Stork Plan & Control GmbH Ludwigstraße 28 06110 Halle (Saale)

Universitätsmedizin Halle
Universitätsklinikum Halle (Saale)
Ernst-Grube-Straße 40
06120 Halle (Saale)

Stork Plan
& Control GmbH

Planung
Beratung
Baubetreuung

Stork Plan & Control GmbH
Ludwigstraße 28
06110 Halle

Tel 0345 / 963 907 10
Fax 0345 / 963 907 96
Mail info@stork-plan.de
Web www.stork-plan.de

Saalesparkasse
IBAN DE77 800537620375011422
BIC NOLADE21HAL

Amtsgericht Stendal
HRB 214895

Steuernummer
110/106/44226

Geschäftsführer
Maximilian Stork

Prokura
Harald Stork

Halle (Saale) den 04.04.2025

Bauvorhaben: **Neubau des Theoretikums**
Universitätsklinikum Halle

Sehr geehrte Damen und Herren,

nachstehend erhalten Sie unser Konzept bezüglich einer möglichst autarken Ver- und Entsorgungseinrichtung für das geplante Theoretikum des UKH zur weiteren Verwendung.

Sollten Sie Rückfragen haben stehe ich Ihnen gerne zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen

M. Stork

Stork Plan
S t o r k

Inhaltsverzeichnis

1. Beschreibung des Vorhabens 4
2. Beschreibung der örtlichen Gegebenheiten 5
3. Darlegung erforderliche Energiebedarfe für Wärme und Strom 6
4. Möglichkeiten des Ver- und Entsorgungskonzepts 8

4.1 Medienversorgung Bereich Energie 8

4.1.1 Zentrale Medienversorgung 8

4.1.1.1 Fernwärme 9

4.1.1.2 Gasversorgung 9

4.1.1.3 Elektro 9

4.1.2 Dezentrale Medienversorgung 10

4.1.2.1 Solarenergie 10

Gebäudeübergreifende Stromnutzung 13

Wirtschaftlichkeit 14

Solarthermie 16

Photovoltaik-Thermie (PVT) 20

4.1.2.2 Wärmepumpe 24

Schmutzwasserwärme 26

Wirtschaftlichkeit und CO_2-Emissionen 27

Saalewärme 27

Wirtschaftlichkeit und CO_2-Emissionen 29

4.1.2.3 Windenergie 30

4.1.2.4 Wasserkraft 31

4.1.2.5 Biokraftwerk 31

4.1.2.6 Wasserstoff-Elektrolyse 33

4.1.2.7 Thermische Bodennutzung 34

4.1.2.8 Innovative Wärmespeichersysteme 35

4.1.2.9 Abwärmenutzung von Rechenzentren 37

4.2 Trinkwasserversorgung 38

4.2.1 Zentrale Trinkwasserversorgung 38

4.2.2 Dezentrale Trinkwasserversorgung 38

4.2.2.1 Trinkwassergewinnung 39

4.2.2.2 Trinkwasseraufbereitung 40

4.2.2.3 Trinkwassersparende Armaturen 41

4.3 Regenwassermanagement 41
4.3.1 Analyse Bestandssystem 41
4.3.2 Anfallendes Niederschlagswasser Bestandssituation 51
4.3.3 Zentrales Regenwassermanagement 54
4.3.4 Dezentrales Regenwassermanagement 55
4.3.4.1 Versickerung 55
4.3.4.2 Verdunstung 56
4.3.4.3 Rückhaltung und Nutzung 60
4.3.5 Prognose ergänzende Bebauung 66
4.4 Schmutzwassermanagement 74
4.4.1 Zentrale Entsorgung von Schmutzwasser 74
4.4.2 Dezentrale Entsorgung von Schmutzwasser 74
4.5 Abfallentsorgung und -aufbereitungsmanagement 77
4.5.1 Zentrale Entsorgung von Abfall 77
4.5.2 Dezentrale Entsorgung und Aufbereitung von Abfall 77
4.6 Förderangebote 79
5. Variante 1 80
6. Variante 2 84
7. Variante 3 86
8. Begründung der Vorzugsvariante 88
9. Anhang: 91
Photovoltaik-Potenziale 91
Solarthermie Potenziale 91
Photovoltaik-Thermie Potenziale 91
Annahmen für die Wirtschaftlichkeitsrechnung 92

Stork Plan & Control GmbH

1. Beschreibung des Vorhabens

Im Zuge der geplanten Erweiterung des Weinberg Campus und der Entstehung des neuen Theoretikums auf einer Fläche zwischen der Ernst-Grube-Straße, dem Weinbergweg und der Wolfgang-Langenbeck-Straße, folgt ein Konzept, welches Möglichkeiten und Auswirkungen in diesem Gebiet bewertet. Beim Weinberg Campus handelt es sich um einen regional und international bedeutenden Wirtschaftsstandort für die Stadt Halle. Der Fokus des vorliegenden Konzepts liegt im Bereich der Ver- und Entsorgung des Projektes des Universitätsklinikums Halle. Dabei wird auf unterschiedliche Varianten eingegangen, die unter anderem Aspekte wie (teil-)autarke Ver- und Entsorgungsstrategien und Nachhaltigkeit beinhalten. Ein (teil-)autarkes Konzept bietet nicht nur wirtschaftliche Vorteile für den Betreiber, sondern entlastet zudem das öffentliche Versorgungssystem. Geplant ist eine Auslastung des gesamten Campus von 800 Mitarbeitenden mit arbeitstäglichem Rhythmus und 2200 Studierenden, die sich jedoch nicht zeitgleich auf dem Gelände aufhalten werden. Für die Forschungs- und Lehrfunktion des Campus sind drei Funktionscluster mit einer BGF von je 10.000 m^2 vorgesehen. Das Theoretikum wird aus den jeweiligen Zentren und einer Gesamt-BGF von 60.000 m^2 gebildet.

Das künftige Großprojekt des Theoretikums stellt somit eine Frage zur zukünftigen Energieversorgung. Daher werden Untersuchungen wie beispielsweise die Abhängigkeit von regionalen Energienetzen, lokalen Erzeugungsmöglichkeiten und Kapazitäten bezüglich der Energiespeicherung einbezogen.

Da ein beträchtlicher Anstieg infrastruktureller Dienstleistungen zu erwarten ist, muss auch die Thematik der Abfallentsorgung bzw. -verwertung betrachtet werden. Hier werden, wie bei den anderen Versorgungskonzepten, zentrale und dezentrale Maßnahmen in Augenschein genommen.

Für eine realistische Kombination der verschiedenen Ver- und Entsorgungsmaßnahmen werden verschiedene Varianten betrachtet und bewertet. Die Kriterien sind dabei Wirtschaftlichkeit, Versorgungssicherheit und Umweltverträglichkeit.

Weil Versorgungsunterbrechungen, -störungen und -ausfälle zu vermeiden sind, wird ebenfalls die Möglichkeit dieser Risiken und ihre Eintrittswahrscheinlichkeit betrachtet. Daher sind Maßnahmen zur Erhöhung der Versorgungssicherheit vorrangig zu erörtern und ggf. nutzungsübergreifend zu koordinieren.

Die Umsetzung des Großprojektes wird voraussichtlich über einen Zeitraum von mehreren Jahren andauern. Deshalb wird bei der Untersuchung der Varianten eine bauabschnittsweise Umsetzung dargestellt, welche direkten Einfluss auf die Ver- und Entsorgung des Gebietes nimmt.

Im Vorfeld werden mögliche Beeinflussungen identifiziert und bewertet, da die Projektrealisierung des Theoretikums nicht ohne zeitlich begrenzte Auswirkungen auf das Nahumfeld durchführbar ist. Entsprechende Maßnahmen sind daraus abzuleiten und für die einzelnen Varianten zu betrachten. Ziel ist eine möglichst konfliktarme Bauabwicklung mit hoher Akzeptanz und Einbeziehung der Stakeholder und Anlieger.

2. Beschreibung der örtlichen Gegebenheiten

Zur Erstellung des Konzeptes wurde ein Übersichtslageplan vom 18.09.2012 übergeben.

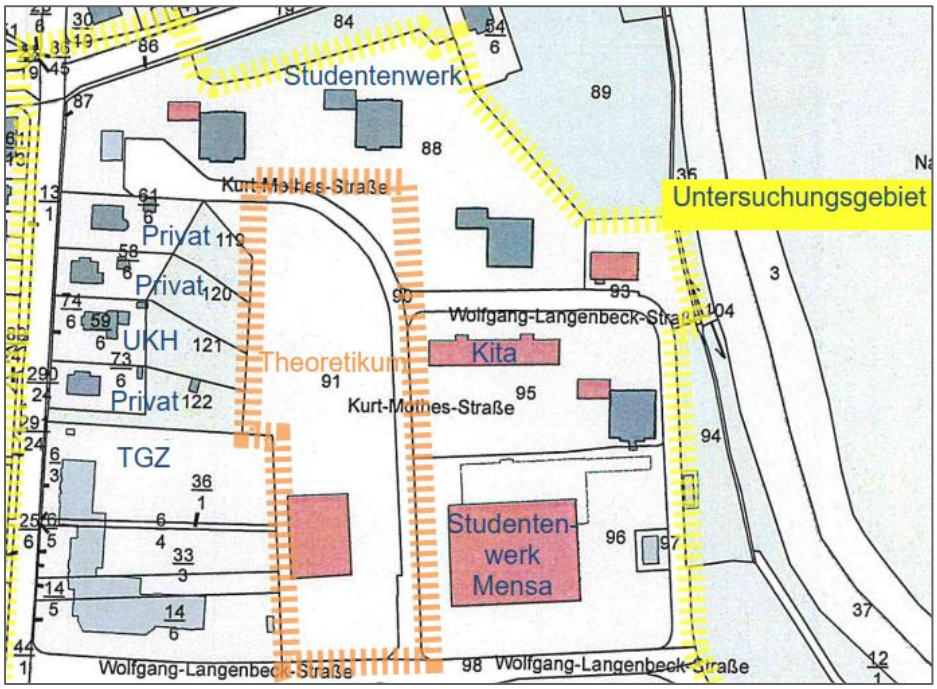


Abbildung 1: Darstellung Untersuchungsgebiet

Der neue Lehr- und Forschungsbau, das Theoretikum, soll auf einer Fläche zwischen der Ernst-Grube-Straße, Kurt-Mothes-Straße und der Wolfgang-Langenbeck-Straße auf dem Weinberg Campus Halle (Saale) im Nordwesten des Stadtgebietes errichtet werden.
Abgeleitet aus der Bestandsituation wird der zukünftige Campus von der Wolfgang-Langenbeck-Straße und der Kurt-Mothes-Straße erschlossen.
Das Untersuchungsgebiet umfasst des Weiteren das umliegende Gelände und wird im Norden von der Ernst-Grube-Straße, im Osten und Süden vom Weinberg und im Westen vom Weinbergweg begrenzt. In

diesem Bereich befindet sich unter anderem die Kindertageseinrichtung Weinberg des Studentenwerkes Halle, die Weinbergmensa, Institute der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, das IT-Servicezentrum der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, das Charles-Tanford-Proteinzentrum, das Bio-Zentrum Halle und vereinzelte Dienstleister. Aktuell wird das Baufeld des geplanten Theoretikums als Standort für die Weinbergsporthalle, sowie als Parkplatz genutzt. Die im Norden und Westen angrenzenden Grundstücke sind darüber hinaus weitestgehend wohngeprägt. Betrachtet man die örtlichen Gegebenheiten über das Untersuchungsgebiet hinaus, befindet sich östlich in unmittelbarer Nähe die Wilde Saale und das Landschaftsschutzgebiet Nordspitze Peißnitz.

Im Südwesten des Untersuchungsgebietes befindet sich die Stadtbahnhaltestelle Weinberg Campus. Diese Haltestelle ist im Nahverkehrsplan als barrierefrei eingestuft. Hier halten zahlreiche Bus- und Straßenbahnlinien des halleschen Nahverkehrs. Die Haltestelle ist ca. 600 m vom geplanten Baufeld des Theoretikums entfernt. Andernfalls kann das Gebiet mittels Individualverkehres z.B. PKW oder Fahrrad erreicht werden.

3. Darlegung erforderliche Energiebedarfe für Wärme und Strom

Zur Ermittlung des Energiebedarfs in Form von Wärme, Strom und Kälte wurden für die geplanten Neubauten (Theoretikum und PRZ 2) jeweils Teilenergiekennwerte ermittelt. Die Aufteilung der Teilenergiekennwerte erfolgte für den Bedarf an Heizung und Warmwasser sowie für den Bedarf an Lüftung, Beleuchtung, Kälte, Be- und Entlüftung sowie weiterer elektrischer Verbraucher wie Aufzugsanlagen. Der Wärme- und Strombedarf lässt sich aus den Teilenergiekennwerten sowie der geplanten Nettogrundfläche der Gebäude ableiten. Die Ermittlung der Anschlussleistungen erfolgte unter Berücksichtigung einer Vollbenutzungszeit von 1.600 Stunden pro Jahr. Die Dachflächen konnten den vorliegenden Gebäudeplänen entnommen werden. Die übrigen Gebäude im Untersuchungsgebiet sind Bestandsgebäude und werden vom Studentenwerk Halle betrieben, sodass reale Verbrauchswerte zur Bedarfsermittlung herangezogen werden konnten. Auch hier wurden Vollbenutzungsstunden angenommen, um die Anschlusswerte der Gebäude zu ermitteln. Die Dachflächen der Bestandsgebäude konnten entsprechend über ein Kartensystem eruiert werden.

Tabelle 1: Übersicht der zugrunde gelegten Energiebedarfe, Datenbasis Auftraggeber

Objekt	**Status**	**Strom [MWh]**	**Wärme [MWh]**	**Kälte [MWh]**
Pandemieresilienz-Zentrum 2	geplant	257	374	45
Theoretikum (THE)	geplant	1.605	2.435	370
Pathologie	geplant	24	in THE	in THE
Kita Weinberg	Bestand	15	103	-
Mensa	Bestand	526	460	K. Angabe
Hochhaus I	Bestand	110	325	-
Hochhaus II	Bestand	157	339	-
Hochhaus III	Bestand	96	363	-
Hochhaus IV	Bestand	186	309	-
Gesamt [MWh]		**2.976**	**4.708**	**415**

Es fällt auf, dass die Wohnheime (HH I (Kurt-Mothes-Str. 8); HH II (Kurt-Mothes-Str. 6); HH III (Langenbeck-Str. 8); HH IV (Langenbeck-Str. 5), obwohl gleicher Bauart, so unterschiedliche Strombedarfe haben. Die Ursache hierfür konnte noch nicht abschließend geklärt werden.
Es sei darauf hingewiesen, dass keine Angaben zu den Bedarfen des Weinberg Campus Innovation Hub (Weinbergweg 23) vorliegen. Demzufolge ergibt sich ein nicht quantifizierbares Bedarfspotenzial, welches in der vorliegenden Betrachtung keine Berücksichtigung findet. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass es bei der Ermittlung der Potenziale zur Energiebereitstellung beachtet wird.

4. Möglichkeiten des Ver- und Entsorgungskonzepts

Ziel des vorliegenden Ver- und Entsorgungskonzeptes ist es, Möglichkeiten und Auswirkungen, die infolge eines Entwicklungsbedarfes des Universitätsklinikums Halle mit der Umsetzung des geplanten Theoretikums entstehen, zu untersuchen und zu bewerten. Eine Grundlage für eine differenzierte Betrachtung von technisch-ökonomischen Systemdimensionen sind die Erzeugungsstandorte, Erzeugungstechnologien, Flexibilitätsoptionen sowie die Systemsteuerung.

Der aktuelle Leitungsbestand für das Untersuchungsgebiet wurde durch das Universitätsklinikum Halle digital übergeben.

4.1 Medienversorgung Bereich Energie

Um die Frage der zukünftigen Energieversorgung des Theoretikums zu beantworten, wurden Untersuchungen hinsichtlich der Aspekte lokaler Erzeugungsmöglichkeiten, Anschlüsse an regionale Energienetze und die Abhängigkeit zu ihnen, eine potenzielle Teilautarkie mit Möglichkeiten der Energiespeicherung und Kapazitäten sowie die Nutzung alternativer Energiequellen angestellt. Es wurde durch den Auftraggeber eine vorläufige Energiekalkulation für das Bauprojekt des Theoretikums übergeben. Die zusammengefassten Energiebedarfe sind in Tabelle 1 aufgeführt.
Im Folgenden werden verschiedene Möglichkeiten dargestellt und bewertet.

4.1.1 Zentrale Medienversorgung

Zentrale Kraftwerke zu Medienversorgung im Bereich Energie sind an die Übertragungsnetzebene angeschlossen. Die räumliche Anordnung der Erzeugungsanlagen ist ebenfalls relevant für die Einordnung als zentrales System. Ein zentrales System ist ein Kraftwerk, dass räumlich konzentriert und damit typischerweise nicht entsprechend der räumlichen Verteilung der Nachfrage angeordnet ist. Bezüglich ökonomischer Aspekte wird bei einer zentralen Ausrichtung besonders auf das Prinzip Economies of Scale gesetzt. Das bedeutet, dass durch eine Verteilung der unvermeidbaren Fixkosten auf eine Reduzierung der Durchschnittsfixkosten gesetzt wird. Das ist aus ökonomischer Sicht sinnvoll und ermöglicht eine möglichst große Summe an Wattstunden mit vergleichsweise geringem Aufwand.

Die zentrale Ver- und Entsorgung mit Energie kann mittels folgender Medien erfolgen:

4.1.1.1 Fernwärme

Gemäß des übergebenen koordinierten Leitungsplans der Universitätsklinik, befinden sich im Untersuchungsgebiet Wärmeversorgungsleitungen. Die Trassen laufen vertikal im Untersuchungsgebiet und haben eine Dimensionierung DN300/450. Der kommunale Versorgungsträger ist die EVH (Energieversorgung Halle).
Die genaue Tiefenlage konnte anhand der übergebenen Unterlagen nicht definiert werden. Umverlegungsarbeiten sind im Zuge der Baumaßnahme des neuen Theoretikums notwendig. In diesem Kontext stellt der Anschluss des Quartiers an das Fernwärmenetz eine mögliche Option dar, die mit zunehmender Planungsreife zu erwägen und sowohl aus technischer als auch wirtschaftlicher Perspektive zu evaluieren ist. Es kann grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass durch den Anschluss an das Fernwärmenetz die gesetzlichen Anforderungen des Gebäudeenergiegesetzes erfüllt, werden können. Dies stützt die Entscheidung für diese Art der Wärmeversorgung. Es empfiehlt sich, die entsprechenden Anschlussleistungen frühzeitig mit dem Betreiber abzustimmen.

4.1.1.2 Gasversorgung

Im zu untersuchenden Gebiet liegen Leitungen, welche für die Gasversorgung erforderlich sind. Diese befinden sich vorrangig in der Fahrbahn der Kurth-Mothes-Straße (süd-östlich des Untersuchungsgebiets) und im Gehweg der Wolfgang-Langenbeck-Straße (südlich des Untersuchungsgebiets). Träger ist die EVH.

4.1.1.3 Elektro

Im Untersuchungsgebiet befinden sich Elektroleitungen (Mittelspannung) zur Versorgung vorhandener Gebäude. Diese befinden sich unter anderem im Gehweg der Kurt-Mothes-Straße. Außerdem liegen im betrachteten Bereich Kabel für die Straßenbeleuchtung.
Die genaue Tiefenlage der Kabel lässt sich anhand des übergebenen Leitungsbestandsplans nicht ableiten. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die betreffenden Kabel- und Leitungen mit einer Mindestdeckung von 0,80m unterhalb der Geländeoberkante verlegt wurden. Im Straßenbereich ist davon auszugehen, dass eine Deckung von 1,20m als Richtwert genutzt wurde.
Im Zuge der Baumaßnahme werden Neu- und Umverlegungsarbeiten erforderlich sein.

4.1.2 Dezentrale Medienversorgung

Dezentrale Kraftwerke für den Bereich der Energieversorgung befinden sich auf der Verteilerebene. Bei der räumlichen Anordnung wird darauf geachtet, dass sie entsprechend der Nachfrage räumlich verteilt sind. Es ist zu unterscheiden, inwiefern sich bei einem dezentralen Ansatz der dezentrale Ausgleich an Netzengpässen orientiert. So entstehen zu unterschiedlichen Zeiten verschiedene Preiszonen, oder es kommt zunächst zu einem dezentralen Ausgleich – auch in Zeiten ohne Netzengpässe. Das bereits in Abschnitt 3.1.1 erwähnte Prinzip des Economies of Scale nimmt mit fortschreitender Technologie auch bei dezentralen Anlagen zu. Ein dezentrales Kraftwerk hat zudem den Vorteil, dass sie eine höhere Modularität einzelner Anlagen aufweisen und daher mit einem geringeren Planungsaufwand und höherer Flexibilität z.B. bei Entscheidungsprozessen bezüglich Investition verbunden sind. Der Aufbau von Erzeugungskapazitäten ist damit besser an die Nachfrageentwicklung angepasst. Erneuerbare Erzeugungsanlagen benötigen keine Versorgung mit Brennstoffen, sondern sind vom Dargebot der benötigten erneuerbaren Energieform abhängig. Da die Stromgestehungskosten erneuerbarer Energien in erster Linie von der Zahl der Volllaststunden abhängen, haben Anlagen vor allem dann geringe Erzeugungskosten, wenn sie an ertragreichen Standorten errichtet werden.

Bei Betrachtung der möglichen Ver- und Entsorgungsprojekte im Untersuchungsgebiet sind folgende Maßnahmen zur Sicherstellung der benötigten Kapazitäten im Bereich Energie denkbar:

4.1.2.1 Solarenergie

Photovoltaik (PV) ist schon seit einigen Jahren ein bewährtes System, um die Energie des Sonnenlichts in elektrischen Strom umzuwandeln. Dafür werden die Photovoltaikanlagen auf dem Dach und Fassade installiert. Diese bestehen aus den Solarmodulen, welche mit ihren darin enthaltenen Solarzellen die Sonnenstrahlen aufnehmen. Anschließend wird über einen Wechselrichter der erzeugte Gleichstrom in Betriebsstrom umgewandelt.

In Bezug auf den Aspekt der Nachhaltigkeit ist eine Photovoltaikanlage in jedem Fall lohnend. Betrachtet man die Wirtschaftlichkeit, kann eine Photovoltaikanlage sinnvoll sein. Ein Teil der umgewandelten Energie kann der Energieversorgung für den Eigenbedarf zugutekommen. Der Strom von der Photovoltaikanlage ist deutlich günstiger als der Strom aus dem Netz. Der Einbau eines zusätzlichen Batteriespeichers kann die Nutzungskapazität weiter erhöhen. So mindert sich die Abhängigkeit von externen Versorgern und der Autarkiegrad erhöht sich.

Denkbar für das Großprojekt des Theoretikums ist eine Kombination aus Gründach und Solar. Dafür wären besonders Flachdächer und leicht geneigte Dächer (Maximalneigung 5°) geeignet. Die PV-Module und Solarthermie-Kollektoren lassen sich in unseren Breitengraden auf einen idealen Neigungswinkel von 30° und auf eine ideale Ausrichtung einstellen. Zu empfehlen ist eine extensiv begrünte Dachfläche (auch Retentionsdach) mit niedrigwüchsigen Pflanzen wie Moose, Sedumpflanzen und Sukkulenten. Eine Verschattung der PV-Module muss verhindert werden. Zwischen der Begrünung und der Unterkonstruktion der Solarmodule sollte ein Mindestabstand von 20 cm eingehalten werden. Dieser Abstand ist ebenfalls für den adiabatischen Kühlungseffekt wichtig. Durch das über die Blattoberfläche der Pflanzen verdunstete Wasser kühlt sowohl die Umgebung, als auch die Photovoltaikanlage. Das steigert wiederum die Leistungsfähigkeit der Solaranlage.

Wir empfehlen aufgelastete Systeme, bei denen der Gründachaufbau die Solaranlage hält. Das Gewicht einer extensiven Dachbegrünung (i.d.R. 80 bis 120 kg/m² wassergesättigtes Eigengewicht) sichert die PV-Anlage bei Sturm. Die Statik von Gebäude und Dach müssen das Gewicht von Dachbegrünung und Solaranlage tragen können. Die zulässige Nutzlast für begehbare Dächer liegt laut DIN 1055-3/2006-03 bei 200 kg/m² (Einzellast) bzw. bei 400 kg/m² (Flächenlast). Das Eigengewicht einer Photovoltaikanlage beläuft sich auf etwa 14 bis 35 kg/m². Eine Ballastierungsberechnung muss für das Projekt durchgeführt werden. Es ist zu berücksichtigen, dass sowohl die Solaranlage als auch die Dachbegrünung einer regelmäßigen Wartung und Pflege bedarf. Daher ist die Planung von Wartungswegen und Absturzsicherungen notwendig. Für die PV- und Solarthermie-Anlagen reicht i.d.R. eine jährliche Sichtkontrolle auf mögliche Schäden. Die Kontrolle von einem Fachbetrieb ist je nach Firma alle 4-5 Jahre durchzuführen. Bezüglich der Dachbegrünung ist die einfachste, pflege- und kostengünstigste Variante die, bei der das Substrat gleichmäßig ca. 8-10 cm hoch verlegt wird und eine pflegearme Saatgutmischung zur Begrünung gewählt wird. Die aufwändigere, dafür jedoch arten- und strukturreichere Variante wäre, das Substrat wellenförmig zwischen 6 und 25 cm hoch aufzubauen. Abhängig von den Ergebnissen der Ballastierungsberechnung muss in den Rand- und Eckbereichen des Daches eine höhere Substratschicht umgesetzt werden. Zu beachten ist generell, je hoher das Substrat, umso höher können auch die Pflanzen wachsen und zu Verschattung und damit einhergehenden Rückschnittarbeiten einhergehen.

Basierend auf den jeweiligen verfügbaren Dachflächen wurden die potenziellen Solarstromerträge überschlägig berechnet. Die

nachstehende Tabelle gibt einen Überblick über die photovoltaischen Erträge der analysierten Gebäude im Versorgungskonzept. Die Solarstromerträge und die Strombedarfe dienen der Bewertung der Energieautarkie, welche auf Jahresbasis bewertet und je Gebäude mit aufgeführt wurde.

Tabelle 2:Übersicht: Ertrag Photovoltaik nach Objekt und Fläche

Gebäude	Nutzbare Dach-fläche [m²]	PV-Strom-ertrag (kWh/a)	Bilan-zieller jährlicher Deckungs-grad Strom (%)	Strom-über-schuss (kWh/a)	Rest-Strom-bedarf (kWh/a)
PRZ II	566	150.064	58	0	106.860
THE	2.961	784.635	49	0	820.515
Mensa	2.310	612.127	116	86.045	0
Kita	330	87.447	569	72.087	0
HH I	558	147.864	134	37.384	0
HH II	558	147.864	94	0	9.416
HH III	558	147.864	155	52.264	0
HH IV	558	147.864	80	0	37.644
Inno-vation Hub	1.000	264.990			
Summe	9.399	2.490.721	84		461.663

Bewertung:

Mit einem Deckungsgrad von 58 % ist die PV-Anlage des PRZ II für eine Vollversorgung nicht ausreichend. Der Reststrombedarf von 106.860 kWh/a deutet darauf hin, dass zusätzliche Maßnahmen erforderlich sind. Dies könnte die Erweiterung der PV-Fläche oder die Kombination mit Überschüssen aus anderen Gebäuden umfassen.

Das THE zeigt mit einem Deckungsgrad von 49 % ebenfalls eine unzureichende PV-Versorgung. Der hohe Reststrombedarf von 820.515 kWh/a erfordert eine Verknüpfung mit Stromüberschüssen aus der Mensa oder der Kita. Diese Maßnahme könnte ebenfalls helfen, die Abhängigkeit von externem Strom zu reduzieren.

Die Mensa ist mit einem Deckungsgrad von 116 % in der Lage, nicht nur den eigenen Strombedarf vollständig zu decken, sondern auch einen Überschuss von 86.045 kWh/a zu erzeugen. Das Nutzungsverhalten der Mensa, insbesondere der Einsatz von Elektrokochstellen, Spülstrecken und ein dauerhafter Kältebedarf, macht sie besonders interessant für den Einsatz von Photovoltaik. Die kontinuierliche Nutzung von elektrischer Energie ermöglicht eine effiziente Nutzung des erzeugten PV-Stroms und minimiert den externen Strombezug.

Die Kita weist mit einem Deckungsgrad von 569 % eine enorme Überproduktion auf. Der Stromüberschuss von 72.087 kWh/a übersteigt den Eigenbedarf bei Weitem. Dies liegt an dem vergleichsweise geringen Strombedarf und der ausreichenden PV-Fläche. Der Überschuss kann genutzt werden, um die Versorgung von Gebäuden wie dem PRZ II oder HH II sicherzustellen.

Die Wohnheimgebäude zeigen eine heterogene Deckungssituation. Während HH I und HH III Überschüsse von 37.384 kWh/a bzw. 52.264 kWh/a aufweisen, haben HH II und HH IV einen Reststrombedarf von 9.416 kWh/a bzw. 37.644 kWh/a. Durch eine intelligente Verteilung der Überschüsse zwischen diesen Gebäuden könnte eine weitgehende Autarkie für alle Wohnheimgebäude erreicht werden.

Der Innovation Hub wurde in der Analyse ohne Strombedarf bewertet, zeigt jedoch ein Potenzial für PV-Erträge von 264.990 kWh/a. Sollte ein Bedarf definiert werden, könnte dieser anteilig durch die PV-Anlage gedeckt werden. Ansonsten könnte dieses Potenzial in einem Batteriespeicher zwischengespeichert werden oder direkt für den Strombedarf von Gebäuden wie dem THE oder dem PRZ II genutzt werden.

<u>Gebäudeübergreifende Stromnutzung</u>

Gebäudeübergreifende Stromnutzung zeigt großes Potenzial für eine effiziente Nutzung und Verteilung des verfügbaren Solarstroms. Insbesondere durch die Kombination der Überschüsse aus der Mensa und der Kita mit dem Reststrombedarf des THE und des PRZ II kann eine erhebliche Verbesserung der Eigenversorgung und eine Reduzierung des externen Strombezugs erreicht werden.
Eine intelligente Vernetzung der Gebäude ermöglicht es, den überschüssigen Strom dort einzusetzen, wo er am dringendsten benötigt wird. Die Umsetzung solcher Maßnahmen wird durch europäische Regelungen zum "Energy Sharing" unterstützt, die den rechtlichen und administrativen Rahmen für gebäudeübergreifende Stromnutzung vereinfachen werden.

Mensa und THE: Der Überschuss der Mensa kann genutzt werden, um den Reststrombedarf des THE teilweise zu decken.
Kita und PRZ II: Der erhebliche Überschuss der Kita kann direkt zur Deckung des Reststrombedarfs des PRZ II eingesetzt werden, wodurch dessen Autarkiegrad signifikant gesteigert werden könnte.
Wohnheimgebäude: Überschüsse aus HH I und HH III sollten gezielt zur Versorgung von HH II und HH IV eingesetzt werden, um eine vollständige Deckung der Bedarfe innerhalb der Wohnheimgebäude zu erreichen.

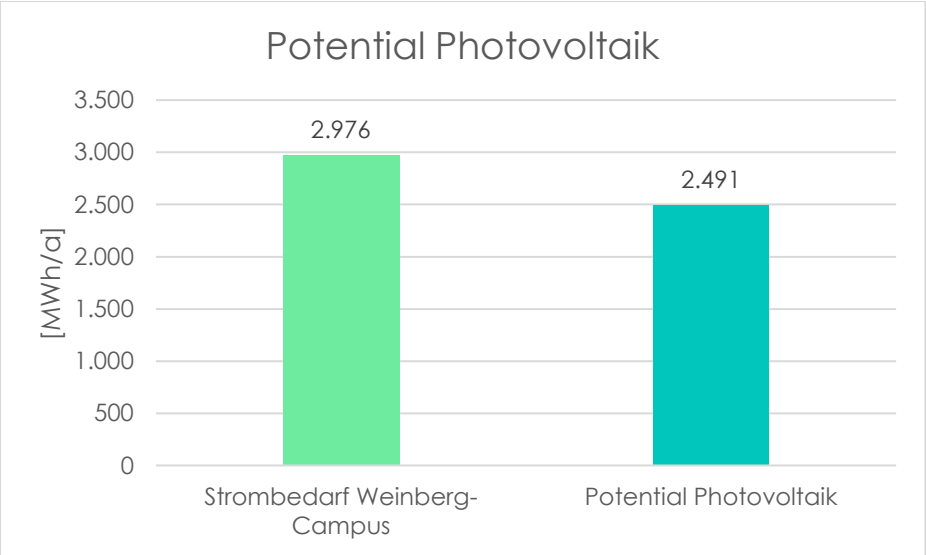


Abbildung 2: Vergleich Potenzial Photovoltaik zu Strombedarf Quartier

Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit wurde mittels Annuitätenmethode basierend auf VDI 2067 für 20 Jahre Betrachtungszeit berechnet. Die daraus resultierenden Ergebnisparameter sind die Gestehungskosten.
Die Wirtschaftlichkeitsanalyse der Photovoltaikanlage (PRZ II) zeigt, dass die Anlage wirtschaftlich attraktiv ist. Bei einer installierten Leistung von 227 kWp und einem jährlichen Energieertrag von 150 MWh ergeben sich die jährlichen Gesamtkosten von 30.000 €/a, was zu einem berechneten Stromgestehungskosten von 0,20 €/kWh führt.

Die Wirtschaftlichkeitsanalyse der Photovoltaikanlage im Gebäude THE zeigt ebenfalls eine positive wirtschaftliche Bilanz. Die PV-Anlage verfügt über eine installierte Leistung von 1.184 kWp und erzeugt jährlich 785 MWh Strom. Gleichzeitig liegen die Gesamtkosten der Anlage bei 93.000 €/a, wodurch sich spezifische Kosten von 0,12 €/kWh ergeben.

Die Wirtschaftlichkeitsanalyse der PV-Anlage in der Mensa zeigt ein positives Ergebnis. Die Anlage hat eine installierte Leistung von 924 kWp und erzeugt 612 MWh Strom jährlich. Die Gesamtkosten betragen

79.000 €/a. Der spezifische Preis pro Kilowattstunde beträgt 0,13 €/kWh.

Die PV-Anlage reduziert den externen Strombedarf erheblich und trägt zur Versorgungssicherheit bei. Optimierungsmaßnahmen könnten die Wirtschaftlichkeit weiter verbessern.

Die Wirtschaftlichkeitsanalyse der PV-Anlage der Kita zeigt ein sehr positives Ergebnis. Mit einer installierten Leistung von 132 kWp erzielt die Anlage jährlich 87 MWh Strom. Die Gesamtkosten betragen 20.000 €/a. Der spezifischen Kosten pro Kilowattstunde beträgt 0,23 €/kWh, was im Vergleich zu den aktuellen Stromkosten günstig ist.

Die Anlage ist wirtschaftlich profitabel und liefert einen klaren finanziellen Vorteil.

Die Photovoltaikanlagen der Wohnheime HH I bis HH IV verfügen jeweils über eine installierte Leistung von 223 kWp, die einen jährlichen Energieertrag von 148 MWh liefern. Die Gesamtkosten für jede Anlage belaufen sich auf 29.000 €/a, was zu einem spezifischen Preis von 0,20 €/kWh führt. Damit erweisen sich die Anlagen als wirtschaftlich tragfähig und leisten einen wichtigen Beitrag zur Reduktion der Stromkosten. Der erzeugte Strom trägt maßgeblich zur Eigenversorgung der Wohnheime bei und unterstreicht die langfristige Rentabilität der Investition.

Die Photovoltaikanlage des Innovation Hubs verfügt über eine installierte Leistung von 400 kWp und erzeugt jährlich 265 MWh Strom. Die Gesamtkosten der Anlage belaufen sich auf 43.000 €/a, während der spezifischen Kosten pro erzeugte Kilowattstunde bei 0,16 €/kWh liegt. Die Anlage zeigt eine positive Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu aktuellen Strompreisen und trägt durch die erzeugte Energie erheblich zur Stromversorgung bei.

Die CO_2-Bilanz der Photovoltaikanlage bestätigt den ökologischen Nutzen dieser Investition. Die entstehenden Emissionen liegen bei 0 t/a, da die Anlage während des Betriebs emissionsfrei Strom erzeugt. Gleichzeitig konnten durch die PV-Anlage vermiedene Emissionen in Höhe von 1.081 t CO_2 pro Jahr berechnet werden. Diese Einsparung ergibt sich aus der Substitution von Strom aus fossilen Energiequellen, die durchschnittlich 434 kg CO_2/MWh emittieren. Die CO_2-Bilanz fällt somit mit -1.081 t CO_2/a eindeutig positiv aus, was bedeutet, dass die Anlage aktiv zur Reduktion von Treibhausgasen beiträgt. Rundet man die vermiedenen Emissionen auf volle Hunderter, ergibt sich eine Einsparung von 1.100 t CO_2/a.
Setzt man die wirtschaftlichen und ökologischen Ergebnisse in Relation, zeigt sich, dass die Photovoltaikanlage nicht nur wirtschaftlich tragfähig, sondern auch ein effektiver Beitrag zur Klimaschutzstrategie ist. Die finanziellen Einsparungen aus der Stromerzeugung und die Erlöse durch

die Einspeisung werden ergänzt durch die signifikante Reduktion von CO_2-Emissionen. Dies stärkt die Nachhaltigkeitsbilanz des Gebäudes und verbessert langfristig die Versorgungssicherheit.

Stork Plan & Control GmbH

Solarthermie

Anstelle einer Photovoltaikanlage kann auch eine Solarthermie-Anlage umgesetzt werden. Diese hat i.d.R. einen höheren Wirkungsgrad. Dieser ist jedoch umso größer, je größer die Umgebungstemperatur ist. Anders als bei einer PV-Anlage ist die Verdunstungskühlung, die von einem Gründach ausgeht, hier daher nicht von Vorteil. Der Neigungswinkel der Solarthermie-Kollektoren sollte zwischen 30° und 45° liegen. Der steilere Winkel führt zu einer geringeren Verschmutzung im Vergleich zu PV-Anlagen. Außerdem benötigen sie weniger Fläche als Photovoltaik. Eine Anordnung von Begrünung und Solarwärmeanlage auf einem Dach sind daher zu bevorzugen. Das Eigengewicht einer Solarthermie-Anlage beläuft sich auf ca. 20 bis 60 kg/m².

