Integration von wiederverwendbaren Bauteilen und Recyclingbaustoffen

Vortrag und Tagungsbericht

22.3.2018

21. Fachtagung Architektur und Energie, Eckernförde

Neubau Stadtwerke Holstein – Nachhaltiges Gebäudekonzept und Ressourceneffizienz im Lebenszyklus

Vortrag

19.-21.1.2018

Präsentation auf der Sonderschau Holzbau auf der Messe HanseBau und Bremer Altbautage

25.4.2018

Klimaakademie Energiekonsens Bremen

Holzbau: nachhaltig, ressourcen- und energieeffizient und demontierbar

Weiterbildungsveranstaltung, 4 Vorträge

2018

Präsentation auf dem 2. Norddeutschen Fachsymposium RC-Baustoffe in Kiel

Vortrag, Artikel

10.8.2018

Tag der offenen Tür in Neustadt

Im Rahmen von geführten Gebäudebesichtigungen wurde an 5 Stationen

(Gebäudekonzept, Konstruktion, Technische Anlagen, Monitoring, Ressourceneffizienz) ein detaillierter Einblick in das Planungs- und Forschungskonzept gegeben.

11.12.2018

Zebau - Fachkonferenz „Effiziente Gebäude 2018“, Lübeck

Der Neubau der Stadtwerke Neustadt in Holstein

Ressourceneffizienz im Lebenszyklus, Erfahrungen aus Planung und Umsetzung

Vortrag, Tagungsbericht

26.2.2019

Das Vorhaben wurde auf der Veranstaltung „Kommunen aktiv für den Klimaschutz“ des Deutschen Städte- und Gemeindebundes (DStGB) am 26. Februar 2019 in Bonn vorgestellt, und in der Zeitschrift „die Gemeinde“ SH 2/2019 gemeinsam mit der KfW veröffentlicht.

12.6.2021

BDA- Tag 2021 – Kreatives Unterlassen – Vor-Ort Führungen zum BDA-Tag 2021

6.8.2021

Bau-werk Oldenburger Forum für Baukultur  
Materialkreislauf inklusive – Neubauplanung eines Verwaltungsgebäudes

21.9.2021

dbu salon „Circular Economy in der Praxis“  
Stadtwerke Neustadt – Erfahrungen mit Circular Economy in der Praxis",  
Prof. Ingo Lütkemeyer, IBUS Architekten

## 8.2 Veröffentlichungen

Nullemission für Stadtwerke

In: Energie:bau Fachzeitschrift für Architektur und Technik / 04-2018

Nullemission und Nachhaltig – Zukunftsorientierter Ansatz am neuen Standort der Stadtwerke Neustadt

In: Holzbaumagazin – Fachmagazin für den modernen Holzbau 08/18

Kreislaufwirtschaft: Bauen als Ressource - Zirkulär-Hybride

In: TEC 21 8/2020, S. 24 ff.

Best Practice staatlich gefördert:

Der Neubau der Stadtwerke Neustadt in Holstein- Ressourcen und energieeffizient

In: die gemeinde SH 2 / 2019

Stadtwerke Neustadt – Nullemissionsgebäude in nachhaltiger Bauweise

Energieeffizienz in Gebäuden, Jahrbuch 2018, Hrsg. Jürgen Pötzsch

Stadtwerke Neustadt – Ressourcen- und Energieeffizient gebaut

In: DBZ 03 2019 – Energie Spezial

Bauen mit Holz in Schleswig-Holstein und Hamburg

- Holzbaupreis 2020, Landesbeirat Forst- und Holzwirtschaft des Landes Schleswig-Holstein und der Freien und Hansestadt Hamburg, Informationsdienst Holz

Bundespreis Umwelt und Bauen 2020

Nachhaltige Gebäude, Quartiere und ökologische Innovationen

Preisträger und Anerkennungen 2020

### 8.3 Fachtagung

Am 18.3.2021 wurde eine Online Fachtagung durchgeführt. Die Veranstaltung wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens konzipiert und vorbereitet. Die Durchführung erfolgte mit organisatorischer Unterstützung vom Bremer Energiekonsens. Ca. 200 Teilnehmer haben an der Veranstaltung teilgenommen.

