

WIRTSCHAFTS UNIVERSITÄT
WIEN

WSGreenTechnologies

Modellsiedlung Schorndorf
Energieautark in der Stadt

20.12.2013

EXECUTIVE SUMMARY

Die Stadtverwaltung Schorndorf hat die Werner Sobek Group beauftragt, eine Studie zur Machbarkeit eines energieautarken Neubauquartiers durchzuführen. In dieser Studie werden zwei Energiekonzepte entwickelt, welche mittels Energie- und CO₂-Bilanzen miteinander und mit einer Standardvariante verglichen werden. Ziel ist es, eine geeignete Variante zu definieren, welche mit der Fertigstellung der Siedlung umgesetzt wird.

Randbedingungen:

- Areal des ehemaligen Baubetriebshofes steht mit 15.000m² zur Verfügung
- 150 Wohneinheiten sollen Platz für 300 Bewohner schaffen
- Gebäudehülle nach Passivhausstandard

Architektur:

- 2 Gebäuderiegel mit jeweils 5 Mehrfamilienhäusern, 4-geschossig
- 2 Punkthäuser mit jeweils 8 und 10 Geschossen



Energiekonzept:

- Nutzung passiver und solarer Gewinne durch Südausrichtung und große Fensterflächen
- Dämmstandard im Passivhausstandard

Anlagenkonzept:

Variante 1:

- Stromerzeugung durch eine Photovoltaik (PV) Anlage mit 60 % solarem Deckungsgrad, 200 kWp installierte Leistung
- Wärmeerzeugung durch Solarthermieanlage (ST) mit 40 % solarem Deckungsgrad, Abwasserwärmerückgewinnung und Wärmepumpe

Die Variante berücksichtigt zusätzlich den Anschluss an die öffentliche Energieversorgung. Variante 1 wird in a und b unterteilt und unterscheidet sich durch anteilige Reduktion der PV-Fläche sowie Netzversorgung.

Variante 2:

- Stromerzeugung durch PV Anlage mit 40 % Deckungsgrad
- Wärmeerzeugung durch Solarthermie
- Strom und Wärme werden zusätzlich durch ein BHKW generiert

Im Vergleich zur Variante 1, werden 20 % weniger PV und ST Fläche eingesetzt.
Beide Varianten werden mit konventioneller Gasbrennwerttechnik und Netzanschluss verglichen.

Primärenergiebilanz:

Variante	Anlage	Primärenergiebedarf [kWh/a]	Summe [kWh/a]
Standard	Netzanschluss	675,000	892,800
	Gasbrennwerttherme	217,800	
1 a	Photovoltaik	0	175,500
	Solarthermie	0	
	Wärmepumpe (inkl. Abwasser)	175,500	
1 b	Photovoltaik	0	325,500
	Netzanschluss	150,000	
	Solarthermie	0	
	Wärmepumpe (inkl. Abwasser)	175,500	
2	Photovoltaik	0	294,000
	Solarthermie	0	
	BHKW Strom	189,000	
	BHKW Wärme	105,000	

CO₂-Bilanz:

Variante	Anlage	CO ₂ -Emission [kg CO ₂ /a]	Summe CO ₂ [kg CO ₂ /a]
Standard	Netzanschluss	144,000	225,525
	Gasbrennwertterme	81,525	
1 a	Photovoltaik	0	142,162
	Solarthermie	0	
	Abwasser	19,137	
	Wärmepumpe	123,025	
1 b	Photovoltaik	0	547,162
	Netzanschluss	405,000	
	Solarthermie	0	
	Abwasser	19,137	
	Wärmepumpe	123,025	
2	Photovoltaik	0	294,000
	Solarthermie	0	
	BHKW Strom	105,000	
	BHKW Wärme	189,000	

Kosten über den Lebenszyklus (50 Jahre):

Variante	Herstellkosten	Barwert			pro m ² BGF
		Nutzungskosten	Erneuerung	Gesamt	
Standard	75,000 €	2,936,226 €	19,360 €	3,030,586 €	278 €
Variante 1a	1,087,500 €	1,000,077 €	514,075 €	2,601,652 €	239 €
Variante 1b	786,000 €	1,881,263 €	316,172 €	2,983,435 €	274 €
Variante 2	623,500 €	1,253,716 €	337,112 €	2,214,328 €	203 €

Ergebnisse:

- Bilanzierung der Standardvariante ergibt eine Heizlast von 414 kW [nach ENEC 2009]
- Optimierung der Gebäudehülle nach Passivhausstandard ergibt eine Heizlast von 246 kW
- Variante 1 a: geringste CO₂-Emission auf (höchste Speicherkapazität)
- Variante 1 b: hohe CO₂ Emission aufgrund Netzanschluss
- Variante 2: keine CO₂ Einsparung zur Standardvariante
- LCC: Variante 2 ist z. Zt. über 50 Jahre mit 203 Euro pro m² BGF die günstigste Variante
- Absolute Energieautarkie ist im ersten Schritt nicht möglich (Speicherproblematik). Eine nachträgliche Umstellung ist jedoch denkbar.

FIRMENPROFIL

WSGreenTechnologies steht für die Optimierung aller Faktoren, die einen Einfluss auf die sogenannte „building performance“ haben (z. B. Fassade, Raumkomfort und Anlagentechnik). Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf Nutzerkomfort und -gesundheit. Hierzu gehören der thermische, der akustische und der visuelle Komfort sowie Fragen der Biokompatibilität, also beispielsweise das Emissionsverhalten der verwendeten Baustoffe. Ziel des Unternehmens sind Gebäude und Stadtquartiere, die nicht nur höchsten Komfort für ihre Nutzer bieten, sondern die auch alle Anforderungen des Triple-Zero®-Konzepts erfüllen.

Die Arbeit von WSGreenTechnologies beruht auf einem holistischen Ansatz, der alle für eine umfassende Bewertung eines Gebäudes relevanten Phasen berücksichtigt, d. h. Planung, Bau, Betrieb und Rückbau. Faktoren wie Standort, Mikroklima, Tragwerk und verwendete Materialien werden ebenfalls analysiert und auf ihre Auswirkungen auf das Gesamtkonstrukt untersucht. Zu den hierbei verwendeten Planungsinstrumenten zählen Simulationen von thermischem Verhalten, Tageslicht, Strömungen, Bauteilen, Anlagen und Mikroklima. Zu den Leistungen des Unternehmens zählen selbstverständlich auch Beratung und Zertifizierung nach DGNB, LEED u.a.

Als Teil der Werner Sobek Gruppe kann WSGreenTechnologies darüber hinaus auf Leistungen und Kompetenzen der gesamten Gruppe in den Bereichen Design, Tragwerk und Fassadenplanung zurückgreifen. WSGreenTechnologies ist Gründungsmitglied der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen, stellte mit seinem Inhaber Prof. Werner Sobek von 2008 bis 2010 den Präsidenten der Gesellschaft und ist beteiligt an der Entwicklung des DGNB Zertifizierungssystems.