Der Abstand von der Dachkante zur äußersten Modulreihe muss mindestens 2,50 m betragen. Nach geltender Regelung der Normreihe DIN EN 62305/VDE 0185-305 muss die Solaranlage mit einem Blitzschutz ausgebildet werden.

Das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) fördert über die Bundesförderung für effiziente Gebäude-Einzelmaßnahmen (BEG-EM) den Erhalt und die Neuanlage von Solarthermie-Anlagen zur Wärmeerzeugung. Photovoltaikanlagen werden über das KFW-Kreditprogramm 270 gefördert.
Die nachfolgende Tabelle bietet eine detaillierte Analyse der potenziellen solarthermischen Erträge für die relevanten Gebäude des Versorgungskonzepts. Basierend auf den verfügbaren Dachflächen und den spezifischen Leistungskennwerten für Solarthermie wurde der erwartete Wärmegewinn berechnet. Diese Daten dienen der präzisen Dimensionierung der Solarthermieanlagen und ermöglichen eine fachliche Einschätzung, inwieweit diese Technologie den Gesamtwärmebedarf abdecken kann. Die Tabelle bildet somit eine wesentliche Grundlage für die strategische Entscheidung zur Integration erneuerbarer Wärmequellen in das Versorgungssystem.

Tabelle 3:Solarthermischer Ertrag nach Objekt und Fläche

Gebäude	Fläche [m²]	ST-Wärme-ertrag (kWh/a)	Deckungs-grad Wärme (%)	Wärme-Über-schuss (kWh/a)	Rest-wärme-bedarf (kWh/a)
PRZ II	566	372.059	99	0	2.022
THE	2.961	1.945.377	80	0	489.279
Mensa	2.310	1.517.670	330	1.057.839	0
Kita	330	216.810	211	113.977	0
HH I	558	366.606	113	41.580	0
HH II	558	366.606	108	27.122	0
HH III	558	366.606	101	3.791	0
HH IV	558	366.606	119	57.341	0
Inno-vation Hub	1.000	657.000			
Summe	**9.399**	**6.175.340**	**131**	**1.301.650**	

Bewertung:

Das Pandemieresilienz-Zentrum (PRZ-II) erreicht mit einem Deckungsgrad von 99 % nahezu eine vollständige Abdeckung seines Wärmebedarfs. Der geringe Restwärmebedarf von 2.022 kWh/a könnte problemlos durch Fernwärme oder eine Wärmepumpe ergänzt werden, um die Versorgung vollständig zu sichern.

Das Theoretikum (THE) weist hingegen mit einem Deckungsgrad von 80 % noch einen signifikanten Restwärmebedarf von 489.279 kWh/a auf. Hier ist der Einsatz ergänzender Technologien wie Fernwärme, einer Wärmepumpe oder die Nutzung von Wärmeüberschüssen aus anderen Gebäuden erforderlich, um den Bedarf vollständig zu decken.

Die Mensa sticht besonders hervor, da sie mit einem Deckungsgrad von 330 % ihren Wärmebedarf mehr als dreifach deckt und einen Überschuss von 1.057.839 kWh/a generiert. Diese überschüssige Wärme kann idealerweise in ein Nahwärmenetz eingespeist oder für die Versorgung von Gebäuden wie dem THE und PRZ II verwendet werden, die noch Restbedarfe aufweisen.

Die Kita zeigt ebenfalls ein sehr gutes Ergebnis mit einem Deckungsgrad von 211 % und einem Wärmeüberschuss von 113.977 kWh/a. Auch hier könnte der Überschuss für andere Gebäude oder in Wärmespeichern verwendet werden.

Die Wohnheimgebäude (HH I-IV) decken ihren Wärmebedarf vollständig und erzeugen ebenfalls Überschüsse, die zwischen 3.791 kWh/a (HH III) und 57.341 kWh/a (HH IV) variieren. Diese Überschüsse könnten in einem zentralen Wärmespeicher gesammelt werden, um zur Versorgung von Gebäuden mit Restwärmebedarf wie dem THE oder PRZ II beizutragen.

Für den **Innovation Hub** wurden keine Bedarfswerte definiert, jedoch zeigt der Wärmeertrag von 657.000 kWh/a das Potenzial, den Bedarf zu decken, falls ein Bedarf für das Gebäude ermittelt wird. Ansonsten könnte dieses Potenzial in einem Batteriespeicher zwischengespeichert werden oder direkt für den Wärmebedarf von Gebäuden wie dem THE oder dem PRZ II genutzt werden.

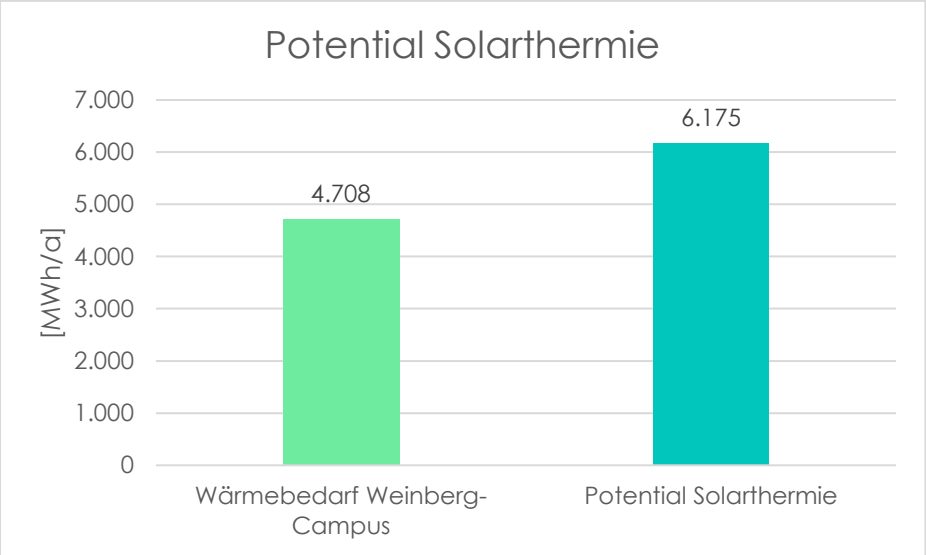


Abbildung 3: Gegenüberstellung Gesamtwärmebedarf Quartier und Potential Solarthermie

In der Jahresbetrachtung wird mehr Wärme bereitgestellt, als benötigt wird (Abbildung 3). Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass das Angebot und der Bedarf saisonal auseinanderfallen. Daher kann das Potenzial der erzeugten Wärme nur eingeschränkt genutzt werden, da in den Sommermonaten ein Überschuss vorhanden ist, während in den Wintermonaten eine höhere Nachfrage besteht.

Die Solarthermieanlage des PRZ II liefert jährlich 372 MWh Wärme. Die Gesamtkosten belaufen sich auf 41.000 €/a, was zu einem spezifischen

Preis von 0,11 €/kWh führt. Die Einsparungen durch die erzeugte Wärme betragen 43.902,97 €/a, was die Wirtschaftlichkeit der Anlage bestätigt.

Die Solarthermieanlage im THE erzeugt jährlich 1.945 MWh Wärme. Die jährlichen Gesamtkosten betragen 241.000 €/a, was zu einem spezifischen Preis von 0,12 €/kWh führt. Die erzielten Einsparungen durch die Wärmeerzeugung belaufen sich auf 229.554,49 €/a, was die Anlage als nahezu wirtschaftlich tragfähig bestätigt.
Die Solarthermieanlage in der Mensa erzielt einen jährlichen Wärmeertrag von 1.518 MWh. Die jährlichen Gesamtkosten belaufen sich auf 186.000 €/a, wodurch ein spezifischer Wärmepreis von 0,12 €/kWh erreicht wird. Die jährlichen Einsparungen betragen 179.085,06 €/a, was die Wirtschaftlichkeit der Anlage bestätigt. Die Differenz zeigt, dass die Anlage trotz hoher Investitionskosten langfristig tragfähig ist.

Die Solarthermieanlage in der Kita erzielt einen jährlichen Wärmeertrag von 217 MWh. Die jährlichen Gesamtkosten betragen 23.000 €/a, wodurch sich ein spezifischer Wärmepreis von 0,11 €/kWh ergibt. Die Einsparungen im ersten Jahr betragen 25.583,58 €/a, was die Anlage wirtschaftlich tragfähig macht. Aufgrund des geringen Wärmepreises und der positiven Differenz zu den Kosten ist die Anlage effizient und rentabel.
Die Solarthermieanlagen in den Wohnheimgebäuden HH I bis HH IV erzielen jeweils einen jährlichen Wärmeertrag von 367 MWh. Die jährlichen Gesamtkosten betragen 41.000 €/a, wodurch sich ein spezifischer Wärmepreis von 0,11 €/kWh ergibt. Die Einsparungen im ersten Jahr liegen bei 43.259,51 €/a, was die Wirtschaftlichkeit der Anlagen unterstreicht.
Die Solarthermieanlage im Innovation Hub erzielt einen jährlichen Wärmeertrag von 657 MWh. Die jährlichen Gesamtkosten betragen 76.000 €/a, was zu einem spezifischen Wärmepreis von 0,12 €/kWh führt. Die Einsparungen im ersten Jahr betragen 77.526 €/a, wodurch die Anlage wirtschaftlich tragfähig ist.

Die CO_2-Bilanz der Solarthermieanlage zeigt eine eindrucksvolle ökologische Wirkung. Während des Betriebs entstehen keinerlei Emissionen, was zu einer CO_2-Belastung von 0 Tonnen pro Jahr (t/a) führt. Im Gegensatz dazu werden durch den Betrieb der Anlage CO_2-Emissionen in Höhe von 820 t/a vermieden. Diese Einsparung resultiert aus der Erzeugung von 6.175 MWh Wärme pro Jahr und der Annahme eines durchschnittlichen Emissionsfaktors von 133 kg CO_2/MWh für konventionelle Wärmeerzeugung.
Die resultierende CO_2-Bilanz beläuft sich auf -820 t CO_2/a, was den positiven Beitrag der Solarthermieanlage zur Reduktion der Treibhausgasemissionen hervorhebt. Rundet man die vermiedenen Emissionen auf volle Hunderter, ergibt sich eine CO_2-Ersparnis von 800

t/a. Damit wird deutlich, dass die Anlage nicht nur klimafreundlich arbeitet, sondern auch einen erheblichen Beitrag zur Nachhaltigkeitsstrategie leistet.

Stork Plan & Control GmbH

Photovoltaik-Thermie (PVT)

Statt einer reinen Photovoltaikanlage oder Solarthermieanlage kann auch eine Photovoltaik-Thermie-Anlage installiert werden.
Photovoltaik-Thermie kombiniert die Vorteile von Photovoltaik und Solarthermie in einem einzigen Modul, das sowohl elektrische Energie als auch Wärme aus Sonnenlicht erzeugt. Diese Hybridkollektoren bestehen aus übereinanderliegenden Schichten: Oben befinden sich die Solarzellen zur Stromerzeugung, darunter die thermischen Absorber zur Wärmegewinnung.

PVT-Module nutzen die Sonnenstrahlung doppelt: Die obere Schicht wandelt Licht in elektrischen Strom um, während die darunterliegende Schicht die entstehende Abwärme aufnimmt und für die Warmwasserbereitung oder Heizungsunterstützung verwendet. Dieser Aufbau ermöglicht eine effiziente Nutzung der verfügbaren Dachfläche, da sowohl Strom als auch Wärme gleichzeitig erzeugt werden.

Durch die Kombination beider Technologien in einem Modul wird weniger Dachfläche benötigt, was besonders bei begrenztem Platzangebot vorteilhaft ist.

Die Wärmeabfuhr durch den thermischen Teil des Moduls kühlt die Solarzellen, was deren Effizienz steigert.

Die Integration von PVT-Modulen auf begrünten Dächern bietet zusätzliche Vorteile. Die Vegetation sorgt für eine natürliche Kühlung der Module, was deren Leistung erhöht. Studien zeigen, dass eine solche Kombination die Effizienz der Photovoltaikanlage um bis zu 8 % steigern kann.

Bei der Installation von PVT-Modulen auf Gründächern ist es wichtig, die Statik des Gebäudes zu berücksichtigen, da sowohl die Module als auch die Begrünung zusätzliches Gewicht verursachen. Zudem sollte ein ausreichender Abstand zwischen Vegetation und Modulen eingehalten werden, um Verschattungen zu vermeiden und Wartungsarbeiten zu erleichtern.

PVT-Systeme stellen eine innovative Lösung dar, um die Energieausbeute von Dachflächen zu maximieren. In Kombination mit

Gründächern bieten sie ökologische und ökonomische Vorteile, indem sie zur Energieeffizienz und Nachhaltigkeit von Gebäuden beitragen.

In der unterstehenden Tabelle sind die potenziellen Erträge der Photovoltaik-Thermie (PVT) für die betrachteten Gebäude aufgeführt. Es werden sowohl die Strom- als auch die Wärmegewinne basierend auf der verfügbaren Dachfläche dargestellt.

Tabelle 4: Solarthermischer Ertrag nach Objekt und Fläche

Gebäude	Fläche [m²]	PVT-Stromertrag (kWh/a)	Deckungsgrad Strom (%)	PVT-Wärmeertrag (kWh/a)	Deckungsgrad Wärme (%)
PRZ II	566	99.216	39	396.863	106
THE	2.961	518.767	32	2.075.069	85
Mensa	2.310	404.712	77	1.618.848	352
Kita	330	57.816	376	231.264	225
HH I	558	97.762	88	391.046	120
HH II	558	97.762	62	391.046	115
HH III	558	97.762	102	391.046	108
HH IV	558	97.762	53	391.046	126
Innovation Hub	1.000	175.200		700.800	

Bewertung:
Hohe Wärmeerträge und Deckungsgrade
Mensa: Mit einem Wärmedeckungsgrad von 352 % und einem Wärmeertrag von 1.618.848 kWh/a erzeugt die Mensa eine erhebliche Menge an überschüssiger Wärme (1.159.017 kWh/a). Dieses Potenzial könnte für die Versorgung anderer Gebäude oder zur Speicherung genutzt werden.
Kita: Ähnlich wie die Mensa erzielt die Kita einen Wärmedeckungsgrad von 225 %, was Überschüsse von 128.431 kWh/a ergibt. Auch hier gibt es Spielraum für systemweite Effizienzsteigerungen durch Speicherung oder Netzbereitstellung.

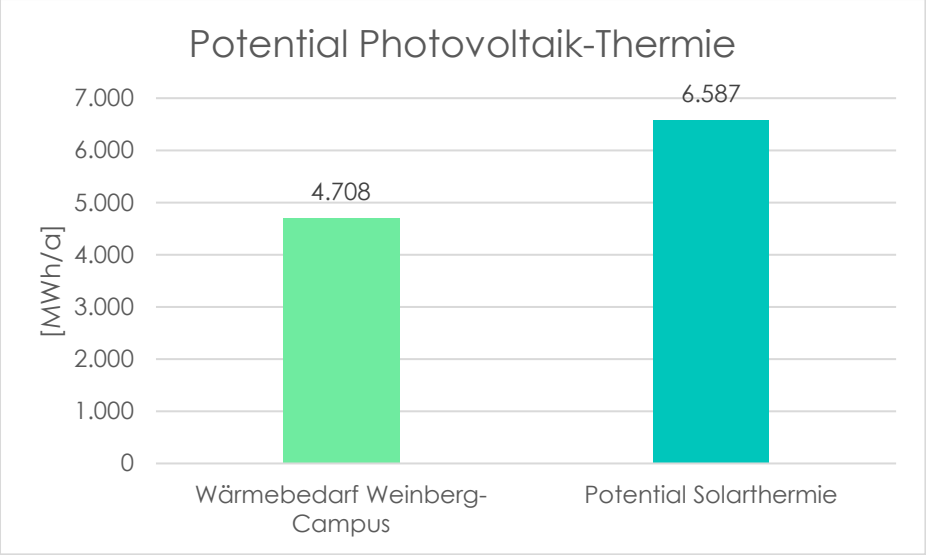


Abbildung 4: Gegenüberstellung Wärmebedarf Quartier und Wärmepotenzial aus Photovoltaik-Thermie PVT

Effiziente Deckung des Strombedarfs in mehreren Gebäuden
HH I-III: Diese Gebäude decken ihren Strombedarf zu 88 % bis 102 %, wobei HH III sogar leichte Stromüberschüsse (2.162 kWh/a) erzielt. Dies zeigt eine optimale Anpassung der PVT-Kapazität an den Bedarf.
Kita: Der Stromdeckungsgrad von 376 % und ein Überschuss von 42.456 kWh/a verdeutlichen, dass dieses Gebäude weit mehr Strom produziert, als es benötigt. Dies stellt ein potenzielles Reservoir für die Versorgung von Gebäuden mit Restbedarfen dar.
Hohe Autarkiepotenziale durch PVT
Gebäude wie die Mensa und die Kita erreichen sowohl im Wärme- als auch im Strombereich Autarkie oder sogar Überschüsse. Dies reduziert die Abhängigkeit von externen Versorgern und verbessert die Versorgungssicherheit.

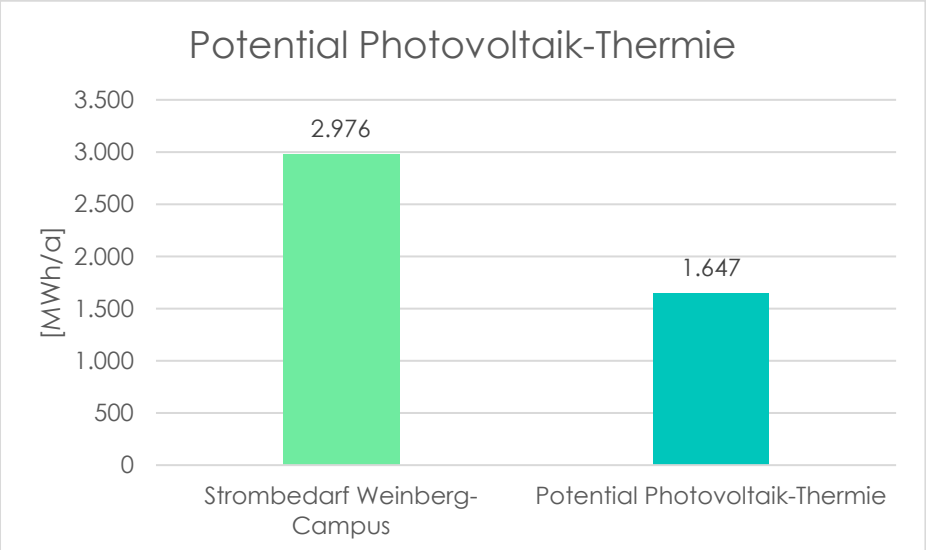


Abbildung 5: Gegenüberstellung Strombedarf Quartier und Strompotenzial aus Photovoltaik-Thermie PVT

Niedrige Deckungsgrade in spezifischen Gebäuden
PRZ II und THE: Diese Gebäude weisen niedrige Stromdeckungsgrade von 39 % (PRZ II) und 32 % (THE) auf. Beide haben signifikante Reststrombedarfe (157.708 kWh/a und 1.086.383 kWh/a) sowie moderate Restwärmebedarfe (359.587 kWh/a beim THE).
Überschussmanagement
Große Wärmeüberschüsse in der Mensa und der Kita sowie moderate Überschüsse in HH I-IV könnten ungenutzt bleiben, wenn keine entsprechenden Speicherlösungen oder Netzbereitstellungen implementiert werden.
Die Photovoltaik-Thermie-Anlage im PRZ II erzeugt jährlich 397 MWh Wärme und 99 MWh Strom. Die spezifischen Kosten betragen 0,03 €/kWh für Wärme und 0,10 €/kWh für Strom, basierend auf einer Gesamtannuität von 20.000 €/a. Diese niedrigen Kosten unterstreichen die hohe Effizienz der Anlage.

Im **THE** werden jährlich 2.075 MWh Wärme und 519 MWh Strom erzeugt. Die spezifischen Kosten betragen 0,02 €/kWh für Wärme und 0,08 €/kWh für Strom, basierend auf einer Gesamtannuität von 80.000 €/a.
In der **Mensa** werden jährlich 1.619 MWh Wärme und 405 MWh Strom erzeugt. Die spezifischen Kosten betragen 0,02 €/kWh für Wärme und 0,08 €/kWh für Strom, basierend auf einer Gesamtannuität von 64.000 €/a.
In der **Kita** werden jährlich 231 MWh Wärme und 58 MWh Strom erzeugt. Die Gesamtkosten belaufen sich auf 13.000 €/a, was zu einem spezifischen Wärmepreis von 0,03 €/kWh und einem Strompreis von 0,11 €/kWh führt.
in den **Wohnheimgebäude** werden jährlich jeweils 391 MWh Wärme und 98 MWh Strom erzeugt. Die Gesamtkosten belaufen sich jeweils auf 21.000 €/a, was zu einem spezifischen Wärmepreis von 0,03 €/kWh und einem Strompreis von 0,11 €/kWh führt.
Im **Innovation Hub** werden jährlich 701 MWh Wärme und 175 MWh Strom erzeugt. Die spezifischen Kosten betragen 0,02 €/kWh für Wärme und 0,10 €/kWh für Strom, basierend auf einer Gesamtannuität von 32.000 €/a.

Insgesamt liegen die Preise für die erzeugte Energie deutlich unter typischen Marktwerten für Strom und Wärme, was die Wirtschaftlichkeit der Technologie unter Beweis stellt.

Die CO_2-Bilanz der PVT-Anlage demonstriert ihre technische und ökologische Effizienz. Während des Betriebs entstehen keinerlei CO_2-Emissionen, sodass die entstehenden Emissionen bei 0 t/a liegen. Die Anlage ermöglicht die Vermeidung von insgesamt 1.589 t CO_2 jährlich,

aufgeteilt in 715 t CO_2 durch die Erzeugung von 1.647 MWh Strom (bei einem Emissionsfaktor von 434 kg CO_2/MWh) und 874 t CO_2 durch die Bereitstellung von 6.587 MWh Wärme (bei 133 kg CO_2/MWh).

Die Kombination von Strom- und Wärmeproduktion in einer PVT-Anlage bietet eine effiziente Nutzung der verfügbaren Ressourcen. Die Anlage reduziert den Bedarf an fossilen Energieträgern signifikant und trägt dadurch maßgeblich zur Dekarbonisierung der Energieversorgung bei. Dies macht sie zu einem leistungsstarken Instrument zur Erreichung von Klimazielen.
Abbildung 4 stellt die Energiebedarfe und -potenziale des gesamten Quartiers dar. Sie zeigt die Strom- und Wärmebedarfe sowie die jeweiligen Potenziale der Technologien Photovoltaik, Solarthermie und Photovoltaik-Thermie auf einen Blick.
Hinweis: Alle Werte sind in kWh/a angegeben.

4.1.2.2 Wärmepumpe

Das Prinzip einer Wärmepumpe ist im Grundsatz recht simpel. Sie befördert Wärme aus der Außenluft, dem Erdreich oder dem Grundwasser in das Gebäude herein. Da es sich bei dem Bauvorhaben des Theoretikums um einen Neubau handelt, ist der Einbau einer Wärmepumpe sinnvoll. Diese arbeitet besonders effizient, wenn das Gebäude einen guten Wärmeschutz durch Dämmung und moderne Fenster aufweist. Außerdem empfiehlt sich der Einbau großer Heizkörper wie eine Fußboden- oder Wandheizung.

Für den Zugang zu netzbetreiberunabhängiger Energie mittels Wärmepumpe kommen verschiedene Typen infrage:

Der gebräuchlichste Typ ist die Kompressionswärmepumpe, welche auf einem mechanischen Kompressor basiert. Der Antrieb des Kompressors erfolgt i.d.R. mit einem Elektromotor, welcher an das öffentliche Stromnetz und/oder ggf. mit eigenem Strom (Photovoltaik) mit elektrischer Energie betrieben wird. Es besteht auch die Möglichkeit, den Kompressor mittels Verbrennungsmotor zu betreiben (z.B. mit Erd- oder Biogas). Der Vorteil dieser Antriebsvariante ist, dass die Abwärme einer solchen Wärmekraftmaschine direkt der Nutzung zugeführt werden kann. Der mechanische Wirkungsgrad dieser Anlage ist jedoch deutlich geringer als der eines Gaskraftwerkes und benötigt zudem voraussichtlich fossile Brennstoffe. Ebenfalls würden höhere Anschaffungskosten anfallen. Nichtsdestotrotz wird dieser Ansatz bei großen Anlagen in der Praxis am häufigsten gewählt.

Ein weiterer Typ einer Wärmepumpe ist die Absorptionswärmepumpe. Im Vergleich zur Kompressionswärmepumpe erfolgt die Verdichtung des

Kühlmittels durch eine temperaturbeeinflusste Lösung eines Kältemittels. In einem Lösungsmittelkreislauf wird das Kältemittel bei niedrigen Temperaturen in einem zweiten Stoff absorbiert und bei höherer Temperatur desorbiert, wobei die physikalische Löslichkeit zweier Stoffe genutzt wird. Als Stoffpaar kommen unter anderem Ammoniak und Wasser zum Einsatz. Ammoniak-Absorptionsanlagen sind sinnvoll bei tiefen Verdampfungstemperaturen, da kein Öl in den Kältekreislauf eingebracht wird (anders als bei der Kompressionswärmepumpe). Die Anlagen werden vorwiegend als kundenspezifische Einzelanlagen umgesetzt und können auf die speziellen Anforderungen des Neubaus angepasst werden. Die Kälteleistung liegt im MW-Bereich.
Eine weitere Kombination der Kältemittel sind Wasser und Lithiumbromid. Da das Wasser als Kühlmittel fungiert, ist die niedrigste Kaltwasseraustrittstemperatur auf 5°C beschränkt. Vorteil dieser Anlage ist die niedrige Austreibertemperatur sowie die unbedenkliche Verwendung von Wasser als Kühlmittel. Gut geeignet ist dieses System unter anderem für die Klimatisierung bzw. Prozesskühlung aus der Abwärme von Gasturbienen oder Motoren. Außerdem kann so im Sommer das Gebäude klimatisiert werden und/oder Kaltwasser für Klimaanlagen und Prozesskühlung erzeugt werden. Im Unterschied zur Kompressionswärmepumpe erfolgt eine rein thermische Antriebsenergie der Absorptionsanlage.

Eine neuartige Umsetzung des Wärmepumpen-Systems ist die Rotationswärmepumpe. Für den technisch-ökonomisch sinnvollen Joule-Prozess ist eine sehr hohe Effizienz bei der Verdichtung notwendig. Die Rotationswärmepumpe erreicht diese durch Rotation des gesamten Kreisprozesses. Dieser linksdrehende Joule-Prozess, auch Brayton-Prozess genannt, ist ein einphasiger thermodynamischer Kreisprozess, was unter anderem den Vorteil hat, dass als Arbeitsmittel anstelle eines umweltschädlichen Kältemittels ein Edelgasgemisch verwendet werden kann, welches aus der Luft gewonnen wird. Das Treibhauspotenzial ist daher 0, es ist ungiftig und unbrennbar. Daraus ergeben sich zahlreiche Vorteile gegenüber konventionellen Systemen, unter anderem die höheren erreichbaren Temperaturen bis 200°C, ein großer Temperaturhub von bis zu 55 K innerhalb eines Prozesses, eine hohe Flexibilität, da unterschiedliche Betriebszustände mit ein und derselben Maschine erreicht werden und der Aspekt der Umweltfreundlichkeit und Sicherheit. Da vor allem in der Industrie z.B. für Dampferzeugung oder Sterilisation Temperaturen im Bereich bis 200°C notwendig sind, ist der Einsatz eines solchen Systems sinnvoll. Allerdings ist das Konzept sehr neuartig und läuft in Einzelfällen und Test-Reihen.

Man unterteilt Wärmepumpen nicht nur anhand des verwendeten Verfahrens, sondern auch nach der Art der Wärmequelle. Dazu gehören

beispielsweise die Außen- oder Abluft, Grund- oder Oberflächenwasser, Erdwärme oder die Abwärme von industriellen Anlagen. Im Zuge der Baumaßnahme des neuen Theoretikums könnten folgende Varianten infrage kommen:

Wärmepumpen lassen sich beispielsweise mit Solarmstrom-Anlagen kombinieren. Eine Kombinationsmöglichkeit ist die Versorgung der Solar-Wärmepumpe mit Strom mittels Photovoltaikanlage. So wird der Eigenverbrauch von Solarmstrom gesteigert, was zu einem wirtschaftlichen Vorteil gegenüber der Einspeisung des Solarstroms ins Stromnetz führt. Es ist auch denkbar, dass die Solarkollektoren die Wärmepumpe durch direkte Einbindung also durch Einspeisung in den Solarspeicher unterstützen.
Über im Kanalnetz installierte Wärmetauscher kann bei Abwasser-Wärmepumpen die Wärme dem Abwasser entzogen und zum Heizen nutzbar gemacht werden. So können Brennstoffe wie Gas und Öl eingespart werden. Die auf diese Art gewonnene Wärme kann zudem alternativ in ein Nahwärmenetz eingespeist werden.

In Bezug auf das Untersuchungsgebiet des Weinberg Campus lässt sich ein jährlicher Wärmebedarf von ca. 4.700 MWh für alle zu versorgende Gebäude ableiten. Unter Berücksichtigung einer durchschnittlichen Vollbenutzungszeit der Gebäude von 1.600 Stunden pro Jahr lässt sich für das gesamte Gebiet eine Anschlussleistung von 2,9 MW ableiten. Im direkten Umfeld lassen sich zwei Wärmequellen identifizieren, deren Eignung für die Nutzung einer näheren Untersuchung bedarf. Einerseits kann dem anfallenden Schmutzwasser Wärme entzogen und über eine Wärmepumpe nutzbar gemacht werden. Andererseits kann die Saale-Wärme ebenfalls mittels einer Wärmepumpe genutzt werden. Im Folgenden erfolgt eine Darstellung beider Varianten.

Schmutzwasserwärme

Die Ermittlung des Potenzials der Wärmenutzung aus dem anfallenden Schmutzwasser des Untersuchungsgebiets kann auf Basis der verbrauchten Trinkwassermengen erfolgen. Unter dieser Annahme lässt sich für das Untersuchungsgebiet eine jährliche Schmutzwassermenge von rund 28.100 m^3 ableiten. Dies resultiert in einer Quellenleistung von 11,2 kW bei einer Temperaturabsenkung von 3 K. Unter Annahme einer Wärmepumpe mit einer Jahresarbeitszahl von 5,1 resultiert dies in einer gesamten Wärmeleistung von 13,9 kW. Unter Berücksichtigung von 1.600 Vollbenutzungsstunden lässt sich eine jährliche Wärmemenge von rund 22,3 MWh ableiten. Diese Menge ermöglicht die Deckung von rund 0,5 % des Wärmebedarfs.

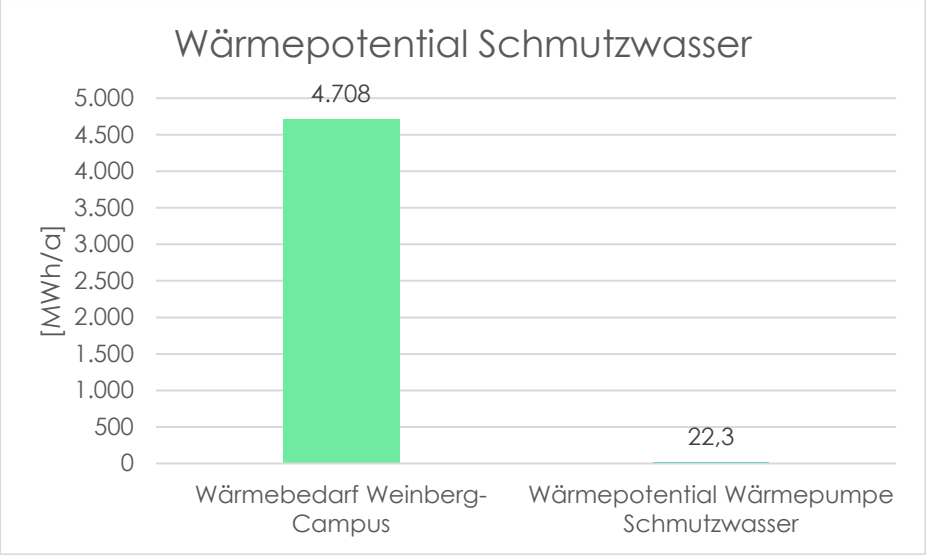


Abbildung 6: Gegenüberstellung Wärmebedarf Quartier und Wärmepotenzial aus Schmutzwasser (Wärmebereitstellung über Wärmepumpentechnologie)

Wirtschaftlichkeit und CO_2-Emissionen

Mit Berücksichtigung des Schmutzwasser-Potenzials kann eine Wasser-Wasser-Wärmepumpe mit einer thermischen Leistung von etwa 14 kWp realisiert werden. Diese ist, zur Bereitstellung von 22,3 MWh Wärme pro Jahr, mit annuitätischen Kosten von 8.540 €/a verbunden. Dies führt zu Wärmegestehungskosten von etwa 38,3 €ct/kWh.
Eine Analyse der Emissionsbilanz legt dar, dass durch den Einsatz von Netzstrom, mit dem aktuellen Strommix, etwa zwei Tonnen CO2 pro Jahr zu verzeichnen sind. Diese entspricht spezifischen Emissionen von 0,09 t/MWh. Der Einsatz von emissionsfreiem Strom erlaubt eine Reduktion dieser Emissionen bis auf Null. Dies kann beispielsweise durch Photovoltaik im Quartier realisiert werden.

Saalewärme

Die bereits ermittelte Wärmeleistung von 2,9 MW im Untersuchungsgebiet kann durch die Entnahme von Wärme aus der Saale, hier der Seitenarm „Wilde Saale", bereitgestellt werden. Dazu ist die Verwendung einer Wärmepumpe mit einer Jahresarbeitszahl von 3,1 denkbar, um bei einer Temperaturabsenkung von 2 K und einem Durchfluss von 0,24 m³/s, die geforderte thermische Leistung von 2 MW bereitzustellen. Aus den Messdaten der Station Halle-Trotha kann abgeleitet werden, dass zu jedem Zeitpunkt mindestens 40 m³/s zur Verfügung stehen. Daraus kann geschlossen werden, dass die benötigte Quellenleistung von rund 3.200 MWh aus der Saale zu jedem Zeitpunkt bereitgestellt werden kann. Zusätzlich werden ca. 1.500 MWh Wärme aus der Wärmepumpe durch Strom erzeugt.
Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Wilde Saale ein Bestandteil des Landschaftsschutzgebietes Saaletal ist (vgl. Abbildung 6).

Demzufolge sind weitere Untersuchungen und Abstimmungen mit den zuständigen Behörden erforderlich, um den mit der Wärmenutzung verbundenen Eingriff in das Ökosystem zu bewerten und zu genehmigen.

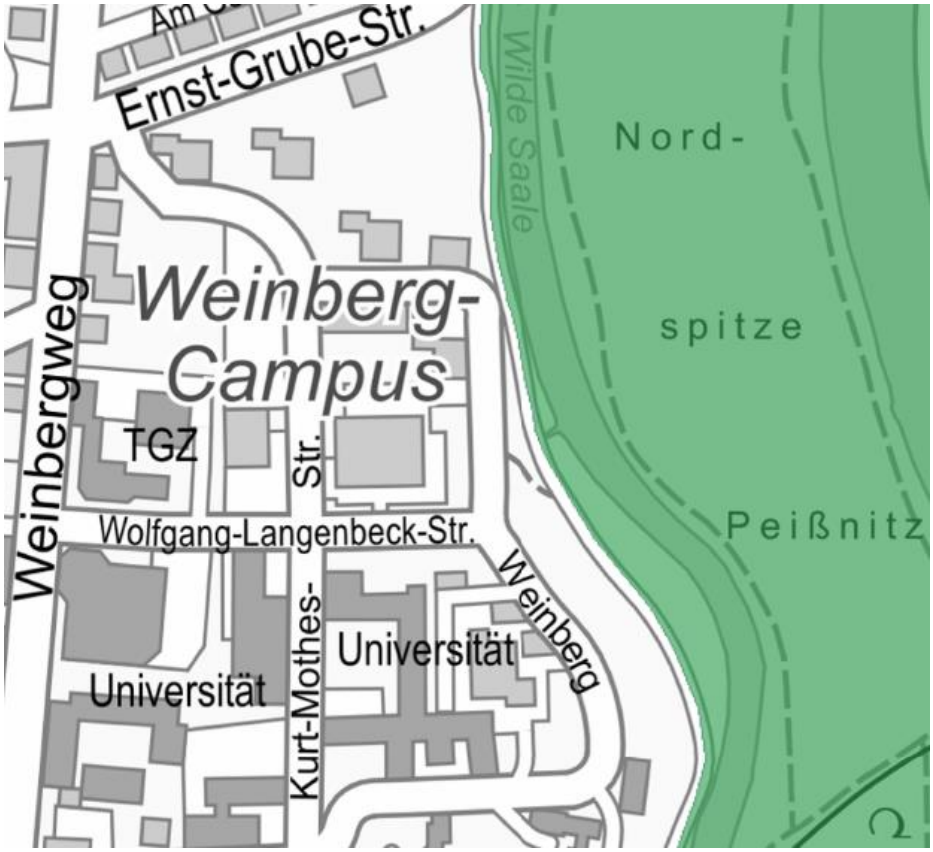


Abbildung 7: Landschaftsschutzgebiet Saaletal[1]

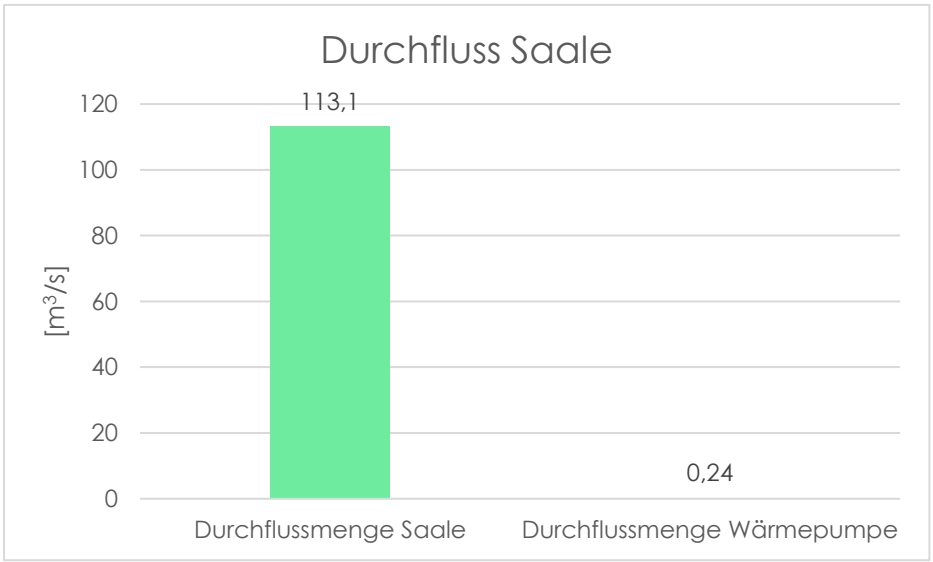


Abbildung 8: Gegenüberstellung des mittleren Durchflusses der Saale und benötigter Durchfluss zur Bereitstellung der Wärmeleistung für das Quartier

[1] HALgis

Wirtschaftlichkeit und CO_2-Emissionen

Mit Berücksichtigung des Saalewärme-Potenzials kann eine Kompressionswärmepumpe mit einer thermischen Leistung von etwa 2,9 MW realisiert werden. Diese ist, zur Bereitstellung von 4.700 MWh Wärme pro Jahr, mit annuitätischen Kosten von 511.000 €/a verbunden, wobei 506.000 €/a auf den Strombedarf durch Netzbezug zurückzuführen sind. Dies führt zu Wärmegestehungskosten von etwa 10,9 €ct/kWh. Sofern im Quartier Eigenstromproduktion z. B. aus Photovoltaik realisiert wird, kann dies die Wärmegestehungskosten weiter verringern. Durch Saalewärme und Photovoltaik Vorort-Verbrauch kann eine weitgehend autarke Versorgung gewährleistet werden.