Frau Djahanschah von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) eröffnete die Fachtagung mit einem Beitrag zu den noch zu hebenden Potenzialen im Ressourcenschutz. Nach einem Votum für die Produktverantwortung der Architekt\*innen wurde an drei umgesetzten Projekten Klima- und Ressourcenschutz unter unterschiedlichen Schwerpunkten vorgestellt. Vorgestellt wurde das Konzept des „urban mining“, gefolgt von einem Verwaltungsgebäude, das sich als Kreislaufhaus und Rohstofflager für zukünftige Gebäude definiert. Den Abschluss bildet ein Einfamilienhaus, das ausschließlich aus Recyclingbauteilen besteht. Der zweite Teil der Tagung widmete sich diesem DBU-Forschungsprojekt. Am gebauten Beispiel des Neubaus der Stadtwerke Neustadt i.H. wurde im Detail das architektonische Konzept und der Einsatz von wiederverwendeten Bauteilen und Recyclingbaustoffen dargestellt. Aufgezeigt wurden die Herausforderungen in der Konstruktion des innovativen Holzbaus und wo die Hürden in Ausschreibung und Umsetzung liegen. Die Klimaneutralität und Ressourceneffizienz des Gebäudes ließen sich anhand von Lebenszyklusanalysen eindrucksvoll belegen, der geringe Energieverbrauch abschließend in der Evaluation und dem Monitoring der Verbräuche

Die Tagungsbeiträge im Einzelnen:

- Ressourceneffizienz - eine zentrale Herausforderung für ein lebenswerte Zukunft  
Sabine Djahanschah, Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Referat: Architektur und Bauwesen
- Ressourceneffizientes Bauen: Produktverantwortung beim Bauen  
Ute Dechantsreiter, Architekturbüro für nachhaltiges Bauen

Im nächsten Block wurden wegweisende Beispiele Ressourceneffizienten Bauens vorgestellt:

- UMAR – Urban Mining und Recycling Unit, Dübendorf, Schweiz  
Bernd Köhler: Projekt Werner Sobek mit Dirk E. Hebel und Felix Heise
- Gebäude als Rohstofflager - „Kreislaufhaus“ Verwaltungsgebäude RAG Stiftung, Essen  
Jasna Moritz, Jörg Spangenberg, kadawittfeldarchitektur, Aachen/Berlin
- mit Offener Planung + Flexibilität zum Recycling Haus Hannover  
Nils Nolting, cityförster Hannover

Im letzten Block wurde dann das Stadtwerke-Projekt umfassend vorgestellt:

Von der Idee bis zur Fertigstellung - Verwaltungsbau Stadtwerke Neustadt:  
Integration von wiederverwendbaren Bauteilen und Recyclingbaustoffen

- Ausgangssituation und Zielstellung - Neubau mit Vorbildwirkung als unternehmerische Entscheidung  
Harald Wiese, Werkleiter Stadtwerke Neustadt
- Architektonisches Konzept und der Einsatz von wiederverwendbaren Bauteilen und Recyclingbaustoffen - Auswirkungen auf den Planungs- und Umsetzungsprozess  
Prof. Ingo Lütkemeyer, IBUS Architekten  
Martin Spieß, Architekturbüro Rissmann und Spieß
- Demontierbares Bauen: Praxis und Bewertung Konstruktion und Bauweise des Holzbaus  
Prof. Dr. Martin Speth, Drewes und Speth, Beratende Ingenieure
- Klimaneutral und Ressourceneffizient  
Kim Maertel/ Susanne Korhammer, TARA Ingenieurbüro
- Evaluation und Monitoring – Eine Erfolgsgeschichte!  
Prof. Dr. Ulf Lezius , Leif Holthusen, Technische Hochschule Lübeck

#### 8.4 Auszeichnungen

Das Projekt hat verschiedene Auszeichnungen in unterschiedlichen Schwerpunktsetzungen (Architektur, Umwelt, Holzbau) erhalten.