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINFÜHRUNG.....	9
1.1	Über diese Studie.....	9
1.1.1	Anlass des Vorhabens.....	9
1.1.2	Definition Energieautarkie.....	9
1.1.3	Arbeitschritte aus dem Forschungsantrag der Studie "Modellsiedlung Schorndorf - Energieautark in der Stadt?".....	10
1.1.4	Aufbau der Studie.....	10
1.2	Politische und wirtschaftliche Bedingungen.....	11
1.2.1	Energiepolitische Rahmenbedingungen.....	11
1.2.2	Förderungen durch den Bund.....	12
1.3	Nachhaltiges Bauen.....	13
1.3.1	Ökologische Qualität.....	13
1.3.2	Ökonomische Qualität.....	14
1.3.3	Soziokulturelle Qualität.....	14
1.4	Zielformulierung unter Einbeziehung der DGNB.....	15
1.4.1	Die Nutzungsvariante DGNB Stadtquartiere.....	15
1.4.2	DGNB Zertifizierung von „Modellsiedlung Schorndorf“.....	15
2	ANALYSE UND KLÄRUNG DER RANDBEDINGUNGEN.....	17
2.1	Klimatische Grundlagen.....	17
2.2	Standortanalyse.....	18
2.3	Verfügbare Energiequellen.....	20
2.3.1	Sonne.....	20
2.3.2	Wind.....	20
2.3.3	Wasser.....	21
2.3.4	Biogene Ressourcen.....	22
2.3.5	Geothermie.....	22
2.4	Vorhandene Energieinstallationen in der Stadt Schorndorf.....	22
2.4.1	Nahwärme Stadtwerke Schorndorf.....	22
2.4.2	Stromversorgung Stadtwerke Schorndorf.....	22
2.4.3	Weitere technische Anlagen in der Umgebung.....	23
3	POTENTIALANALYSE ARCHITEKTUR UND STÄDTEBAU.....	24
3.1	Sozialer Mix.....	24
3.2	Prüfung der Orientierung und Anordnung der Gebäude.....	28
3.3	Prüfung und Ermittlung der möglichen Bebauungsdichte und Kompaktheit.....	31
3.3.1	Kompaktheit und Gebäudetiefe.....	31
3.3.2	Bebauungsdichte.....	31
3.4	Verhältnis Gebäudehöhe zu Abständen von Gebäuden.....	32
3.5	Architektonische Grundlage für weitere Berechnungen.....	33
4	POTENZIALANALYSE ENERGIE UND GEBÄUDETECHNIK.....	36
4.1	Potenzial regenerativer Energiegewinnung.....	36
4.1.1	Solarenergie.....	37
4.1.2	Solarthermie.....	37

4.1.3	Photovoltaik	39
4.1.4	Kraft-Wärme-Kopplung.....	40
4.1.5	Wärmepumpe	42
4.1.6	Wärmerückgewinnung aus Abwasser	43
4.1.7	Weitere Potentiale.....	45
4.2	Energiespeicher	47
4.2.1	Stromspeicher	47
4.2.2	Stoffliche Energieträger für Elektrizität.....	48
4.2.3	Thermische Speicher	49
4.2.4	Zukunft Speichertechnologien.....	50
4.3	Zusammenfassung Potenziale.....	51
5	ENERGIEKONZEPT	52
5.1	Standardplanung und Optimierung der Gebäudehülle.....	54
5.1.1	Gebäudehülle der Standardvariante nach EnEV 2009	54
5.1.2	Optimierte Gebäudehülle nach Passivhausstandard	54
5.1.3	Technische Randbedingungen für die Bestimmung des Energiebedarfs	55
5.2	Variante 1	59
5.3	Variante 2	61
5.4	Energie- und CO2 Bilanz.....	62
5.5	Untersuchungen der technischen Anlagen in Bezug auf die Lebenszykluskosten.....	64
5.5.1	Energie- und Brennstoffbedarf.....	65
5.5.2	Investitionskosten	66
5.5.3	Auswertung der Lebenszykluskosten	67
6	E-MOBILITÄT	69
6.1	Status-Quo der Stadt Schorndorf	69
6.1.1	Vorhandene Car-Sharing Infrastruktur.....	69
6.1.2	Vorhandene E-Mobilitätsinfrastruktur.....	70
6.1.3	Eigenverbrauch E-Mobilität.....	70
6.2	Anreizschaffung zur Nutzung der E-Mobilität und Car-Sharing	70
6.2.1	Wahl des Verkehrsmittels	70
6.2.2	Besonderheiten in einer Mittelstadt Schorndorf.....	71
6.3	Technische Aspekte für E-Mobilität für die Modellsiedlung Schorndorf.....	73
6.3.1	Arten von Stellplätzen für E-Mobilität	73
6.3.2	Ladesystem mit Ladekabel.....	73
6.3.3	Induktive Ladesysteme	75
6.3.4	Bezahlsysteme für Carsharing mit E-Mobilität.....	75
6.3.5	Smart Grid /Last manangement	76
7	CONTROLLING UND KONZEPT ÖFFENTLICHKEITSARBEIT	78
7.1	Kontrollinstitution.....	78
7.1.1	Zertifizierung nach DGNB Stadtquartiere	78
8	AUSBLICK.....	79
9	MASSNAHMENKATALOGE	80
9.1	Zusammenstellung baulicher und technischer Einzelmaßnahmen.....	80
9.1.1	Verfügbare Energiequellen	80

9.1.2	Lösungsansätze zur Energiebedarfsminimierung durch architektonische Maßnahmen	80
9.1.3	Lösungsansätze zur Energiebedarfsminimierung.....	80
9.1.4	Lösungsansätze zur Energiespeicherung	81
9.1.5	Lösungsansätze zur E-Mobilität.....	81
9.1.6	Zusammenstellung der architektonischen und städtebaulichen Randbedingungen, die eine energieautarke Siedlung benötigt	82
9.2	Bewertung der Abhängigkeiten von Einzelmaßnahmen	82
9.2.1	Bewertung der Frage zum Zusammenhang zwischen Speichersystemen und wirtschaftlichen Aspekten in Bezug auf Energieautarkie	82
9.2.2	Bewertung der Möglichkeiten zur Energiespeicherung / saisonaler Speichersysteme	83
9.2.3	Bewertung der technischen Lösungen hinsichtlich des gesamten Lebenszyklus.....	83
9.2.4	Bewertung der Machbarkeit der Energieautarkie	83
9.2.5	Bewertung der Infrastruktur für E-Mobilität.....	84
9.2.6	Bewertung der Eigenstromversorgung hinsichtlich der Mobilität	85
9.3	Zusammenfassende Empfehlungen	85
9.3.1	Empfehlungen zu Städtebau und Architektur.....	85
9.3.2	Empfehlungen zur Integration von Grünflächen.....	85
9.3.3	Empfehlungen zu technischen Lösungen hinsichtlich des gesamten Lebenszyklus.....	86
9.3.4	Empfehlung für die Einbindung der E-Mobilität	86
9.3.5	Empfehlung zur weiteren Vorgehensweise bezüglich der Nachhaltigkeitszertifizierung..	87
9.3.6	Empfehlung zur Reduktion des CO ₂ Ausstoßes	87