Beim Vergleich der beiden Wärmepumpenlösungen zeigt sich, dass die Saalewärme sowohl in Leistung als auch in den Kosten überlegen ist. Die Schmutzwasser-Wärmepumpe erreicht eine thermische Leistung von etwa 14 kWp bei Wärmegestehungskosten von etwa 38,3 €ct/kWh. Im Gegensatz dazu bietet die Saalewärme mit einer Leistung von 2 MW und Wärmegestehungskosten von nur 10,9 €ct/kWh eine deutlich bessere Wirtschaftlichkeit.

Eine Analyse der CO_2-Bilanz zeigt, dass bei der Annahme des aktuellen Strom-Mix für Deutschland jährliche Emissionen von 660 t CO_2 zu verzeichnen ist. Dies entspricht spezifischen Emissionen von 0,14 t/MWh Wärme. Der Einsatz von emissionsfreiem Strom erlaubt eine Reduktion dieser Emissionen bis auf Null. Dies kann beispielsweise durch Photovoltaik im Quartier realisiert werden.

Eine weitere spezielle Art der Wärmepumpe ist die CO_2-Wärmepumpe. Diese nutzen das natürliche Kältemittel CO_2, um Vorlauftemperaturen bis 90°C für Heiz- und Prozesswärme zu erzeugen. Die besonderen Eigenschaften von CO_2 als Kältemittel ermöglicht die Erzeugung von hohen Temperaturen auch aus vorhandenen Niedertemperaturquellen wie industrieller Abwärme und Abwasser bis 35°C. Der Einsatz von CO_2 als Kältemittel verringert den Primäreinsatz sowie CO_2-Emissionen. Besonders effektiv hat sich in der Vergangenheit die Kombination aus CO_2-Hochtemperaturwärmepumpen die Kälteerzeugung bis - 10°C und der Hochtemperatur-Wärmerückgewinnung bis 90°C ermöglichen.

Der Einsatz konventioneller Kältemittel bringt ein hohes Potenzial von Treibhausgasemission mit sich. Setzt man als klimafreundliche Alternative beispielsweise Propan ein, erfordert dies zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen. Eine Möglichkeit zur Lösung dieses Problems sind thermoakustische Systeme als Alternative zur konventionellen Wärmepumpe.

Ein wärmeakustisches System wandelt Wärmeenergie in Form von Schallwellen in mechanische Energie um. Dieses System funktioniert auch umgekehrt. Durch akustische Schallwellen wird Wärme von einem niedrigen Temperaturniveau auf ein höheres angehoben. Im simpelsten Fall besteht die Anlage aus einem mit Gas gefüllten Rohr, in welches ein Wärmetauscher-System mit möglichst großer Austauschfläche platziert wird. Zwischen den Wärmetauschern befinden sich Regenerator. Einer der beiden Wärmetauscher hat die Funktion der Wärmequelle für das Abgas. Er kann also Wärme aus der Umgebung an das Gas abgeben. Der zweite Wärmetauscher fungiert als Wärmesenke für das Gas, gibt also Wärme vom Gas in die Umgebung ab. Wie bei herkömmlichen Wärmepumpen kann das System somit sowohl zum Heizen als auch zum Kühlen genutzt werden. Durch das Aufbringen einer stehenden oder fortschreitenden Welle wird ein Wärmeübergang ermöglicht. Die akustischen Schwingungen erzeugen im Gas beistehenden Wellen Bereiche hohen Drucks, sodass durch diese Kompression hohe Temperaturen bedingt werden (bei niedrigem Druck niedrige Temperaturen). Bei Systemen mit fortschreitender Welle wird Energie transportiert, was zu einem permanenten Wärmeaustausch zwischen dem Regenerator und dem Arbeitsgas führt. Die Thermoakustik bietet damit erhebliche Vorteile. Dazu zählen unter anderem, dass kein klimarelevantes Kältemittel erforderlich ist, da als Arbeitsmedium zumeist Argon oder Helium verwendet wird, dass es keine bzw. kaum bewegte Teile gibt, was die Notwendigkeit von Schmierstoffen unterbindet, dass ein niedriger Wartungs- und Instandhaltungsaufwand, Langlebigkeit, Ausfallsicherheit sowie eine geringe Lärmemission besteht und dass die thermoakustischen Systeme sowohl thermisch z.B. mittels Solarstrom oder Abwärme als auch elektrisch z.B. über Linearmotoren oder Lautsprecher betrieben werden können. Zudem sind diese Systeme sowohl zentral als auch dezentral einsetzbar. Gebäudetechnisch wäre eine Nutzung von Überschussstrom aus der Photovoltaikanlage oder Solarthermie und Abwärme möglich. Die elektrodynamische Umwandlung kann dabei über Lautsprecher oder Linearmotoren erfolgen.

4.1.2.3 Windenergie

Windkraftanlagen wandeln im Grundprinzip die Bewegungsenergie des Windes in elektrische Energie um und speisen diese ins Stromnetz ein. Man unterscheidet in horizontale und vertikale Windkraftanlagen. Die gängigen horizontalen Windenergieanlagen haben meist eine Höhe von 200 m und kommen daher realistisch betrachtet für das Versorgungskonzept des Untersuchungsgebietes des UMH nicht infrage. Denkbar wäre hingegen die Installation einer Kleinwindkraftanlage. Das sind Anlagen mit einer Leistung unter 50 kW. Die Aufstellung der Anlage erfolgt direkt neben dem Verbraucher. Sie haben i.d.R. eine Höhe bis 30

m und lassen sich gut mit Photovoltaikanlagen kombinieren, da die windreicheren Monate im Herbst und Winter liegen. Um effizient zu arbeiten, ist eine windstarke Lage notwendig. Ob das auf das Untersuchungsgebiet zutrifft, muss bei Bedarf ermittelt werden. Da sich jedoch im unmittelbaren Umfeld das Landschaftsschutzgebiet Nordspitze Peißnitz befindet, wird sich der Standort als weniger windergiebig und damit nicht ausreichend wirtschaftlich erweisen. Im Voraus wäre eine Genehmigung des Windrads und die Akzeptanz durch Nachbarn einzuholen.

Eine vertikale Windkraftanlage ist eine Windturbine, deren Rotoren und Flügel sich um eine senkrechte Welle drehen. Die Gewinnung von Strom erfolgt dabei äquivalent zu horizontalen Anlagen. Wind setzt den Rotor in Bewegung, der diese Bewegung an einen Generator überträgt, der wiederum die mechanische Energie in Elektrizität umwandelt. Diese Funktionsweise ist für einen flächenmäßig konzentrierten Betrieb ausgelegt. Vertikale Anlagen sind deutlich kleiner als horizontale und sind auch aufgrund der geringeren Geräuschemission in urbanen Gebieten besser geeignet. Sie sind bezüglich der Standortauswahl deutlich flexibler und weniger durch staatliche Vorschriften eingeschränkt. Außerdem nehmen sie den Wind aus verschiedenen Richtungen auf, was im Stadtgebiet ebenfalls wichtig ist. Verglichen mit horizontalen Anlagen haben sie jedoch eine niedrige Energieeffizienz und Leistungsabgabe. Diese Art der Windkraftanlage kann die umgewandelte elektrische Energie direkt in das lokale Stromnetz oder in einen gesonderten Energiespeicher einspeisen. Ob ausreichend turbulente Windbewegungen im Untersuchungsgebiet vorhanden sind muss geprüft werden. Eine Anordnung von vertikalen Windkraftanlagen auch als Hybridsystem, wie beispielsweise in Kombination mit Solarenergie, ist denkbar.

4.1.2.4 Wasserkraft

Das physikalische Grundprinzip eines Wasserkraftwerkes basiert auf der Umwandlung potenzieller Energie des Wassers in elektrische Energie. Die Effizienz ist dabei umso größer, je mehr Wasser aus möglichst großer Fallhöhe auf die Turbinenschaufeln oder Schaufeln eines Wasserrades treffen. Zwar befindet sich unmittelbar an das Untersuchungsgebiet grenzend der Arm der Saale, die Wilde Saale, jedoch kann davon ausgegangen werden, dass die Installation einer Mühle oder eines ähnlichen Wasserkraftwerkes nicht ausreichend ökonomisch ist.

4.1.2.5 Biokraftwerk

Ein Biomassekraftwerk wandelt durch die Verbrennung von Biomasse thermische Energie in elektrische Energie um. Man unterscheidet zudem das Biomasseheizkraftwerk, welches darüber hinaus Wärme bereitstellt,

die unter anderem als Fern-, Nah- oder Prozesswärme genutzt werden kann. Als Brennstoffe kommen Abfallstoffe wie Holzschnitzel, Getreide oder andere Reststoffe in Betracht. In der Bewertung der CO2-Bilanz werden die Brennstoffe als neutral betrachtet. Allerdings muss dabei kritisch betrachtet werden, dass sich dies lediglich darauf bezieht, dass die Brennstoffe beim Verbrennen nur das beim Wachsen aufgenommene CO2 abgeben. Transportwege und schädliche Verbrennungsrückstände sind bei dieser Beurteilung nicht berücksichtigt.
Nichtsdestotrotz hat die Stromerzeugung mittels Biomasse zahlreiche Vorteile. Sogenannte Bioenergie lässt sich ebenso gut speichern wie regeneratives Methan, sodass auch bei wenig vorhandener Biomasse die Stromversorgung sichergestellt werden kann. Außerdem lassen sich die für die Verbrennung benötigten Rohstoffe direkt am Kraftwerk zwischenlagern. Als Brennstoffe lassen sich nicht wie bei herkömmlichen Gas- oder Atomkraftwerken nur einer, sondern vielseitige Rohstoffe verwenden. Das sorgt für geringere Betriebskosten. Die bei der Verbrennung entstandene Asche kann, wenn frei von Schadrückständen, als stickstoffhaltiges Düngemittel in der Landwirtschaft eingesetzt werden. Somit ist es ein vergleichsweise umweltfreundliches Konzept. Da nicht nur elektrischer Strom, sondern auch Wärme umgewandelt und nutzbar gemacht wird, stellen Biomasse(heiz)kraftwerke eine gute Möglichkeit für eine (teil)autarke Versorgungsstrategie dar.
Trotz aller Vorteile darf ein wichtiger Nachteil in urbanen Gebieten nicht außenvorgelassen werden, die Geruchsbelästigung. Im Vorhinein muss also unbedingt eine Abstimmung mit Nachbarn erfolgen.

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) fördert in Deutschland die Erzeugung von Strom aus Biomasse und garantiert für 20 Jahre eine erhöhte Grundvergütung.

Aufgrund der räumlichen Kapazitäten ist die Energiegewinnung über einen Biomeiler denkbar. Das ist ein großer Komposthaufen, dessen Wärmeentwicklung während des Verrottungsprozesses genutzt wird, um Wärme zu generieren. Als Nebenprodukt kann Biogas gewonnen werden. Als Endprodukt bleibt hochwertiger Humus zurück, welcher zur Bodenkultivierung eingesetzt werden kann. So ist es möglich, dass die entstandenen Bioabfälle dezentral entsorgt und wiederverwertet werden. Damit sich die Anlage für Heizzwecke lohnt, ist eine Mindestfläche erforderlich. Diese kann mit einer Dimension von einem zylinderförmigen Meiler mit 5,5 m Durchmesser und rund 2,5 m Höhe für 60 m^3 Brennmaterial für eine zu beheizende Raumfläche von 100 m^2 dimensioniert werden. Bei einem Meiler dieser Größe lässt sich ein jährlicher Wärmeertrag von rund 40.000 kWh erzeugen. Die Laufzeit des Biomeilers beträgt i.d.R. 10 bis 15 Monate. Anschließend wird der Haufen mit dem reifen Kompost abgetragen und ein neuer mit frischem

Material aufgeschichtet. Die Temperatur im Meiler darf nicht unter 40°C sinken, da die biologischen Prozesse während der Kompostierung wärmeabhängig sind.

Eine Weiterentwicklung des Biomeilers ist die Humusheizung. Während der Biomeiler nach dem Verrottungsvorgang zurück gebaut werden muss, basiert die Humusheizung auf der permanenten Nutzung als fest integriertes Heizsystem, das nicht zurück gebaut werden muss. Sie ist ein Baukörper, der ohne ein festes Fundament auskommt. Das Ausgangsmaterial wird in den baulichen Körper geschüttet und die daraus entstehende Verrottungswäre von ca. 50 – 60 °C wird zur energetischen Wärmenutzung des Gebäudes genutzt. Das Ausgangsmaterial ist nach einem längeren Zeitraum von ca. 12-18 Monaten in hochwertigen Humus umgewandelt, der zur Bodenkultivierung genutzt werden kann. Somit findet eine Materialveredelung statt. Das schafft eine konstante Wärmequelle, die je nach Leistung eine Größe um die 3–14 kW/h hat. Der Platzbedarf lässt sich grundlegend folgendermaßen ermitteln. Eine Leistung von 4-5 kW/h benötigt einen Baukörper mit den Maßen L=4,5 m x B=3,0 m x H=2,9 m. Vorteile einer Humusheizung liegen unter anderem darin, dass lediglich eine Förderpumpe und passende Regelstation benötigt werden, um eine langlebige und robuste und somit zuverlässige Heizung zu erhalten. Außerdem sind Brennstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen in großen Mengen und meist lokal verfügbar. Zudem benötigt diese keine zusätzliche Verpackung bei gegebenenfalls notwendiger Anlieferung. Die Heizung kann zudem als großes Hochbeet fungieren und zum Anbau von Gemüse genutzt werden. Die vorhandene Wärme im Herbst sogt außerdem für längere Pflanz- und Erntezeiten. Ein sehr wichtiger Aspekt ist, dass die Heizung weitgehend autark betrieben wird. Das heißt es fallen keine üblichen Zusatzkosten und Aufwand durch Installations- oder Wartungsarbeiten an. Als Standort sollte die nahe Umgebung zum zu beheizenden Gebäude gewählt werden, um Wärmeverluste zu vermeiden. Der Anschluss sollte über eine Regelstation entweder direkt in eine Wandheizung oder Fußbodenheizung oder in einen Pufferspeicher eingeleitet werden. Die Kosten belaufen sind abhängig von der Größe der Anlage.

4.1.2.6 Wasserstoff-Elektrolyse

Die Elektrolyse von Wasserstoff dient der Energiespeicherung und -umwandlung. Um reinen und ungebundenen Wasserstoff zu generieren, muss dieser natürlich, in Form von Verbindungen, vorkommende Wasserstoff durch Wasserstoff Elektrolyse aus seinen verschiedenen Ausgangsstoffen abgespalten werden. Als Ausgangsstoffe kommen beispielsweise Wasser, Erdgas wie Methan, Biomasse und andere Kohlenwasserstoffe wie Erdöl in Frage. Dieses Konzept bietet so die

Verwertung der anfallenden Bioabfälle. Da für die Wasserstoff-Elektrolyse Energie benötigt wird, ist eine Kopplung mit Sonnenenergie oder einer Biomasseanlage denkbar.
Wasserstoff hat das Potenzial, fossile Energieträger zu ersetzen, weshalb die Wasserstoff Elektrolyse als Zukunftsmethode für die Herstellung von Energieträgern zu sehen ist. Da als herkömmliche Katalysatoren häufig Edelmetalle verwendet werden, welche vergleichsweise teuer sind, könnte man spezielle Katalysatoren im Elektrodenmaterial verwenden. Diese Perowskit-Oxide bieten aufgrund ihrer atomaren Anordnung den Vorteil, dass sie sich sehr einfach austauschen lassen. Als chemischen Elemente für die Elektrolyse ist eine Perowskitstruktur aus Kobalt, Barium und Eisen sehr gut geeignet.
Zu den vielen Vorteilen der Wasserstoff birgt, zählt die gute Speicher- und Transportmöglichkeit. Für die Brennstoff Technologie bietet „grüner" Wasserstoff aus der Wasserstoff Elektrolyse großes Potenzial.

4.1.2.7 Thermische Bodennutzung

Für eine nachhaltige und (teil)autarke Wärme- und Kältebereitstellung kann auf sogenannte Anergienetze zurückgegriffen werden. Darunter versteht man Energienetze, die in der Lage sind, niederexergetische Wärmequellen zu nutzen. Vereinfacht gesagt sind niederexergetische Wärmequellen mit einem niedrigen Temperaturniveau, die sich besonders gut für Anwendungen eignen, bei denen die Wärme effizient genutzt werden kann, wie beispielsweise in der Raumheizung, der Warmwasserbereitung oder in industriellen Prozessen mit geringem Wärmebedarf. Diese Quellen, wie Abwärme, Solarthermie oder geothermische Energie, bieten eine nachhaltige Möglichkeit, Energie zu nutzen und den Gesamtenergieverbrauch zu reduzieren. Dazu zählen ebenfalls Wärmequellen wie oberflächennahe Geothermie, thermische Grundwassernutzung und die thermische Abwassernutzung. Vorteil eines solchen Anergienetzes ist die niedrige Systemtemperatur. In der Regel liegt diese in einem Temperaturbereich von 5 bis 35 °C. Der positive Effekt der niedrigen Systemtemperatur ergibt sich daher, dass es zu geringeren thermischen Verlusten kommt, verglichen mit konventionellen Wärmenetzen die höhere Systemtemperaturen aufweisen. Daraus folgt eine höhere Effizienz. Mit Hilfe von Wärmepumpen kann das niedrige Temperaturniveau auf das benötigte Temperaturniveau angehoben werden.
Das Prinzip von Erdwärmesonden und Erdwärmesondenfelder ist grundsätzlich einfach. Erdwärmesonden, die in Wohnbauprojekten eingesetzt werden, nutzen oberflächennahe Geothermie und reichen in der Regel bis zu 150 m in die Tiefe. Die Leistung der Wärmezufuhr bzw. -abfuhr variiert je nach Bodenbeschaffenheit zwischen 30-70 W/m. Die Realisierung muss anhand des Baugrundgutachtens konkretisiert werden. Erdwärmesonden ermöglichen es, den Erdboden wie einen

thermischen Speicher zu laden und zu entladen. Dabei kann es zu thermischen Wechselwirkungen kommen. Für eine optimale Nutzung in städtischen Gebieten, wo eine hohe Dichte an Erdwärmesonden vorliegt, ist es wichtig, die thermischen Wechselwirkungen bewerten zu können. Somit ist es unerlässlich, sowohl die Mechanismen des unterirdischen Wärmetransports als auch die verschiedenen Betriebsmodi der Sonden in Betracht zu ziehen.
Ein aktuelles Projekt in Wien „GeoHub" setzt eine detaillierte Erfassung und Auswertung der thermischen Leistung, die dem Erdreich zugeführt und entnommen wird in Demonstrationsumgebungen wie im „ViertelZwei" oder in Aspern beim „Baufeld H6" um. Dazu werden ergänzend systematische Messungen der Vor- und Rücklauftemperaturen der Erdsondenfelder durchgeführt. Diese umfangreichen Datenerhebungen ermöglichen eine tiefgreifende Analyse und ein umfassendes Verständnis des aktuellen Betriebsverhaltens der Erdsondenfelder.

4.1.2.8 Innovative Wärmespeichersysteme

Hybride Speicher, also Speicher für Wärme und Strom sind eine essenzielle Technologie für eine angestrebte (Teil)Autarkie und Netzentlastung. Außerdem sind die hohen Schwankungen durch erneuerbare Energiequellen zu stabilisieren und eine Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Gerade die Speicherung über einen längeren Zeitraum stellt eine besondere Herausforderung dar, die in Form von Wärmespeichern oder Power-to-Heat-Speichern kostengünstiger und effizienter als durch reine Stromspeicher gemeistert werden kann. Power-to-Heat bezeichnet die Nutzung von Überschussstrom zur Erzeugung von Wärme.

Eine Möglichkeit ist eine Wärmebatterie auf Basis der Redoxreaktionen von Metallen. Hier werden die Oxidations- bzw. Reduktionsprozesse eines reaktiven Materials, in der Regel eines Metalloxids, genutzt. Diese Technologie bietet die Möglichkeit, Überschussstrom aus einer vor Ort installierten PV-Anlage oder aus dem Stromnetz zu speichern und zu einem späteren Zeitpunkt wieder in Form von Wärme für Raumheizung und Warmwasser zur Verfügung zu stellen. Großer Vorteil dieser Innovation ist die 10-fach höheren Speicherdichte als bei Wasser und einer quasi verlustfreien Speicherung. Der Reaktor besteht aus einem zylindrischen Kupferbett, wobei mittels Oxidations- und Reduktionszyklen, als Be- und Entladungszyklen, Energie gespeichert und wieder abgegeben wird. Während der Oxidationsreaktion strömt Umgebungsluft durch das Festbett. Durch hohe Temperaturen, die durch ein Heizelement induziert werden, kommt es zu einer Reaktion des Sauerstoffs aus der Luft mit dem Metall und der Speicher wird entladen. Bei der Beladung strömt Wasserstoff durch das oxidierte

Festbett, Sauerstoff wird abgegeben und das Kupfer wird wieder reduziert. Der dafür benötigte Wasserstoff könnte vor Ort mittels Wasserstoff Elektrolyse erzeugt werden. Die für die Wasserstofferzeugung notwendige elektrische Energie kann entweder aus dem Netz oder aus lokal erzeugtem Strom kommen. Sowohl die Oxidation als auch die Reduktion des Metalls verlaufen exotherm, d. h. es wird in beiden Fällen Wärme freigesetzt. Die erzeugte Wärme wird über die Außenwand des Reaktors an ein Wärmeträgerfluid übertragen und über das Wärmeverteilsystem des Gebäudes zum Endverbraucher geliefert.

Im Rahmen eines Forschungsprojekts wurde ein solares Heizkonzept mit Langzeitwärmespeicherung entwickelt und umgesetzt. Dieses weist einen Deckungsgrad von 80 % auf und hat zum Ziel, die Wärmeversorgung des Gebäudes mit dem neuen Heizsystem weitgehend auf solarer Basis sicherzustellen. Der zentrale Bestandteil des Konzepts besteht in einem Sorptionswärmespeicher zur saisonalen Wärmespeicherung, der über einen Sonnenkollektor beladen wird. Mit diesem kann Energie mit hoher Speicherdichte über lange Zeiträume nahezu verlustfrei gespeichert werden. Als Sorptionsmaterial wird binderfreier Zeolith 13X verwendet, der im Speicher als Festbett aus kugelförmigem Granulat vorliegt. Auf dem Dach des Gebäudes befindet sich ein Vakuumröhren Luftkollektor. Während der Heizperiode kann bei vorhandener Strahlung mit dem Luftkollektor direkt geheizt werden oder anderenfalls mit der Energie aus einem Sorptionswärmespeicher. Die Beheizung erfolgt über das Lüftungssystem des Gebäudes. Die theoretische Speicherkapazität aus dem Forschungsprojekt, welches auf dem Gelände des Universitätscampus` in Stuttgart-Vaihingen auf einer Nutzfläche von ca. 43 m^2 erprobt wurde, beträgt bei den vorhandenen Randbedingungen etwa 700 kWh. Das Vakuumröhren-Luftkollektorfeld hat eine Fläche von 20,5 m² und besteht aus sechs in Reihe geschalteten Modulen. Eine Besonderheit des neu entwickelten Sorptionswärmespeichers ist dessen Segmentierung, die den Einsatz von großen Materialvolumina und damit die Realisierung großer Speicherkapazitäten ermöglicht. Der kubische Speicher ist in vier Quadranten aufgeteilt, mit jeweils sechs horizontalen Segmenten. So entstehen in Summe 24 flache Teilstücke mit einem großem Strömungsquerschnitt und kurzer Durchströmungslänge, was einen geringen Druckverlust bei der Durchströmung erzielt. Zwei übereinanderliegende Segmente bilden ein Segmentpaar, das gemeinsam durchströmt wird. Die Luft tritt in den zentralen Eintrittskanal ein, strömt durch ein Segmentpaar und tritt über einen der vier Austrittskanäle entlang der Speicherkanten wieder aus dem Speicher aus. Eine weitere Besonderheit ist, dass die verwendeten Vakuumröhren des Luftkollektors an beiden Seiten offen sind und längs durchströmt werden können. Aufgrund des daher sehr geringen

Druckverlusts können mehrere Kollektormodule in Strömungsrichtung hintereinandergeschaltet werden. Eine hohe thermische Leistungsfähigkeit insbesondere bei Arbeitstemperaturen von über 150 °C ist für die solarthermische Desorption des Sorptionsspeichermaterials sehr wichtig. Bei 850 W/m^2 Einstrahlung auf die Kollektorebene wurde im Forschungsprojekt aus den Jahren 2017 bis 2019 eine Stagnationstemperatur des Kollektors von 265 °C gemessen. Eine ergänzende Maßnahme dazu stellt eine photovoltaisch unterstützte Regenerationsstrategie des Speichers dar, um eine weitere Annäherung an die theoretische Speicherkapazität zu erreichen.

4.1.2.9 Abwärmenutzung von Rechenzentren

Der Bedarf innovativer Anlagen nimmt unter dem Gesichtspunkt der fortschreitenden Digitalisierung stetig zu. So stellt beispielsweise der „Green IT Cube" ein Paradebeispiel eines leistungsfähigen und energiesparenden Rechenzentrums dar. Dieser befindet sich auf dem GSI/FAIR-Campus in Darmstadt. Er zeichnet sich nicht nur dadurch aus, dass er einer der größten Hochleistungsrechenzentren weltweit ist, sondern auch durch ein besonders effizientes Kühlsystem. Dieses nutzt Wasser als Energieträger, dass durch die Türen der Serverschränke geführt wird. So kann auf eine vollständige Umluftkühlung verzichtet werden. Der PUE-Wert liegt damit unter 1,07. Es wird also weniger als 7 % der elektrischen Leistung für die Kühlung benötigt. Im Vergleich dazu werden für herkömmliche Rechenzentren 30 bis 100 % der elektrischen Leistung für den Kühlprozess benötigt. Die entstehende Abwärme wird außerdem genutzt, um ein Büro- und ein Kantinengebäude zu beheizen.

Ebenfalls Vorreiter bei dem Aufbau eines innovativen Nahwärmenetzes ist BS Energy. In Kooperation mit dem Neubaugebiet auf dem Gelände der ehemaligen Kaserne „Heinrich der Löwe" in Rautheim soll Abwärme aus einem Rechenzentrum im benachbarten Gewerbegebiet eingespeist werden. Dahinter steckt das Prinzip, dass die Server eines Rechenzentrums eine Klimatisierung benötigen, um einwandfrei zu funktionieren. Dabei entsteht Wärme, die mit Hilfe einer Wärmepumpe in das Wärmenetz eingespeist wird. Um die Versorgung des Wohngebiets effizient und ausfallsicher zu machen, wird es zusätzlich an das bestehende Fernwärmenetz angeschlossen. Die Wärmeversorgung ist somit klimaschonender als Wärme, die von Heizungsanlagen in den einzelnen Gebäuden produziert wird. Gefördert wird die Abwärmenutzung durch das EU-Projekt „ReUseHeat".

4.2 Trinkwasserversorgung

Bezüglich der Klärung der Frage der zukünftigen Trinkwasserversorgung des Theoretikums, werden Untersuchungen hinsichtlich der Aspekte lokaler Aufwertungsmöglichkeiten, Anschlüsse an kommunale und regionale Versorgungsnetze und die Abhängigkeit zu ihnen sowie eine potenzielle Teil-Autarkie mit Möglichkeiten der Wasserspeicherung und Trinkwasseraufbereitung angestellt. Nachstehend werden verschiedene Möglichkeiten dargestellt und bewertet.

4.2.1 Zentrale Trinkwasserversorgung

Die zentrale Versorgung im Bereich Trinkwasser wird in der Stadt Halle (Saale) von den SWH, Hallesche Wasser und Stadtwirtshaft, sichergestellt. Diese wird aus Fernwärmeversorgungssystemen, hauptsächlich aus dem Ostharz, bezogen und in das kommunale Trinkwassernetz eingespeist. Der aktuelle Leistungspreis ab dem 01.01.2024 beträgt laut Angaben der SWH 2,54 €/m³ (brutto). Das zur Verfügung gestellte Trinkwasser unterliegt den Grenzwerten der Trinkwasserverordnung, hat eine Gesamthärte von 4,23° deutscher Härte (0,75 mmol/l Calciumcarbonat) und liegt damit im Härtebereich weich. Das Wasser stammt aus der Rappbodentalsperre und wird mit folgenden Zusätzen aufbereitet: 13 mg/l Calciumoxid zur pH-Wert Einstellung, 10 mg/l Kohlensäure zur Aufhärtung, 9 mg/l Aluminiumsulfat zur Flockung sowie 0,20 mg/l Chlordioxid und 0,4 mg/l Chlor zur Desinfektion.
Eine Anbindung an die Bestandsleitung ist möglich. Diese befinden sich Großteils im südlichen Baufeld des zukünftig Theoretikums.

4.2.2 Dezentrale Trinkwasserversorgung

Ein Teil der Trinkwasserversorgung kann dezentral gewonnen werden. Es ist zum aktuellen Stand der Technik nicht möglich ein von zentralen Versorgern vollständig unabhängiges Versorgungskonzept zu realisieren. Eine stationäre Ergänzung durch Brunnen oder Quellen aus kleineren Anlagen ist möglich. Richtlinien bezüglich der Qualität des Trinkwassers setzt in Deutschland die Trinkwasserverordnung (TrinkwV). Ist eine dezentrale Trinkwassereinrichtung oder die Aufbereitung von Trinkwasser Bestandteil des Ver- und Entsorgungskonzepts des Theoretikums müssen alle mikrobiologischen und chemischen Anforderungen erfüllt werden. Dafür müssen zumeist bestimmte Inhaltsstoffe aus dem Rohwasser entfernt werden.

4.2.2.1 Trinkwassergewinnung

Bei der Auswahl der Möglichkeiten der zur Trinkwassergewinnung genutzten Ressourcen, werden drei Aspekte zentriert. Dazu zählt die Verlässlichkeit der Quelle, mit der eine gute Wasserqualität geliefert wird, die Ergiebigkeit und die Schutzmöglichkeit.

Grundsätzlich ist es Eigentümern gestattet, einen eigenen Grundwasserbrunnen auf dem Grundstück zu bohren. Neben dem Bohren des Brunnens sind entsprechende Förderapparate notwendig, die das Trinkwasser aufbereiten und speichern. Die erforderlichen technischen Geräte benötigen Strom. Eine Kombination mit bereits benannten dezentralen Energieversorgungssystemen ist möglich. Zudem muss die Anlage regelmäßig geprüft und gewartet werden. Damit der Brunnen als Trinkwasserquelle verwendet werden darf, ist eine Anmeldung beim Gesundheitsamt unumgänglich.

Zum einen können Trinkwasserbrunnen als Schachtbrunnen umgesetzt werden. Dabei wird dieser im Erdreich ausgeschachtet und ein vertikaler Schacht bis in den Grundwasserkörper ausgehoben. Laut Geologischem Prüfbericht ergibt sich im Untersuchungsgebiet ein Flurabstand von ≤ 0,5 m bis 10 m unter Gelände. Der im Umweltatlas der Stadt Halle für das Bewertungsgebiet ausgegebene sehr geringe Flurabstand der Grundwasseroberfläche von nur 0,5 m hat sich für im Ergebnis der technischen Erkundung nicht bestätigt. Im Dezember 2020 wurden 17 Aufschlüsse angelegt, von denen sich 5 in einem Bereich von 3,00 m bis 4,25 m unter Gelände ergeben haben. Im westlichen Teil des Untersuchungsgebiets ergibt sich somit eine Kote zwischen 79 m NHN und 80 m NHN und im östlichen Teil eine Kote von 76,57 m NHN. Da ein Schachtbrunnen nur für Grundwasservorkommen eignet, die sich weniger als 40 m unter der Oberfläche befinden, ist eine Trinkwasserversorgung mit dieser Art eines Brunnens möglich. Bei der Wahl des Standorts ist eine Bohrung im östlichen Teil des Baugebiets ratsam, da der Flurabstand und damit die anfallenden Kosten voraussichtlich am geringsten sind. Mithilfe einer Pumpe wird das Wasser an die Oberfläche befördert.

Eine weitere Umsetzungsmöglichkeit eines Trinkwasserbrunnens ist der Bohrbrunnen. Dieser wird mithilfe einer Flachbohrung errichtet. Dabei wird die Bohrung bis zur und durch die Grundwasser führende Schicht geführt. In dieser Grundwasserschicht wird das Filterrohr eingebaut, durch welches das zu fördernde Wasser in den Brunnen eintritt. Eine Bodenkappe bildet den unteren Abschluss des Brunnenbodens. Neben dem unverrohrtem Brunnenbohrverfahren ist das verrohrte Verfahren das einfacher umzusetzende und damit kostengünstigere Verfahren. Beim unverrohrten Bohrverfahren wird statt eines Rohres eine

Stützflüssigkeit verwendet, um den anstehenden Erddruck aufzunehmen und den Einsturz der Bohrlochwand zu verhindern.
Eine dritte Art eines Trinkwasserbrunnens ist der Schlagbrunnen. Dabei wird ein Rohr in den Boden gerammt bzw. geschlagen bis es auf die wasserführende Schicht trifft. Zunächst wird mit einem Bohrer bis zum Grundwasserspiegel gebohrt und anschließend das Brunnenstahlrohr mit Rammspitze und Rammbrunnenfilter in den Boden bis zur wasserführenden Schicht geschlagen bzw. gerammt. Im Regelfall werden Handpumpen oder elektrische Kreiselpumpen eingesetzt. Da sich diese Brunnenart vor allem für Kleinverbraucher eignet, ist eine Umsetzung im Ver- und Entsorgungskonzepts des Theoretikums weniger zu empfehlen. Denkbar wären lediglich Brunnen zur Grünflächenbewässerung.

Das Grundwasser erhält dem Geotechnischen Untersuchungsbericht zufolge wegen seines Gehaltes an Sulfat von 300 mg/l die Einstufung schwach angreifend bezüglich seiner Betonaggressivität. In das Grundwasser einbindende Betonteile sind somit nach DIN 1045 nach der Expositionsklasse XA 1 zu bemessen.

4.2.2.2 Trinkwasseraufbereitung

Auch wenn das Grundwasser in Deutschland bereits eine gute Qualität aufweist, ist in vielen Regionen eine Aufbereitung notwendig, um die an das Trinkwasser gestellten Anforderungen zu erfüllen. Die Verfahren beginnen i.d.R. mit der Entfernung von Partikeln durch Flockungsmittel und Filtration und kann mit einer Voroxidation ergänzt werden. Um auch sehr kleine Partikel aus dem Wasser zu beseitigen, können zusätzliche Membranverfahren eingesetzt werden. Oxidations-, Ionentausch- sowie Aktivkohleverfahren entfernen gelöste Stoffe. Ufer- und Langsamsandfiltrationen sind besonders umweltschonende und chemikalienfreie Techniken, da sehr wirkungsvoll die Partikelentfernung sowie Schadstoffadsorption und -abbau verbunden werden. Bei der Uferfiltration wird das Trinkwasser aus Brunnen gewonnen, die sich in unmittelbarer Nähe zu Flüssen befinden, was durch die Saale bzw. den Flussarm, die Wilde Saale, im Untersuchungsgebiet gegeben ist. Bei der Langsamsandfiltration wird das Rohwasser i.d.R. direkt aus dem Fluss entnommen und mit einer sehr geringen Filtrationsgeschwindigkeit durch feinkörnige Sandschichten gefiltert. Zur Trinkwasseraufbereitung dürfen lediglich nach § 20 der Trinkwasserverordnung zugelassene Aufbereitungsstoffe eingesetzt werden.

Einen innovativen Ansatz zur betrieblichen Überwachung der Trinkwasseraufbereitung stellen online-Messtechniken, wie eine automatische Prozesssteuerung und onlinetaugliche mikrobiologische Messsysteme dar. Es handelt sich dabei um die Durchflusszythometrie,

welche eine Quantifizierung der Gesamtzellzahl des Wassers erlaubt, sowie um Methoden, die die mikrobielle Aktivität über die Messung der Enzymaktivität oder die Messung von Adenosintriphosphat (ATP), dem universellen Energieträger aller biologischen Zellen, erfassen. Das steigert unter anderem die Effizienz der Trinkwasseraufbereitungsanlagen.

4.2.2.3 Trinkwassersparende Armaturen

Um sich auch bezüglich hoher Kosten beim Verbrauch von Trinkwasser besser aufzustellen, können wassersparende Armaturen in Bereichen des Theoretikums installiert werden, in denen eine Reduzierung des Wasserverbrauchs vertretbar ist. Denkbar sind Durchflussbegrenzer in Kombination mit Strahlreglern in sanitären Anlagen. So wird durch den Durchflussbegrenzer die Menge des ausströmenden Wassers aus dem Hahn gedrosselt und durch die Beimischung von Luft mittels Strahlregler trotzdem eine psychologisch positive Reinigungswirkung erzielt werden. Ebenfalls sinnvoll können Start-Stopp-Systeme bei der Toilettenspülung sein. Kombiniert man diese mit einem modernen Toilettenbecken mit optimierter Spülleistung ergibt sich ein erhebliches Einsparpotential.