2017

Energiewende Bauen - Gebäude 2050, BMWi Ptj  
Modellprojekte für Klimaneutrale Gebäude und Quartiere:  
Preisträger in der Kategorie Gebäude

2018

Deutscher Holzbaupreis 2018: Engere Wahl

2019

BDA- Preis Schleswig- Holstein 2019: Anerkennung

2020

Nominiertes Projekt für den Deutschen Nachhaltigkeitspreis 2020

2020

Bundespreis Umwelt und Bauen BMU / UBA 2020: Anerkennung

2020

Holzbaupreis Schleswig-Holstein / Hamburg 2020: Preisträger Kategorie Neubau

## 9 Fazit

Mit der Planung und dem Bau des Neubaus der Stadtwerke Neustadt in Holstein konnte erfolgreich gezeigt werden, dass Energie- und Ressourceneffizienz in einem konstruktiv und architektonisch qualitativem Gebäude zusammengeführt werden können.

Eine wesentliche Voraussetzung dafür ist, dass mit dem Auftraggeber eine entsprechende Zielsetzung formuliert und vereinbart wird und diese durch interdisziplinäre Zusammenarbeit und intensive Abstimmung der verschiedenen am Planungsprozess beteiligten Akteure konsequent verfolgt wird.

Die zur Umsetzung eines klimaneutralen Technikkonzeptes erforderlichen Komponenten stehen auf dem Markt zur Verfügung, so dass eine Realisierung technisch möglich ist. Es ist dennoch ratsam, einfache technische Strategien einzusetzen, um einen möglichst einfachen Gebäudebetrieb zu gewährleisten.

Die für eine ressourcenschonende Bauweise erforderlichen Materialien und Bauprodukte stehen zur Zeit nur teilweise zur Verfügung. Baumaterialien aus erneuerbaren Rohstoffen sind insbesondere in Form von Holz verfügbar. Weitere Materialien (z.B. Seegras) müssen sich noch weiter am Markt etablieren. Recyclingprodukte, die nicht als zertifizierte oder bautechnisch zugelassene Produkte verfügbar sind, können nur mit Hemmnissen integriert werden. Allerdings wächst der Markt für zertifizierte Recyclingprodukten und Produkte mit Recyclinganteilen, so dass hier verbesserte Perspektiven zu erwarten sind.

In einem Gebäude für einen öffentlichen Auftraggeber, ist es mit großen Herausforderungen verbunden, „alte“ Bauteile wieder zu verwenden. Materialbeschaffung, Materiallagerung und vergaberechtliche Hürden erschweren die Umsetzung. Dennoch ist es möglich, bei vielen Bauteilen, und auch in nennenswertem Umfang, ressourcenschonende Baustoffe einzusetzen.

Die Bedeutung eines Monitorings hat sich darin gezeigt, dass Fehler bei den technischen Installationen entdeckt werden konnten. Die Klimaneutralität wurde durch das Energiemonitoring bestätigt.

Die Qualität des hier entwickelten Konzeptes und des realisierten Gebäudes wurde durch verschiedene Auszeichnungen bestätigt.

## 10 Anhang

### Fotodokumentation

Mit den Bauarbeiten wurde im Herbst 2016 begonnen. Nachdem die Baugrube ausgehoben wurde, die Grundleitungen und die Flächendrainage eingebaut wurden, konnte die Bodenplatte Anfang Januar 2017 betoniert werden. Das Richtfest wurde im September 2017 gefeiert, das Gebäude im Oktober 2018 fertiggestellt und an die Auftraggeberin übergeben.