1 EINFÜHRUNG

1.1 Über diese Studie

1.1.1 Anlass des Vorhabens

Der Rems-Murr-Kreis des Bundeslandes Baden-Württemberg hat sich mit einem integriertem Klimaschutzkonzept zum Ziel gesetzt, aktiv an der Klimaschutzpolitik den Wärme- und Strombedarf bis zum Jahre 2050 um 30 % zu senken. Das von der Mehrheit des Kreistages initiierte Konzept wurde am 19.11.2007 der breiten Öffentlichkeit so wie den Städten, Gemeinden und dem Umwelt- und Verkehrsausschuss vorgestellt. Diese langfristig angelegte Klimaschutzarbeit wird in einem regelmäßig aktualisierten Maßnahmenkatalog zusammengefasst und unterstützt somit die Verankerung des Klimaschutzes in der lokalen Wirtschaft und Gesellschaft.¹

Dem Rems-Murr-Kreis zugehörig ist u. a. die große Kreisstadt Schorndorf. Mit 40.000 Einwohnern liegt Schorndorf 30 km östlich von Stuttgart und ist Mittelzentrum für umliegende Gemeinden.² Im Rahmen eines Klimaschutzteilprojekts wird für die Stadtverwaltung Schorndorf in dieser Studie die Umsetzbarkeit eines vollständig energieautarken Wohnquartiers geprüft. Dieses Wohnquartier soll mit einem hohen ökologischen, sozialen und städtebaulichen Anspruch geplant und gebaut werden. Dazu ist eine Verlagerung des örtlichen Baubetriebshofes bis zum Jahr 2015 vorgesehen, um das 15.000 m² große Areal zu erschließen. Unter dem Aspekt, „Energieautark in der Stadt“ wird durch die Werner Sobek Group ein dezentrales und lokales Energiekonzept erstellt, welches die Modellsiedlung als zukünftige Vision, ganzjährig autark versorgt und darüber hinaus eine Energieversorgung für alternative Mobilitätslösungen bereithält.

Mit dieser Studie soll die Machbarkeit der energetischen Autarkie der Modellsiedlung in der Bilanz unter ökologischen, sozialen, wirtschaftlichen und städtebaulichen Ansprüchen analysiert werden. Dabei spielt nicht nur der Einsatz erneuerbarer Energien, Energieeffizienzkonzepte sowie Energiespeichermethoden eine Rolle. Vielmehr geht es um ein Gesamtkonzept, welches sowohl die Integration unterschiedlicher Bevölkerungsschichten berücksichtigt, aber auch den wirtschaftlichen und städtebaulichen Anspruch der Stadtverwaltung Schorndorf gerecht wird. Anhand dieser Ansprüche sollen, die aus der Untersuchung hervorgehenden Ergebnisse in einem Maßnahmenkatalog dargestellt werden.

1.1.2 Definition Energieautarkie

In erster Linie umfasst Energieautarkie, die vollständige Deckung des Bedarfs von thermischer und elektrischer Energie in der Siedlung mittels erneuerbarer Energien.

Die Stadt Schorndorf strebt bei dieser Studie nach einer weitestgehend Unabhängigkeit der Energieversorgung vom Import fossiler Brennstoffe. Dabei soll die optimale Nutzung lokaler Ressourcen und regenerativen Energien im Vordergrund stehen.

¹ Maßnahmenkatalog Klimaschutz 2012 Rems-Murr-Kreis

² www.Schorndorf.de

1.1.3 Arbeitsschritte aus dem Forschungsantrag der Studie "Modellsiedlung Schorndorf - Energieautark in der Stadt?"

Die Frage ob eine Energieautarke Siedlung möglich ist, wird mit dem Werkzeug Primärenergiebilanz und CO₂-Bilanz bewertet. Die Arbeitsschritte verdeutlichen diesen Prozess und sind nicht chronologisch sondern inhaltlich zu sehen und greifen während des Bearbeitungsprozesses immer wieder ineinander.

Schritt 1 beinhaltet die Erstellung einer CO₂- und Energiebilanz einer Standardplanung. Die energetische Bilanzierung der Standardplanung ist eng mit Schritt 2 verknüpft und wird im Abschnitt Energiebilanz im Anschluss der Potenzialanalyse aufgeführt.

Schritt 2 sieht eine Potenzialanalyse vor. Diese beinhaltet folgende Punkte:

- Teilbereich IST-ZUSTAND (Klima, Standortanalyse, verfügbare Energiequellen, Ist-Zustand)
- Teilbereich Architektur und Städtebau (konstruktive Maßnahmen, Bebauungsdichte, Gebäudeausrichtung, Maßnahmen für Energieautarkie)
- Teilbereich Energiekonzept (Varianten)
- Teilbereich E-Mobilität

Hieraus werden die aus der Potenzialanalyse hervorgehenden Varianten der Energiekonzeption definiert. Diese Varianten werden energetisch bilanziert und mit der Standardvariante verglichen. Ziel ist es anhand dieser Schritte einen Maßnahmenkatalog zu erstellen. Dieser Maßnahmenkatalog soll Hinweise für weitere Vorgehensweisen zur Umsetzung der Modellsiedlung liefern und eine ganzheitliche und lebenszyklusorientierte Betrachtung darlegen.

Begleitend werden Maßnahmen zur Optimierung des Planungsprozesses erarbeitet. Diese beinhalten eine Zusammenstellung von relevanten Akteuren und Kontrollmaßnahmen zur Überprüfung der Planung im Sinne der Nachhaltigkeit.

1.1.4 Aufbau der Studie

Diese Arbeitsschritte werden in inhaltlichen Paketen zusammengefasst und sind wie folgt im Bereich untersucht worden:

- Klärung der Randbedingungen
- Potentialanalyse Architektur und Städtebau
- Potentialanalyse Energie und Gebäudetechnik
- Energiekonzept und Variantenvergleich
- Potentialanalyse Elektromobilität
- Akteursbeteiligung
- Controlling und Konzept zur Öffentlichkeitsarbeit
- Maßnahmenkataloge

Inhaltlich wird dabei in folgender Reihenfolge vorgegangen:

- Reduktion des Energiebedarfs durch ein optimiertes städtebauliches Konzept und Optimierung der Gebäudehülle
- Deckung des Energiebedarfs durch ein optimiertes Energiekonzept
- Ein Energiemanagement zur optimierten Nutzung der Energie und Versorgung der Elektromobilität

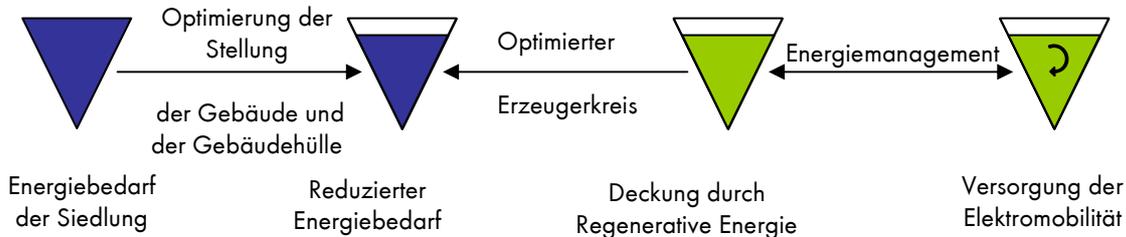


Abbildung 1: Schritte zur Energieautarken Siedlung (Quelle: Eigene Darstellung)