4.3 Regenwassermanagement

Ein modernes Regenwassermanagement verfolgt anders als vor einigen Jahren nicht mehr das bloße Ziel der Entwässerungssicherheit, sondern beschäftigt sich vor allem im urbanen Raum mit einer effizienten Wasserkreislaufwirtschaft, um Stoffeinträge in Gewässer zu reduzieren, die Folgen einer hohen Flächenbefestigung auszugleichen und positive Effekte für die Stadtklimatisierung zu erreichen. Neben einer zentralen Regenwasserbewirtschaftung stehen dezentrale Maßnahmen für einen zeitgerechten Umgang mit anfallenden Niederschlägen. Im Folgenden werden einige Konzepte vorgestellt.

4.3.1 Analyse Bestandssystem

Die Errichtung der bestehenden unterirdischen Strukturen im Bereich des Weinbergcampus fand im Zuge der Erschließung des Gesamtareals statt.
In Bezug auf die Niederschlagswasserentsorgung konnte ein koordinierter Leitungsplan aus dem Jahr 1984 als Datengrundlage übergeben werden, welcher durch die Fa. SIGMA im Jahr 2023 digitalisiert und ergänzt wurde.

In Bezug auf die bestehenden Regenwasserkanäle konnten im Rahmen der Bestandserfassung jedoch keine Leitungsdimensionen ermittelt werden, sodass Annahmen dem vorliegenden Konzept zu Grunde liegen.

Für eine Validierung dieser Annahmen ist eine umfangreiche Befahrung des bestehenden Systems, inklusive Ermittlung der Dimensionen erforderlich. Im historischen Leitungsplan sind vereinzelt Dimensionen erkennbar. Hieraus lassen sich grundlegende Aussagen ableiten.
Die dort verzeichneten Schachtbauwerke weisen teilweise Deckelhöhen, teilweise Sohlhöhen und teilweise Schachttiefen aus. Konkrete Verlegetiefen und Gefällesituationen lassen sich demnach nicht herleiten.

Dem Grunde nach lässt sich festhalten, dass das vorhandene System das Regenwasser des gesamten Areals fasst und über 2 Auslaufbauwerke an die „Wilde Saale" abgibt. Hierbei ist anzumerken, dass das nördliche Auslaufbauwerk mit der Nummer 0508 (Leitungsbestandsplan 2023) nicht im historischen Leitungsplan vorhanden ist. Aufgrund der Leitungsverläufe entwässert dieses ausschließlich die Gebäude Studentenwohnturm III (Wolfgang-Langenbeck-Straße 8) und die Kindertagesstätte Weinberg des Studentenwerkes.
Alle weiteren Gebäudestrukturen werden über das südliche Auslaufbauwerk auf östlich der Mensa entwässert. Die Systeme beginnen jeweils an den vorhandenen Gebäuden und verlaufen in verknüpften Systemen bis zur Vorflut. Aus diesem Grund wird der Fokus dieses Berichtes auf das südliche Auslaufbauwerk gelegt.

Aufgrund des hohen Anteils der versiegelten Flächen im Vergleich zum Gesamtareal und den Angaben im historischen Leitungsplan ist davon auszugehen, dass es sich um Regenwasserentsorgungsleitungen der Dimensionen DN200 (in Gebäude nähe) bis ca. DN1000 unmittelbar vor dem südlichen Entlastungsbauwerk handelt.

Im Zuge der Grundlagenermittlung konnte eine wasserrechtliche Erlaubnis für das Leibnitz-Institut für Pflanzenbiochemie und das Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik durch den Auftraggeber übergeben werden. Für beide Gebäudestrukturen, welche sich südlich des Untersuchungsbereiches befinden, liegt eine wasserrechtliche Genehmigung von 300 l/s zur Einleitung in die „Wilde Saale" vor.

Vergleicht man die Größe der Gebäudekomplexe mit dem Gesamtareal und zieht als weiteren Vergleichswert die vorliegende Einleitgenehmigung des Universitätsklinikums (1.227 l/s) heran, kann davon ausgegangen werden das für den Weinbergcampus eine ähnlich hohe Einleitmenge wie für das Universitätsklinikum genehmigt seien sollte.

Da gemäß digitalisierten Leitungsbestand 2 Auslaufbauwerke vorliegen wird davon ausgegangen, dass sich die Gesamteinleitmenge auf beide Auslaufbauwerke verteilt.
Aufgrund der ungleichen Verteilung der angeschlossenen Gebäudestrukturen muss davon ausgegangen werden, dass die nördliche Einleitstelle eine deutlich geringere Einleitmenge als die südliche Einleitstelle aufweist.

Um die tatsächlich genehmigten Einleitmengen zu ermitteln, wurde eine Anfrage an die untere Wasserbehörde der Stadt Halle (Saale) gestellt.
Gemäß Auskunft der UWB gibt es im Bereich Weinbergcampus 3 genehmigte Einleitstellen in die Wilde Saale:

Einleitstelle	**Rechtswert (LS 150)**	**Hochwert (LS 150)**	**max. Einleitmenge [l/s]**
1	4496317,96	5707718,95	640
2	4496317,94	5707719,06	70
3	4496360,82	5707647,72	150

Das vorgelagerte Leitungsnetz ist wie bereits angenommen und seitens der UWB bestätigt, als privates Netz der Martin-Luther-Universität Halle (Saale) gekennzeichnet.

Durch die Bekanntgabe der o.g. 3 Einleitstellen ist die Aussage der bereits vorgenannten Einleitgenehmigung von 300 l/s mindestens in Frage zu stellen.

Die vorgenannten Einleitstellen betreffen nur bedingt das Planungsgebiet.
Einleitstelle 03 befindet sich südlich des Untersuchungsgebietes und entwässert das Leibnitz-Institut für Pflanzenbiochemie und das Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik.

Die Einleitstellen 01 & 02 sind in Ihren Koordinatenpunkten so nahe gelegen, dass davon auszugehen ist, dass es sich hierbei um ein und dieselbe Einleitstelle handelt.
Die hier genehmigten Einleitmengen sind demnach zu addieren, sodass eine rechnerische Einleitmenge von 710 l/s resultiert.
Die, in Plänen verzeichnete nördliche Einleitstelle, welche die Gebäude Studentenwohnturm III (Wolfgang-Langenbeck-Straße 8) und die Kindertagesstätte Weinberg des Studentenwerkes entwässern soll, ist demnach nicht vorhanden.

Um die Aussagen zu validieren, wurde die Einleitstellen in der Örtlichkeit gesucht und mit folgenden Ergebnissen angetroffen:

Einleitstellen 1 & 2

Im Bereich der Einleitstellen 1 & 2 befindet sich ein intaktes Auslaufbauwerk in Richtung Wilde Saale. Die Dimension des dort befindlichen Einlaufs ist entgegen der Aussage aus dem Leitungsbestandsplan in der Dimension DN900 angetroffen wurden.



Abb. 01 – Einleitstelle 1 & 2

In Anbetracht der genehmigten Einleitmenge und der Dimension des Rohres erscheint die Dimensionierung der Rohrleitung als hinreichend.
Bei einer Gefällesituation von 0,15 % ist eine Durchflussmenge Q von ca. 720 l/s bei Vollfüllung realisierbar.
Auffällig war der unüblich hohe Durchfluss des Kalas trotz einer längeren Trockenperiode.
Das ankommende Wasser erschien jedoch klar, sodass nicht davon auszugehen ist, dass widerrechtlich Schmutzwasser eingeleitet wird.
Demnach ist davon auszugehen, dass Drainageleitungen oder andere dauerhaft auftretende Wasseransammlungen an den Kanal angeschlossen sein könnten. Unter Umständen handelt es sich hierbei auch um Kondenswasser aus Klimageräten. Genau aufzuklären ist dieser Umstand nicht. Hierzu wäre eine umfangreiche Kamerabefahrung

erforderlich welche den Verlauf der ankommenden Wasserströme bis zum Ursprungspunkt verfolgt.
Anhand der ermittelten Einleitstelle kann der Verursacher in der Örtlichkeit voraussichtlich definiert werden. Unter Umstände kommt das erhebliche Rauschen, welches beim Begang des Auslaufbauwerkes festgestellt wurde und im beiliegenden Videodokument festgehalten wurde auch von einem Absturzbauwerk im Näherungsbereich des freien Auslaufes. Dieser Umstand kann durch die bereits genannte Kanalbefahrung festgestellt werden.

Die im Plan eingezeichneten Anschlussbauwerke an die Einleitstelle konnten vor Ort angetroffen werden. Voraussichtlich liegt das im Leitungsbestandsplan dargestellte, direkt an das Auslaufbauwerk angeschlossene Schachtbauwerk jedoch im dort befindlichen Radweg, und nicht wie dargestellt in der davor befindlichen Grünfläche.
Die Übergabeschächte im Bereich der Grünfläche vor der Mensa sind dem Grunde nach vorhandenen. Die genaue Lage sollte überprüft werden. Anhand der Ortsbegehung erscheint die eingemessene Lage jedoch plausibel.



Abb. 02 – Schachtbauwerke östlich Mensa

<u>Einleitstelle 3</u>

Die Einleitstelle 3, südlich des Untersuchungsgebietes wurde ebenfalls vor Ort gesucht und angetroffen. Diese Einleitstelle scheint ebenfalls aktiv zu sein und entspricht in der Lage in etwa den Angaben der Unteren Wasserbehörde der Stadt Halle (Saale).

Die angetroffene Einleitstelle weist eine Dimension von ca. DN300 aus und ist in einem schlechten Zustand. Der Zufluss zur Wilden Salle erfolgt eher unreguliert. Die vorhandenen Wasserbausteine sind stark bewachsen. Im weiteren Verlauf hat sich das ausströmende Wasser einen eigenen „Entwässerungsgraben" gebildet.



Abb. 03 – Einleitstelle 3 - Nahaufnahme



Abb. 04 – Einleitstelle 3 – Distanzaufnahme mit Eintragung Fließrichtung



Abb. 05 – Einleitstelle 3 – Blickrichtung Wilde Saale

Anhand der angetroffenen Dimension des Einleitbauwerkes und der durch die UNB übermittelte, genehmigte Einleitmenge von 150 l/s, ist davon auszugehen, dass der Kanal DN300 mit einem Gefälle von ca. 2,1 % verlegt wurde.
Der genaue Verlauf lässt sich nicht ermitteln. Es ist jedoch davon auszugehen, dass der Kanal östlich des Instituts für Pharmazie, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg einen Anschluss Kanal aufweist.



Abb. 06 – potenzieller Anschlussschacht Einleitstelle 3

Anhand der vorliegenden Leitungsbestände lässt sich diese Aussage jedoch weder verifizieren, noch falsifizieren.
Da die Einleitstelle 3 das Untersuchungsgebiet lediglich tangiert wurde es an dieser Stelle miterfasst. Weitere Untersuchungen werden jedoch aufgrund der Lage außerhalb des Untersuchungsgebietes nicht vorgenommen, da vsl. keine Verbindung zwischen den Leitungsnetzen südlich und nördlich der Wolfang-Langebeck-Straße bestehen.

Einleitstelle Nord (Nr. 0508)

Gemäß dem vorliegenden Leitungsbestandsplan soll es eine weitere Einleitstelle auf Höhe des Weinbergweg 12 geben. Diese wurde bereits in der Einleitung umschrieben und erfasst laut Leitungsbestandsplan das anfallende Niederschlagswasser des Studentenwohnturm III (Wolfgang-Langenbeck-Straße 8) und der Kindertagesstätte Weinberg des Studentenwerkes

Gemäß der vorliegenden Auskunft der Unteren Wasserbehörde existiert dieses Auslaufbauwerk (Nr. 0508 gem. Leitungsbestandsplan) nicht.
Zur Klarstellung der differierenden Aussagen wurde auch diese Einleitstelle im Rahmen einer Ortsbegehung aufgesucht. Im Ergebnis kann festgehalten werden, dass dort unter Umständen ein Auslaufbauwerk vorhanden war.



Abb. 07 – Lage Auslaufbauwerk Nord

Das angetroffene Brückenbauwerk weist eine bogenförmige Ausklinkung auf. Es ist anzunehmen, dass diese dem Durchfluss von zugeleitetem Niederschlagswasser diente.



Abb. 08 – gemauerter Bogen Brückenbauwerk

In der westlichen Böschung, welche in Richtung des Untersuchungsgebietes ansteigt, konnte jedoch kein Auslauf angetroffen werden. Demnach ist davon auszugehen, dass das dort anfallende Niederschlagswasser im Rahmen einer Umbaumaßnahme mit an die Einleitstellen 1 & 2 geleitet wurde. Im Ergebnis kann diese Einleitstelle, da weder genehmigt noch tatsächlich vorhanden, als nicht existent betitelt werden.

In den weiteren Untersuchungen wird diese demnach nicht berücksichtigt werden.

4.3.2 Anfallendes Niederschlagswasser Bestandssituation

Um eine Aussage zu den anfallenden Niederschlagswassermengen treffen zu können wurden die aktuellen Regendaten nach KOSTRA-DWD2020 ermittelt.
Nach KOSTRA-DWD befindet sich das Untersuchungsgebiet in Spalte 171, Zeile 129 (06120 Halle (Saale)). Untersucht wurde die Ableitung des 5-jährlichen Regenereignisses zzgl. der Toleranzwerte (planerischer Zuschlag). Aufgrund der Entwicklung der Regenereignisse in den vergangenen Jahren ist hierbei zu erwähnen, dass insbesondere die kurzzeitigen Starkregenereignisse mit einer Dauer von 5 – 15 min ein hohes Maß an Niederschlägen berücksichtigen. Zum Zeitpunkt der Errichtung der unterirdischen Strukturen wurden diese Niederschlagsmengen voraussichtlich nicht berücksichtigt.
Anhand des historischen Leitungsplans kann erkannt werden, dass die Zuleitungskanäle zum Schachtbauwerk vor dem Auslaufbauwerk in die „Wilde Saale", die Dimensionen DN300 und DN500 aufweisen. Nach DIN1986-100, Tabelle A-3 können diese Kanäle demnach bei einem Sohlgefälle von 1,0% folgende Niederschlagswassermengen transportieren:

Kanal DN300, J = 1,0 %	Q = 103,8 l/s
Kanal DN500, J = 1,0 %	Q = 400,0 l/s

Betrachtet man das maximal zulässige Sohlgefälle ergeben sich folgende Durchflussmengen:

Kanal DN300, J = 2,1 %	Q = 150,7 l/s
Kanal DN500, J = 1,5 %	Q = 490,3 l/s

Das Auslaufbauwerk an der Einleitstelle 1 & 2 weist in der Örtlichkeit eine Dimension von DN900 auf. Bei einem maximal zulässigen Gefälle von 0,7 % kann bei dieser Dimension eine Durchflussmenge von 1.569,6 l/s erreicht werden. Eine konkrete Aussage zur Gefällesituation lässt sich jedoch nur bedingt ableiten.

Dem Grunde nach ist jedoch davon auszugehen, dass die genehmigte Einleitmenge
von 710,0 l/s nicht überschritten wurde. Wie bereits oben ausgeführt würde hieraus eine Gefällesituation von ca. 0,15 % resultieren. Diese Aussage lässt sich durch eine Vermessungsleistung der Sohlhöhe am Auslaufbauwerk, sowie einer Schachtvermessung des Übergabeschachtes im Bereich Radweg, verifizieren bzw. näher bestimmen.

Für die weiteren Untersuchungen wird angenommen:

Kanal DN900, J = 0,15 % Q = 710,0 l/s

Zur Ermittlung der anfallenden Niederschlagswassermengen wurde das gesamte Untersuchungsgebiet hinsichtlich der versiegelten Flächen untersucht.

Unter Berücksichtigung der derzeit versigelten Flächen unter Einbeziehung des Gesamtareals (ohne Grundstücke Weinbergweg 24-27) welche nachweislich nicht in das vorhandene Kanalnetz entwässern, ergibt sich ein Versiegelungsgrad von 0,64.

Unter Einbeziehung der Gesamtfläche des Areals von ca. 6,70 ha resultiert hieraus eine Abflusswirksame Fläche von ca. 3,05 ha. Die Berechnung erfolgt nicht linear, sondern durch die Betrachtung der differierenden Abflussbeiwerte der Einzelbefestigungen im Bestand.

In der nachstehenden Tabelle sind die Regendaten gemäß KOSTRA DWD 2020, Spalte 171, Zeile 129 für 06120 Halle (Saale) zusammengefasst.

Niederschlagsspenden nach KOSTRA-DWD 2020					
Rasterfeld	Spalte 171, Zeile 129		INDEX_RC	129171	
Ortsname	06120 Halle (Saale)				
Dauerstufe D		Niederschlagsspenden rN [l/(s x ha)]			
	in Min	5a	Toleranzwerte (planerischer Zuschlag)	Zuschlag in l/(s x ha)	Niederschlags-spenden inkl. Zuschlag
5 Min	5	413,300	12%	49,596	**462,896**
10 Min	10	268,300	15%	40,245	**308,545**
15 Min	15	202,200	17%	34,374	**236,574**
20 Min	20	164,200	19%	31,198	**195,398**
30 Min	30	121,700	21%	25,557	**147,257**
45 Min	45	89,300	21%	18,753	**108,053**
60 Min	60	71,400	22%	15,708	**87,108**
90 Min	90	51,900	22%	11,418	**63,318**
2 h	120	41,400	21%	8,694	**50,094**
3 h	180	30,000	21%	6,300	**36,300**
4 h	240	23,900	20%	4,780	**28,680**
6 h	360	17,300	20%	3,460	**20,760**
9 h	540	12,500	19%	2,375	**14,875**
12 h	720	9,900	18%	1,782	**11,682**
18 h	1080	7,200	18%	1,296	**8,496**
24 h	1440	5,700	17%	0,969	**6,669**
48 h	2880	3,300	17%	0,561	**3,861**
72 h	4320	2,400	17%	0,408	**2,808**

Auszug KOSTRA-DWD 2020 – Niederschlagswassermengen T=5a

Unter Einbeziehung der DWA-A117 und der darin enthaltenen Berechnung des Regenrückhalteräumen bei Einleitbeschränkungen, wurde ein erforderliches Stauraumvolumen von 79,50m³ pro Hektar ermittelt.
Für das gesamte Untersuchungsgebiet resultiert hieraus ein erforderliches Volumen von 242,50m³ im aktuellen Zustand.
Als Einleitbeschränkung wurde hierbei die genehmigte Einleitmenge gemäß Auskunft der Unteren Wasserbehörde der Stadt Halle (Saale) angenommen.
Inwieweit diese über- oder unterschritten wird ist anhand der übergebenen Unterlagen nicht definierbar.
Maßgebend ist, dass derzeit keine regelmäßigen Überflutungsereignisse bei normalen Regenfällen auftreten. Demnach wurde eine potenzielle Dimensionierung der Leitungen anhand der Dimension des

Auslaufbauwerks und der damit verbundenen, potenziell möglich Durchflussmenge gebildet.

Im Resultat dieser fiktiven Rekonstruktion des unterirdischen Regenwasserleitungsbestandes ist davon auszugehen, dass Regenwasserkanäle der Dimension DN200 – DN900 verbaut wurden. Aus Erfahrungswerten wurde diese gemäß üblicher Bauweisen, an das Leitungsnetz angeordnet. Gebäudenah wurden dabei die jeweils geringer dimensionierten Leitungen DN200 – DN300 gewählt. Im weiteren Verlauf wurden die Leitungen entsprechend der angenommenen Zuleitungspunkte erweitert bis zur maximalen Dimension von DN900 am Auslaufbauwerk in die Wilde Saale.

Anhand der jeweiligen Haltungslängen wurde das vorhandene Stauraumvolumen der Kanäle ermittelt (sh. Anhang Tabelle Stauraum vorhanden).
Demnach könnten in den Bestandsleitungen ca. 234,41m³ Niederschlagswasser zurückgehalten werden. Das auftretende Delta von Stauraumvolumen erforderlich = 242,5m³ zu Stauraum vorhanden = 234,41m³ in Höhe von 8,09m³ kann durch die Vielzahl an vorhandenen Schächten zurückgehalten werden. Da das Gelände in Richtung Saale stark abfällt, ist davon auszugehen, dass der Entlastungspunkt des Gesamtnetz Saale nah gelegen ist. Demnach würden oberflächliche Wasseraustritte hier zuerst stattfinden und aufgrund der geodätischen Lage kurzfristig in die Saale ablaufen.

Unter Umständen sind weitere Entlastungsbauwerke und/oder Überlaufbauwerke im Netz vorhanden welche bei Überschreiten des vorhandenen Stauvolumens Niederschlagswasser an die Wilde Saale abgeben.

Diese Annahmen lassen sich durch umfangreiche Kamerabefahrungen und Schachtvermessungen kurzfristig verifizieren bzw. falsifizieren.
Bei einem genaueren Leitungsbestand können zum vorhandenen Regenwassernetz deutlich genauere Aussagen getroffen werden.

4.3.3 Zentrales Regenwassermanagement

Die zentrale Entsorgung des anfallenden Niederschlagswasser läuft über die Hallesche Wasser und Stadtwirtschaft GmbH. Diese verfügen sowohl über Trenn- als auch Mischsysteme für Oberflächenwasser. Beim Trennsystem wird das Niederschlagswasser über Regenrinnen und Straßeneinläufe in einen Regenwasserkanal geleitet, während das Schmutzwasser getrennt in einem Schmutzwasserkanal abgeleitet wird. Beim Mischsystem wird ebenfalls das Regenwasser über Regenrinnen und Straßeneinläufe gesammelt, dann allerdings gemeinsam mit dem

Schmutzwasser in einem Mischwasserkanal abgeleitet. Die HWS hat im Untersuchungsgebiet Leitungen zur Regenwasserentwässerung liegen, an welche bei Bedarf angeschlossen werden kann.

4.3.4 Dezentrales Regenwassermanagement

Das vorrangig eingesetzte kanalbasierte Entwässerungskonzept von Niederschlagswasser zielt auf eine schnellstmögliche Ableitung durch Mischwasserkanäle zu zentralen Kläranlagen ab. Dadurch wird das Wasser dem örtlichen Wasserkreislauf entzogen. Alternativ oder ergänzend zum zentralen Regenwassermanagement können Maßnahmen für eine dezentrale Entwässerungen getroffen werden. Diese entlasten nicht nur die Kanalisation, sondern haben darüber hinaus großes Potenzial bezüglich klimafreundlicher Innovationen. Die Stadtentwässerung gehört zum Kernbereich einer ressourcenschonenden und klimaresilienten Stadtentwicklung. Es gilt die Entwässerungssysteme so zu gestalten, dass sie den gegensätzlichen hydraulischen Klimaanforderungen gewachsen und zeitgleich den zunehmenden Ansprüchen des Umwelt- und Ressourcenschutzes sowie innerstädtischer Lebensqualität genügen. Dazu sind die gängigen kanalbasierten Ableitungssysteme nur begrenzt fähig. Das fördert die gewünschte (Teil)Autarkie des Ausbauprojektes im Untersuchungsgebiet. Maßnahmen für ein dezentrales Regenwassermanagement haben das Potenzial erheblich dazu beizutragen, herkömmliche Ableitungssysteme zu entlasten oder zu ersetzen. Dezentrale Bewirtschaftungsmaßnahmen lassen sich gut mit der zentralen Niederschlagsentwässerung kombinieren wie beispielsweise die Vermeidung von Regenabflüssen durch Entsiegelung, Verdunstung, Versickerung sowie Regenwassernutzung. Nachfolgend werden verschiedene Möglichkeiten der Niederschlagsentwässerung aufgezeigt.

4.3.4.1 Versickerung

Bei der Versickerung von Niederschlagswasser handelt es sich um den natürlichen Prozess, bei dem Wasser in den Boden eindringt und dem Grundwasser zugeführt wird. Die Menge des dabei versickernden Wassers ist unter anderem abhängig vom Bodentyp, der Bodenfeuchtigkeit, der Vegetation und dem Gefälle des Geländes. Der Großteil des Regenwassers verbleibt in den oberen Bodenschichten. Durch weiteres Vordringen des Wassers in tieferliegende Schichten wird das Wasser gefiltert und von Schadstoffen gereinigt. Es gibt verschiedene Arten der Versickerung. Dazu zählen die Oberflächenversickerung, Unterflurversickerung, Verrieselung oder Rigolenversickerung. Aufgrund des großen Flächenbedarfs im Bezug der

Bebauung für das Theoretikum sind nicht alle Möglichkeiten sinnvoll für das vorliegende Versorgungskonzept.

Eine Versickerungsmulde ist eine umweltfreundliche Maßnahme zur Ableitung von Niederschlagswasser und trägt gleichzeitig zur Bewässerung der Grünflächen bei. Durch eine oberirdische Rinne oder eine Geländevertiefung wird das Niederschlagswasser versickert. Sie ermöglicht eine kurzfristige oberirdische Speicherung des Regenwassers. Die Muldenversickerung wird i.d.R. angewendet, wenn der Boden einen guten Infiltrationswert ($k_f > 2*10^{-6}$ m/s) aufweist. Dem Geotechnischen Bericht ist zu entnehmen, dass der natürliche Untergrund bis zum kompakten Felsen mit einem k_f-Wert $\leq 10^{-6}$ m/s nicht für eine Versickerung von Oberflächenwasser geeignet ist. Damit kommt die Entwässerung mittels Versickerungsmulde nicht in Frage. Es wird ebenfalls erwähnt, dass aus Gründen des Grundwasserschutzes für die Passage von Sickerwasser aus Infiltrationsanlagen, wie Mulden, Rigolen oder Schächten, aufgefüllte Böden nicht geeignet sind. Das anfallende Oberflächenwasser ist zu sammeln, zu speichern und verzögernd in einen geeigneten Vorfluter abzuleiten.

Damit entfallen die Möglichkeiten eines dezentralen Regenwassermanagements mittels Mulden-Versickerung, Mulden-Rigolen-Systemen, Rigolenversickerung, Baumrigolen, durchflossenen Pflanzbecken oder das Anlegen von Regengärten.

4.3.4.2 Verdunstung

Im Umgang mit Niederschlagswasser ist das Potenzial der Verdunstung zu untersuchen. Der hohe Anteil an versiegelten Flächen, welcher mit dem Großbauprojekt des Theoretikums einhergehen wird sowie die aufgrund der geotechnischen Bedingungen nicht mögliche Regenwasserversickerung, macht eine Auseinandersetzung mit alternativen Niederschlagsentwässerungskonzepten notwendig. Die Nutzung von Regenwasser zur Verdunstungskühlung ist lediglich ein Vorteil der genannten Aggregatszustandsänderung des Niederschlagswassers.

Eine Dachbegrünung ist im Zuge des Bauprojektes mit großem Potenzial zu bewerten. Vorteile sind unter anderem eine Verbesserung des Stadtklimas durch adiabatische Kühlung, bessere Luftverhältnisse, Gewässerschutz und die Entlastung der Kanalisation, die Schaffung von Lebensraum für Insekten und andere Kleintiere, ein besseres Raumklima für die Gebäude sowie eine Reduzierung der Lärmemission. Man unterscheidet zwischen einer extensiven und einer intensiven Dachbegrünung.

Bei einer extensiven Dachbegrünung handelt es sich um eine Substratschicht die mit niedrigen Gewächsen wie Moose, Sukkulenten, Kräuter und Gräsern bepflanzt wird. Dabei wird Niederschlagswasser in der Substratschicht zwischengespeichert und mit Verzögerung langsam abgegeben. Die Substrathöhe variiert zwischen 4 bis 20 cm. Je höher die Substratschicht ist, umso größer ist deren Speicherkapazität und Artenvielfalt. Unter der Substratschicht ist ein Filtervlies, um Feinstoffe aus dem Substrat zurückzuhalten. I.d.R. wird unter diesem ein Drainagekörper angeordnet damit überschüssiges Wasser abfließen kann. Die Höhe der Drainageschicht beeinflusst die Speicherkapazität und das Abflussvermögen. Unter der Drainageschicht befindet sich wiederum ein Schutzvlies, zum Schutz der Dachabdichtung vor Beschädigung. Sofern die Dachabdichtung nicht wurzelfest ist, muss eine separate Wurzelschutzbahn geplant werden. Die Gesamtaufbauhöhe beträgt damit zwischen 6 und 25 cm. Extensive Gründächer bewirken geringe zusätzliche Lasten und sind mit Ausnahme von Pflege- und Wartungsmaßnahmen nicht für den Aufenthalt geeignet. Sie bedürfen einem geringen Pflegeaufwand (1- bis 2-mal jährlich), der eine Prüfung der Dichtheit der Dachabdichtung, Entfernung von unerwünschten Pflanzenbewuchs, Nachsähen und Düngen beinhaltet. Eine Prüfung der Kontrollschächte und Dachabläufe erfolgt halbjährlich. Anhand der Tabelle 6 („Spezifische Kosten für die betrachteten Versickerungs- und Retentionstechnologien als Literaturwerte und basierend auf Einzelpreisen") aus der Quelle „Wege zum abflussfreien Stadtquartier - Potentiale, Wirkungen und Rechtsrahmen des ortsnahen Schmutz- und Regenwassermanagements" von den AutorInnen Prof. Dr. Roland A. Müller et.al. vom Februar 2023 lassen sich für eine extensive Dachbegrünung Investitionskosten in Höhe von 28 EUR/m^2, Betriebskosten von 1,50 EUR/(m^2*a) und eine Annuität von 2,70 EUR/(m^2*a) ableiten.

Die intensive Dachbegrünung kann im Vergleich zur extensiven von einer einfachen Rasenfläche über eine Bepflanzung mit Stauden und Sträuchern bis hin zu üppigen Dachgärten mit Bäumen, Wegen und Teichen reichen. Sie sind als Aufenthaltsort nutzbar. Geeignet sind vor allem Dächer ohne Gefälle oder Flachdächer mit einer Neigung <10 %. Hier wird ebenfalls ein Filtervlies zwischen der Substrat- und der Drainageschicht angeordnet. Unter der Drainageschicht befindet sich eine Schutzlage. Eine wurzelfeste Abdichtung ist ebenfalls von Nöten. Das Substrat hat eine Mächtigkeit von 12 bis 200 cm. Abhängig von der Vegetation ist eine intensive Dachbegrünung mit einem hohen Pflegeaufwand verbunden. Technische Einrichtungen dürfen in keinem Fall überwuchert werden. Eine Wartung sollte 3- bis 10-mal jährlich erfolgen und richtet sich ebenfalls nach der Art der Bepflanzung.

Retentionsdächer haben über die Vorteile einer Dachbegrünung hinaus die Möglichkeit anfallendes Niederschlagswasser zu speichern und somit die Abflussmenge zu verringern. Unter dem Begrünungsaufbau befinden

sich spezielles Retentionselemente, die sowohl für extensive als auch intensive Gründächer installiert werden können. Unter den Retentionselementen befindet sich wiederum ein Schutz- oder Speichervlies. Über den Retentionselementen befindet sich ein Saug- oder Kapillarvlies. Das Regenwasser versickert durch das Substrat, kann dann über kapillaren den Aufstieg wieder in die Substratschicht transportiert werden und über die Pflanzen verdunsten. Retentionsdächer besitzen einen gedrosselten Ablauf, der für eine Verzögerung von überschüssigem Niederschlagswasser sorgt.

Biodiversitätsdächer zeichnen sich durch zusätzliche Biodiversitätsbausteine für eine besonders hohe Struktur- und Pflanzenvielfalt aus. Zu diesen Bausteinen zählen unter anderem eine variierende Substratschichthöhe, abgestorbene Bäume oder Äste, Steine-, Sand- oder temporäre Wasserflächen oder Nisthilfen für Insekten und Vögel aus.

Sogenannte Smarte Dächer stellen eine Kombination von Dachbegrünung und High-Tech in Form einer intelligenten Ablaufdrossel dar. Diese steuert den Entleerungsprozess anhand der Wettervorhersage. Bei Ankündigung eines Regenereignisses messen Wasserstandsensoren, ob in Retentionselement noch genug Platz ist. Ist dies nicht der Fall wird das Wasser langsam abgeleitet.

Die Anordnung eines Gründachs ist aufgrund der vielen genannten Vorteile für das Großprojekt des Theoretikums als positiv zu bewerten.

Aufgrund der begrenzten Kapazitäten für Grünflächen ist eine teilweise Begrünung der Gebäude-Fassade sinnvoll. Die Vorteile bestehen unter anderem darin, dass das Regenwasser zum einen zur Bewässerung der Grünanlage als auch durch Verdunstung dem Umgebungsklima zugutekommt. Zudem hat eine Fassadenbegrünung zahlreiche positive Effekte auf das Gebäude selbst und deren Nutzer. Die Luftschicht zwischen der Hauswand und dem Bewuchs wirkt beispielsweise wärmeregulierend. So sorgt ein dichtes Blattwerk an der Außenhülle im Sommer für eine geringere Aufheizung des Gebäudes. Das Laub schützt die Fassade vor direkter Sonneneinstrahlung und der adiabatische Kühlungsprozess wird genutzt. Eine Reduzierung der Oberflächentemperatur von bis zu 10 K kann durch die Verschattung und Verdunstung erreicht werden. In den kalten Monaten dämmt ein dichter Bewuchs das Gebäude. Ein bodengebundener immergrüner Bewuchs kann eine Temperaturdifferenz von 3 K, eine wandgebundene Begrünung sogar von 7 K ermöglichen. Das spart Heizkosten. Die Fassadenbegrünung schützt ebenfalls die Bausubstanz vor Witterungsschäden durch UV-Strahlen, Hagel oder Starkregen und vor unerwünschten Verschmutzungen wie Graffiti. Ebenfalls von Vorteil ist, dass ein dichter Bewuchs zur Lärmreduzierung beiträgt. Eine begrünte Fassade sieht nicht nur ansprechend aus und fördert ein ästhetisches Stadtbild, sie stellt auch ein Biotop für verschiedene Vögel und Insekten

dar. Studien zufolge hat eine grüne Umgebung einen positiven Effekt auf die Gesundheit des Menschen und kann zu einer Steigerung der Arbeitsproduktivität beitragen. Es ist ebenfalls denkbar, bei der Wahl der Arten essbare Pflanzen zu nehmen, wie beispielsweise Beeren, Weinreben oder Kräuter. Durch die Photosynthese der Pflanzen wird Kohlenstoffdioxid aufgenommen und Sauerstoff abgegeben. Sie filtern Feinstaub aus der Luft und können so zu einem reduzierten Schadstoffgehalt beitragen.

Für eine Begrünung der Fassade muss diese keine besonderen Anforderungen erfüllen. Die Begrünungsarten und -systeme sind umfangreiche und an die örtlichen und architektonischen Gegebenheiten anzupassen. Grundsätzlich kann man zwischen bodengebundener und wandgebundener Begrünung unterscheiden.

Um eine Fassade zu begrünen ist eine boden- oder erdgebundene Begrünung meist die kostengünstige Möglichkeit. Es werden Kletterpflanzen vor der Außenwand direkt in den Boden oder in große Tröge gepflanzt. Dabei muss auf einen ausreichend großen Wurzelraum geachtet werden. Wenn die Pflanzen direkt im Boden wachsen, braucht diese Art der Begrünung i.d.R. kein eigenes Bewässerungssystem. Die Pflanzen versorgen sich über das Niederschlagswasser selbst. Lediglich in der Anwachsphase und anhaltenden Trockenphasen muss eine künstliche Bewässerung erfolgen. Auch das kann mit gesammeltem Regenwasser, sofern es frei von Schadstoffen ist, erfolgen. Bepflanzte Tröge sollte man je nach Bedarf gießen. Man unterscheidet bei den Pflanzen selbst zwischen selbstständig kletternden Pflanzen, sogenannten Selbstklimmern, und Gerüstkletterpflanzen, die eine Rank- oder Kletterhilfe aus Drahtseilen, Holz oder Glasfaserverbundwerkstoffen (GFK-Profile), Stahlgerüsten oder ähnlichem benötigen. Die Pflege muss regelmäßig und fachgerecht erfolgen. Der Aufwand ist dabei abhängig von den gewählten Pflanzenarten. Verglichen mit einer wandgebundenen Ausführung ist dieser jedoch gering. Bei Bedarf müssen sie zurückgeschnitten werden, um Dachtraufe und -ziegel, Fenster, Lüftungen und Fallrohre von den Trieben freizuhalten. Gegebenenfalls müssen abgestorbene Pflanzenteile entfernt werden oder eine Düngung oder Schädlingsbekämpfung erfolgen. Da Selbstklimmer sich ihre eigenen Wege nach oben bahnen, sollten sie durch einen fachgerechten Schnitt die Wand entlang geleitet und kontrolliert werden. Gerüstkletterpflanzen müssen gegebenenfalls wieder in die Kletterhilfe eingeflochten werden. Bei einem Bewuchs > 5,00 m brauchen die Fachleute für die Pflege einen Hubsteiger und eine entsprechend große Aufstellfläche. Gegebenenfalls muss zum Schutz vor herabfallenden Teilen der öffentliche Straßenraum abgesperrt werden.

Ein Vorteil der wandgebundenen Begrünung gegenüber der bodengebundenen Begrünung liegt in einer größeren Pflanzenvielfalt und mehr Gestaltungsspielräumen. Man nennt sie daher auch Vertikale

Gärten oder Living Walls. Da die Pflanzen bei wandgebundenen Systemen nicht mit dem Boden verbunden sind, müssen sie meist über ein integriertes automatisches System laufend künstlich bewässert (i.d.R. Tröpfchenbewässerung) und über Flüssigdünger mit Nährstoffen versorgt werden. Deshalb ist diese Art der Fassadenbegrünung technisch deutlich aufwendiger und teurer als ein bodengebundenes System.
Eine Variante der wandgebundenen Fassadenbegrünung ist das lineare Ranksystem. Die Pflanzen wachsen teilflächig oder auch nur punktuell in horizontalen Rinnen oder Einzelgefäßen. Diese sind mit Substrat gefüllt und an einer tragenden, an der Wand befestigten Konstruktion angeordnet. Dabei muss für die Pflanzen auf eine ausreichende Zugänglichkeit zu Licht und Raum für das Wachstum geachtet werden. Denkbar wäre eine Anordnung des linearen Ranksystems in den vertikalen und horizontalen Zwischenräumen der Fenster. Als Pflanzen eignen sich blühende Stauden, Gräser und Farne, Kleingehölze, schlingende, rankende und spreizklimmende Pflanzen.
Um die Fassade flächendeckend zu begrünen kann zum einen eine flächige oder zum anderen eine modulare Konstruktion verwendet werden. Bei einem flächigen Begrünungssystem befinden sich auf einer Unterkonstruktion gefaltete Taschen aus meist synthetischem Vlies. Zum Teil sind sie mit Substrat gefüllt, zum Teil reicht allein das Vlies als Trägermaterial für die Pflanzen aus. Möglich sind auch nährstofftragende Wandschalen, die sich ebenfalls direkt begrünen lassen. Diese flächigen Konstruktionen sind relativ leicht und können deshalb gut vor einer tragenden Wand hängen. Modulare Begrünungssysteme bestehen aus Gitterkörben, sogenannte Gabionen, Kunststoffkassetten oder anderen vorgefertigten Modulen. Sie werden an einem an der Fassade befestigten Gerüst vor der Wand aufeinander- und nebeneinander montiert und bilden so eine eigenständige Fassade. Gefüllt werden sie mit Substrat oder einem Substratersatz. Dabei wird verhältnismäßig viel Substrat verwendet, deshalb ist eine üppige Begrünung möglich. Häufig wachsen hier Kombinationen aus Stauden, Gräsern und Kleingehölzen. Der Pflege- und Wartungsaufwand richtet sich nach dem gewählten System und den Pflanzenarten.
Beide Systeme sind für das Bauprojekt des Theoretikums umsetzbar und aufgrund der genannten Vorteile empfehlenswert. Eine Umsetzung muss in Absprache mit den verantwortlichen Architekten erfolgen.