Abbildung 10-1 Rohbau – Sohle und UG-Wände Verwaltungsgebäude



Abbildung 10-2 Sohle Werkstattgebäude – Sauberkeitsschicht auf Schaumglasschotter



Abbildung 10-3 Bewehrung mit Heizungsleitungen für die thermisch aktivierte Sohle



Abbildung 10-4 Rohbau Erschließungszone Werkstatt/ Lager



Abbildung 10-5 Rohbau Werkstattgebäude – Brettsperrholzwände



Abbildung 10-6 Rohbau Kleinteilelager



Abbildung 10-7 Richtfest im September 2017



**Abbildung 10-8** Werkstattgebäude und Fahrzeughalle - Fassadenbekleidung im Bau



**Abbildung 10-9** Rohbau Fahrzeughalle



Abbildung 10-10 Fahrzeughalle- Gebäudehülle ist fast fertiggestellt



Abbildung 10-11 Montage BSP- Deckenelemente Verwaltungsgebäude



Abbildung 10-12 Rohbau - Holzfertigteiltreppe



Abbildung 10-13 Auflager Holztreppe



Abbildung 10-14 Rohbau Verwaltungsgebäude



Abbildung 10-15 Rohbau Verwaltungsgebäude - Bürozone



Abbildung 10-16 Werkstatt im Gebäude B



Abbildung 10-17 Betriebshof Blickrichtung Verwaltungsgebäude



**Abbildung 10-18** Blick auf die Westfassade des Werkstattgebäudes



**Abbildung 10-19** Stellplätze der Betriebsfahrzeuge zwischen Verwaltungs- und Werkstattgebäude



Abbildung 10-20 Garage Messtechnikfahrzeug und Rohrlager – Haus B

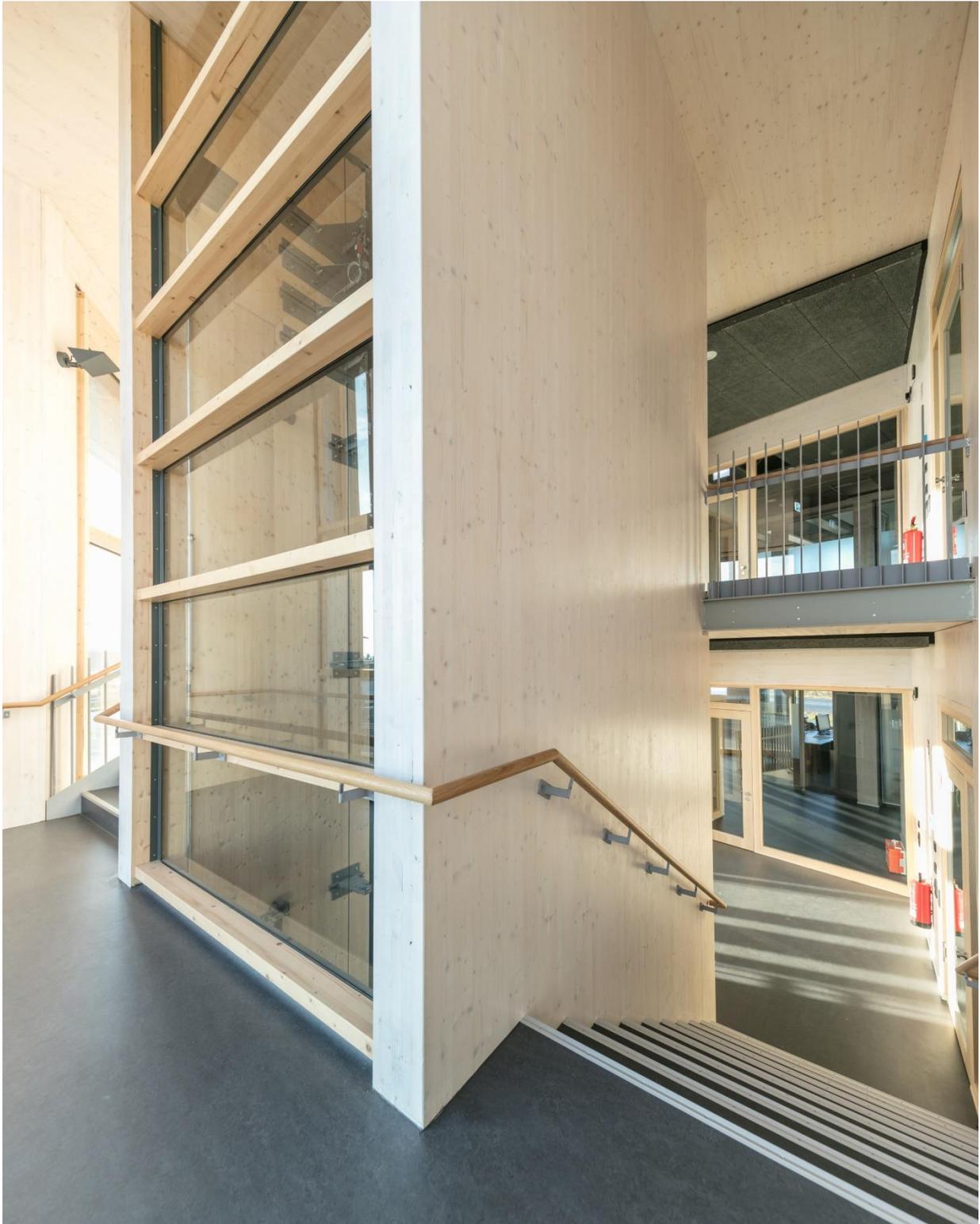


Abbildung 10-21 Einfahrt zum Betriebshof mit Blick auf die Fahrzeughalle



© Oliver Kuty Photography