1.2 Politische und wirtschaftliche Bedingungen

1.2.1 Energiepolitische Rahmenbedingungen

Die Herausforderung für Deutschland ist es, dem Klimawandel entgegenzuwirken. Die Voraussetzung, langfristig auf dem Energiemarkt und in der Industrie wettbewerbsfähig zu bleiben, ist die langfristige Minimierung des derzeitigen Energieverbrauchs, der 80 % der gesamten Treibhausgasemission ausmacht.³ Die Lösung ist ein energieeffizientes und ökologisches Energiekonzept. In diesem ist festgehalten, dass Deutschland die Emission bis 2020 um 40%, bis 2030 um 55 %, bis 2040 um 70% und bis 2050 um 80 % gegenüber 2009 reduzieren will. Dazu gibt es in der Bundesrepublik Deutschland gesetzlich verankerte Rahmenbedingungen, die die Förderungen erneuerbarer Energien festhalten, um ein nachhaltiges Energiesystem bzw. Klimaschutzkonzept umzusetzen.⁴ Um die Entwicklung erneuerbarer Energien stetig voranzutreiben, werden die Sektoren Strom- und Wärmeerzeugung, Mobilität, Steigerung der Energieeffizienz, Ausbau der Strominfrastruktur sowie Schaffung von intelligenten Stromnetzen und Energiespeicherkonzepten bzw. -kapazitäten in dem Klimaschutzkonzept rechtlich verankert.

³ http://www.bundesregierung.de/Content/DE/_Anlagen/2012/02/energiekonzept-final.pdf?__blob=publicationFile&v=5

⁴ <http://www.vdi.de/studium/infos/vdi-und-asme-zeigen-weg-zu-100-nachhaltigkeit/rechtliche-rahmenbedingungen-des-energiekonzeptes/>

Gemäß dem Wärmegesetz sind für neue Gebäude, die größer als 50 m² sind, folgende Nutzungsbedingungen einzuhalten. Im § 5 des EEWärmeG ist der Anteil erneuerbaren Energien zur Wärmegewinnung festgeschrieben.

- Nutzung von 15 % Solarenergie
- 30 % gasförmiger Biomasse
- 50 % feste oder flüssige Biomasse
- 50 % Geothermie

§ 7 Sind diese Maßnahmen nicht umsetzbar, so besteht die Möglichkeit, 50 % des Wärmebedarfs mit folgenden Technologien abzudecken:

- Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)
- Nutzung von Abwärme
- Energieeinsparmaßnahmen (15% über ENEC)
- Nah- oder Fernwärmeversorgung aus 50% erneuerbaren Energien, KWK oder Abwärme[§]

1.2.2 Förderungen durch den Bund

Das Projekt „Energieautark in der Stadt“ wird derzeit vom Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit sowie dem Forschungszentrum Jülich gefördert. Das Forschungszentrum Jülich ist eines der größten interdisziplinären Forschungszentren Europas für die Felder Gesundheit, Energie- und Umwelt sowie Informationstechnologie. Weiterhin setzt der Projektträger Jülich Förderprogramme im Auftrag der Öffentlichkeit um. Das BMU ist zentral für die Umweltpolitik des Bundes verantwortlich. Dessen Aufgabenbereich umfasst u.a. Umweltrecht, Gesundheit und Umwelt sowie die Sicherheit kerntechnische Einrichtungen und Chemikalien.

1.2.2.1 Förderung durch das BAFA

Weiterhin bietet das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) folgende Förderungen zur regenerativen Energieerzeugung an:

Solarthermie:

- Erstinstallation mit mehr als 40 m² Bruttokollektorfläche: für die ersten 40 m² 80 Euro , darüber hinaus je angefangenen Quadratmeter 45 Euro
- Gefördert werden große Solarthermieanlagen bis 100 m² (3.600-18.000 Euro) bzw. bis 1.000 m² (bis zu 50 % der Investitionskosten)

Wärmepumpen:

- Wasser/Wasser- und Sole/Wasser-Wärmepumpen: 2.800 Euro pauschal bei Anlagen bis 10 kW. Darüber hinaus wird jede weitere kW mit 120 Euro (bei Anlagen bis 20 kW) bzw. mit 100 Euro (bei Anlagen bis 100 kW) gefördert

[§] EEWärmeG

1.2.2.2 Förderung durch die Kreditanstalt für den Wiederaufbau (KfW Bank)

Die KfW Bank bietet auch Förderprogramme (Kredite) bei dem Einsatz regenerativer Energien an.

- Tilgungszuschüsse für große Solarkollektoranlagen im KfW-Teil (ab 40 m²) betragen bis zu 50 % der Investitionskosten (gilt für Prozesswärme oder solare Kälte)
- Große Wärmepumpen ab 100 kW Leistung sind nun auch im Neubau förderfähig.⁶

1.3 Nachhaltiges Bauen

Nachhaltigkeit ist ein heute beinahe inflationär verwendeter, jedoch nicht geschützter und je nach Kontext nicht eindeutiger Begriff. In der vorwiegenden Definition bezieht sich die Nachhaltigkeit auf die Kontinuität der ökonomischen, sozialen, institutionellen und umweltrelevanten Aspekte sowohl der menschlichen Gesellschaft als auch der Umwelt.

Im Bereich der gebauten Umwelt bedeutet dies, dass wirklich nachhaltige Gebäude nicht nur „grün“ und umweltfreundlich sind, sondern auch die sozialen und funktionalen Interessen von Nutzern und Eigentümern befriedigen und dabei ökonomisch sinnvoll sind.

Die Qualitätsmerkmale des nachhaltigen Bauens gliedern sich wie folgt:

Die ökologische Qualität, die den Schutz der natürlichen Ressourcen und des Ökosystem umfasst.

Die ökonomische Qualität, die den Erhalt des Kapitals durch Minimierung der Lebenszykluskosten und die Verbesserung der Wirtschaftlichkeit vorsieht.

Die soziokulturelle Qualität, welche die Gewährleistung der Gesundheit und des Wohlbefindens und die Sicherung der gestalterischen und städtebaulichen Qualität betrachtet.

Erreicht werden können diese Ziele nur durch eine frühe Berücksichtigung während der Planungsphase in den Bereichen der technischen Qualität, der Qualität des Planung- und Bauprozesses und der Standortqualität.