4.3.4.3 Rückhaltung und Nutzung

Das Auffangen und Sammeln von Regenwasser ist ein wichtiger Beitrag zur ressourcenschonenden Wassernutzung. Regenwasser ist kostenlos und fast überall verfügbar. Es ist eine dezentrale Wasserressource, die sich direkt lokal sammeln lässt. Regenwasser kann überall verwendet werden, wo keine definierte Wasserqualität erforderlich ist. Entsprechend gibt es eine Vielzahl von Bereichen, in denen Regenwasser statt Leitungswasser verwendet werden kann.

Eine Möglichkeit der Verwendung von Regenwasser ist die Rückhaltung als Löschwasser. Somit kann es einen wichtigen Bestandteil eines ganzheitlichen Brandschutz- und Sicherheitskonzepts darstellen. Die Löschwasser-Rückhaltung erfolgt in einem zentralen Speicher. Das Regenwasser wird dann im Bedarfsfall an eine oder mehrere Löschwasser-Entnahmestellen geleitet.

Regenwasser kann für den Betrieb der Klimaanlagen im Gebäude genutzt werden. Insbesondere wegen des geringen Mineraliengehalts können bei der adiabaten Abluftkühlung im Vergleich zur Verwendung von Leitungswasser erhebliche Vorteile erzielt werden. Außerdem ist Regenwasser bestens als Prozesswasser, beispielsweise zur Reinigung oder als Transportmittel geeignet.

Niederschlag ist die beste Wasserversorgung für Außenanlagen. Wird das Wasser sauber gelagert, können Pflanzen in Zeiten ohne Niederschlag bewässert werden, was bei Umsetzung der vorher dargestellten wandgebundenen Fassadenbegrünung erforderlich sein kann.

Da Regenwasser frei von Kalzium oder Magnesium ist, bildet sich im WC kein Urinstein und kann unbedenklich, als WC-Spülwasser verwendet werden. Die Toilette bleibt länger sauber und die Dichtung der Spülung langfristig intakt.

Leitungswasser und die Beseitigung von ungenutztem Regenwasser über die Kanalisation sind kostenintensiv. Zudem kann der Rückhalt und die Nutzung vor Ort zu einer Befreiung von der Niederschlagsgebühr führen. Die Niederschlagsgebühr wird fällig für die Beseitigung von Oberflächenwasser, das über Dachrinnen und versiegelte Grundstücksflächen aufgefangen und in die öffentliche Kanalisation eingeleitet wird. Sie gibt die Kosten der Klärwerke an die Grundstücksbesitzer weiter und bemisst sich an der Größe der versiegelten Fläche. Wenn das Regenwasser dezentral genutzt wird, kann der Einsatz eines zusätzlichen Wasserzählers für das Regenwasser notwendig werden.

Die Zunahme von Starkregenereignissen in den letzten Jahren ist enorm. Das anfallende Regenwasser kann in solchen Fällen weder auf natürliche Art versickern noch von der Kanalisation aufgenommen werden. Um Schäden an Gebäuden, der Natur und Infrastruktur zu vermeiden ist der Rückhalt des Regenwassers wichtig. Durch eine lokale Versickerung wird der Grundwasserhaushalt weniger beeinträchtigt, weil Niederschläge dort, wo sie fallen, versickern. Das kann wesentlich zur Verbesserung der Gewässerqualität beitragen. Denn das vor Ort versickerte

Niederschlagswasser verringert Überläufe aus Mischwasserkanalisationen in Gewässer. Die Retentionsbecken sind künstlich angelegte Rückhaltebecken. Sie können in Erd- und Beton- bzw. Kunststoffbauweise errichtet werden. Der Vorteil der Erdbauweise liegt in den geringen Baukosten und einer möglichen naturnahen Gestaltung. Demgegenüber wird bei der Beton- bzw. Kunststoffbauweise weniger Platz benötigt, da das Retentionsbecken unterirdisch angelegt werden kann. Aufgrund der Vorentwürfe für das Theoretikums werden sich unterirdische Regenwasserspeicherelement am besten eignen. Um den Druckunterschied beim Einströmen des Regenwassers auszugleichen, muss die Querschnittsfläche der Luftführung ausreichend groß dimensioniert sein. Meistens besitzen Regenwasserrückhaltebecken ein Nutzvolumen von 150 bis 250 m^3 je angeschlossenem Hektar befestigter Fläche. Abweichungen resultieren abhängig von den örtlichen Verhältnissen. Für eine genaue Dimensionierung muss eine Prüfung erfolgen.

Regenwasserzisternen können das gesammelte Regenwasser für die Bewässerung oder Toilettenspülung bereitstellen. Das senkt anfallende Kosten und schont die Trinkwasserressourcen. Die Anordnung der Zisterne(n) wäre an folgenden Standorten denkbar: unterirdisch in den Grünflächen, im Keller, direkt an der Hauswand, in Kombination mit begrünten Dachflächen oder in speziell angelegten Technikräumen. Die Zisterne(n) wird an die Dachrinnen und Fallrohre angeschlossen. Für den Fall, dass das Wasser für die Toiletten oder Waschmaschinen genutzt werden soll, müssen diese in das Wassersystem integriert werden. Des Weiteren sind Filter- und Pumpsysteme notwendig, um das Niederschlagswasser sauber und nutzbar zu machen. Möglicherweise kann ein Frostschutz erforderlich sein. Durch einen Einlauffilter wird das einlaufende Niederschlagswasser vor Laub und anderen Verschmutzungen gereinigt. Mit Hilfe einer Einlaufvorrichtung, dem beruhigten Zulauf, wird eine sauerstoffreiche, fäulnisverhindernde Wasserqualität im Auffangbehälter garantiert. Außerdem werden so Aufwirbelungen der Sedimentschicht verhindert. Das Einlaufrohr reicht bis zum Zisternengrund. Mit einem Überlaufsiphon werden die Feinschwebstoffteilchen von der Wasseroberfläche ferngehalten. Die Zisterne kann aus Beton oder Kunststoff sein. Dabei ist eine Kunststoffzisterne aus Polyethylen oder glasfaserverstärktem Kunststoff die preisgünstigere Variante. Zudem ist der Einbau einer Zisterne aus Beton aufwendiger. Außerdem sind Regenwasserzisternen aus Kunststoff weniger reinigungsintensiv und pflegeleichter als Betonzisternen. Allerdings sind Kunststoffzisternen weniger stabil als Betonzisternen. Daher sollte der Bereich um die Zisterne herum sowie der Deckel nicht zu stark belastet werden. Kunststoffzisternen können jedoch bei zu hohem Grundwasserspiegel und bei lehmigen Böden nicht eingebaut werden. Das Grundwasser hat im westlichen Teil des Untersuchungsgebiets eine Kote zwischen 79 m NHN und 80 m NHN und

im östlichen Teil eine Kote von 76,57 m NHN. Kunststoffzisternen sind sehr flach und besitzen daher eine entsprechend große Flächenausdehnung. Gerade bei schwierigen Bodenverhältnissen oder einem hohen Grundwasserspiegel ist diese Flachbauweise von Vorteil. Neben dem unterirdischen Einbau können die Zisternen auch auf dem Dach für ein oberirdisches Ableiten des Regenwassers verbaut werden.
Betonzisternen dürfen im Gegensatz zu Kunststoffzisternen befahren werden. Aufgrund des hohen Eigengewichts sind Betonzisternen auftriebssicher, weshalb sie auch in Bereichen mit hohem Grundwasserspiegel verbaut werden können.
Die Kosten der Zisterne hängen schlussendlich vom gewählten Material und der Dimensionierung sowie vom Hersteller ab. Eine Regenwasserzisterne aus Kunststoff mit 13.000 l Fassungsvermögen kostet beispielsweise ca. 3.800 €. Dazu kommen die Kosten für die Pumpe, Filter, Rohre und Anschlussmuffen, aber auch für den Einbau und Wartungsarbeiten. Da der Tank selbst ein dreistufiges Reinigungssystem besitzt, muss eine Regenwasserzisterne nur alle 10 bis 15 Jahre gereinigt werden. Ebenfalls zu den Kosten einer Regenwasserzisterne gehören die Abwassergebühren, sofern überschüssiges Wasser in das öffentliche Kanalnetz eingespeist werden muss.
Zusammenfassend ist die Planung einer Regenwasserzisterne als positiv zu bewerten, da sie trotz hoher Anschaffungskosten sehr wirtschaftlich arbeiten können und auch der Nachhaltigkeitsaspekt bezogen auf die Schonung von Trinkwasserressourcen nicht zu vernachlässigen ist. Es ist eine Einsparung des Trinkwasserbrauchs von ca. 50% zu erwarten, was den Anteil der (teil)autarken der Ver- und Entsorgungsstrategien deutlich erhöht.

Ein Pilotprojekt hat Sitzbänke mit integriertem Wasserspeicher für anfallendes Niederschlagswasser entwickelt und umgesetzt. So kann mithilfe einer ansprechenden Außenbereichsgestaltung unauffällig Retentionsraum geschaffen werden, indem die Bänke an die Regenfallrohre der Fassade angeschlossen werden. Eine Sitzbank kann bis zu 550 l Wasser pro Tag speichern, was dem Wasserbedarf zweier Straßenbäume entspricht. Bei einer Dachfläche von ca. 100 m^2 ist bereits ein mäßiger Regen von 5 mm ausreichend, um die Sitzbank vollständig zu füllen. Eine Integrierung im Außenbereich ist mit den zuständigen Architekten abzusprechen.

Auch wenn sich dem Baugrund zufolge der Boden als für die Versickerung von Regenwasser ungeeignet erweist, können spezielle Formen einer Baumrigole in das Ver- und Entsorgungskonzept integriert werden. Bei der Technischen Umsetzung von Baumrigolen existieren diverse Möglichkeiten für eine Kombination der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung und Pflanzgrube. Unter anderem werden

wasserdurchlässige Belege sowie Baumscheiben verwendet. Um die Versickerung des Regenwassers in den Wurzelraum zu fördern, erfolgt die gezielte Einleitung des Regenwassers in die Baumgrube. Ausladende Baumgruben mit einem großen Wurzelraum sorgen für eine optimierte Versickerung und ermöglichen ein erhöhtes Wasserspeichervolumen. Bei der Auswahl der Substratzusammensetzung ist es notwendig, dass dieses die Wasserspeicherung in der Baumgrube unterstützt. Im Bezug zur Einleitung des Regenwassers und der Versickerung lassen sich drei grundlegende Typen differenzieren. Im Hinblick auf die Substratzusammensetzung und anderer technischer Eigenschaften sind jedoch auch weitere Klassifizierungen möglich. Grundlegend unterscheiden sich die drei Typen aufgrund ihrer Art der Einleitung des Regenwassers. Es kann über die Baumscheibe oberirdisch in die Baumgrube gelangen, über spezielle Luft- und Wasserschächte unterirdisch eingeleitet oder temporär mit Regenwasser über Mulden bzw. Tiefbeete eingestaut werden. Anschließend versickert es im Wurzelraum. Ein zusätzlicher Typ einer Baumrigole ist mit einer Zisternenbewässerung ausgestattet. Das Niederschlagswasser kann beispielsweise vom Gehweg über einen Einlauf mit eingebautem Filter in ein unterirdisches Speicherbecken laufen und in den Trockenphasen mit Hilfe von Pumpen zur Bewässerung genutzt werden.

Als Vorreiter bei der Umsetzung von Baumrigolen für eine wasserresiliente Stadtgestaltung ist die Stadt Leipzig zu nennen. Leipziger BlauGrün ist ein BMBF-Verbundsforschungsprojekt, welches sich auf die Steigerung der Energieeffizienz und signifikanten Entlastung des städtischen Abwassersystems konzentriert. Gleichermaßen wird eine Verbesserung des Mikroklimas und ein entsprechendes Starkregenmanagement angestrebt, welches sich an die aktuellen klimatischen Bedürfnisse anpassen kann. Das Projekt legt großen Wert auf die Berücksichtigung der Wasserbilanz von Baumaßnahmen, ein nachhaltiges Bewässerungskonzept und eine grundlegende klimaangepasste Bauweise. Im November 2020 wurden im Stadtviertel Gohlis in der Kasseler Straße drei Straßenabläufe durch Baumrigolen ersetzt. Diese bewusste Umsetzung der diversen Bauweisen soll Erkenntnisse bezüglich der praktischen Einsatzfähigkeit sammeln. Jede Anordnung ist mit Messtechniken für die Wasserbilanz der baulichen Maßnahme ausgestattet. Bei allen drei Varianten wird die Baumscheiben in der Form eines Tiefbeetes ausgeführt. Sie besitzen eine Grundfläche von ca. 16 m^2 und eine Einstautiefe von rund 20 cm. Die Realisierung erfolgte analog zu einem Mulden-Rigolen-Element. Um eine Belebung des Oberbodens durch eine flächige Durchwurzelung zu gewährleisten, fiel die Wahl auf eine Unterpflanzung des Baumes mit Stauden. Die Vegetationstragschicht und das Baumsubstrat ergeben gemeinsam eine Mächtigkeit von ca. einem Meter. Unter dem Baumsubstrat dient eine weitere ungefähr einen Meter starke Kiesschicht als Retentions- und Versickerungslage. Die Korngrößen sind zum Baumsubstrat hin

abgestuft. Diese Schichtung impliziert eine vorteilhafte Filterstabilität und soll die freie Durchwurzelung gewährleisten. An zwei der drei Anlagen ist eine sogenannte Bodenwanne im Einsatz. Der Kieskörper wird durch eine ca. 30 cm starke Bodenwanne aus Tonabdichtungsbahnen bzw. Lehm nach unten hin abgedichtet. So kann das Sickerwasser für kommende Trockenzeiten vorgehalten werden. Des Weiteren erleichtert eine Kapillarsäule die Rückführung von Wasser aus dem Reservoir in den Hauptwurzelraum. Haben die Bäume eine angemessene Wuchshöhe erreicht, kann die Entnahme des Wassers aus dem Reservoir ebenfalls direkt aus den hinreichend tiefen Pflanzwurzeln erfolgen. Sollte nach einer länger andauernden Trockenperiode das Wasser im Tiefspeicher des Reservoirs aufgebraucht sein, springt die Kapillarsäule als Langzeitspeicher ein. Die Planung der drei Baumrigolen sieht der Einsatz von Betonrahmen vor. Darüber ist es möglich, dass sich die Entleerung der Bodenwanne stark verzögern lässt. Als Referenz ist der dritte Standort ohne Bodenwanne umgesetzt. Es kommen bei allen drei Baumrigolen Staudenmatten, anstelle von Landschaftsrasen, zum Einsatz. Resultierend daraus ist bereits nach kurzer Zeit eine weitreichende Oberbodendurchwurzelung sichergestellt.

Auf dem Gelände des ehemaligen preußischen Freiladebahnhofs in Leipzig entwickelt die Stadt Leipzig 416 GmbH ein neues Stadtquartier. Der Standtort liegt nördlich des Hauptbahnhofs. Das Konzept zur Regenwasserbewirtschaftung wurde bereits im März 2022 veröffentlicht. Die VerfasserInnen gehören zur PFI Umwelt-Consult Ingenieurgesellschaft mbH, ansässig in Leipzig. In deren Planungsprozess werden unter anderem Baumrigolen mit und ohne Speicherelement sowie die damit einhergehende Bodenverbesserung integriert. Als Weiterentwicklung neben den bekannten Grundtypen von Baumrigolen ist eine Erweiterung durch Zisternen oder Schächte als Speicherelement des Niederschlagswassers vorgesehen. Dabei wird das unterschiedliche Versickerungspotential des Substrats unterhalb der Pflanzgruben betrachtet. Nach den aktuellen Vorgaben der Straßenplanung steht einem einzelnen Baumstandort ungefähr 8 m^2 Fläche für eine Baumrigole zur Verfügung. Das durchwurzelbare Volumen beträgt 12 m^3 bei einer Mindesttiefe von 1,5 m und das Porenvolumen des Bodens ist mit ca. 30 % anzusetzen. Um die Versickerungsbedingungen des Substrats zu optimieren, kann der Wurzelraum mit einer Kiesschüttung angereichert werden. Der k_f-Wert stellt ein entscheidendes Kriterium bei der räumlichen Dimensionierung der Baumrigolen dar. Durchgeführte Versickerungsversuche ermittelten den günstigsten k_f-Wert von $2*10^{-4}$ m/s. Dem Bodengutachten zufolge liegt der k_f-Wert im Untersuchungsgebiet bei ≤ 10-6 m/s. Für die Umsetzung von Baumrigolen mit integriertem Speicherelement sind demzufolge eine erweiterte Untersuchung der Standortbedingungen sowie ergänzende Berechnungen notwendig.

Ein dezentrales Regenwassermanagement birgt zusammenfassend großes Potenzial für ein (teil)autarkes und kostensparendes Ver- und Entsorgungskonzept. Die zahleichen erläuterten Strategien können sowohl einzeln als auch in Kombination miteinander aber auch mit Systemen zur Energieversorgung umgesetzt werden. Eine vollständige Abkopplung geht jedoch mit starken Wirkungen beim Entwässerungskomfort und Gewässerschutz einher. Mit Blick auf Kosten, Flächenverfügbarkeit und mögliche Flächennutzungskonflikte des Grundstücks könnte eine ortsnahe Bewirtschaftung von Teilflächen vergleichsweise kostengünstig sein. Hierbei spielen die mittleren Kosten bzw. betrieblichen Wirtschaftlichkeitspotenziale eine Rolle. Die Umsetzung dezentraler Strukturen der flächenhaften Niederschlagsbewirtschaftung erfordert eine Abstimmung nicht nur innerhalb des Entwässerungssystems, sondern besonders mit den betroffenen Flächennutzungen im Hinblick auf Nutzungskonflikte und Synergien der multifunktionalen Gestaltung von Grün- und Verkehrsflächen. Es bedarf einer formalen Fachplanung auf der Grundlage gesetzlicher Regelungen.

4.3.5 Prognose ergänzende Bebauung

Entsprechend der geführten Ausführungen zur Bestandssituation ergibt sich für ergänzende Bebauungen eine ungünstige Situation im Untersuchungsgebiet.
Wie oben genannt ist die genehmigte Einleitmenge von 710,0 l/s voraussichtlich bereits zum aktuellen Zeitpunkt vollumfänglich ausgereizt.
Für zukünftige Bebauungen würde dies bedeuten, dass kein Niederschlagswasser an das bestehende Leitungsnetz angeschlossen werden darf. Aufgrund der ungünstigen geologischen Konstellationen im unterirdischen Baugrund (Felszersatz / Fels) und der daraus resultierenden schlechten kf-Werte ist am Standort keine Versickerung umsetzbar.
Demnach muss im Rahmen der weiteren Bebauungen über Alternativen hinsichtlich der Niederschlagswasserbewirtschaftung nachgedacht werden.
Als Grundlage für die zukünftig anfallenden Niederschlagswassermengen wurden die Abflusswirksamen Flächen anhand der vorliegenden Planunterlagen für die anstehenden Bebauungen neu ermittelt.

Aufgrund der neugedachten Strukturen im Untersuchungsgebiet erhöht sich der Anteil der versiegelten Flächen nur um einen geringen Prozentsatz. Durch den Zukauf von Flächen welche insbesondere als Naherholungsgebiet dienen sollen (Weinbergpark) sowie dem Einsatz

von Dachflächen mit Begrünung, erhöht sich der Anteil der versiegelten Flächen lediglich auf 33.571,32m² (=3,36ha). Dies entspricht einer zusätzlichen Versiegelung von 0,31 ha. Dies ist auch auf die Nutzung bereits versiegelter Flächen zurückzuführen welche durch die Anlage von begrünten Dachflächen theoretisch, entsiegelt werden.

Dem Grunde nach bestehen mehrere Varianten:

a) Erhöhung Einleitmenge Wilde Saale
b) Ersatzneubau Bestandssystem als Stauraumkanal
c) Ergänzung unterirdische Speichersystem
d) Ergänzung oberirdische Speichersystem

Variante A

Um das anfallende Niederschlagswasser des Weinbergcampus unter Beachtung der zusätzlichen Versiegelungen durch die Erweiterungsmaßnahmen ableiten zu können, müsste die Einleitmenge in die Wilde Saale erhöht werden.
Da derzeit keine konkrete Aussage über die Einleitmenge getroffen werden kann, ist eine Prognose nur bedingt möglich.
Als Anhaltspunkt dient weiterhin die genehmigte Einleitmenge, welche seitens der Unteren Wasserbehörde genehmigt wurde (=710 l/s).

Um das erforderliche Rückstauvolumen von den derzeit erforderlichen 242,5m³ auf 0,0m³ herabzusenken wäre eine Einleitmenge von ca. 1.561,20 l/s erforderlich.
Abgesehen von der drastischen Erhöhung der Einleitmengen, welche mindestens fraglich erscheint, hätte diese einen grundlegenden Aus- und Umbau der vorhandenen Kanalsysteme zu Folge. Um diese Menge Niederschlagswasser zu transportieren, würde zwar dem Grunde nach der vorhandene Kanal DN900 genügen jedoch müsste dieser voraussichtlich in einem größeren Gefälle verlegt werden. Da die genaue Gefällesituation sowie Schachttiefen und Anschlusspunkte ungenügend dokumentiert sind, kann hierzu keine konkrete Aussage getroffen werden. Kritischer zu betrachten sind jedoch die vorgelagerten Haltungsstrecken, welche dass dann anfallende Niederschlagswasser voraussichtlich nicht fassen und transportieren könnten. Dem Grunde nach wäre die gesamte Niederschlagswasseranlage neu zu dimensionieren.

Aufgrund des derzeitigen Verlaufs des Niederschlagswasserkanals zwischen Studentenwohnturm I und der Mensa, sind hier jedoch generell erhebliche Eingriffe für die Baufeldfreimachung des Theoretikums erforderlich. In diesem Zuge wäre es dem Grunde nach möglich höher dimensionierte Leitungssystem einzubringen, um den anfallenden Niederschlagswasser in erhöhter Menge zu transportieren. Jedoch gilt dies nur für den Bereich des Baufeldes Theoretikum. Im

weiteren Verlauf des Regenwassernetzes müssten ebenfalls Eingriffe erfolgen um das dann ankommende Niederschlagswasser entsprechend weiter transportieren zu können.
Aufgrund der Tatsache, dass eine Erhöhung der Einleitgenehmigung um über 200% eher unwahrscheinlich wirkt und dem Grunde nach eine Kostengünstigere und nachhaltigere Lösung umsetzbar wäre, sollte diese Variante nur bedingt weiterverfolgt werden.

Stork Plan
& Control GmbH

Variante B

Sollte die Einleitgenehmigung wie bereits oben ausgeführt nicht oder nur geringfügig angepasst werden, sind zusätzliche Speichersysteme zwingend erforderlich.
Dem Grunde nach würde sich hierzu ein Stauraumkanal im Bereich der Kurt-Mothes-Straße anbieten. Die Umverlegung des derzeitigen Regenwassersystems ist in diesem Bereich, generell für die Errichtung des Theoretikums, erforderlich.
Im Zuge der Umverlegung könnte demnach ein Teil der Haltung, als Stauraumkanal ausgebildet werden.
An diesen könnten potenziell die Studentenwohntürme, das PRZ II sowie das Theoretikum angebunden werden. Darüber hinaus könnten alle abflusswirksamen Flächen (=befestigte Flächen) aus der umliegenden Bebauung mit angebunden werden.

Bei Beibehaltung der bestehenden Einleitmenge würde ein Speichervolumen (gesamt) von 292m³ erforderlich. Dies entspricht einer Erhöhung zum aktuell erforderlichen Speichervolumen von ca. 49,5m³. Das Baufeld Theoretikum erstreckt sich in Nord-Süd Ausrichtung über eine Länge von ca. 200m. Würde man in diesem Bereich einen Stauraumkanal DN1000 ausbilden könnte man ein Rückstauvolumen von 157,08m³ generieren. Demnach könnte ein Großteil des anfallenden Niederschlagswassers zurückgehalten werden. Am Übergabepunkt zum vorhandenen Netz wäre demnach ein Drosselschacht auszubilden. Je nach anschließender Haltungsdimension und zugeführten Niederschlagswassermengen, muss das Drosselsystem auf die maximale Ableitmenge eingestellt werden. Hieraus können erhöhte Anforderungen an den Stauraumkanal entstehen. Diesen zu erweitern wäre jedoch durch die grundlegende Änderung im unterirdischen Bauraum dem Grunde nach als möglich zu bewerten.

Dem Grunde nach gilt:
Gegenüber der Variante A weist die Variante B einen höheren wirtschaftlichen Nutzen auf. Da Umverlegungen im Bereich Kurt-Mothes-Straße generell erforderlich werden, kann der Synergieeffekt genutzt werden, um die eingesetzten Mittel bestmöglich zu investieren.

Betrachtet man jedoch Umweltrelevante Aspekte gibt es nachhaltigere Lösungen, welche im Folgenden näher erörtert werden sollen.
Auch für diese Variantenbetrachtung gilt jedoch, dass ohne konkrete Angaben des vorhandenen Leitungsnetzes, keine definierten Aussagen möglich sind.

Als eine der Vorzugsvarianten sollte die dezentrale Speicherung von Regenwasser untersucht werden. Für alle neu zu errichtenden Gebäude können, je nach Versiegelungsgrad des Baufeldes, dem jeweiligen Objekt zugewiesene Regenwasserspeicher errichtet werden.

Die dezentrale Speicherung von Regenwasser bietet verschiedene Vorteile.
Neben der Entlastung des Kanalnetzes kann dezentral gespeichertes Niederschlagswasser weiterverwendet werden. Hierzu bestehen mannigfaltige Möglichkeiten.
Vorab sollte jedoch unterschieden werden welche Art der dezentralen Speicherung möglich ist. Hierzu dient der Vergleich der Varianten C und D.

Variante C

Unterirdische Regenwasserspeicher sind in den vergangenen Jahren immer präsenter geworden. Insbesondere aufgrund der hohen Anforderungen an das öffentliche Leitungsnetz und den geringen Bauraum in urbanen Räumen, ist der Einsatz mittlerweile erprobt.
Der Vorteil an dezentralen, unterirdischen Speicherräumen ist dass diese problemlos unter befestigten Flächen angeordnet werden können. Mit hinreichender Deckung, in der Regel mindestens 80cm, können diese sogar durch Schwerverkehr überfahren werden.

Oftmals werden unterirdische Speicherräume auch zur Versickerung des anfallenden Niederschlagswassers genutzt. Diese variante ist aufgrund der geologischen Eigenschaften des anstehenden Bodens nicht näher zu betrachten.

Dem Grunde nach können unterirdische Speicher überall eingesetzt werden.
Im hier betrachteten Fall sind unterschiedliche Konstellationen denkbar. Es könnten pro neu errichtetem Gebäude, zusätzliche Speicherräume errichtet werden. Das heißt: pro Baugrundstück wird ein unterirdischer Speicherraum hergestellt.
Diese Anlagen haben aufgrund Ihrer kompakten Ausbildung den Vorteil, dass Sie in nahezu jedes Baufeld eingeordnet werden können.
Betrachtet man den Gebäudekomplex des Theoretikums mit seinen Dachanteilen, ergibt sich eine versiegelte Fläche von 0,5447ha. Weist man diesem Gebäude einen Drosselabfluss in das vorgelagerte

Kanalsystem in Höhe von 20,0 l/s zu, sind in Summe 125,2m³ zurückzuhalten. Beim Einsatz eines Boxrigolensystems mit den Abmessungen 0,8 x 0,8 x 0,66m und einem Speicherkoeffizienten von 95% wären hierbei ca. 313 Rigolenkörper unterirdisch herzustellen. Dies entspricht einer Fläche von ca. 200m² und wäre problemlos unterhalb der westlichen Promenade des Theoretikums zuzuordnen.
Aufgrund der geringen Verlegetiefe sind die Aufwendungen zur Herstellung der Anlagen gering.

Exerziert man diesen Vorgang mit einem gedachten Drosselabfluss von nur 5,0 l/s erhöht sich das erforderliche Speichervolumen auf 193,4m³. In diesem Fall sollte in getrennten Anlagen gedacht werden.

Hierzu eignet sich das vorgesehene Gründach. Auf dem Flächenanteil des Gründachs können je nach statischer Ausbildung, ebenfalls Niederschlagswassermengen zurückgehalten werden. Bei einer Einstauhöhe von bspw. 0,10m ergibt sich ein potenzielles Einstauvolumen von 725,65m³. Dies übersteigt das erforderliche Volumen. Rechnerisch betrachtet entfallen auf den Anteil des Gründachs lediglich 61,3m³ des anfallenden Niederschlagwassers. Dieser Umstand resultiert aus dem günstigen Abflussbeiwert des Gründachs von lediglich 0,3.

Betrachtet man die Dachflächen, welche im Bereich des Theoretikums maßgebend sind, da die umliegenden Flächen nicht direkt dem Theoretikum zuzuordnen sind, wäre folgendes Beispiel dem Grunde nach umsetzbar:

Auf dem Gründachanteil des Theoretikums werden alle dort anfallenden Niederschlagswassermengen zurückgehalten und mit einem Drosselabfluss von 1,0l/s an ein nachgelagertes Speichersystem, beispielsweise ein unterirdischer Speicher aus Boxrigolen, abgegeben. Der Retentionsraum aus Boxrigolen wird unterhalb der westlichen Promenade des Theoretikums angelegt. Zum vorgelagerten kanalnetz wird ein Drosselabfluss von 5,0l/s für alle vorgelagerten Systeme genehmigt.
In diesem Fall wäre auf den Dachflächen ein Einstauvolumen von 174,6m³ erforderlich. Dies entspricht einer Einstauhöhe von 2,4cm pro Quadratmeter.

Für den unterirdischen Speicherraum würde ein erforderliches Volumen von 110,6m³ resultieren. Hierbei ist jedoch der Drosselabfluss der Gründachflächen berücksichtigt.
Ein Speichervolumen von 110,6m³ entspricht bei den o.g. Boxrigolen einer Anzahl von ca. 280 Stück. Betrachtet man dies als Fläche entlang des Theoretikums entspricht dies ca. 180m². Bei einer vorgesehenen

Länge des Theoretikums würde dies eine 2-reihige Boxrigole würde dies einer Länge von 184m bei einer Breite von 1,60m entsprechen.
Die Anordnung des Systems wäre demnach problemlos umsetzbar.

Durch die Rückhaltung des Niederschlagwassers auf den Gründachflächen profitieren auch die dort eingesetzten Begrünungsformen. Durch den Einsatz Kapillargefäßen und einer dauerhaften Einstauhöhe, welche vor Abfluss der eingestauten Niederschläge konstant bleibt (Abflussschwelle) können die Grünflächen auf den Dächern kostengünstig bewässert werden.
Sollte bspw. zusätzlich eine Fassadenbegrünung zum Einsatz kommen, ist zu prüfen, inwieweit das anfallende Niederschlagswasser für die dort erforderliche Bewässerung genutzt werden kann. Teure technische Vorgänge zum Fördern von Wasser in vertikaler Richtung kann dadurch gezielt vermieden werden.

Auch unterirdische Speichersysteme können mit entsprechender Technik ausgestattet werden um bspw. als dauerhafter Speicherraum genutzt zu werden.
Zur Bewässerung von Grünflächen kann das zurückgehaltene Wasser gefördert werden und in die umliegenden Grünflächen verbracht werden. Beim Einsatz von „SMARTEN-Systemen" erfolgen diese Vorgänge mittlerweile vollautomatisch. Mit einer entsprechenden Verknüpfung zu Wetterprognose Funktionen können die Speicher automatisch vor deren eintreten geleert werden. Festzuhalten ist jedoch, dass ein Anschluss an das vorgelagerte Kanalnetz unabdingbar ist.

Als weitere Option zur temporären Speicherung von Niederschlagswasser dienen sogenannten Baumrigolen. Moderne Rigolenspeichersysteme lassen sich problemlos in Baumreihen integrieren und können diesen als Wasserreservoir dienen. Dieser Vorgang ist ohne zusätzliche Technik, also als durchwurzelbarer Raum, umsetzbar. Alternativ bieten einige Anbieter auch kombinierte Lösungen, beispielsweise mit Pumpentechnik zur aktiven Bewässerung von Gewächsen an. In Trockenperioden können diese befüllt werden, um den Baumstandorten auch in diesen Jahreszeiten hinreichenden Wasserreservoirs bieten zu können. Durch Überläufe, beispielsweise an ein unterirdisches Speicherbauwerk, kann der Füllstand der Baumrigolen kontrolliert auf einem Niveau gehalten werden. Somit können Neuanpflanzungen von unterirdischen Wasserspeichern profitieren.

Neben den bereits erwähnten Boxrigolen gibt es eine Vielzahl von technischen Lösungsmöglichkeiten für unterirdische Speicherräume.
Wie bereits in Variante B dargestellt sind auch Stauraumkanäle eine Form von unterirdischen Rückhalteräumen. Aufgrund Ihrer Dimension

sind diese jedoch deutlich anspruchsvoller hinsichtlich der Einbaubedingungen.
Auch unterirdische Zisternen sind dem Grunde nach geeignet. Aufgrund der hier erforderlichen Menge an Retentionsraum erscheinen diese jedoch als eher ungeeignet.

Variante D

Als letzte Variante sind auch oberirdische Speichersysteme eine zu untersuchende Variante. Aufgrund der Bebauung des Gebietes erscheint ein oberirdisches Speichersystem vorerst nicht als umsetzbar. Betrachtet man jedoch den Erwerb der Grundstücke Weinbergweg 24 – 27 und den daraus resultierenden Gewinn an Fläche, ist auch diese Form der Regenwasserrückhaltung zu erwähnen.

Gemäß vorliegender Planunterlage sollen die Freiflächen der Bebauungen Weinbergweg 24 – 27 zukünftig als Parkanlage (Weinbergpark) angelegt werden. In diesem Bereich könnte ein oberirdischer, also sichtbarer Regenwasserspeicher angelegt werden.
Üblicherweise sind sogenannte „Regenrückhaltebecken" hierbei die Vorzugsvariante. Dieses Vorgehen ist jedoch nicht zwingend erforderlich. Als Alternative kann ein Teich in Frage, welcher über einen konstanten Wasserstand verfügt und lediglich oberhalb dieses Niveaus als Retentionsraum dient. Hierzu kann oberhalb des definierten Niveaus ein Überlauf installiert werden, welcher das Wasser kontrolliert an das vorgelagerte Entwässerungssystem abgibt. Kritsch sind hierbei Fremdeinträge in das Kanalsystem zu betrachten.
Gegen diese sind entsprechende, technische Einbauten vorzusehen welche Fremdeinträge bestmöglich verhindern.

Der Vorteil an einem konstanten Gewässer in urbanen Gebieten sind die Einflüsse auf das Mikroklima durch Verdunstung. Diese senken die unmittelbare Umgebungstemperatur und dienen insbesondere in den heißen Sommern als Naherholungsgebiet.

Auf den vorhandenen Flächen wäre ein Teich mit einer Tiefe von 3,0m und einem dauerhaften Einstau von 1,0m potenziell umsetzbar. Je nach gewähltem Radius können sich entsprechend große Rückhaltevolumina erzielen lassen. Aufgrund der leicht abfallenden Geländesituation im Untersuchungsgebiet von Nord nach Süd, sollte der Teich möglichst weit im Süden der Parkfläche angeordnet werden, um einen Zulaufpunkt nahe der Teichoberkante zu generieren. Somit ist gewährleistet möglichst viel des vorhandenen Speicherraumes effizient auszunutzen.

Neben den resultierenden Vorteilen auf das Mikroklima im Nahumfeld ist auch die ökologische Komponente für die Tierwelt als Vorteil zu erwähnen. Durch die gezielte Entsiegelung von Flächen und das Anlegen

eines Teiches können Insekten, Vögel und vereinzelte Wildtiere von gut platzierten Anlagen einen Nutzen haben.

Kritisch zu hinterfragen sind die erforderlichen Wartungsarbeiten an oberirdischen Retentionsräumen. Regelmäßige Wartungsintervalle sind zwingend einzuhalten, um den Teich zu schützen und als Retentionsraum vorzuhalten.

Zusammenfassung

Wie aufgezeigt gibt es differenzierte Ansätze zum Umgang mit Niederschlagswasser. Festzuhalten ist das Wasser eine wertvolle Ressource ist und insbesondere Niederschlagswasser entsprechend der jeweiligen Potenzialen gespeichert und genutzt werden sollte. Bereits die derzeit stattfindende Zuleitung zur Wilden Saale ist ein gutes Beispiel für nachhaltige Wasserwirtschaft in urbanen Gebieten.

Im Falle von Überschwemmungen kann dieses System allein jedoch zum Problem werden. Daher sollte eine Vielzahl an Systemen kombiniert werden, um ein möglichst autarkes System zu generieren. Da eine Versickerungsanlage im Untersuchungsgebiet nicht umsetzbar ist, sollte insbesondere der Aspekt der Verdunstung ins Auge gefasst werden.
Hierzu können neben den begrünten Dachflächen auch Fassadenbegrünungen und offene Wasserspeicher genutzt werden. neben den ausgeführten Lösungen als Teichsystem kann auch die Anlage von Staumulden mit Überlauf zum Kanalsystem eine nachhaltige Lösung darstellen.