Abbildung 10-22 Fahrzeughalle



**Abbildung 10-23** Fahrstuhlschacht aus Massivholz im Treppenhauskern



Abbildung 10-24 Treppenhaus Verwaltungsgebäude

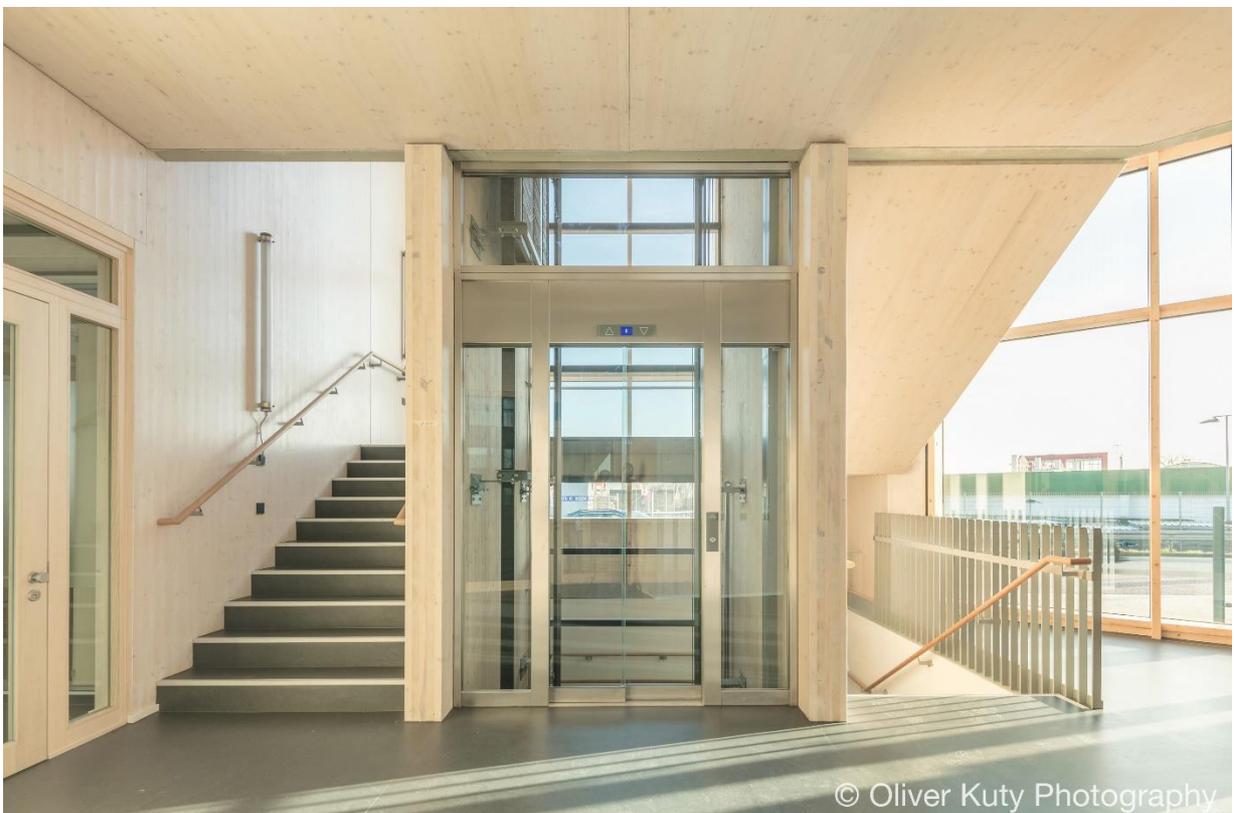


Abbildung 10-25 Eingangshalle mit Blick auf Fahrstuhl und Treppe



Abbildung 10-26 Besuchereingang mit historischer Gusseisenstütze

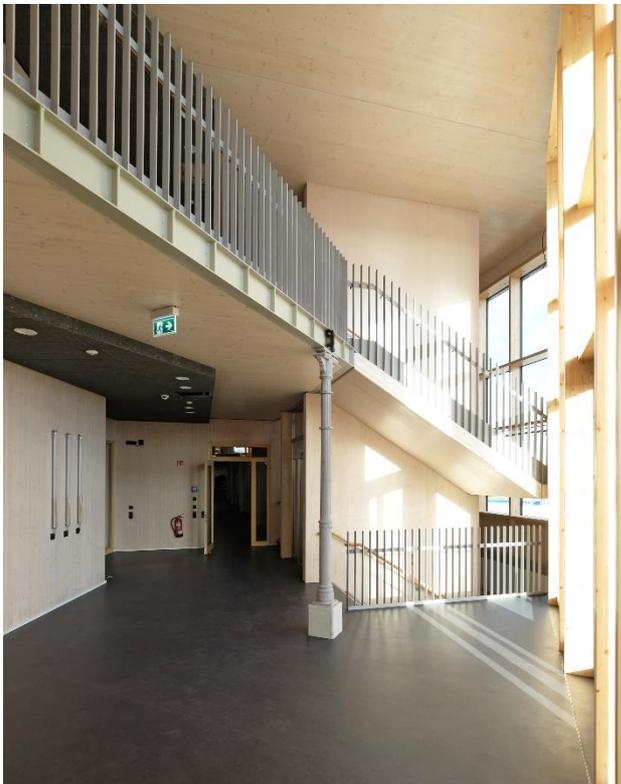


Abbildung 10-27 Treppenraum im Verwaltungsgebäude





Abbildung 10-28 Erschließungsflur Verwaltungsgebäude



Abbildung 10-29 Personalküche im Verwaltungsgebäude



Abbildung 10-30 Ansicht Haupteingang an der Neukoppel



© Oliver Kutzy Photography

Abbildung 10-31 Verwaltungsgebäude mit Sozialbereich am Betriebshof