1.3.1 Ökologische Qualität

Die Ressourcenschonung durch optimierte Verwendung von Baumaterialien und Minimierung des Energieverbrauchs durch die Einsparung von Energieträgern definieren die ökologische Qualität. Damit wird eine Reduktion der Umweltbelastungen erreicht (CO₂, Versauerungspotenzial usw.). Im Folgenden sind einige Indikatoren aufgelistet, die die ökologische Qualität beschreiben:

- Ressourcenmanagement (Wasser, Erdmasse...)
- Flächeninanspruchnahme
- Baumaterialien
- Mikroklima
- Primärenergieaufwand (erneuerbar /nicht erneuerbar),
- Treibhauspotenzial (GWP)
- Ozonzerstörungspotenzial (ODP)

⁶ http://www.energie-zentrum.com/pdf/foerderbroschuere_wohngebaeude_04-2012.pdf

- Versauerungspotenzial (AP)
- Überdüngungspotenzial (EP)
- Ozonbildungspotenzial (POCP)

1.3.2 Ökonomische Qualität

Die ökonomische Dimension der Nachhaltigkeit betrachtet die Baukosten, nicht nur in der Anschaffungs- und Errichtungsphase, sondern über die gesamte Nutzungs- bzw. Lebensdauer. In einer Lebenszykluskostenanalyse (LCC) werden folgende Kosten betrachtet:

- **Errichtungskosten:**

Erschließungs- und Planungskosten, Bauüberwachungs- und Dokumentationskosten, Maklerkosten, Notarkosten, Versicherungskosten während der Bauzeit

- **Nutzungskosten:**

Verbrauch von Heizwärme, Warmwasser, Beleuchtung (Strom), Wasser, Abwasser, sowie gebäudespezifische Aufwendungen wie Reinigung, Wartung und Instandhaltung, Ersatzinvestitionen und Modernisierung.

1.3.3 Soziokulturelle Qualität

Die soziokulturelle Qualität beschreibt Aspekte des Gesundheitsschutzes, der Behaglichkeit und der Funktionalität. Weiterhin gehören zu der soziokulturellen Qualität auch Fragen der Ästhetik und Gestaltung. Bereits in der Planungsphase lassen sich durch Optimierung des Gebäudeentwurfs, der Materialauswahl und Anlagentechnik folgende Aspekte der Nachhaltigkeit erreichen:

- **Gesundheit und Behaglichkeit**

- Behaglichkeit im Außenraum
- thermische Behaglichkeit (Raumtemperatur, Raumluftheuchte)
- hygienische Behaglichkeit (Raumlufqualität, Luftbewegung)
- akustische Behaglichkeit (Bauakustik, Lärmimmissionen)
- optische und visuelle Behaglichkeit (Beleuchtung, Belichtung).

- **Gestaltung, Ästhetik**

- architektonische und städtebauliche Qualitäten (Gestaltung, Raumgeometrie, Materialität, Farbgebung)
- Nutzerzufriedenheit und gesellschaftliche Akzeptanz.

1.4 Zielformulierung unter Einbeziehung der DGNB

1.4.1 Die Nutzungsvariante DGNB Stadtquartiere

Vor dem Hintergrund einer fehlenden, allgemeingültigen und gleichzeitig quantifizierbaren Definition des Begriffs „Nachhaltigkeit“ wurden in den letzten zwei Jahrzehnten vielfältige Zertifizierungssysteme ins Leben gerufen. Die Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V. (DGNB) wurde im Juni 2007 offiziell gegründet und konzentriert sich zur Erreichung von Zielen u.a. auf den Ausbau des Umwelt- und Gesundheitsschutzes sowie auf die Förderung soziokultureller Qualitäten im Baubereich.

Im Mittelpunkt ihrer Arbeit steht dabei die Entwicklung und Vergabe eines Gütezeichens für nachhaltiges Bauen – das „Deutsche Gütesiegel Nachhaltiges Bauen“.

Es wurden verschiedene Nutzungsvarianten entwickelt. Darunter auch die Nutzungsvariante „Neubau Stadtquartiere“, welches eine Unterstützung bei der Planung und durch das Zertifikat die „Güte“ des Projektes transparent darstellt.

Da die Entwicklung von Stadtquartieren sich über einen langen Zeitraum erstreckt, wird ein mehrstufiges Zertifikat eingeführt: Phase 1 „Planung“ auf der Ebene eines städtebaulichen Entwurfs, Phase 2 „Planung/Erschließung“ bei der Ausführung von mindestens 25% der Erschließungen und Phase 3 „Quartier“ bei einem zumistest 75% fertig gestellten Quartier.

Die Bewertung der Kriterien in der Variante Stadtquartiere orientiert sich an der Systematik der Gebäudeprofile, also die Bewertung der ökologischen Aspekte (Gewichtung 22,5%), ökonomischen Aspekte (22,5%), soziokulturellen und funktionalen Aspekte (22,5%), technischen Aspekte (22,5%) und prozessbezogenen Aspekte (10%). Die bei den Gebäudeprofilen separat ausgewiesene Standortqualität ist hier in den Kriterien integriert und somit beeinflusst die Lage die Gesamtbewertung des Stadtquartiers wesentlich.

1.4.2 DGNB Zertifizierung von „Modellsiedlung Schorndorf“

In dieser frühen Phase des Projektes kommt es darauf an, Grundsteine für energieeffizientes Bauen und die spätere Nachhaltigkeit des Projektes zu legen. Auf diese Weise kann die Verfolgung des DGNB Zertifizierungsprozesses zu einer ganzheitlichen Optimierung zuerst des gesamten Quartier und in dessen Folge der einzelnen Gebäude führen. Auf die Nachhaltigkeitsziele der DGNB (Schonung der Umwelt und Ressourcen sowie die Stärkung des Komforts und Wohlbefinden der Nutzer als auch die Minimierung der Kosten über den Lebenszyklus)⁷, wird der Maßnahmenkatalog, der sich am Ende der Studie ergibt, zurückgreifen und die entsprechende DGNB-Kriterien werden auf die Modellsiedlung projiziert.

Wie bereits erwähnt, ist energiesparendes Bauen allein kein Synonym von nachhaltigem Bauen, da Energieeffizienz nur ein Teilaspekt der Nachhaltigkeit ist. Besonders in einer nachhaltigen städtebaulichen Entwicklung, wie sie für Schorndorf vorgesehen ist, ist die soziale Nachhaltigkeit wesentlich, denn letztlich sollen der Mensch und seine Bedürfnisse im Mittelpunkt des Bauens stehen.

⁷ DGNB Nutzungsvariante Neubau Stadtquartiere 2012, Kriterienkatalog

Die vorhandenen DGNB Kriterien beziehen sich, wie oben dargestellt, auf spätere Planungsphasen. Jedoch wurde bei der Erstellung dieser Studie bereits ebenfalls auf Inhalte einiger Kriterien – welche zu diesem Zeitpunkt sinnvoll sind – zurückgegriffen.

- **Ökologische Qualität:** Dabei spielt die Ökobilanzierung eine wesentliche Rolle. Die CO₂-Bilanz und die Primärenergiebilanz sind wichtige Bestandteile einer Ökobilanz und stellen die Wirkungen auf die Umwelt, die Energieeffizienz der Bebauungsstruktur, die Ressourceninanspruchnahme und Abfallaufkommen dar.
- **Ökonomische Qualität:** Die Betrachtung der Energieeinsparungen in Zusammenhang mit der Wirtschaftlichkeit der vorgeschlagenen technischen Lösungen fließt in der Bewertung der ökonomischen Qualität ein.
- **Technische Qualität:** Die Betrachtung der E-Mobilität ist ein Bestandteil der Technischen Qualität – Verkehr und Mobilität.
- **Soziokulturelle Qualität:** Die Visionen, die von den Architekten als Basis des städtebaulichen Entwurfs analysiert wurden, führen zu der Entwicklung einer starken städtischen Identität der Siedlung und deren bebauten und freien Fläche, die Bestandteil der Bewertung der gestalterischen Qualität ist.
- **Prozessqualität:** Die Mitwirkung bei der Akteursbeteiligung wird im Rahmen der Prozessqualität positiv bewertet.