Insgesamt erscheint für das Untersuchungsgebiet die Kombination von mehreren Varianten als geeignet. Beispielsweise können unterirdische Wasserspeicher als Notspeicher für Regenereignisse > T=5a angelegt werden und das sonst anfallende Niederschlagswasser über offene Rückhaltesystem gespeichert werden. Gleiches gilt für den Einsatz von Stauraumkanälen. Auch diese können als Notreservoir vorgehalten werden, um im Falle von auftretenden Starkregenereignissen entsprechende Niederschlagswassermengen aufnehmen zu können.

Die Nutzung von Niederschlagswasser sollte im weiteren Projektverlauf optimiert werden sodass erforderliche Bewässerungsvorgänge damit abgedeckt werden können. Neben dem positiven, wirtschaftlichen Effekt stellt dies auch eine ressourcenschonende Umgangsform mit der Ressource Trinkwasser dar.

Potentialflächen für den Einsatz unterschiedlicher Systeme sind im Untersuchungsgebiet hinreichend vorhanden. Insbesondere Die Nord-Süd Achse westlich des Theoretikums (Promenade West) sowie der

anzulegenden Weinbergpark eignen sich hierzu. Demnach sollte von einer reinen Ableitung des Niederschlagswassers über Kanalsysteme Abstand genommen werden.

4.4 Schmutzwassermanagement

Ein effizientes und nachhaltiges Abwassermanagement spielt eine große Rolle in modernen Gebäuden. Gerade in Bezug auf die steigenden Anforderungen an die Ressourcenschonung und Umweltverträglichkeit nimmt die Bedeutung einer optimierten Behandlung und Nutzung von Abwasser zu. Eine vollständige Abkopplung der zentralen Infrastruktur ist nach aktuellem Stand der Technik vermutlich nicht zu ermöglichen. Zentrale und dezentrale Maßnahmen für die Entsorgung von Schmutzwasser sowie potenzielle Kombinationsmöglichkeiten werden im Folgenden erörtert.

4.4.1 Zentrale Entsorgung von Schmutzwasser

Die zentrale Entsorgung erfolgt über die Hallesche Wasser und Stadtwirtschaft GmbH. Die im Untersuchungsgebiet verlaufenden Leitungen liegen in der Trägerschaft der HWS. Die Kläranlage Halle-Nord kann bis zu 75.000 m^3 Abwasser pro Tag reinigen. Die gesetzlichen vorgeschriebenen Grenzwerte und andere Überwachungswerte werden regelmäßig geprüft, bevor der Auslauf in die Saale erfolgt. Eine Anbindung an die Bestandsleitung ist im Zuge der Baumaßnahme notwendig. Die Kosten für eine Schmutzwassereinleitung aus einem Gewerbe und der Industrie belaufen sich auf 3,99 EUR/m^3. Die Kosten für eine Schmutzwassereinleitung über eine Kläranlage und die Einleitung von sonstigen Wässern wie Grund-, Drainage- und Kühlwasser liegen bei 2,81 EUR/m^3. Wird Niederschlagswasser in das Kanalnetz eingeleitet kostet das 1,45 EUR/m^2 pro Bemessungsfläche und Jahr. Die genannten Preise sind die Brutto-Angaben entnommen aus der von der SWH.HWS angegebenen Preisliste auf deren Website gültig ab 01.01.2024 für die Stadt Halle (Saale) und das Gebiet des Abwasserzweckverbandes Elster-Kabelsketal.

4.4.2 Dezentrale Entsorgung von Schmutzwasser

Ein nachhaltiges Abwassermanagement ermöglicht einen effektiven Umgang mit Abwasser und beeinflusst die Energieeffizienz, die Wasserqualität und das gesamte Wohlbefinden im Gebäude.
Um Abwasser zur weiteren Verwendung nutzbar zu machen ist eine Aufbereitung notwendig. Eine sinnvolle Ergänzung zur nachhaltigen Abwasserbewirtschaftung in modernen Gebäuden ist der Einsatz dezentraler Kläranlagen. Bei einer solchen Anlage wird das Abwasser

direkt vor Ort behandelt, was eine vollständige Kontrolle ermöglicht. Moderne Technologien wie Membranbioreaktoren (Membranfiltration) führen zu einem energiearmen und dennoch effizienten Betrieb. Das Abwasser kann direkt am Gebäude behandelt werden. So werden die Abwassermenge und Transportwege reduziert, was eine Verringerung der Belastung der umliegenden Umwelt bedingt. Zudem kann mit einem positiven Effekt auf die Gewässerqualität gerechnet werden, da bei einem dezentralen Konzept ein Abschlag von Mischwasser nicht vorgesehen ist.

Stork Plan
& Control GmbH

Eine Möglichkeit der Schmutzwasserreinigung ist die aerobe Reinigung. Bei dieser Wasseraufbereitung handelt es sich um einen biologischen Prozess, bei welchem unter Einfluss von Sauerstoff organisches Material abgebaut wird und weitere Schadstoffe wie Stickstoff und Phosphor aus dem behandelten Wasser entfernt werden. Das organische Material wird in CO_2 und Biomasse transformiert. Es wird kontinuierlich Sauerstoff benötigt. Darum wird dem Abwasser mithilfe eines Luftgebläses oder Kompressors ständig Druckluft zugeführt. Die aeroben Bakterien ernähren sich von den Abfallstoffen im Wasser und reinigen es so. Vorteile dieses Prozesses liegen unter anderem darin, dass der gewonnene Schlamm geruchsfrei ist und sich sehr gut als Dünger eignet. Zudem ist der Betrieb einer solchen Anlage vergleichsweise simpel.
Bei einem Membranbioreaktor werden die organischen Komponenten und anorganischen Nährstoffe durch bakterienhaltigen Aktivschlamm abgebaut. Die Abfallstoffe kommen den Bakterien als Nahrung für deren Stoffwechsel zugute. Der Bioreaktor muss belüftet werden, da kontinuierlich Sauerstoff benötigt wird. Die konventionelle Sedimentation wird bei diesem Verfahren durch ein Membrantrennverfahren ersetzt. Ungelöste Stoffe die größer als die Membranporen sind, werden zurückgehalten. Ein entscheidender Vorteil dieses Verfahrens liegt darin, dass die Sedimentationseigenschaften des Schlamms keine Rolle mehr spielen. Daraus resultiert ein geringeres Volumen des Reaktors. Das Verfahren ist weniger schmutzanfällig, hat einen geringeren Energieverbrauch und ist gut zu reinigen.
Vakuumkanalisation oder Vakuumentwässerung ist ein System, bei dem anfallendes Abwasser mittels Unterdrucks angesaugt wird. So können Gefälleunterschiede ausgeglichen und kleinere Rohrdimensionierungen gewählt werden. An den Kontrollschächten erfolgt die Überleitung des Abwassers in das Vakuumnetz. Das anfallende Abwasser wird über das Vakuumnetz der Vakuumstation zugeführt, an der die Technik für die Vakuumentwässerung installiert ist. Sobald an einem Sammelschacht Schmutzwasser anfällt, öffnet sich ein Übergabeventil und der anstehende Unterdruck sorgt dafür, dass das Abwasser in die Vakuumsammelleitung fließt. Ein wichtiger Vorteil einer solchen Anlage liegt in der immer dichten Abwasserleitung, was bedeutet, dass kein Abwasser in den Boden und damit ins Grundwasser austritt. Innerhalb

von Gebäuden kann das Abwasser für alle möglichen sanitären Anlagen verwendet werden.
Bei der anaeroben Abwasserreinigung werden schädliche bzw. störende organische Kohlenstoffverbindungen durch mikrobiologische Abbauprozesse, die anaerob also ohne Beisein von Sauerstoff ablaufen entfernt. Die für die Bakterien erforderliche Energie für den Stoffwechsel gewinnen diese aus der Umsetzung organischer Kohlenstoffverbindungen zu organischen Säuren. Vorteile bestehen unter anderem darin, dass es keiner Energie für eine Belüftung bedarf. Außerdem wird als Folge des Bakterienstoffwechsels Methan gewonnen, dass zum Heizen oder zur Stromgewinnung genutzt werden kann. Es gibt keine Überschlammproduktion und chemische Verbindungen, welche aerob nicht abgebaut werden können, sind abbaubar.
Bei der Schlammfaulung finden ebenfalls anaerobe Prozesse statt. Der Schlamm wird unter Mitwirken verschiedener Bakteriengruppen so weit ausgefault, dass sich bei einer Ausbringung auf landwirtschaftliche Flächen durch den Zutritt von Luft bald aerobe Zustände einstellen und ein allenfalls noch vorhandener Geruch innerhalb von einigen Tagen weitgehend verschwindet. Sie benötigt jedoch bei normalen Temperaturen viel Zeit und ist lediglich bei Mehrkammerausfaulgruben mit einem Räumungsintervall von zwei Jahren gewährleistet.

Wenn man ein bestehendes zentrales System dezentralisiert, fallen bei bisherigen Pilotprojekten der Stadt Leipzig zunächst höhere Kosten an. Das liegt jedoch daran, dass beim Schmutzwasser dezentrale Konzepte im städtischen Umfeld bisher sehr selten umgesetzt werden. Es lässt sich allerdings großes Potenzial bei der Durchsetzung eines solchen Ansatzes erkennen. Im Gegensatz zum Niederschlag ist Schmutzwasser nämlich relativ zuverlässig quantifizierbar. Eine Dezentralisierung des Schmutzwassersystems vor dem Hintergrund des Klimawandels und zunehmend heißer und trockener Sommer gestaltet sich als sehr attraktiv. Das Universitätsklinikum Halle könnte somit als Vorreiter für eine Transformation der Stadt im Sinne einer Dezentralisierung werden und zuverlässige Vorhersagen bezüglich Kosten und Wirkung gelten.

Das aufbereitete Schmutzwasser kann jedoch nicht nur als Wasserquelle an sich genutzt werden, sondern kann mit den richtigen Systemen auch Energie bzw. Wärme bereitstellen. Vorreiter für eine beispielhafte Nutzung von Abwasserwärme stellen moderne IKEA-Einrichtungshäuser dar. Das IKEA-Lichtenberg (Eröffnung 2011) hält ihren Primärenergie-Verbrauch durch die Nutzung von Abwasserwärme fürs Heizen und Kühlen des Gebäudes sehr niedrig. Drei Großwärmepumpen (Leistung jeweils 500 kW) reduzieren den CO_2-Ausstoß jährlich um 770 t. Unterirdisch befindet sich eine 200 m lange Abwasserleitung, die an das kommunale Abwassernetz angebunden ist. Pro Stunde fließt durch diese eine Abwassermenge von 500.000 bis 1,4 Mio. l. Die Abwasserwärme

wird durch die drei Wärmepumpen auf ca. 35°C angehoben und in eine Fußbodenheizung und in Deckenstrahlplatten geleitet. Das System funktioniert im Sommer andersherum zur Kühlung des Gebäudes, indem die Wärme ins Abwasser geleitet wird. So ist es dem Einrichtungshaus möglich im Sommer 100 % und im Winter 70 % des Jahresbedarfs an Energie zu decken. Bei Bedarf unterstützt ein Gaskessel die Anlage. Die Bruttogeschossfläche des Gebäudes beträgt 43.000 m^2. Zudem sind auf dem Dach des Einrichtungshauses auf einer Fläche von 50 m^2 Solarkollektoren installiert und im Boden befindet sich eine unterirdische Zisterne für das auf den Dachflächen gesammelte Regenwasser mit einem Fassungsvermögen von 450 m^3. Damit gilt dieses Gebäude als Vorbild für sämtliche Neubauten ähnlicher Dimensionierung. In Summe spart der Einsatz der innovativen Techniken jährlich bis zu 1.020 t CO_2-Emissionen.

Ein weiteres Pilotprojekt (veröffentlichter Artikel 04/2022) mit dem Namen "Green AmmoniaFUEL" entwickelt ein energieeffizientes, industrielles Verfahren bei dem Stickstoff aus Abwasser abgetrennt wird und als Ammoniak-Gas für eine Festoxidbrennstoffzelle genutzt werden kann. Ammoniak ist ein wichtiger, CO_2-freier Treibstoff für die zukünftige Mobilität. So wird nicht nur die Kanalisation entlastet, sondern auch ein nachhaltiger Treibstoff gewonnen werden.

4.5 Abfallentsorgung und -aufbereitungsmanagement

4.5.1 Zentrale Entsorgung von Abfall

Die Abfallentsorgung ist Aufgabe der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger. In der kreisfreien Stadt Halle (Saale) liegt die Verantwortung beim Team Abfallentsorgung des Fachbereiches Umwelt.

4.5.2 Dezentrale Entsorgung und Aufbereitung von Abfall

Innovationen im Bereich der Abfallaufbereitung und -entsorgung sind zahlreich vertreten. Gerade bei der Organisation besteht großes Potenzial. Technologien für eine smarte Mülltrennung könnten zudem die Kreislaufwirtschaft revolutionieren. Dabei automatisieren KI gesteuerte Technologien wie beispielsweise Bilderkennungssoftwares die Mülltrennung und erhöhen so die Recyclingquote. Dadurch, dass auf eine manuelle Sortierung verzichtet wird, entfallen hohe Lohnkosten für Personal. Sensoren für eine maschinellen Bildverarbeitung sind in der Lage unterschiedliche Materialien wie Kunststoff oder Papier zu erkennen. Zudem sorgen Deep-Learning-Algorithmen dafür, dass unbekannte Objekte künftig schneller identifiziert werden und sogar eine Unterscheidung verschiedener Plastiksorten ist möglich. Diese präzise

Trennung erleichtert die Gewinnung sortenreiner Recycling-Produkte. Die KI-Mülltrennung trägt in hohem Maße zur Optimierung des Energieverbrauchs sowie der Logistik von Recyclinganlagen bei. Das gelingt zum Beispiel durch eine intelligente Routenplanung und einen daraus resultierenden geringeren Kraftstoffbedarf. Ein möglicher Wartungsbedarf lässt sich durch eine kontinuierliche Kontrolle von Sensordaten frühzeitig erkennen. Das verlängert die Lebensdauer der Sortieranlagen und reduziert Ausfallzeiten. Ist die Kapazitätsgrenze von Müllcontainern erreicht, melden das mit dem Entsorgungsbetrieb verbundene Sensoren und veranlassen eine bedarfsgerechte Entleerung.

Vorreiter ist beispielsweise die Firma BÜCHL aus Ingolstadt. Sie hat ein intelligentes System in der Entsorgungslogistik entwickelt. Dieses ELOG SYSTEM ist eine Komplettlösung für die innerbetriebliche Entsorgungslogistik. Es besteht aus dem Logistik-System und einer Steuerung. Aufgrund der zahlreichen kleinen Anfallstellen, einer Vielzahl von Abfällen und konkreten Anforderungen an die Abfalltrennung sowie ständiger Anpassungen der innerbetrieblichen Entsorgung liefert das System mit optimalen Behältern, neuen Transportsysteme und einer digitalen Steuerung einen umfangreichen Entsorgungsansatz. Spezielle Vorgaben des Produktionsbetriebes, wie die Abholung von Behältern, die Integrierung eigener Behältersysteme, die Nutzung von Umlade-Einrichtungen oder auch Übernahme bestimmter Versorgungsaufgaben sind in das Konzept eingebunden. Das minimiert interne Transportwege, verbessert die Sortierung von Abfällen und entlastet die Mitarbeiter. Die Erhöhung der Verwertungsquote macht sich zudem in den Kosten bemerkbar. Ein spezielles Steuerungssystem koordiniert bedarfsgerecht die einzelnen Abholaufträge.

Ein ebenfalls vielversprechender Ansatz sind die CleanCUBES der Firma ECUBE LABS. Die Behälter verfügen über eine integrierte und solarbetriebene Müllpresse, welche automatisch auf den Füllstand der Behälter reagiert. Das System ist kompatibel mit regulären 100l, 120l und 240l Mülltonnen. Der CleanCUBE sendet unter Verwendung von 2G/3G-Netzwerken in Echtzeit Informationen an die CleanCityNetworks Überwachungs- und Datenanalyseplattform. So ermöglicht die Software, die Abfallsammlung über datengesteuerte Entscheidungsfindungen zu optimieren. Die Systeme sind individuell anpassbar und können für mehr Sauberkeit und Sicherheit mit einem Fußpedal und Trichter ausgestattet werden. Eingebaute Sicherheitssensoren sorgen für eine Hand- und Branderkennung. Das Gerät wird unter Verwendung von Anti-Diebstahl-Schrauben und manipulationsgeschützten Materialien hergestellt. Es hat auch ein integriertes GPS, so dass jederzeit die Standorte überwacht werden können. Der CleanFLEX Füllstandsensor erfasst sowohl feste als auch flüssige Materialien. Angebracht werden können diese auf jeder Art

von Behälter, Container oder Tank. Die Sensoren sind mit dem CleanCityNetwork (CCN) gekoppelt. Sie sind vollständig verschlossen und vor Staub und Wasser geschützt. Sie haben laut Herstellerangaben eine Akkulaufzeit von bis zu 10 Jahren und können bei einer Temperaturspanne von -30°C bis 80°C betrieben werden. Mit Hilfe vom CCN-System werden die Behälterfüllstände und -status in Echtzeit überwacht. So wird die kürzeste bzw. optimale Route für einzelne Sammlungen berechnet und sind über eine App vom Fahrer des Mülltransporters einsehbar. Der Hersteller gibt an, auf diese Weise bis zu 80 % der Betriebskosten einsparen zu können.

Im Abschnitt 3.1.2.5 wird genauer erläutert, dass durch die Verwertung von Bioabfällen eine energetische Nutzung denkbar ist.

4.6 Förderangebote

Die Investitionskosten besonders für neuartigen Systeme können hoch ausfallen. Daher werden im Folgenden mögliche Förderprogramme vorgestellt, die für die Baumaßnahme in Betracht kommen.

Mit dem Kfw-Umweltprogramm werden Investitionen gefördert, die den Klimaschutz und die Umweltsituation verbessern, Ressourcen schonen und einen naturnahen Lebensraum stärkt, sowie der Anpassungen an Folgen des Klimawandels dienen. Dazu zählen vor allem natürliche Klimaschutzmaßnahmen an Gebäuden, Maßnahmen der „Circular Economy" also effiziente und kreislauforientierte Ressourcen-Strategien, Lärmschutz und Luftreinhaltung und technische Klimaschutzmaßnahmen.
Ein Beispiel ist der Kfw-Kredit Nr. 295, die Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft. Im Modul 2 werden die Beschaffung und Errichtung umweltfreundlicher Wärmeerzeuger gefördert, sofern diese zur Bereitstellung von Prozesswärme eingesetzt werden. Dazu zählen unter anderem Solarkollektoranlagen zur direkten Gewinnung von Wärme aus Sonnenstrahlung und Wärmepumpen, die die nutzbar zu machende Wärme erneuerbaren Energien entziehen.

Des Weiteren stellt das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) Förderungen in Aussicht. Für Neubauten werden Solarkollektoranlagen mit 30% der förderfähigen Kosten und Biomasse, sowie Wärmepumpenanlagen mit 35% der förderfähigen Kosten gefördert, insofern die entsprechenden technischen Mindestanforderungen erfüllt werden.

Die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) fördert ebenfalls Bauprojekte im Bereich Umwelt- und Naturschutz sowie Energieeffizienz und Erneuerbare Energien. Auf deren Website genannte Themenfelder

sind unter anderem Klima- und ressourcenschonendes Bauen, Energie- und ressourcenschonende Quartiersentwicklung und -erneuerung, Integrierte Konzepte und Maßnahmen zu Schutz und Bewirtschaftung von Grundwasser und Oberflächengewässern, Reduktion von Emissionen reaktiver Stickstoffverbindungen in die Umweltkompartimente und Naturschutz und nachhaltige Naturnutzung in Nutzlandschaften und Schutzgebieten.
Um zwei von vielen Beispielen zu nennen ist im Themenfeld klima- und ressourcenschonendes Bauen die Optimierung von Kreislaufschließung und Recyclingmöglichkeiten in Gebäudekonstruktion und Baustoffen/-produkten sowie Entwicklungen im Leichtbau zur Verbesserung der Ressourceneffizienz besonders förderfähig. Im Bereich energie- und ressourcenschonende Quartiersentwicklung sind als besonders förderfähig Konzepte zum ressourcenschonenden Umbau der Ver- und Entsorgungsinfrastruktur unter Nutzung wechselseitiger Synergien unterschiedlicher Infrastrukturbereiche genannt.

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz stellt ebenfalls Fördermittel für erneuerbare Energien zur Verfügung. Dabei wird die Förderung der erneuerbaren Energien im Strombereich weitgehend wettbewerblich ermittelt. Die Höhe der erforderlichen Vergütung für Strom aus erneuerbaren Energien wird über Auktionen ermittelt. Ein weiterer Ausbau erfolgt so zu wettbewerblichen Preisen. Ausgeschrieben wird die Vergütungshöhe für Windenergie an Land und auf See, Photovoltaik und Biomasse. Ausgenommen sind kleine Anlagen. Was genau unter dem Begriff „kleine Anlagen" zu verstehen ist, wird nicht näher beschrieben. Dies gilt es mittels eines Antrages zu prüfen. Der jährliche Gesamtbetrag der Förderung errechnet sich aus der Differenz zwischen den Ausgaben für Vergütungs- und Prämienzahlungen und den Einnahmen aus Vermarktungserlösen der Netzbetreiber, den sogenannten EEG (Erneuerbare-Energien-Gesetz) -Differenzkosten. Dieser Betrag wird anschließend auf die Stromkunden als Verbrauchsabgabe umgelegt und mit der Stromrechnung automatisch bezahlt. Zudem fließen ab dem Jahr 2021 Einnahmen aus der nationalen CO2-Bepreisung sowie zusätzliche Haushaltsmittel aus dem Konjunkturpaket auf das EEG-Konto.

---

5. Variante 1

Eine vollständig autarke Ver- und Entsorgungskonzeption ist aufgrund der erforderlichen Mittel und Kapazitäten, sowie dem Stand der Technik nicht möglich. Daher ist der Anschluss an externe Versorgungstrassen bei allen drei aufgezeigten Varianten erforderlich.

Energieversorgung

Die Energieversorgung für Variante 1 läuft zentral über EVH GmbH. Diese bietet Leistungen zur Stromversorgung, sowie ein Erdgas und Fernwärmeanschluss. Im betrachteten Gebiet befinden sich Elektro-, Gasleitungen und Fernwärmetrassen der EVH. Eine Anbindung der Bestandsgebäude und des neugeplanten Theoretikums stellt kein Problem dar.

Zusätzlich können auf den Dachflächen Photovoltaik-Anlagen installiert werden. Nach aktuellem Planungsstand bietet das Theoretikum eine Fläche von ca. 4.230 m^2 die dafür genutzt werden kann. Hierbei müssen ergänzend die Mindestdachkantenabstände berücksichtigt werden, ebenso wie Wartungskorridore und der notwendige Raumbedarf für andere technische Einrichtungen. Der Aufstellwinkel beträgt 30° und wird als aufgelastetes System ausgeführt. Das Eigengewicht beläuft sich dabei auf 14-35 kg/m^2. Im Zuge der erweiterten Planung ist eine Ballastierungsberechnung erforderlich. Eine Kombination mit extensivem Gründach ist gut möglich. PV-Anlagen weisen nach heutigem Stand der Technik zahlreiche Erfahrungsberichte auf und lassen sich vergleichsweise einfach umsetzen, sowohl bei Neubau- als auch Bestandsgebäuden.

Ebenfalls als ergänzende Maßnahme für die Energieversorgung des Planungsgebiets kann eine Absorbtionswärmepumpe konzipiert werden. Eine Installation ist sowohl bei Neu- als auch Bestandsgebäuden eher unkompliziert. Sie zieht zur Optimierung der Wärmegewinnung thermische Energie hinzu. So wird das übliche Verfahren der Kältemittelkreisläufe in Wärmepumpen mit einer zusätzlichen Erwärmung der Kreislaufflüssigkeit mit künstlicher Energiezufuhr kombiniert. Das macht diese Art der Wärmepumpe weniger temperatur-abhängig als eine Luftwärmepumpe, weil nach der Startzeit der Kältemittelkreislauf auf einem konstanten Wärmeniveau bleibt. Sie benötigt weiterhin fossile Brennstoffe zum Arbeiten, weshalb die Stromkosten geringer als bei der normalen Wärmepumpe sind. Da sie auch mit sehr hohen Temperaturen arbeitet, erhöht sie das Wasser für die Heizung auf bis zu 70°C. Außerdem kann sie zur Brauchwasserbereitung eingesetzt werden. Das spart weitere Geräte wie einen Durchlauferhitzer. Sie ist nicht sonderlich anfällig und wartungsarm. Aufgrund der hohen Wärmeabgabe amortisieren sich die Investitionskosten vergleichsweise zügig. Der Hersteller ROBUR gibt auf seiner Website für eine Absorbtionswärmepumpe eine Heizleistung von 41,3 kW und eine elektrische Nennleistung von 0,90 kW für die Standard-Version an. Eine Voraussetzung für ein solches System ist der Anschluss der Gebäude an das örtliche Gasnetz. Für eine Kilowattstunde Erdgas werden ca. 1,2 bis 1,6 kWh Wärme erzeugt. Abhängig vom Hersteller lässt sich eine ungefähre Investitionssumme von 15.000 EUR für 150 m^2 zu heizende Fläche kalkulieren. Sofern die Gas Absorptionswärmepumpe eine Jahresarbeitszahl von 1,3 erzielt, kann

eine Förderung durch das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle in Anspruch genommen werden. Der Mindestförderbetrag liegt bei 4.500 EUR, wobei jedes Kilowatt Nennleistung mit 100 EUR gefördert wird.
Zu den beiden genannten Systemen ist es denkbar einen Biomeiler auf dem Gelände des Planungsgebiets zu bauen. Für eine zu beheizende Raumfläche von 100 m2 beläuft sich die Dimensionierung auf d=5,5 m (Durchmesser) und h=2,5 (Höhe). Denkbar wäre die Anordnung einer solchen Anlage auf dem geplanten Parkgelände des Theoretikums in direkter Angrenzung zum Gebäude oder Nahe des Mensagebäudes. Jedoch muss bedacht werden, dass eine Geruchsbelastung nicht zu verhindern ist und daher die Nähe zu Wohngebäuden vermieden werden sollte.

Trinkwasserversorgung
Trinkwasser ist in Deutschland das am strengsten kontrollierte Lebensmittel. Da die Verwertung von Brauch- zu Trinkwasser strengen Auflagen unterliegt, übersteigt eine autarke Trinkwasserversorgung die Mittel für das betrachtete Projekt. Daher erfolgt die Versorgung mit Trinkwasser zentral über die SWH.HWS. Eine Anbindung des neugeplanten Theoretikums an die Bestandsleitungen stellen kein Problem dar.

Regenwassermanagement
Im Umgang mit anfallendem Niederschlagswasser sind aufgrund der Folgen des Klimawandels bereits zahlreiche Umsetzungsmöglichkeiten einer autarken Konzeption erprobt. Aufgrund der Vielseitigkeit der Systeme, kommen mehrere Kombinationen für das Untersuchungsgebiet infrage.
Variante 1 könnte Baumrigolen in Bereichen der zu erneuernden Infrastrukturen geplant werden. Dies würde auf die Kurt-Mothes-Straße und den neuen Promenadenbereich zwischen Theoretikum und angrenzendem Park zutreffen. Aufgrund der Anordnung und des Raumbedarfs ist eine Umsetzung in Bestandsstraßen komplizierter. Man könnte nach dem Vorbild des Projekts LeipzigerBlauGrün Baumrigolen mit Bodenwanne als Speicherelement für anfallendes Niederschlagswasser ausbilden. Die Grundfläche eines solchen Elements beläuft sich auf 16 m^2 pro Baum. In der Kasseler Straße in Leipzig sind drei Baumrigolen angeordnet, die im Zuge der Straßensanierung 2020 fertiggestellt wurden.
Wie im Abschnitt der Energieversorgung bereits angedeutet ist ebenfalls eine Kombination der PV-Anlage mit einem extensiven Gründach zu empfehlen. Ohne die Bepflanzung beläuft sich das Flächengewicht im wassergesättigten Zustand auf ca. 110-150 kg/m^2. Die vorgesehene Fläche entspricht ungefähr der für die PV-Anlage. Auch hier muss ausreichend Raum für Pflege- und Wartungsarbeiten vorgehalten

werden. Die Kosten für ein extensives Gründach liegen bei rund 28 EUR/m^2.
Um die Rückhaltung und Nutzung des anfallenden Niederschlagswassers zu maximieren, ist ebenfalls eine wandgebundene Fassadenbegrünung sinnvoll. Anders als bei einer bodengebundenen Fassadenbegrünung oder den Baumrigolen besteht hierbei kein zusätzlicher Bedarf an Bodenfläche. Die Pflanzbehälter werden direkt an der Wand montiert und sind mit dem Architekten abzustimmen. Die Unterhaltungs- und Herstellkosten sind stark von Art und Umfang der Bepflanzung abhängigen und liegen daher zwischen 400 und 2000 EUR/m^2. Die Wartungskosten belaufen sind im Durchschnitt auf 70 EUR/m^2, da eine zusätzliche Bewässerung notwendig werden kann.
Im Außenbereich können zur Aufwertung der Aufenthaltsqualität Sitzbänke mit integriertem Speicherelement angeordnet werden. Diese werden an die Regenfallrohre der Fassade angeschlossen und haben ein Speichervolumen von ca. 550 l/Tag. Daher ist es sinnvoll, diese in Gebäudenähe vorzusehen. Sowohl der Anschluss an Neubauten sowie Bestandsgebäuden ist möglich.
Denkbar für diese Variante ist zudem die Aufbereitung von Grauwasser. Grundsätzlich müssen für die Installation der Anlage separate Grauwasserleitungen, die strikt von der Trinkwasserinstallation getrennt sind, verlegt werden. Daher empfiehlt sich der Einbau des Grauwasseraufbereitungssystems inklusive Verrohrung in erster Linie bei Neubauten oder im Zuge einer umfangreichen Sanierung. Daher würde eine solche Konzeption lediglich für das Theoretikum, nicht aber für Bestandsgebäude sinnvoll sein. Die kompakten Systeme umfassen Sammelbehälter, Filter und Pumpe und können sowohl im Keller aufgestellt als auch im Außenbereich bzw. unter Grünflächen vergraben werden. Grauwasser kann unter anderem das Produkt von anfallendem und aufgefangenen Regenwasser sein und als Prozess-, Lösch-, Waschwasser oder Toilettenspülung eingesetzt werden.
Angrenzend zum neugeplanten Theoretikum ist eine Parkanlage vorgesehen. Diese ist aufgrund des vorliegenden Baugrundgutachtens nicht ideal für eine Flächenversickerung geeignet. Denkbar ist jedoch das Anlegen eines kleinen Teichs als Regenrückhaltebeckens. Dafür sind weitere Untersuchungen der Bodenverhältnisse erforderlich.

Schmutzwasserentsorgung
Bezüglich der Schmutzwasserver- und Entsorgung ist bei dieser Variante ebenfalls eine Kombination aus zentralen und dezentralen Elementen vorgesehen.
Die zentrale Entsorgung von Schmutzwasser läuft in Halle über die SWH.HWS. Eine Anbindung des Theoretikums an die Bestandsleitungen ist als problemlos zu bewerten.
Ähnlich wie beim Regenwasser kann das anfallende Grauwasser aus Waschvorgängen o.Ä. aufbereitet und wiederverwendet werden. Hier ist

wieder zu erwähnen, dass aufgrund der Komplexität der dafür notwendigen Technologie lediglich das Theoretikum als Neubau infrage kommt.

Abfall
Die zentrale Abfallentsorgung läuft über die Stadt Halle selbst. Anfallende Bioabfälle können jedoch über den im Abschnitt Energieversorgung erwähnten Biomeiler dezentral verwertet werden. Hier ist wiederum wichtig zu erwähnen, dass bei der Platzierung dieser Kraftanlage die Geruchsbelästigung nicht zu vernachlässigen ist und unbedingt eine Abstimmung mit möglichen Anwohnern erforderlich wäre.

6. Variante 2

Energieversorgung
Wie bei Variante 1 läuft die Energieversorgung zu großem Teil zentral über die EVH GmbH.
Als Ergänzung dazu werden auf der Dachfläche Solarthermie-Anlagen installiert. Diese haben einen Aufstellwinkel von 30-45°. Voraussetzung ist eine Ausrichtung nach Süden Die zur Verfügung stehende Fläche beträgt nach aktuellem Planungsstand 4230 m^2. Es müssen jedoch die Mindestdachkantenabstände eingehalten und Korridore für erforderliche Wartungsarbeiten abgezogen werden. Auch die Solarthermie-Anlage sind sehr gut mit einer externen Dachbegrünung zu kombinieren. Mögliche Hersteller sind die Firmen AKOTEC, REHAU oder PSG-Solar GmbH. Als Planungsgrundsatz für Solaranlagensysteme gilt die Abstimmung der Fläche des Kollektorfeldes zur Speichergröße. Für die Kollektorfläche lässt sich grob folgende Annahme treffen: 0,6 bis 0,9m² koll/(MWh/a) -Jahresenergiebedarf für Trinkwasser und Heizung, 60 bis 90 l/m²koll (Trinkwasser + Puffer) für das Speichervolumen und bei einer Kollektorfläche von 1 – 1,3m²/Person und einem Speichervolumen 80 bis 100l/Person liegt die Kollektorleistung bei rund 60 – 80l/m² (Quelle: REHAU).
Ergänzend dazu ist die Installation einer Rotationswärmepumpe. Die Funktionsweise der Rotationswärmepumpe basiert auf einem einphasigen (es findet kein Phasenwechsel der Arbeitsflüssigkeit statt) thermodynamischen Kreisprozess (bekannt als linksdrehender Joule-Prozess oder Brayton-Prozess) anstelle der in herkömmlichen Kompressions-Wärmepumpen verwendeten zweiphasigen thermodynamischen Prozesse (Rankine-Prozess). Hersteller ist unter anderem die Firma Ecop, deren Produkt eine angegebene Leistungszahl von 4,0 bis 7,0 hat und deren Leistungszahl damit rund 70 % höher als bei herkömmlichen Wärmepumpen liegt. Sie arbeitet bei Temperaturen von 150°C. Die Wärmepumpe misst 2,2m x 8,1m x 2,7m und wiegt 18

t. Das Produkt könnte in Kombination mit Fernwärme und industriellen Prozessen wie Destillation, Pasteurisierung, Waschen und Kochen eingesetzt werden. Der vom Hersteller angegebene Preis beträgt rund 49.000 EUR (Stand 2022). Fördermöglichkeiten bestehen.

Trinkwasserversorgung

Wie bei Variante 1 bereits beschrieben ist eine autarke Trinkwasserversorgung sehr aufwendig und daher für das Planungsgebiet eher nicht als realistisch zu bewerten ist. Deshalb erfolgt die Versorgung mit Trinkwasser zentral über die SWH.HWS. Eine Anbindung des neugeplanten Theoretikums an die Bestandsleitungen stellen kein Problem dar.

Regenwassermanagement

Ein Anschluss an die zentrale, örtliche Regenwasserkanalisation über die SWH.HWS ist im Rahmen der Planung zu prüfen. Ergänzend dazu sind folgende dezentrale Konzeptionen als positiv zu bewerten:

Als Speichersystem für anfallendes Regenwasser kann eine unterirdische Regenwasserzisterne installiert werden.

Auf dem Gelände der Franckeschen Stiftungen in Halle (Saale) wurde bereits eine Zisterne errichtet. Das Regenwasser der umliegenden Dächer wird aufgefangen und zur Bewässerung des Pflanzgartens sowie der Gewächshäuser genutzt. Zur Entnahme des Wassers aus der Zisterne wurde eine solarbetriebene Pumpe installiert. Somit wird zum Herauspumpen des Wassers kein zusätzlicher Strom aus dem Netz benötigt. Gefördert wurde das Vorhaben durch das Projekt »Bildung für nachhaltige Entwicklung im Pflanzgarten« (Sachsen-Anhalt) und dem Freundeskreis der Franckeschen Stiftungen e. V., Institut für Schulpädagogik und Grundschuldidaktik der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg (Stand 2022).

Da Solarthermie-Anlagen sehr gut mit einem extensiven Gründach kombiniert werden können, ist auch bei dieser Variante die optimale Dachflächennutzung mittels Gründach als gut zu bewerten.

Des Weiteren kann eine bodengebundenen Fassadenbegrünung positiv auf das Regenwassermanagement wirken. Bei dieser Art der Fassadenbegrünung sind die Pflanzen vor der Wand im Boden gepflanzt. Ein großer Vorteil ist, dass i.d.R. keine zusätzliche Bewässerung notwendig ist. Aus gestaltungstechnischer Sicht ist eine Abstimmung mit den zuständigen Architekten erforderlich. Es müssen Rankhilfen an der Fassade angebracht werden. Der Preis beläuft sich abhängig von der Art der gewählten Kletterpflanze auf 20-50 EUR/m^2. Eine bodengebundene Fassadenbegrünung eignet sich vor allem für Neubauten und wäre daher für das Theoretikum denkbar.

Ebenfalls denkbar wäre das Aufstellen der bereits in Variante 1 erläuterten Sitzbänken mit Retentionsspeicher in der Aufenthaltsfläche im Außenbereich.

Schmutzwasserentsorgung

Eine vollständig autarke Entsorgung des Schmutzwassers ist auch bei dieser Variante aufgrund der bereits genannten technisch und finanziell begrenzten Mitteln nicht als realistisch zu bewerten. Daher sind folgende Schmutzwasseraufbereitungs- und Entsorgungskonzepte als Ergänzung zur zentralen Schmutzwasseranbindung über die örtliche Kanalisation sinnvoll:

Neben den bereits erläuterten Grauwassernutzungspotenzialen als Prozess-, Lösch-, Waschwasser oder Toilettenspülung, kann Grauwasser ebenfalls thermisch verwendet werden. Es kann zur Kühlung oder Heizen er Gebäude genutzt werden, indem es in die Fußbodenheizung und/oder Deckenstrahler eingeleitet wird. So wird es unter anderem in einigen IKEA-Einrichtungshäusern seit einigen Jahren angewandt. Deren Konzept könnte als Vorbild herangezogen werden.

Abfall

Die grundlegende Abfallbeseitigung erfolgt zentral über die Stadt Halle. Die Firma EcubeLabs als Vorreiter KI-unterstütztem Abfallmanagements hat in ihrem Portfolio die Produkte bzw. Technologien CleanCUBES, CleanCityNetworks und CleanFlex. Diese sind Teil einer Smarten Abfallrecycling-Strategie. Der Einsatz dieser Konzeption für den Planungsbereich ist als positiv zu bewerten.