Die oben genannten Kriterien, die in einer so frühen Phase betrachtet werden, würden bei einer späteren Gesamtbeurteilung einen Anteil von 24,1 % ausmachen.

Die DGNB Kriterien können bereits sehr früh als Entscheidungsgrundlage für Maßnahmen für die spätere städtebauliche Ausarbeitung, die diese Studie bereitstellen soll, herangezogen werden. Dazu wird die Einbeziehung der DGNB-Vorgehensweise zu einer Optimierung des Planungsprozesses führen und somit werden alle Faktoren, die eine nachhaltige Siedlung charakterisieren, frühzeitig berücksichtigt. Eine spätere Zertifizierung nach DGNB kann somit bereits auf gute Rahmenbedingungen zurückgreifen. Zusätzlich bietet eine Zertifizierung eine gute Vermarktbarkeit und Vergleichbarkeit zu anderen städtebaulichen Projekten.

Die Entscheidung, in der frühen Planungsphase die DGNB Zertifizierung zu verfolgen, ist nicht nur Voraussetzung für eine hohe Zertifikatsbewertung. Vielmehr bedeutet dies, dass Nachhaltigkeit von Anfang an Bestandteil des Konzepts und Planungsgrundlage für den Entwurf sein wird. Eine integrale Planung und die Zusammenarbeit verschiedener Fachplaner ist ein wichtiges Kriterium für nachhaltiges Bauen und sichert die Qualität der Planungsergebnisse.

2 ANALYSE UND KLÄRUNG DER RANDBEDINGUNGEN

2.1 Klimatische Grundlagen

Untersucht wurde das Klima für Schorndorf in Deutschland. Die zugrunde gelegten Daten sind von drei METEONORM Stationen interpolierte Werte, sowie Winddaten der NASA.⁸

Tabelle 1: Zusammenfassung Klima Schorndorf (Quelle: Meteonorm und NASA)

Monat	Temperatur	Rel. Luftfeuchte	Direkt-normalstrahlung	Globalstrahlung horizontal	Direktstrahlung horizontal	Diffusstrahlung horizontal	Bewölkungsgrad	Niederschlag	HGT	KGT
Januar	1.9	83.3	49.3	28.3	13.4	15.0	6	44.7	406.3	0.0
Februar	3.0	79.7	47.9	46.4	17.5	28.9	6	42.8	336.0	0.0
März	6.8	72.8	69.5	80.3	30.9	49.5	6	57.6	254.8	0.0
April	10.8	66.4	91.1	116.0	49.5	66.4	6	50.5	133.6	0.0
Mai	15.6	67.4	127.1	151.6	77.8	73.8	5	75.7	36.3	2.0
Juni	18.7	66.3	129.7	152.5	80.0	72.5	5	72.8	6.2	20.7
Juli	20.2	65.6	128.5	163.6	78.0	85.6	5	77.8	0.4	26.2
August	20.0	68.8	116.1	143.7	66.9	76.8	5	64.7	0.1	21.8
September	15.6	75.3	89.3	96.5	46.3	50.2	6	61.8	26.7	0.7
Oktober	11.0	82.1	60.6	58.0	24.1	34.0	6	67.5	128.0	0.0
November	5.3	86.9	38.4	31.7	11.0	20.7	6	61.4	290.0	0.0
Dezember	2.5	85.0	30.3	21.6	7.3	14.3	7	48.0	386.8	0.0
Jährlich	11.0	74.9	977.7	1090.4	502.6	587.8	6	725.3	2005.2	71.3
in	°C	%	kWh/(m ²)	kWh/(m ²)	kWh/(m ²)	kWh/(m ²)	8/8	mm	Gradtage	Gradtage

Die Temperaturen im Raum Schorndorf können im Sommer bis auf fast 25 °C im Mittel ansteigen. Dabei ist, gemessen an den mittleren Temperaturen, der heißeste Monat der Juli (Mittelwert 20 °C). Das in der Messperiode erreichte Maximum liegt bei ca. 33 °C.

Während des Winters können die Temperaturen bis auf durchschnittlich minimal -11,3 °C fallen. Dabei ist der Januar der kälteste Monat mit einer Durchschnittstemperatur von nur 1,9 °C. Im Durchschnitt betragen die Minimaltemperaturen -8,25 °C im Januar.

Die Jahresmitteltemperatur für den Raum Schorndorf beträgt 11 °C.

Die mittlere jährliche Luftfeuchtigkeit liegt bei ca. 75 %. Die niedrigste monatliche Luftfeuchte ist mit jeweils 66 % im Juli zu finden und die höchste liegt mit 87 % im November. Insgesamt ist die Luftfeuchte für den Standort Schorndorf über das Jahr recht gleichmäßig verteilt, mit einem leichten Maximum im Winter.

Die Direktstrahlung sowie die Diffusstrahlung werden auf der Horizontalen gemessen. Direktstrahlung tritt in direktem Sonnenlicht auf und beträgt im Jahr 502 kWh/m². Die Diffusstrahlung wird im Schatten

⁸ Im Anhang befindet sich die genaue Auswertung, Sonnenstandsdiagramm

gemessen und liegt jährlich bei 587 kWh/m. Die Globalstrahlung ist die Summe aus Direktstrahlung und Diffusstrahlung. Sie beträgt für den Standort 1.090 kWh/m².

Die Direktnormalstrahlung für Schorndorf für das ganze Jahr summiert beträgt 977 kWh/m². Bei der Messung der Direktnormalstrahlung wird das Messgerät dem Sonnenstand nachgeführt, sodass die Einstrahlung stets im rechten Winkel auf die Messfläche trifft.

Der Bewölkungsgrad für den Raum Schorndorf ist über das ganze Jahr stets relativ hoch (5/8 bis 6/8) und ohne klar erkennbares Maximum oder Minimum.

Der Raum Schorndorf hat über das ganze Jahr hinweg ein humides Klima. Der jährliche Niederschlag liegt bei 725 mm, wobei es im Sommer im Durchschnitt (über 70 mm) den meisten Niederschlag im Vergleich zum restlichen Jahr gibt.

Heiz- oder Kühlgradtage sind ein Maß dafür, wie stark (in Grad), und für wie lange (in Tagen), die Außenlufttemperatur ein bestimmtes Temperaturniveau (zum Kühlen oder zum Heizen) entweder über- oder unterschreitet. Die Gradtage werden üblicherweise in Berechnungen in Bezug auf den Energieverbrauch für Heizung und Kühlung von Gebäuden verwendet.

Am Standort überwiegen die Tage an denen, je nach Gebäude und Grenztemperatur (Heizen ab 15 °C, Kühlen ab 21 °C), ein Heizbedarf besteht deutlich den Tagen mit Kühlbedarf in Anzahl und Ausprägung. So liegt das Verhältnis von Heizgradtagen zu Kühlgradtagen 2005 zu 71.