7. Variante 3

Energieversorgung

Hier ist wie bei den vorangegangenen Varianten eine dezentrale Ergänzung zur zentralen Energieversorgung der EVH (Fernwärme, Elektro, Gas) sinnvoll.

Für die Dachflächen wird ebenfalls eine PV-Anlage bzw. Solarthermie-Anlage in Kombination mit einem extensiven Gründach empfohlen. Für welches Anlagesystem sich letztendlich entschieden wird ist abhängig von den örtlichen, baulichen und technischen Voraussetzungen und muss in der weiteren Planung geprüft werden. Einen weiteren Faktor stellen bevorzugte Hersteller dar. Die zur Verfügung stehende Dachfläche ist für alle Varianten ähnlich.

Zur ergänzenden Energieversorgung kann eine Kompressionswärmepumpe integriert werden. Bei dieser findet die Kompression des Kältemittels in einem mechanischen Verdichter statt. Sie ist die gebräuchlichste Form einer Wärmepumpe und daher zahlreich erprobt. Kompressionswärmepumpen sind sehr effizient und mit weiteren umweltfreundlichen Energiesystemen kombinierbar, beispielsweise mit Strom aus der eigenen PV-Anlage. Elektrische Kompressionswärmepumpen, besonders Luftwärmepumpen, sind

flexibel und brauchen nur wenig Platz. Sie können im Neubau genauso wie im Bestandsgebäude zum Einsatz kommen.
Vertikale Windkraftanlagen sind eine Option, um auch in dicht besiedelten urbanen Bereichen erneuerbare Energie zu generieren. Herausforderungen stellen unter anderem die örtlichen Windverhältnisse, Lärm und ästhetische Aspekte sowie strenge Bauvorschriften und Genehmigungsverfahren dar. Es ist möglich, Windkraftanlagen direkt in Gebäude zu integrieren, entweder in Form einer Fassadenintegration oder als Teil des Daches. Ebenfalls können kleine Windturbinen auf den Gebäuden oder im Bereich der Parkanlage installiert werden. Zudem können Windturbinen in Kombination mit anderen erneuerbaren Energiequellen wie Solarzellen Teil eines Hybridsystems sein, welches eine zuverlässige und konstante Energieversorgung gewährleistet. Windanlagen mit einer vertikaler Turbinenachse erreichen in der Regel eine geringere Leistungszahl (max. 40%) als Modelle mit einer horizontalen Achse (ca. 50%).

Trinkwasserversorgung
Die Trinkwasserversorgung läuft zentral über die SWH.HWS.

Regenwassermanagement
Der Anschluss an die Bestandsregenwasserleitung der SWH.HWS muss im weiteren Planungsverlauf geprüft werden.
Auf Dachflächen, die nicht durch eine PV-, Solarthermie-Anlage oder andere technische Einrichtungen in Anspruch genommen werden, besteht die Möglichkeit zur Errichtung eines Dachgartens mit kombiniertem Retentionsdach. Dieses kann sowohl begehbar als auch nicht begehbar ausgebildet werden, eignet sich jedoch nur für den Neubau des Theoretikums und nicht für Bestandsgebäude.
Auch bei dieser Variante ist eine unterirdische Zisterne, ein extensives Gründach, eine bodengebundene Fassadenbegrünung und Sitzbänke mit Regenwasserspeicherelement für die Außenanlagen als positiv zu bewerten. In vorangegangenen Kapiteln wurde bereits auf die Details eingegangen.

Schmutzwasser
Da eine Aufbereitung des Grauwassers mit erhöhtem technischem Aufwand einhergeht, ist bei dieser Variante die Entsorgung von Schmutzwasser ausschließlich über die HWS vorgesehen.

Abfall
Anfallender Abfall wird ausschließlich zentral über die Stadt Halle beseitigt.

Aufgrund der weniger zahlreichen dezentralen Maßnahmen für diese Variante, fallen die Investitionskosten bei dieser voraussichtlich am geringsten aus.

8. Begründung der Vorzugsvariante

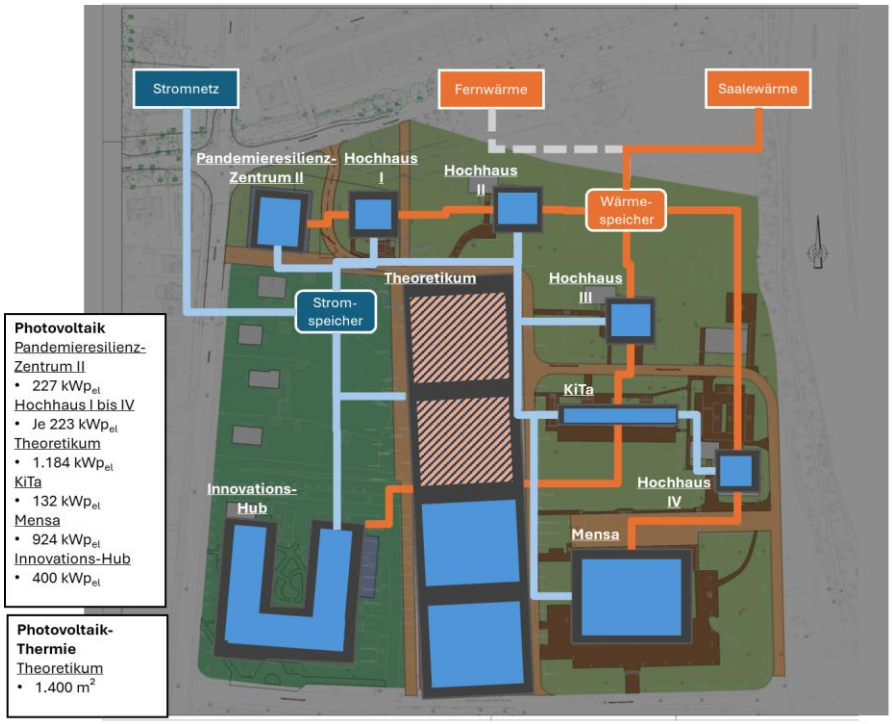
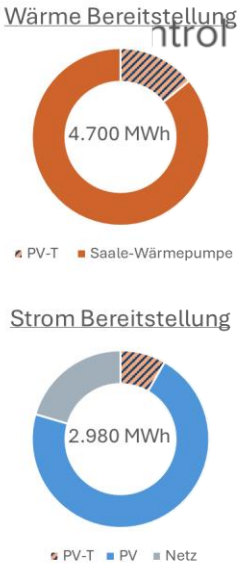


Abbildung 9: Übersicht der Vorzugsvariante mit Photovoltaik, PVT,Wärme aus der Saale und optionalem Fernwärmeanschluss. Ergänzend werden Speicher für Strom und Wärme vorgesehen.

Zur Ermittlung einer Versorgungsvariante wurden die gesamten Wärme- und Strombedarfe des Quartiers auf Monatsebene analysiert. Ziel war die Zuordnung der geeigneten Versorgungstechnologien zu den Bedarfen. Als Kriterium für die Priorisierung der Versorgungstechnologien dienen die jeweiligen Energiegestehungskosten.
Die Abbildung 9 zeigt zusammengefasst die räumliche Anordnung der Vorzugsvariante für den Bereich Wärme und Strom.

Für die Wärmeversorgung ist dies die Photovoltaik-Thermie mit Wärmegestehungskosten von 2 €ct/kWh. Unter der Annahme, dass 15% der gesamten Dachflächen mit PV-T-Modulen ausgestattet werden, ergibt sich eine Wärmemenge von rund 740 MWh/a. Von der dadurch jährlich bereitgestellten Wärme 90 % für den eigenen Bedarf genutzt werden, was einer Deckung des gesamten Wärmebedarfs des Quartiers von 14 % entspricht.
Der verbleibende Wärmebedarf von rund 4.000 MWh (86 % des Wärmebedarfs) kann durch die Großwärmepumpe mit Wärmequelle



Saale gedeckt werden. Die Saalewärmepumpe weist Wärmegestehungskosten von 11 €ct/kWh auf. In einem nachfolgenden Planungsschritt ist eine Prüfung der technischen und genehmigungsrechtlichen Machbarkeit erforderlich. Eine zusätzliche Option besteht darin, das Quartier mit der bereits vorhandenen Fernwärmeinfrastruktur zu versorgen. Unter Berücksichtigung der zunehmenden Dekarbonisierung der Fernwärme kann perspektivisch eine klimafreundliche Wärmeversorgung gewährleistet werden. Aus Gründen der Redundanz empfiehlt es sich, die Realisierung zu prüfen.

Die Installation von PV-T-Modulen auf 15 % der Dachflächen resultiert auch in der Erzeugung von Strom. Der erzeugte Strom kann zu 100 % für das Quartier genutzt werden und deckt damit 8 % des Strombedarfs des Quartiers ab, was einer Menge von rund 250 MWh/a entspricht. Die verbleibende Energie von rund 2.725 MWh kann zu 71 % durch PV-Module auf den übrigen 85 % der Dachflächen installiert werden. Die Kombination aus PV-T und PV-Modulen ermöglicht in der Gesamtschau eine Deckung von rund 80 % des Strombedarfs des Quartiers. Die Gestehungskosten für PV-T belaufen sich dabei auf 9 €ct/kWh, während die Gestehungskosten für PV-Strom bei 16 €ct/kWh liegen. Die Deckung der verbleibenden 20 % des Strombedarfs erfolgt durch Netzstrom, dessen Bedarf insbesondere im Winter anfällt.
Zur Speicherung von überschüssigem Strom, was hauptsächlich im Sommer, empfiehlt sich ein Stromspeicher in Form eines Batteriecontainers. Pro installierter kW wird ein Bedarf von 1 kWh Speichervermögen als erste grobe Dimensionierung angenommen. Unter Berücksichtigung der geplanten installierten Leistung entspricht dies einem Batteriecontainer mit einer Kapazität von bis zu 5 MWh Strom. Dies entspricht einem 45-Fuß-Container mit den Abmessungen 14 x 2,5 x 3 Meter.



Figure 1: Batteriecontainer[2]

Bei der Speicherung von Wärme wird ebenfalls von einem konstanten Verhältnis von 1 kWh Speichervermögen pro installierter kW ausgegangen. Bei einer insgesamt installierten Wärmeleistung von 2,9

[2] TESVOLT-Produktportfolio-DE_v.F.01_2.pdf

MW entspricht dies 2900 kWh. Erfahrungswerte zeigen, dass sich für den Wärmespeicher ein Platzbedarf von rund 100 m² ergibt. Beide Speichersysteme sind als zentrale Speicher für das Quartier vorgesehen. Die Frage der dezentralen oder zentralen Speicherung muss mit Fortführung der Planungen jedoch noch tiefer betrachtet werden.

Ausblick:
In den nächsten Schritten der Planung könnten neben den Wärme- und Strombedarfen auch die zukünftigen Kältebedarfe noch detaillierter z.B. durch Simulationen kalkuliert werden und somit die Frage der Kälteinfrastruktur bearbeitet werden.

Stork Plan
& Control GmbH

9. Anhang:

Photovoltaik-Potenziale

Beispielrechnung für das Theoretikum:
Energiebedarf:

Strom: 1.605.150 kWh/Jahr

Ertrage:
Photovoltaik (PV):

Stromertrag: 784.635 kWh/Jahr

Deckungsgrad Strom $= \frac{\text{PV}-\text{Erzeugung}}{\text{Strombedarf}} \times 100 = \frac{784.635}{1.605.150} \times 100 \approx$ 49 %.

Reststrombedarf: $1.605.150 - 784.635 = 820.515$ kWh/Jahr

Solarthermie Potenziale

Beispielrechnung für das Theoretikum:

Solarthermie (ST):
Wärmeertrag: 1.945.377 kWh/Jahr
Deckungsgrad Wärme = $\frac{\text{ST}-\text{Erzeugung}}{\text{Wärmebedarf}} \times 100 = \frac{\mathbf{1.945.377}}{\mathbf{2.434.656}} \times 100 \approx 80$ %.
Restwärmebedarf: $2.434.656 - 1.945.377 = 489.279$ kWh/Jahr

Photovoltaik-Thermie Potenziale

Beispielrechnung für das Theoretikum:
Photovoltaik-Thermie(PVT):
Stromertrag: 518.767 kWh/Jahr
Wärmeertrag: 2.075.069 kWh/Jahr
Deckungsgrad Strom = $\frac{\text{PVT}-\text{Erzeugung(Strom)}}{\text{Wärmebedarf}} \times 100 = \frac{518.767}{1.605.150} \times 100 \approx$ 32 %.
Deckungsgrad Wärme = $\frac{\text{PVT}-\text{Erzeugung (Wärme)}}{\text{Wärmebedarf}} \times 100 = \frac{2.075.069}{2.434.656} \times 100 \approx$ 85 %.
Reststrombedarf: $1.605.150 - 518.767 = 1.086.382{,}8$ kWh/Jahr
Restwärmebedarf: $2.434.656 - 2.075.069 = 359.587$ kWh/Jahr

Annahmen für die Wirtschaftlichkeitsrechnung

Die Wirtschaftlichkeit eines Investitionsobjekts kann überschlägig mittels der Annuitätenmethode gemäß VDI 2067 Blatt 1 ermittelt werden. Diese Methode erlaubt die Zusammenfassung einmaliger Zahlungen und Investitionen mit laufenden Zahlungen über einen Betrachtungszeitraum unter Zuhilfenahme eines Annuitätenfaktors. Die Annuitätenmethode zielt darauf ab, alle Ein- und Auszahlungen, die mit dem Investitionsobjekt verbunden sind, gleichmäßig auf die Nutzungsjahre zu verteilen. Die Berechnung der Annuitäten, also die regelmäßig wiederkehrende, gleich hohe Zahlung, dient dazu, einen Überblick über die Kosten und Erlöse zu erhalten und die Sinnhaftigkeit der Investition zu evaluieren. Es lässt sich festhalten, dass eine positive Annuität auf eine wirtschaftlich sinnvolle Investition hindeutet, während Investitionen mit einer negativen Annuität nicht empfohlen werden. Im Rahmen der Kostenanalyse erfolgt eine Differenzierung in vier Kostengruppen: Zu den kapitalgebundenen Kosten zählen die Investitionskosten für die technischen und baulichen Anlagen sowie die Anschlusskosten. Die bedarfsgebundenen Kosten umfassen Aufwendungen für Energien und Brennstoffe sowie Kosten für Hilfsenergie und Betriebsstoffe. Die betriebsgebundenen Kosten umfassen Aufwendungen für die Bedienung, Reinigung, Wartung, Inspektion oder Instandsetzung der Anlagen. Die sonstigen Kosten umfassen Versicherungen, Steuern und allgemeine Abgaben.[3]

Zusätzlich zur Betrachtung der Gesamtannuitäten erfolgt eine Betrachtung der Wirtschaftlichkeit anhand der spezifischen Berechnung von Gestehungskosten in €ct/kWh bzw. €/MWh, basierend auf der Gesamtannuität und der bereitgestellten Arbeit bzw. Energie der betrachteten Anlage.

[3] Verein Deutscher Ingenieure, „Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen“, Verein Deutscher Ingenieure, 2012.

Parameter für die VDI 2067:

Eingabewerte

Betrachtungszeitraum			
	FZ	Wert	Einheit
Betrachtungszeitraum	T	20	Jahre

Zinsfaktor			
	FZ	Wert	Einheit
Zinsfaktor	q	1,03	-

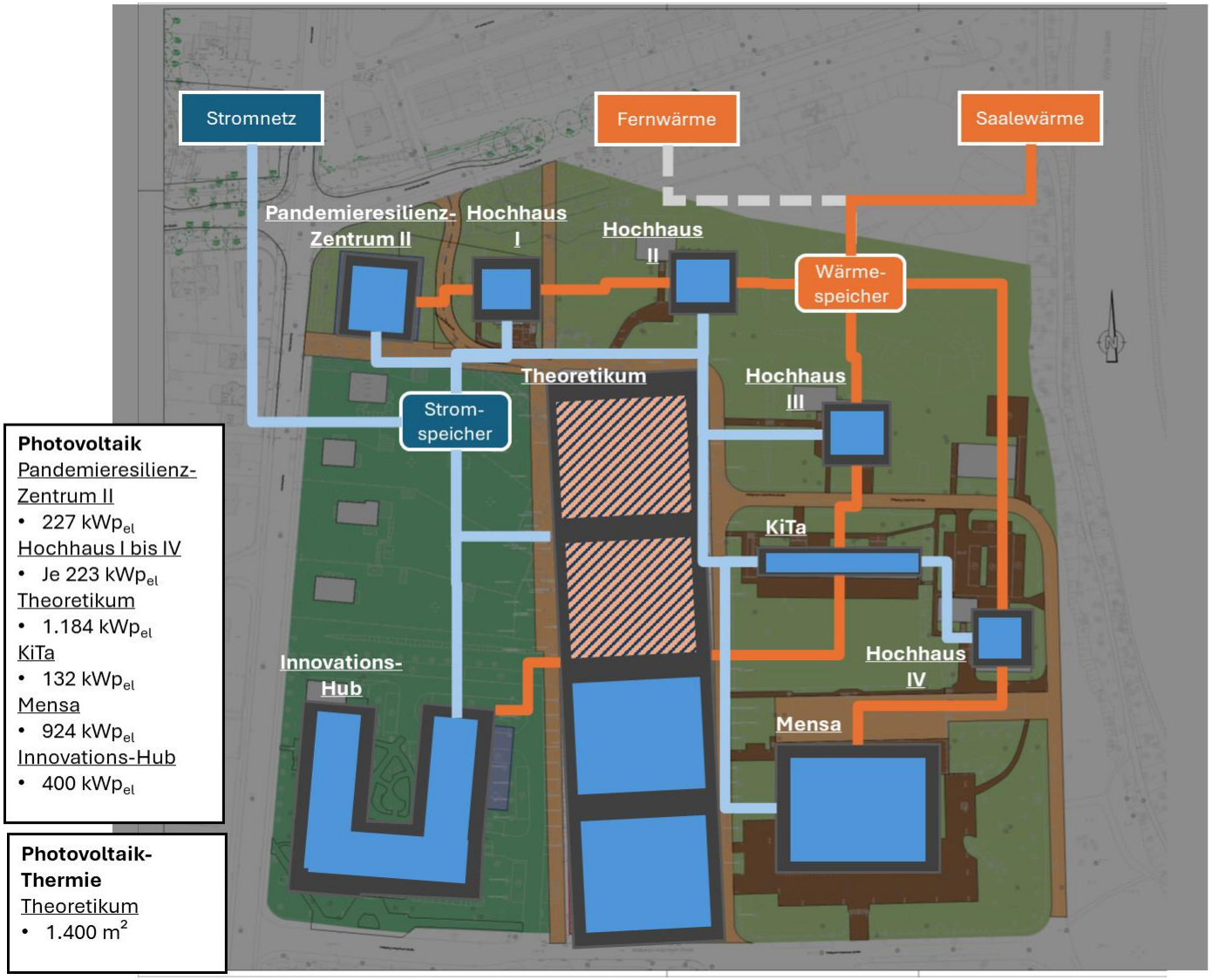
resultierender Annuitätsfaktor			
	FZ	Wert	Einheit
Annuitätsfaktor	a	0,07	1/a

Preisänderungsfaktor			
Kostengruppe	FZ	Wert	Einheit
Kapitalgebundene Kosten: Anschaffung	r_K	1,02	-
Bedarfsgebundene Kosten: Energie	r_V	1,05	-
Betriebsgebundene Kosten: Bedienung	r_B	1,02	-
Betriebsgebundene Kosten: Wartung und Instandhaltung	r_{IN}	1,02	-
Sonstige Kosten	r_S	1,02	-
Erlöse:	r_E	1,05	-

Im Rahmen der Bewertung der Wirtschaftlichkeit unterschiedlicher Energieerzeugungsanlagen wurde der Technikkatalog für die kommunale Wärmeplanung herangezogen. Dieser Katalog stellt eine umfassende Sammlung techno-ökonomischer Parameter bereit, einschließlich der Preisentwicklungen für diverse Energieträger. Diese Merkmale ermöglichen eine fundierte Analyse.[4]

[4] Wärmeplanungsgesetz (WPG) - Leitfaden und Technikkatalog - Kompetenzzentrum Kommunale Wärmewende

Technologie	Annahmen im Rahmen der vorliegenden Konzeption	Quelle
Photovoltaik	• Globalstrahlung Halle: 1.095 kWh/m^2 • Leistung: 400 Wp/m^2 • Spezifische Investitionskosten (Mittelwert über alle Gebäude): 1.034 €/kW$_p$	Global Solar Atlas kWp pro m²: Photovoltaik-Leistung je Fläche | Echtsolar Erfahrungswerte Tilia GmbH
Solarthermie	• Globalstrahlung Halle: 1.095 kWh/m^2 • Leistung: 657 Wp/m^2 • Spezifische Investitionskosten (Mittelwert über alle Gebäude): 617 €/kW$_p$	Global Solar Atlas Flachkollektor: Aufbau, Wirkungsgrad und Anwendung - Kesselheld Technikkatalog der KWW
Photovoltaik-Thermie	• Globalstrahlung Halle: 1.095 kWh/m^2 • Elektrische Leistung: 400 W/m^2 • Thermische Leistung: 1.200 W/m^2 • Spezifische Investitionskosten (Mittelwert über alle Gebäude): 717 €/kW$_p$	Global Solar Atlas Fraunhofer ISE bestätigt 80 Prozent Gesamtwirkungsgrad für neues PVT-Solarmodul – pv magazine Deutschland Datenblatt *Sunmaxx PVT*
Wasser-Wasser-Wärmepumpe	• Jahresarbeitszahl: 5,1 • Spezifische Investitionskosten: 3.391 €/kW$_{th}$	Technikkatalog der KWW
Kompressionswärmepumpe	• Jahresarbeitszahl: 3,1 • Spezifische Investitionskosten: 11 €/kW$_{th}$	Technikkatalog der KWW





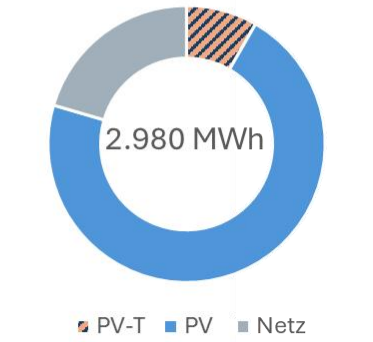


Abbildung 10: Skizze Vorzugsvariante mit Darstellung der Energiebereitstellung in der Jahresbilanz

A

Lfd. Nr.	Bestand	Befestigungsart	Fläche in m²	mittlerer Abflussbeiwert	Reduzierte Fläche in m²	Prozentwert
1	Haus 8 mt KITA / Turm 1	Dachfläche	613,00	0,9	551,70	6%
2	Haus 6 (I) / Turm 2	Dachfläche	625,41	0,9	562,87	6%
3	Haus 8 (II) / Turm 3	Dachfläche	626,18	0,9	563,56	6%
4	Haus 6 (II)	Dachfläche	282,52	0,9	254,27	3%
5	KITA	Dachfläche	739,03	0,9	665,13	8%
6	Studentenwerk	Dachfläche	636,79	0,9	573,11	6%
7	Mensa	Dachfläche	2.999,06	0,9	2.699,16	30%
8	Turnhalle	Dachfläche	1.042,23	0,9	938,01	11%
9	Weinbergweg 23	Dachfläche	2.116,23	0,9	1.904,60	21%
10	Trafostation	Dachfläche	138,19	0,9	124,37	1%
11	Trafostation II	Dachfläche	21,78	0,9	19,60	0%
12	Trafostation III	Dachfläche	6,93	0,9	6,24	0%
SUMMEN			**9.847,36**	0,9	**8.862,62**	100%

B

Lfd. Nr.	Bestand	Befestigungsart	Fläche in m²	mittlerer Abflussbeiwert	Reduzierte Fläche in m²	Prozentwert
1	PP Studentenwerk	Fugenpflaster	798,49	0,7	558,94	7%
2	PP Haus 6	Beton	292,94	0,9	263,65	3%
3	PP Turnhalle (Ost)	Beton	508,12	0,9	457,31	5%
4	PP Turnhalle (Süd)	Pflaster	1.485,28	0,8	1.188,22	13%
5	Parkplatz (groß/Mitte)	Pflaster	4.102,90	0,8	3.282,32	37%
6	Parkplatz Kurt-Mothes	Fugenpflaster	523,31	0,7	366,32	5%
7	Parkplatz (W.-Langenb.)	Pflaster	170,53	0,8	136,43	2%
8	PP WBW 23	Pflaster	3.151,77	0,8	2.521,42	29%
SUMMEN			**11.033,34**	0,8	**8.774,60**	100%

C

Lfd. Nr.	Bestand	Befestigungsart	Fläche in m²	mittlerer Abflussbeiwert	Reduzierte Fläche in m²	Prozentwert
1	Straßenflächen	Pflaster	4.113,79	0,8	3.291,03	29%
2	Gehwege / befestigte Nebenflächen	Pflaster	7.871,63	0,8	6.297,30	56%
3	Zufahrten Mensa / Haus 6	Beton / Asphalt	2.065,18	0,9	1.858,66	15%
SUMMEN			**14.050,59**	0,8	**11.446,99**	100%

D

Lfd. Nr.	Bestand	Befestigungsart	Fläche in m²	mittlerer Abflussbeiwert	Reduzierte Fläche in m²	Prozentwert
1	Grünflächen (West)	Rasen / Wiesen	12.038,87	0,05	601,94	38%
2	Grünflächen (Ost)	Rasen / Wiesen	19.990,74	0,05	999,54	62%
SUMMEN			**32.029,61**	0,05	**1.601,48**	100%

S

Lfd. Nr.	Bestand	Befestigungsart	Fläche in m²	mittlerer Abflussbeiwert	Reduzierte Fläche in m²	Prozentwert
1	SUMMEN A	Dachflächen	9.847,36	0,9	8.862,62	15%
2	SUMMEN B	Parkplätze	11.033,34	0,8	8.826,67	16%
3	SUMMEN C	Gehwege Nebenflächen	14.050,59	0,8	11.240,47	21%
4	SUMMEN D	Grünflächen	32.029,61	0,05	1.601,48	48%
SUMMEN			**66.960,90**	0,64	**30.531,25**	100%

Zusammenfassung in ha	**6,70 ha**	**3,05 ha**

Stork **Plan**
& Control GmbH

Bemessung von Regenrückhalteräumen bei Einleitbeschränkungen nach DWA-A 117

Weinbergcampus Halle, 06120 Halle (Saale)

$q_{Dr,R,u}$		$(Q_{Dr} - Q_{Dr,V} - Q_{T,d,aM}) / A_u$ (l/(sxha)		Dauerstufe D	Regenspende $r_{(D,5)}$	spezifisches Speichervolumen m^3/ha
Vs,u		$(r_{D,n} - q_{Dr,R,u}) \times D \times f_Z \times f_A \times 0{,}06$ (m^3/ha)				
A_u	3,0500	ha	undruchlässige Fläche des direkten Einzugebietes in ha	[min]	[l/(s*ha)]	[m^3]
Q_{Dr}	710,0	l/s	Drosselabfluss des RRR in l/s	5	462,896	79,50
f_Z	1,15		Zuschlagsfaktor (mittel)	10	306,705	51,23
f_A	1,0		Abminderungsfaktor	15	237,298	5,01
T	5	a	Wiederkehrzeit	20	194,327	-52,62
$q_{Dr,R,u}$	232,46	l/(sxha)	Regenanteild der Drosselabflussspende bezogen auf Au in l/(sxha)	30	145,926	-179,12
$Q_{T,d,aM}$	1,00	l/s	Trockenwetterabfluss des direkten Einzuggebietes	45	107,97	-386,54
$Q_{Dr,V}$	0,00	l/s	Summe der Drosselabflüsse aller oberhalb liegenden Vorentlastungen in l/s	60	86,376	-604,78
Vs,u	79,50	m^3/ha	Spezifisches Speichervolumen, bezogen auf Au in m^3/ha	90	62,83	-1053,40
				120	50,02	-1510,60
V		Vs,u x Au (ha)		180	35,937	-2440,80
V	**242,5 m^3**		erforderliches Speichervolumen des RRR in m^3	240	28,677	-3374,63
				360	20,52	-5264,57
				540	14,637	-8116,05
				720	11,662	-10969,20
				1080	8,378	-16698,52
				1440	6,608	-22440,56
				2880	3,744	-45450,25
				4320	2,691	-68489,25

Regenwasserleitungen Weinbergcampus														
									Volumen					
Von	Nach	Dimension						Summe in m	DN200	DN300	DN400	DN500	DN700	DN900	SUMME in m³
Turm I / Trafo	Auslaufbauwerk	DN200	DN300	DN400	DN500	DN700	DN900	495,24	2,63	2,91	6,54	25,23	38,08	57,90	**133,28**
		83,62	41,15	52,03	128,47	98,95	91,01								
Technologiezentrum	Auslaufbauwerk	DN200	DN300	DN400	DN500	DN700	DN900	439,46	1,58	19,43	14,36	0,00	0,00	0,00	**35,37**
		50,28	274,87	114,30	0	0,00	0,00								
Parallelleitung Mensa	Auslaufbauwerk	DN200	DN300	DN400	DN500	DN700	DN900	228,46	0,00	9,97	10,99	0,00	0,00	0,00	**20,96**
			141,02	87,44	0	0	0								
Turm II	Anschluss PP	DN200	DN300	DN400	DN500	DN700	DN900	34,01	0,00	2,40	0,00	0,00	0,00	0,00	**2,40**
		0	34,01	0	0	0	0								
Turm III / KITA /MENSA	Auslaufbauwerk	DN200	DN300	DN400	DN500	DN700	DN900	481,88	1,61	21,18	10,88	8,74	0,00	0,00	**42,40**
		51,24	299,58	86,56	44,50	0	0								
SUMMEN in m / m³		**185,14**	**790,64**	**340,33**	**172,97**	**98,95**	**91,01**	**1679,04**	**5,82**	**55,89**	**42,77**	**33,96**	**38,08**	**57,90**	**234,41**

A

Lfd. Nr.	Bestand	Befestigungsart	Fläche in m²	mittlerer Abflussbeiwert	Reduzierte Fläche in m²	Prozentwert
1	Haus 8 mt KITA / Turm 1	Dachfläche	487,11	0,9	438,40	2%
2	Haus 6 (I) / Turm 2	Dachfläche	625,41	0,9	562,87	3%
3	Haus 8 (II) / Turm 3	Dachfläche	626,18	0,9	563,56	3%
4	Haus 6 (II)	Dachfläche	282,52	0,9	254,27	1%
5	KITA	Dachfläche	739,03	0,9	665,13	3%
6	Studentenwerk	Dachfläche	636,79	0,9	573,11	3%
7	Mensa	Dachfläche	2.999,06	0,9	2.699,16	13%
8	Weinbergweg 23	Dachfläche	2.116,23	0,9	1.904,60	10%
9	Trafostation II	Dachfläche	21,78	0,9	19,60	0%
10	Trafostation III	Dachfläche	6,93	0,9	6,24	0%
11	Theoretikum	Gründach	7.256,50	0,3	2.176,95	33%
12	Theoretikum	Dachfläche	3.633,50	0,9	3.270,15	16%
13	Innovationshub	Dachfläche	990,00	0,9	891,00	4%
14	PRZ II	Gründach	990,00	0,3	297,00	4%
15	Weinbergweg 24	Dachfläche	203,42	0,9	183,08	1%
16	Weinbergweg 25	Dachfläche	213,96	0,9	192,56	1%
17	Weinbergweg 26	Dachfläche	208,46	0,9	187,61	1%
18	Weinbergweg 27	Dachfläche	227,45	0,9	204,71	1%
SUMMEN			**22.264,34**	0,8	**15.090,00**	100%

B

Lfd. Nr.	Bestand	Befestigungsart	Fläche in m²	mittlerer Abflussbeiwert	Reduzierte Fläche in m²	Prozentwert
1	PP Studentenwerk	Fugenpflaster	798,49	0,7	558,94	63%
2	PP Haus 6	Beton	292,94	0,9	263,65	23%
3	Parkplatz (W.-Langenb.)	Pflaster	170,53	0,8	136,43	14%
SUMMEN			**1.261,96**	0,8	**959,02**	100%

C

Lfd. Nr.	Bestand	Befestigungsart	Fläche in m²	mittlerer Abflussbeiwert	Reduzierte Fläche in m²	Prozentwert
1	Straßenflächen / Gehwege	Pflaster	5.830,14	0,8	4.664,11	44%
2	befestigte Nebenflächen	Pflaster	5.391,98	0,8	4.313,59	41%
3	Zufahrten Mensa / Haus 6	Beton / Asphalt	2.065,18	0,9	1.858,66	16%
SUMMEN			**13.287,30**	0,8	**10.836,36**	100%

D

Lfd. Nr.	Bestand	Befestigungsart	Fläche in m²	mittlerer Abflussbeiwert	Reduzierte Fläche in m²	Prozentwert
1	Grünfläche B2	Rasen / Wiesen	21.544,34	0,05	1.077,22	57%
2	Weinbergpark B2	Rasen / Wiesen	16.335,64	0,05	816,78	43%
SUMMEN			**37.879,98**	0,05	**1.894,00**	100%

S

Lfd. Nr.	Bestand	Befestigungsart	Fläche in m²	mittlerer Abflussbeiwert	Reduzierte Fläche in m²	Prozentwert
1	SUMMEN A	Dachflächen	22.264,34	0,9	20.037,90	30%
2	SUMMEN B	Parkplätze	1.261,96	0,8	1.009,57	2%
3	SUMMEN C	Gehwege Nebenflächen	13.287,30	0,8	10.629,84	18%
4	SUMMEN D	Grünflächen	37.879,98	0,05	1.894,00	51%
SUMMEN			**74.693,58**	0,64	**33.571,32**	100%

Zusammenfassung in ha	**7,47 ha**	**3,36 ha**

Bemessung von Regenrückhalteräumen bei Einleitbeschränkungen nach DWA-A 117

Weinbergcampus Halle, 06120 Halle (Saale)

$q_{Dr,R,u}$		$(Q_{Dr} - Q_{Dr,V} - Q_{T,d,aM}) / A_u$ (l/(sxha)		Dauerstufe D	Regenspende $r_{(D,5)}$	spezifisches Speichervolumen m^3/ha
Vs,u		$(r_{D,n} - q_{Dr,R,u}) \times D \times f_Z \times f_A \times 0{,}06$ (m^3/ha)				
A_u	3,3600	ha	undruchlässige Fläche des direkten Einzugebietes in ha	[min]	[l/(s*ha)]	[m^3]
Q_{Dr}	710,0	l/s	Drosselabfluss des RRR in l/s	5	462,896	86,90
f_Z	1,15		Zuschlagsfaktor (mittel)	10	306,705	66,03
f_A	1,0		Abminderungsfaktor	15	237,298	27,21
T	5	a	Wiederkehrzeit	20	194,327	-23,03
$q_{Dr,R,u}$	211,01	l/(sxha)	Regenanteild der Drosselabflussspende bezogen auf Au in l/(sxha)	30	145,926	-134,73
$Q_{T,d,aM}$	1,00	l/s	Trockenwetterabfluss des direkten Einzuggebietes	45	107,97	-319,95
$Q_{Dr,V}$	0,00	l/s	Summe der Drosselabflüsse aller oberhalb liegenden Vorentlastungen in l/s	60	86,376	-515,99
Vs,u	86,90	m^3/ha	Spezifisches Speichervolumen, bezogen auf Au in m^3/ha	90	62,83	-920,21
				120	50,02	-1333,01
V		Vs,u x Au (ha)		180	35,937	-2174,43
V	**292,0 m^3**		erforderliches Speichervolumen des RRR in m^3	240	28,677	-3019,47
				360	20,52	-4731,82
				540	14,637	-7316,93
				720	11,662	-9903,70
				1080	8,378	-15100,28
				1440	6,608	-20309,57
				2880	3,744	-41188,28
				4320	2,691	-62096,30

Bemessung von Regenrückhalteräumen bei Einleitbeschränkungen nach DWA-A 117

Weinbergcampus Halle, 06120 Halle (Saale)

$q_{Dr,R,u}$		$(Q_{Dr} - Q_{Dr,V} - Q_{T,d,aM}) / A_u$ (l/(sxha)		Dauerstufe D	Regenspende $r_{(D,5)}$	spezifisches Speichervolumen m^3/ha
Vs,u		$(r_{D,n} - q_{Dr,R,u}) \times D \times f_Z \times f_A \times 0{,}06$ (m^3/ha)				
A_u	0,2177	ha	undruchlässige Fläche des direkten Einzugebietes in ha	[min]	[l/(s*ha)]	[m^3]
Q_{Dr}	1,0	l/s	Drosselabfluss des RRR in l/s	5	462,896	159,70
f_Z	1,15		Zuschlagsfaktor (mittel)	10	306,705	211,63
f_A	1,0		Abminderungsfaktor	15	237,298	245,60
T	5	a	Wiederkehrzeit	20	194,327	268,17
$q_{Dr,R,u}$	0,00	l/(sxha)	Regenanteild der Drosselabflussspende bezogen auf Au in l/(sxha)	30	145,926	302,07
$Q_{T,d,aM}$	1,00	l/s	Trockenwetterabfluss des direkten Einzuggebietes	45	107,97	335,25
$Q_{Dr,V}$	0,00	l/s	Summe der Drosselabflüsse aller oberhalb liegenden Vorentlastungen in l/s	60	86,376	357,60
Vs,u	802,13	m^3/ha	Spezifisches Speichervolumen, bezogen auf Au in m^3/ha	90	62,83	390,17
				120	50,02	414,17
V		Vs,u x Au (ha)		180	35,937	446,34
V	**174,6 m^3**		erforderliches Speichervolumen des RRR in m^3	240	28,677	474,89
				360	20,52	509,72
				540	14,637	545,37
				720	11,662	579,37
				1080	8,378	624,33
				1440	6,608	656,57
				2880	3,744	744,01
				4320	2,691	802,13

Bemessung von Regenrückhalteräumen bei Einleitbeschränkungen nach DWA-A 117

Weinbergcampus Halle, 06120 Halle (Saale)