2.2 Standortanalyse

Das Gelände des ehemaligen Baubetriebshofs befindet sich im Nordwesten des Stadtzentrums. Begrenzt wird das Areal im Nordwesten durch den Fluss Rems, im Südosten und Nordosten durch bauliche und pflanzliche Begrenzungen. Der Bebauungsplan des Otter- und Vettergesäss, Planbereich 02/16 vom 24.01.1997, beschreibt den Großteil der Umgebung als „eingeschränktes Gewerbegebiet“, der Südwesten ist als „Mischgebiet“ dargestellt. Das eingeschränkte Gewerbegebiet ist mit einer Höchstgrenze von 3 Vollgeschossen, begrenzt durch eine Grundflächenzahl von 0,8 und einer Geschossflächenzahl von 20, als „abweichende Bauweise“ beschrieben. Das Mischgebiet ist mit einer Höchstgrenze von drei Vollgeschossen, einer Grundflächenzahl von 0,4 und einer Geschossflächenzahl von 1, ebenfalls als „abweichende Bauweise“ ausgewiesen. Im Rahmen einer dichten Entwicklung des Planungsgebiet muss daher der Bebauungsplan angepasst werden.

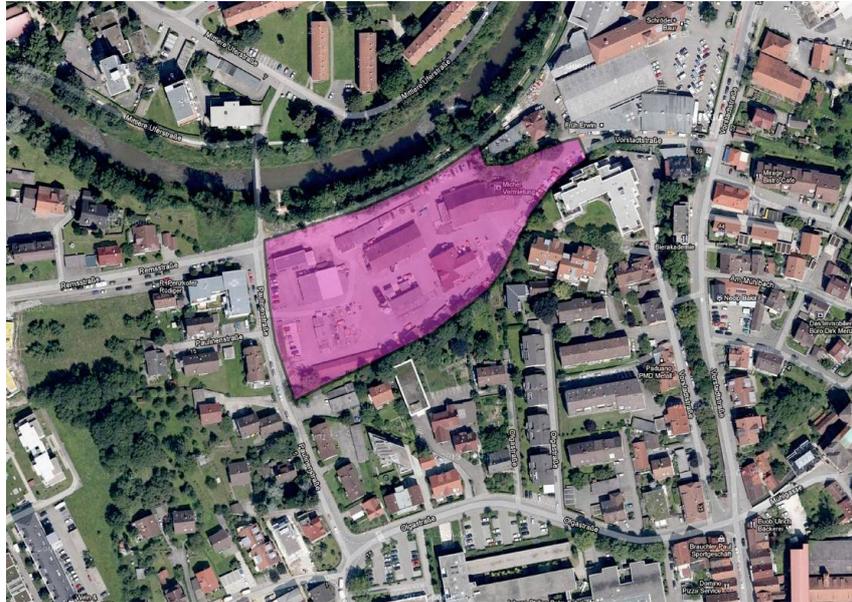


Abbildung 2: Lageplan ehemaliger Baubetriebshof (Quelle: Stadt Schorndorf)



Abbildung 3: Luftbild mit Kennzeichnung weiterer Bauprojekte (Quelle: Stadt Schorndorf)

Neben dem Bauprojekt „Energieautark in der Stadt“ sind in nächster Zeit zwei weitere Bauprojekte geplant. Blau ist die Kennzeichnung des Kreisberufsschulzentrums mit einer Gebäudefläche von 12.500 m², welches energetisch saniert werden wird. Grün ist die ehemalige Lederfabrik Breuninger, welche zu einem Gelände mit Wohn- (4.700 m²) und Handelsflächen (4.000 m²) umgebaut wird. Mögliche Synergien der Planungsgebiete im Bezug auf Energieeffizienz und Nachhaltigkeit sollen zukünftig untersucht werden.

2.3 Verfügbare Energiequellen

2.3.1 Sonne

Wie bereits in der Klimaanalyse dargestellt, fällt in Schorndorf eine Globalstrahlung von 1090 kWh/m²*a (Direktstrahlung horizontal 503 kWh/m²*a und Diffusstrahlung horizontal 588 kWh/m²*a) an. Diese Energie kann mit Photovoltaiksystemen mit einem Wirkungsgrad von ca. 13 % in elektrischen Strom oder mit Solarthermiesystemen mit einem Wirkungsgrad von ca. 80 % in thermische Energie umgewandelt werden. Diese Energiequelle stellt das größte Potential dar.

2.3.2 Wind

Für die Wirtschaftlichkeit einer Windkraftanlage ist der nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) definierte Referenzertrag von 60 % ausschlaggebend. Das Planungs- und das Stadtgebiet ist, wie in der nachfolgenden Karte erkennbar, dabei ausgeschlossen.