$q_{Dr,R,u}$		$(Q_{Dr} - Q_{Dr,V} - Q_{T,d,aM}) / A_u$ (l/(sxha)		Dauerstufe D	Regenspende $r_{(D,5)}$	spezifisches Speichervolumen m^3/ha
Vs,u		$(r_{D,n} - q_{Dr,R,u}) \times D \times f_Z \times f_A \times 0{,}06$ (m^3/ha)				
A_u	0,3270	ha	undruchlässige Fläche des direkten Einzugebietes in ha	[min]	[l/(s*ha)]	[m^3]
Q_{Dr}	5,0	l/s	Drosselabfluss des RRR in l/s	5	462,896	156,53
f_Z	1,15		Zuschlagsfaktor (mittel)	10	306,705	205,30
f_A	1,0		Abminderungsfaktor	15	237,298	236,11
T	5	a	Wiederkehrzeit	20	194,327	255,51
$q_{Dr,R,u}$	9,17	l/(sxha)	Regenanteild der Drosselabflussspende bezogen auf Au in l/(sxha)	30	145,926	283,08
$Q_{T,d,aM}$	1,00	l/s	Trockenwetterabfluss des direkten Einzuggebietes	45	107,97	306,76
$Q_{Dr,V}$	1,00	l/s	Summe der Drosselabflüsse aller oberhalb liegenden Vorentlastungen in l/s	60	86,376	319,62
Vs,u	338,21	m^3/ha	Spezifisches Speichervolumen, bezogen auf Au in m^3/ha	90	62,83	333,20
				120	50,02	338,21
V		Vs,u x Au (ha)		180	35,937	332,40
V	**110,6 m^3**		erforderliches Speichervolumen des RRR in m^3	240	28,677	322,97
				360	20,52	281,84
				540	14,637	203,56
				720	11,662	123,61
				1080	8,378	-59,31
				1440	6,608	-254,95
				2880	3,744	-1079,03
				4320	2,691	-1932,42

Kreuzvorwerk
Am Gestüt Kreuz
Ernst-Grube-Straße
Wilde Saale
Kurt-Mothes-Straße
Wolfgang-Langenbeck-Straße
Weinbergweg
Gimritzweg
Straßburger Weg
Sporthalle
Weinberg

N

Nr.	Art der Änderung und Ergänzung	Datum	Name

Stork Plan & Control GmbH
Ludwigstraße 28
06110 Halle (Saale)
Tel. 0345 / 96 39 07 10
Fax. 0345 / 96 39 07 96
Mail info@stork-plan.de
Web www.stork-plan.de

bearbeitet	März 2025	Stork
gezeichnet	März 2025	Gallrein
geprüft	März 2025	Stork
Datum		

Bauherr :

Universitätsmedizin Halle
Universitätsklinikum Halle (Saale)
Ernst - Grube - Straße 40
06120 Halle (Saale)

Unterlage Nr. 1
Blatt Nr. 1

Planungsphase :
Vorplanung

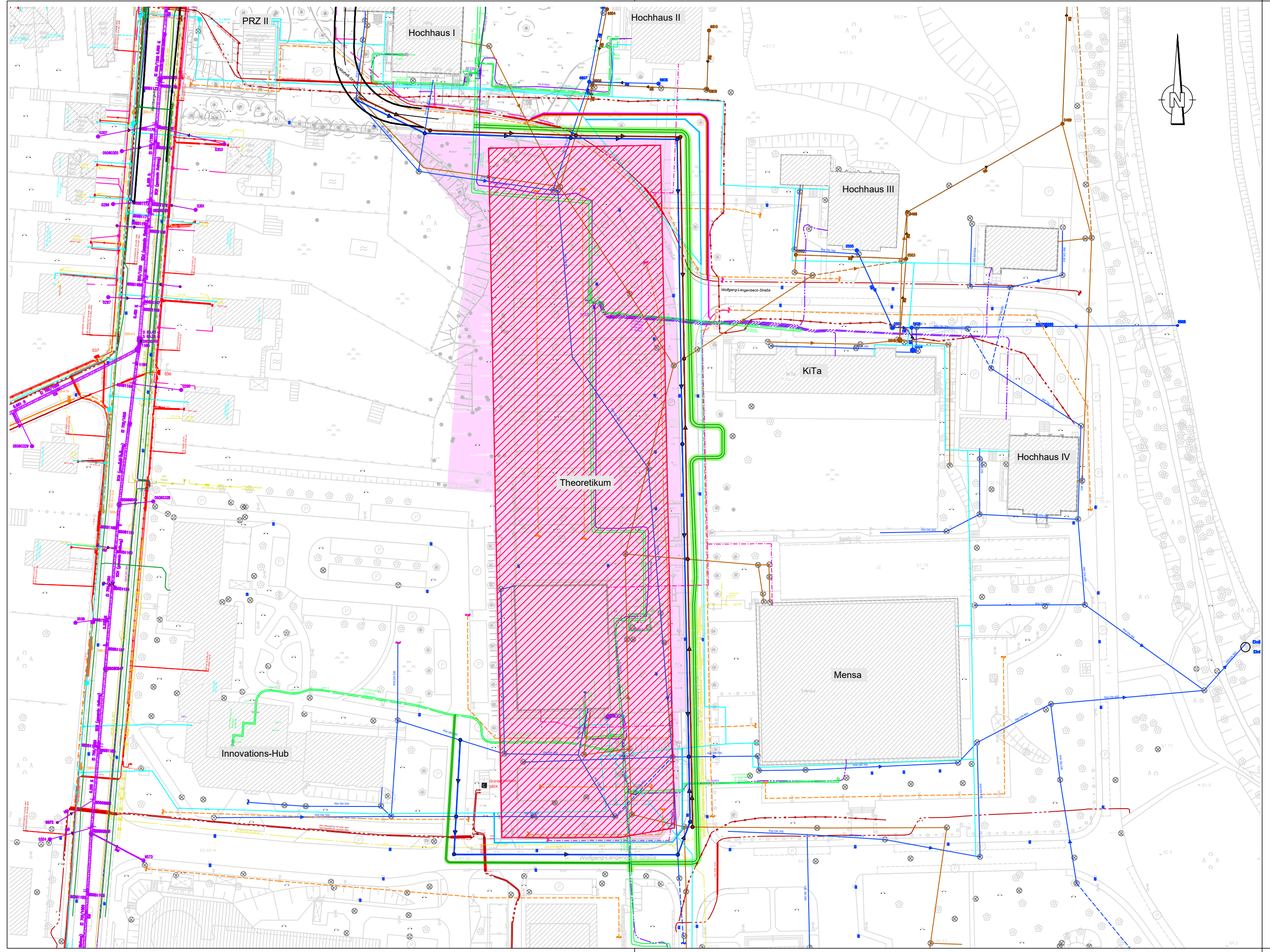
	Datum	Zeichen
nachgeprüft :		
Reg. - Nr. :		

Vorhaben :
Universitätsmedizin Halle
Gebietsversorgungskonzept

Übersichtslageplan

Maßstab : 1 : 500

geprüft :
Halle (Saale), den .....
im Auftrag



Legende :

Baufeld Teilbereich III

Fläche neues Gebäude Theoretikum

Umverlegung Leitungen und Kabel - TB III

- Umverlegung Fernwärme, EVH
- Umverlegung Niederschlagswasserkanal
- Umverlegung Schmutzwasserkanal
- Umverlegung Trinkwasserleitung
- Umverlegung Kabel Telekom
- Umverlegung Kabel Elt MSP
- Umverlegung Kabel Straßenbeleuchtung

Bestand Leitungen und Kabel:

- vorh. Mischwasserkanal
- vorh. Niederschlagswasserkanal
- vorh. Schmutzwasserkanal
- vorh. Abwasserkanal ohne Funktion
- vorh. Trinkwasserleitung
- vorh. Fernwärmeleitung, EVH
- vorh. Elt MS Kabel, EVH
- vorh. Elt NS Kabel, EVH
- vorh. Info Kabel, EVH
- vorh. Gasleitung HD, EVH
- vorh. Gasleitung ND, EVH
- vorh. Beleuchtungskabel mit Leuchte, EVH
- vorh. LSA Kabel, HAVAG
- vorh. Kabel, HLkomm
- vorh. Kabeltrasse, Telekom
- vorh. Rohrtrasse, Telekom
- vorh. Daten-Info Kabel, UKH
- vorh. Brandmeldekabel, UKH
- vorh. Datenkabel MLU, UKH
- vorh. Kabel, Muth

Nr.	Art der Änderung und Ergänzung	Datum	Name

Stork Plan & Control GmbH
Ludwigstraße 28
06110 Halle (Saale)
Tel 0345 / 96 39 07 10
Fax 0345 / 96 39 07 96
Mail info@stork-plan.de
Web www.stork-plan.de

bearbeitet	März 2025	Schneider
gezeichnet	März 2025	Gallrein
geprüft	März 2025	Stork
Datum		

Bauherr :

Universitätsmedizin Halle
Universitätsklinikum Halle (Saale)
Ernst - Grube - Straße 40
06120 Halle (Saale)

Unterlage Nr. 2
Blatt Nr. 1

Planungsphase :
Vorplanung

	Datum	Zeichen
nachgeprüft :		
Reg. - Nr. :		

Vorhaben :
Universitätsmedizin Halle
Gebietsversorgungskonzept

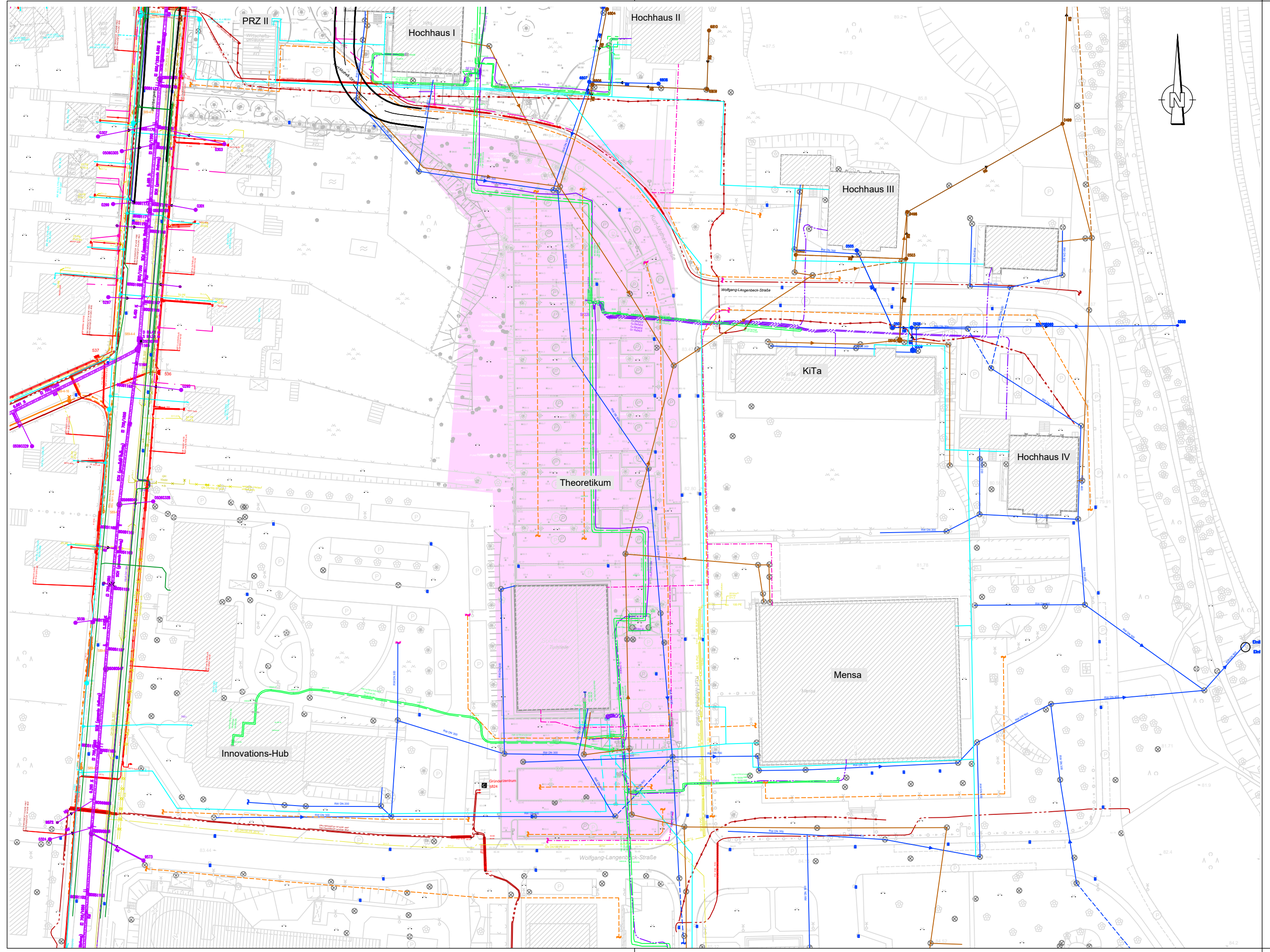
Übersichtslageplan

Maßstab : 1 : 1000

geprüft :

Halle (Saale), den .....

im Auftrag



Legende :

Baufeld Teilbereich III

Bestand Leitungen und Kabel:

- vorh. Mischwasserkanal
- vorh. Niederschlagswasserkanal
- vorh. Schmutzwasserkanal
- vorh. Abwasserkanal ohne Funktion
- vorh. Trinkwasserleitung
- vorh. Fernwärmeleitung, EVH
- vorh. Elt MS Kabel, EVH
- vorh. Elt NS Kabel, EVH
- vorh. Info Kabel, EVH
- vorh. Gasleitung HD, EVH
- vorh. Gasleitung ND, EVH
- vorh. Beleuchtungskabel mit Leuchte, EVH
- vorh. LSA Kabel, HAVAG
- vorh. Kabel, HLkomm
- vorh. Kabeltrasse, Telekom
- vorh. Rohrtrasse, Telekom
- vorh. Daten-Info Kabel, UKH
- vorh. Brandmeldekabel, UKH
- vorh. Datenkabel MLU, UKH
- vorh. Kabel, Muth

Nr.	Art der Änderung und Ergänzung	Datum	Name

Stork Plan & Control GmbH
Ludwigstraße 28
06110 Halle (Saale)
Tel 0345 / 96 39 07 10
Fax 0345 / 96 39 07 96
Mail info@stork-plan.de
Web www.stork-plan.de

bearbeitet	März 2025	Schneider
gezeichnet	März 2025	Gallrein
geprüft	März 2025	Stork
Datum		

Bauherr :

Universitätsmedizin Halle
Universitätsklinikum Halle (Saale)
Ernst - Grube - Straße 40
06120 Halle (Saale)

Unterlage Nr. 2
Blatt Nr. 2

Planungsphase :
Vorplanung

	Datum	Zeichen
nachgeprüft :		
Reg. - Nr. :		

Vorhaben :
Universitätsmedizin Halle
Gebietsversorgungskonzept

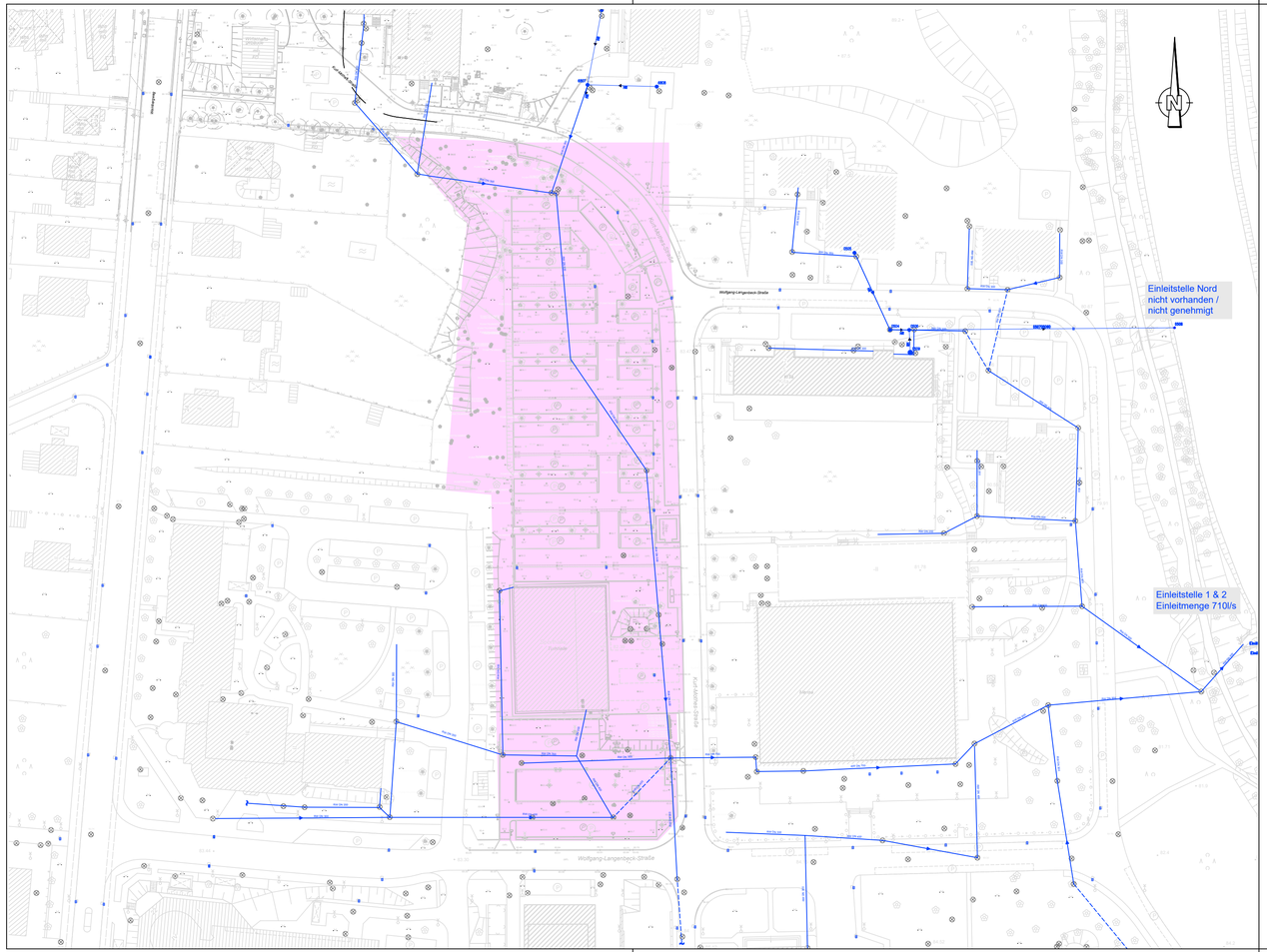
Übersichtslageplan Bestand

Maßstab : 1 : 1000

geprüft :

Halle (Saale), den .....

im Auftrag



Legende :

Baufeld Teilbereich III

Bestand Leitungen und Kabel:

- vorh. Mischwasserkanal
- vorh. Niederschlagswasserkanal
- vorh. Schmutzwasserkanal
- vorh. Abwasserkanal ohne Funktion
- vorh. Trinkwasserleitung
- vorh. Fernwärmeleitung, EVH
- vorh. Elt MS Kabel, EVH
- vorh. Elt NS Kabel, EVH
- vorh. Info Kabel, EVH
- vorh. Gasleitung HD, EVH
- vorh. Gasleitung ND, EVH
- vorh. Beleuchtungskabel mit Leuchte, EVH
- vorh. LSA Kabel, HAVAG
- vorh. Kabel, HLkomm
- vorh. Kabeltrasse, Telekom
- vorh. Rohrtrasse, Telekom
- vorh. Daten-Info Kabel, UKH
- vorh. Brandmeldekabel, UKH
- vorh. Datenkabel MLU, UKH
- vorh. Kabel, Muth

Nr.	Art der Änderung und Ergänzung	Datum	Name

Stork Plan & Control GmbH
Ludwigstraße 28
06110 Halle (Saale)
Tel 0345 / 96 39 07 10
Fax 0345 / 96 39 07 96
Mail info@stork-plan.de
Web www.stork-plan.de

bearbeitet	März 2025	Schneider
gezeichnet	März 2025	Gallrein
geprüft	März 2025	Stork
Datum		

Bauherr :

Universitätsmedizin Halle
Universitätsklinikum Halle (Saale)
Ernst - Grube - Straße 40
06120 Halle (Saale)

Unterlage Nr. 2
Blatt Nr. 3

Planungsphase :
Vorplanung

	Datum	Zeichen
nachgeprüft :		
Reg. - Nr. :		

Vorhaben :
Universitätsmedizin Halle
Gebietsversorgungskonzept

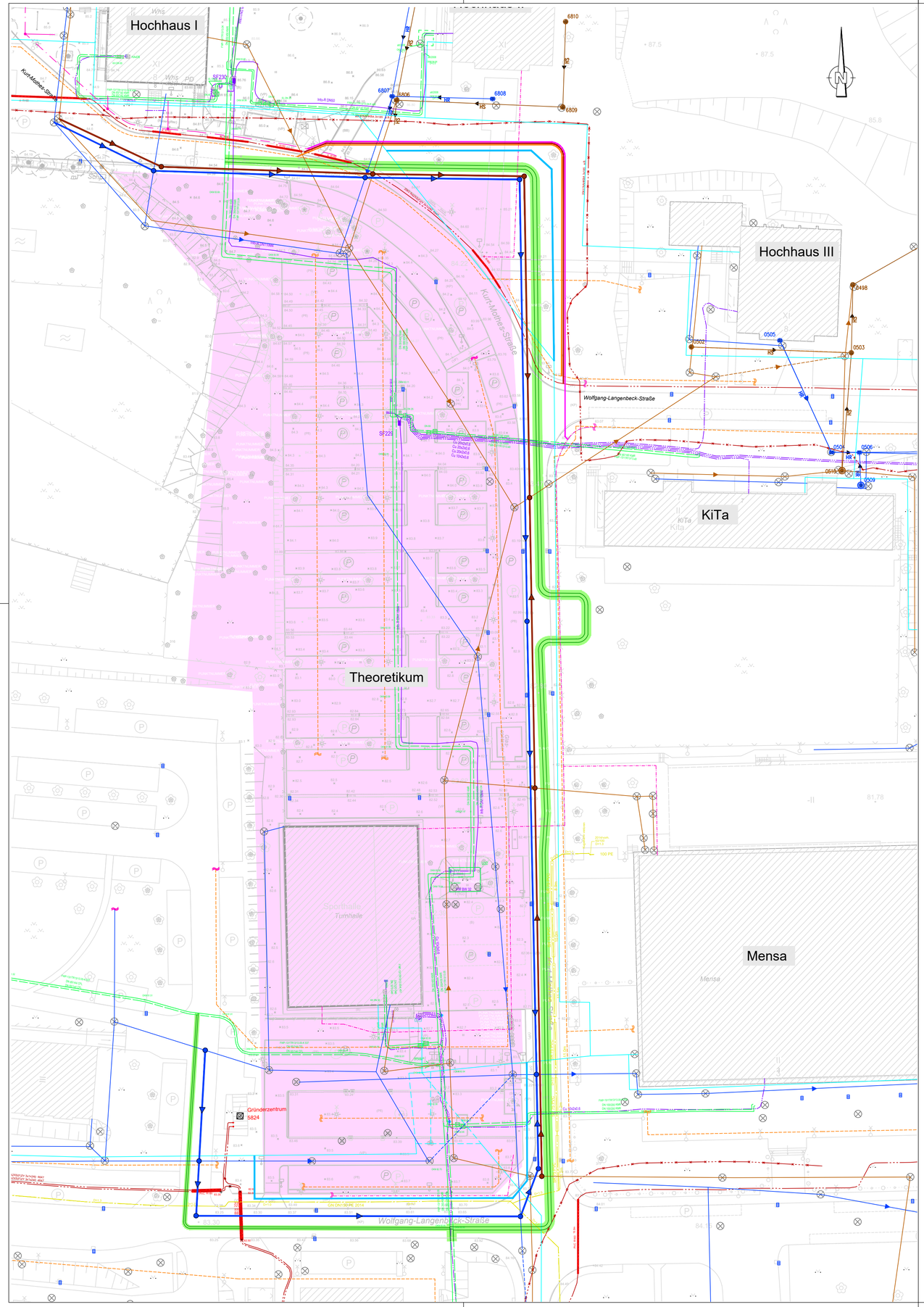
Lageplan Regenwasser

Maßstab : 1 : 1000

geprüft :

Halle (Saale), den .....

im Auftrag



Legende :

Baufeld Teilbereich III

Umverlegung Leitungen und Kabel - TB III

- Umverlegung Fernwärme mit Begleitkabel Info, EVH
- Umverlegung Niederschlagswasserkanal
- Umverlegung Schmutzwasserkanal
- Umverlegung Trinkwasserleitung
- Umverlegung Kabel Telekom
- Umverlegung Kabel Elt MSP
- Umverlegung Kabel Straßenbeleuchtung

Bestand Leitungen und Kabel:

- vorh. Mischwasserkanal
- vorh. Niederschlagswasserkanal
- vorh. Schmutzwasserkanal
- vorh. Abwasserkanal ohne Funktion
- vorh. Trinkwasserleitung
- vorh. Fernwärmeleitung, EVH
- vorh. Elt MS Kabel, EVH
- vorh. Elt NS Kabel, EVH
- vorh. Info Kabel, EVH
- vorh. Gasleitung HD, EVH
- vorh. Gasleitung ND, EVH
- vorh. Beleuchtungskabel mit Leuchte, EVH
- vorh. LSA Kabel, HAVAG
- vorh. Kabel, HLkomm
- vorh. Kabeltrasse, Telekom
- vorh. Rohrtrasse, Telekom
- vorh. Daten-Info Kabel, UKH
- vorh. Brandmeldekabel, UKH
- vorh. Datenkabel MLU, UKH
- vorh. Kabel, Muth

Nr.	Art der Änderung und Ergänzung	Datum	Name

Stork Plan & Control GmbH
Ludwigstraße 28
06110 Halle (Saale)
Tel 0345 / 96 39 07 10
Fax 0345 / 96 39 07 96
Mail info@stork-plan.de
Web www.stork-plan.de

bearbeitet	März 2025	Schneider
gezeichnet	März 2025	Gallrein
geprüft	März 2025	Stork
Datum		

Bauherr :

Universitätsmedizin Halle
Universitätsklinikum Halle (Saale)
Ernst - Grube - Straße 40
06120 Halle (Saale)

Unterlage Nr. 3
Blatt Nr. 1

Planungsphase :
Vorplanung

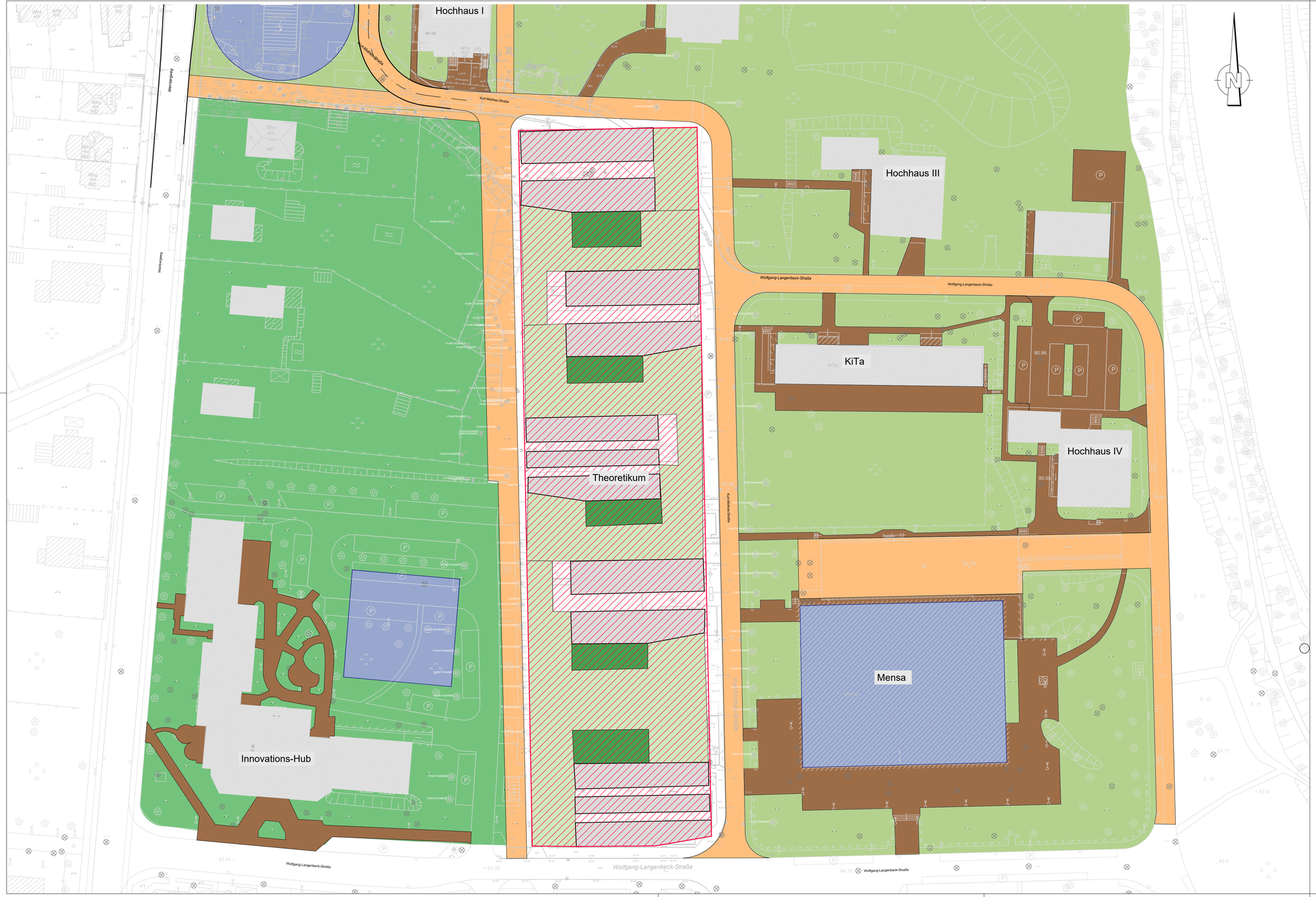
	Datum	Zeichen
nachgeprüft :		
Reg. - Nr. :		

Vorhaben :
Universitätsmedizin Halle
Gebietsversorgungskonzept

Koordinierter Leitungsplan
Umverlegung FW, RW, SW

Maßstab : 1 : 500

geprüft :
Halle (Saale), den .....
im Auftrag



Legende :

- Fläche neues Gebäude Theoretikum
- Fläche für PV/Technik
- Dachgarten
- Open Green
- Promenade B2
- Weinbergpark B2
- Grünfläche B2
- Gebäude Bestand B2
- Gebäude Erweiterung B2
- vorh. Befestigte Flächen

Nr.	Art der Änderung und Ergänzung	Datum	Name

Stork Plan & Control GmbH
Ludwigstraße 28
06110 Halle (Saale)
Tel 0345 / 96 39 07 10
Fax 0345 / 96 39 07 96
Mail info@stork-plan.de
Web www.stork-plan.de

bearbeitet	März 2025	Schneider
gezeichnet	März 2025	Gallrein
geprüft	März 2025	Stork
Datum		

Bauherr :

Universitätsmedizin Halle
Universitätsklinikum Halle (Saale)
Ernst - Grube - Straße 40
06120 Halle (Saale)

Unterlage Nr. 4
Blatt Nr. 1

Planungsphase : Vorplanung

	Datum	Zeichen
nachgeprüft :		
Reg. - Nr. :		

Vorhaben :

Universitätsmedizin Halle
Gebietsversorgungskonzept

Lageplan
Planung Theoretikum

Maßstab : 1 : 500

geprüft :

Halle (Saale), den .....

im Auftrag



Legende :

- Fläche neues Gebäude Theoretikum
- Fläche für PV/Technik
- Dachgarten
- Open Green
- Promenade B2
- Weinbergpark B2
- Grünfläche B2
- Gebäude Bestand B2
- Gebäude Erweiterung B2
- vorh. Befestigte Flächen

Nr.	Art der Änderung und Ergänzung	Datum	Name

Stork Plan & Control GmbH
Ludwigstraße 28
06110 Halle (Saale)
Tel 0345 / 96 39 07 10
Fax 0345 / 96 39 07 96
Mail info@stork-plan.de
Web www.stork-plan.de

bearbeitet	März 2025	Schneider
gezeichnet	März 2025	Gallrein
geprüft	März 2025	Stork
Datum		

Bauherr :

UMH UNIVERSITÄTSMEDIZIN HALLE — UKH Universitätsklinikum Halle (Saale)

Universitätsmedizin Halle
Universitätsklinikum Halle (Saale)
Ernst - Grube - Straße 40
06120 Halle (Saale)

Unterlage Nr. 4
Blatt Nr. 2

Planungsphase :
Vorplanung

	Datum	Zeichen
nachgeprüft :		
Reg. - Nr. :		

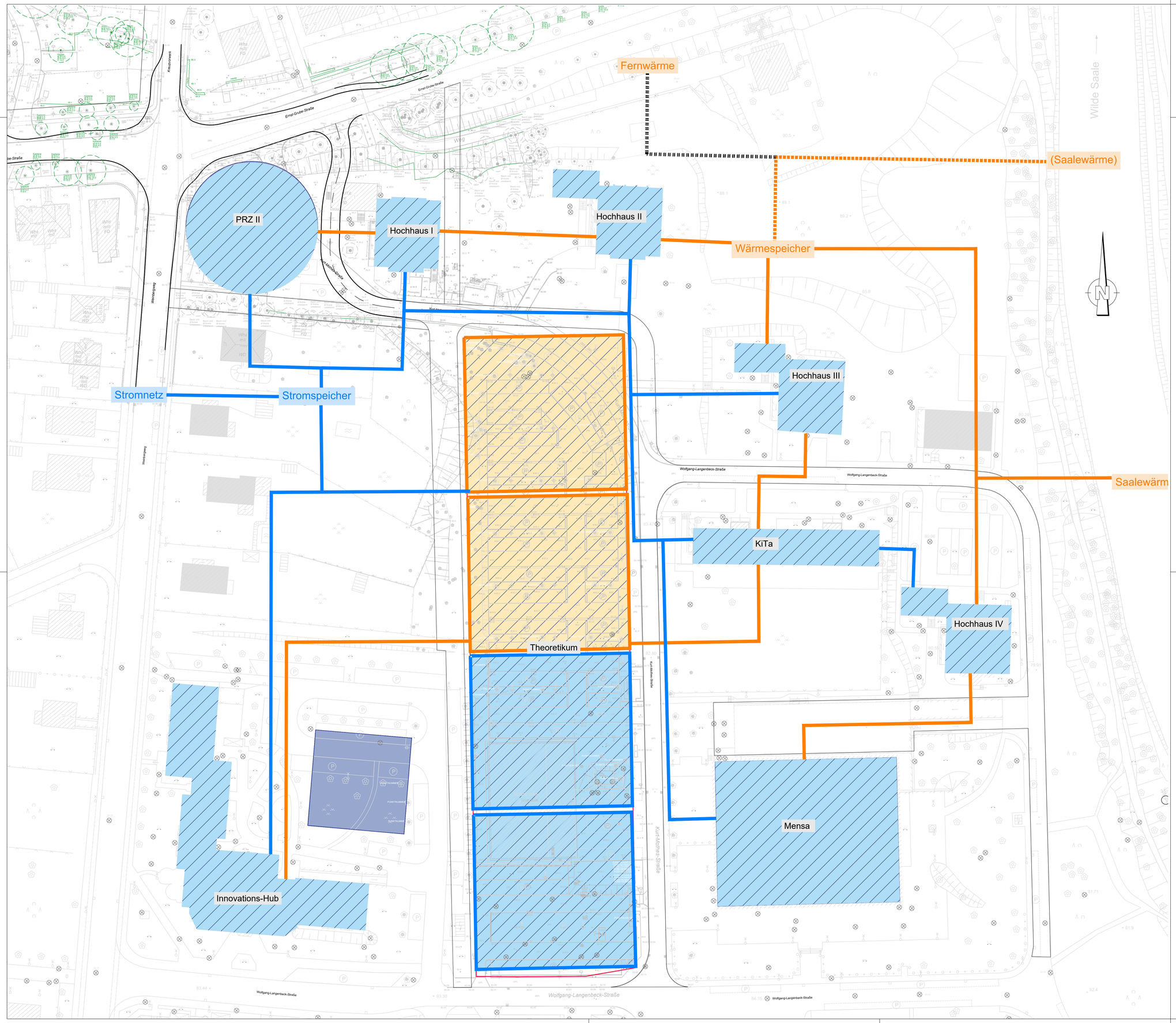
Vorhaben :
Universitätsmedizin Halle
Gebietsversorgungskonzept

Lageplan mit Erweiterung
Planung Theoretikum

Maßstab : 1 : 500

geprüft :
Halle (Saale), den .....

im Auftrag

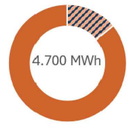


Legende :

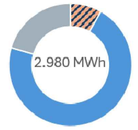
- Strombereitsstellung PV
- Wärmebereitsstellung PV-T
- Strom - Netz
- Wärme - Saalewärmepumpe

Gebäude	Leistung	Ertrag
PRZ II	227 kWpel	
Hochhaus I	223 kWpel	148 MWh
Hochhaus II	223 kWpel	148 MWh
Hochhaus III	223 kWpel	148 MWh
Hochhaus IV	223 kWpel	148 MWh
KiTa	132 kWpel	87 MWh
Mensa	924 kWpel	612 MWh
Innov. Hub	400 kWpel	265 MWh
Theoretikum	1.184 kWpel	785 MWh

Wärme Bereitstellung



Strom Bereitstellung



Nr.	Art der Änderung und Ergänzung	Datum	Name

Stork Plan & Control GmbH
Ludwigstraße 28
06110 Halle (Saale)
Tel 0345 / 96 39 07 10
Fax 0345 / 96 39 07 96
Mail info@stork-plan.de
Web www.stork-plan.de

bearbeitet	März 2025	Schneider
gezeichnet	März 2025	Gallrein
geprüft	März 2025	Stork
Datum		

Bauherr :

Universitätsmedizin Halle
Universitätsklinikum Halle (Saale)
Ernst - Grube - Straße 40
06120 Halle (Saale)

Unterlage Nr. 4
Blatt Nr. 3

Planungsphase : Vorplanung

	Datum	Zeichen
nachgeprüft :		
Reg. - Nr. :		

Vorhaben :
Universitätsmedizin Halle
Gebietsversorgungskonzept

Lageplan
Energiekonzept Weinbergcampus

Maßstab : 1 : 500

geprüft :
Halle (Saale), den .....
im Auftrag