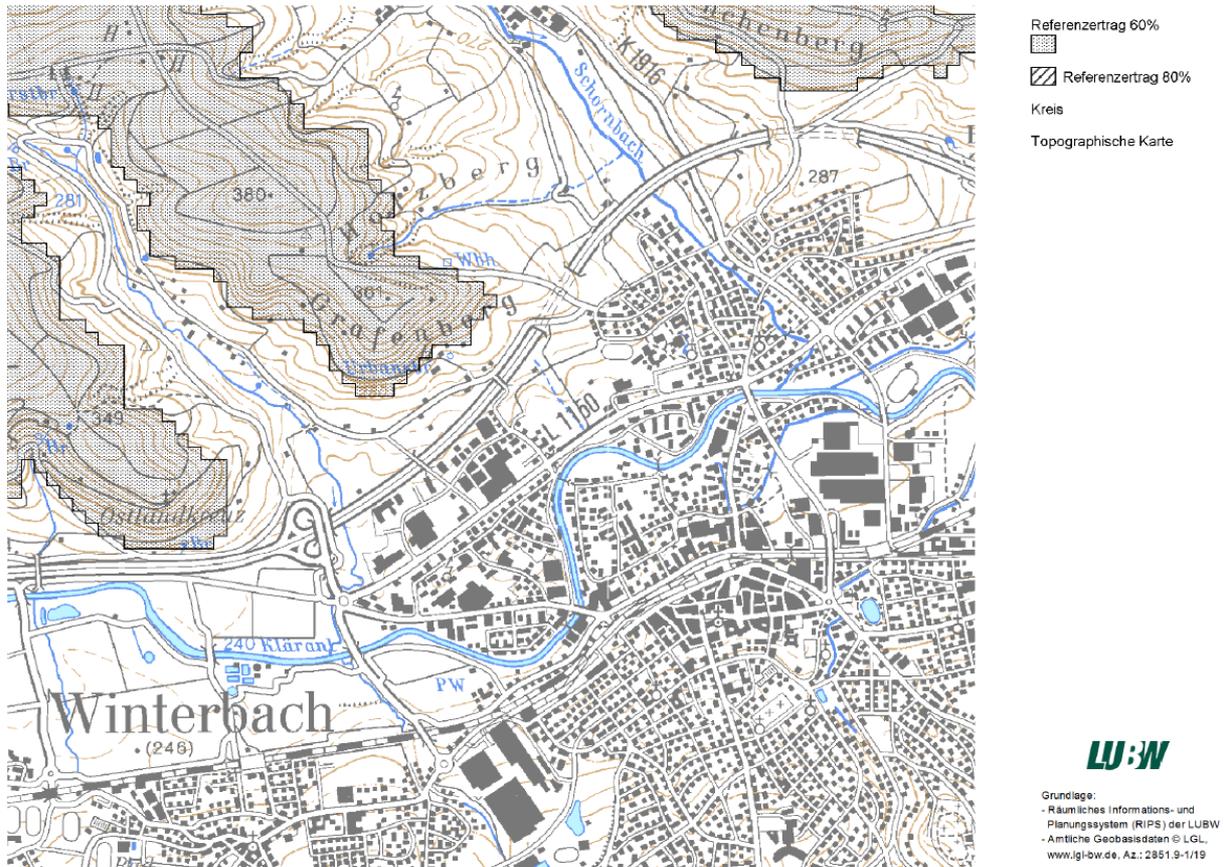


Abbildung 4: Windenergie Referenzwert 60 % (Quelle: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg www.lgl-bw.de)

2.3.3 Wasser

Das Areal liegt zwar in direkter Nachbarschaft zum Fluss Rems, an dem mehrere Laufwasserkraftwerke (z.B. Hansche Mühle) vorhanden sind. Obwohl der Wasserkraft eine CO₂-Neutralität in der Energieproduktion zugeschrieben wird, ist der Begriff Umweltfreundlichkeit unter Vorbehalt zu verwenden. Die Wasserkraftnutzung ist immer mit einem Eingriff in die Gewässerstruktur und somit in die Gewässerökologie verbunden. Je nach Bauart werden entweder der Abfluss reduziert oder die Fließgeschwindigkeiten verändert, mit Auswirkungen auf den Schwebstoff- und Geschiebetransport (Erosion, Sedimentation).

Auch mit dem Ziel der Studie, eine Renaturierung anzustreben, und wegen den damit verbundenen hohen Investitionskosten ist die Nutzung der Wasserkraft in der direkten Umgebung des Planungsgebietes nicht zu empfehlen.

2.3.4 Biogene Ressourcen

2.3.4.1 Abwasser

Das Abwasser birgt zwei Potentiale. Zum Einen wird Wasser zumeist mit erhöhten Temperaturen genutzt (Duschen, Waschen etc.). Diese Wärme kann einen Teil des Wärmebedarfs mit technischen Hilfsmitteln decken. Zum Anderen finden sich im Abwasser organische Substanzen, die durch einen Vergärungsprozess auch in Kombination mit organischen Abfällen in Biogas umgewandelt und zu Wärme und Strom umgewandelt werden können.

2.3.4.2 Verbrennung von nachwachsenden Rohstoffen

Regenerative Energieträger wie beispielsweise Holz, Stroh und Energiepflanzen können in Feuerungsanlagen zur Bereitstellung von Wärme oder in gekoppelten Anlagen zur Strom- und Wärmeproduktion eingesetzt werden. Die gekoppelte Strom- und Wärmeerzeugung erfolgt meist über Dampfprozesse (Organic Rankine Prozess mit Dampfturbine und Motor).

Das 15.000 m² große Areal der Modellsiedlung ist für einen Anbau von Energiepflanzen auf Grund von ungeeignetem Bodenbestand (kein Ackerland) nicht geeignet. Daher wäre ein Transport zur Siedlung, aber auch die Lagerung der Brennstoffe notwendig. Die Lagerung wiederum erfordert einen hohen Platzbedarf, der nebst Verbrennungsanlage einen erheblichen Aufwand bedeutet.

Aus diesen Gründen ist für die Modellsiedlung diese Art der regenerativen Energieerzeugung ungeeignet und wird in der Studie nicht weiter untersucht.

2.3.4.3 Organische Abfälle

Auf dem Planungsgebiet werden organische Abfälle aus Haushalten und als Grünschnitt anfallen. Diese stellen eine Biomasse und damit einen zusätzlich möglichen Energiepotential dar, welches mit einem Vergärungsprozess freigesetzt werden kann.

2.3.5 Geothermie

Die Geologie wurde nicht im Rahmen der Studie durch ein Gutachten geprüft, somit kann die mögliche Nutzung von Geothermie nicht bewertet werden.

2.4 Vorhandene Energieinstallationen in der Stadt Schorndorf

2.4.1 Nahwärme Stadtwerke Schorndorf

Die Stadtwerke Schorndorf betreiben mehrere Heizwerke. So werden Privatkunden sowohl mit konventionell erzeugter Wärme im Erdgas befeuerten Brennkessel als auch über solarthermische bzw. Blockheizkraftwerke thermisch versorgt.

2.4.2 Stromversorgung Stadtwerke Schorndorf

Die Stadtwerke Schorndorf bieten seit 2011 u.a. zu 100% aus Wasserkraft gewonnenen Ökostrom an. Die Einwohner der Stadt Schorndorf werden damit versorgt.

Tabelle 2: Stromzusammensetzung Schorndorf

Stromzusammensetzung	Gesamtlieferung	Ökostrom	verbleibender Energiemix
Kernkraft	20,90%	0%	38,40%
Kohle	22,20%	0%	40,80%
Erdgas	5,20%	0%	9,50%
sonstige Fossile Brennstoffe	1,80%	0%	3,40%
Erneuerbare Energien	24,10%	24,10%	7,90%
sonstige EE	25,80%	75,90%	0,00%
CO ₂ -Emission	237 g/kWh	0 g/kWh	435 g/kWh
radioaktiver Abfall	0,0006 /kWh	0,0000 g/kWh	0,0010 g/kWh

2.4.3 Weitere technische Anlagen in der Umgebung

Die Stadtwerke Schorndorf betreiben neun PV-Anlagen, mit denen ca. 20 Haushalte mit Strom versorgt werden können. Weiterhin werden sechs Blockheizkraftwerke betrieben. Diese Blockheizkraftwerke produzierten im Jahre 2012 5.750 MWh Strom und 11.800 MWh Wärme. Mit diesem Ertrag konnten im selben Jahr 1.581 Haushalte mit Strom und Wärme versorgt werden.

3 POTENTIALANALYSE ARCHITEKTUR UND STÄDTEBAU

3.1 Sozialer Mix

Das Ziel ist, im Quartier eine gemischte Bevölkerungsstruktur zu erreichen. Dies wird ermöglicht, indem im Quartier eine gewisse Vielfalt, bezogen auf Wohntypologien angeboten werden. Tatsächlich werden verschiedene Typen von Wohngebäuden vorgeschlagen: Geschosswohnungsbau in Riegelform, sowie 8 bis 10-geschossige Punkthäuser.

Im Detail werden Wohnungstypologie und Wohnungsanlage einen wichtigen Einfluss auf die soziale Zusammensetzung haben. So können im Quartier 1-5 Zimmer Wohnungen als Geschosswohnungen, Penthouses, Lofts oder Maisonnetten realisiert werden.

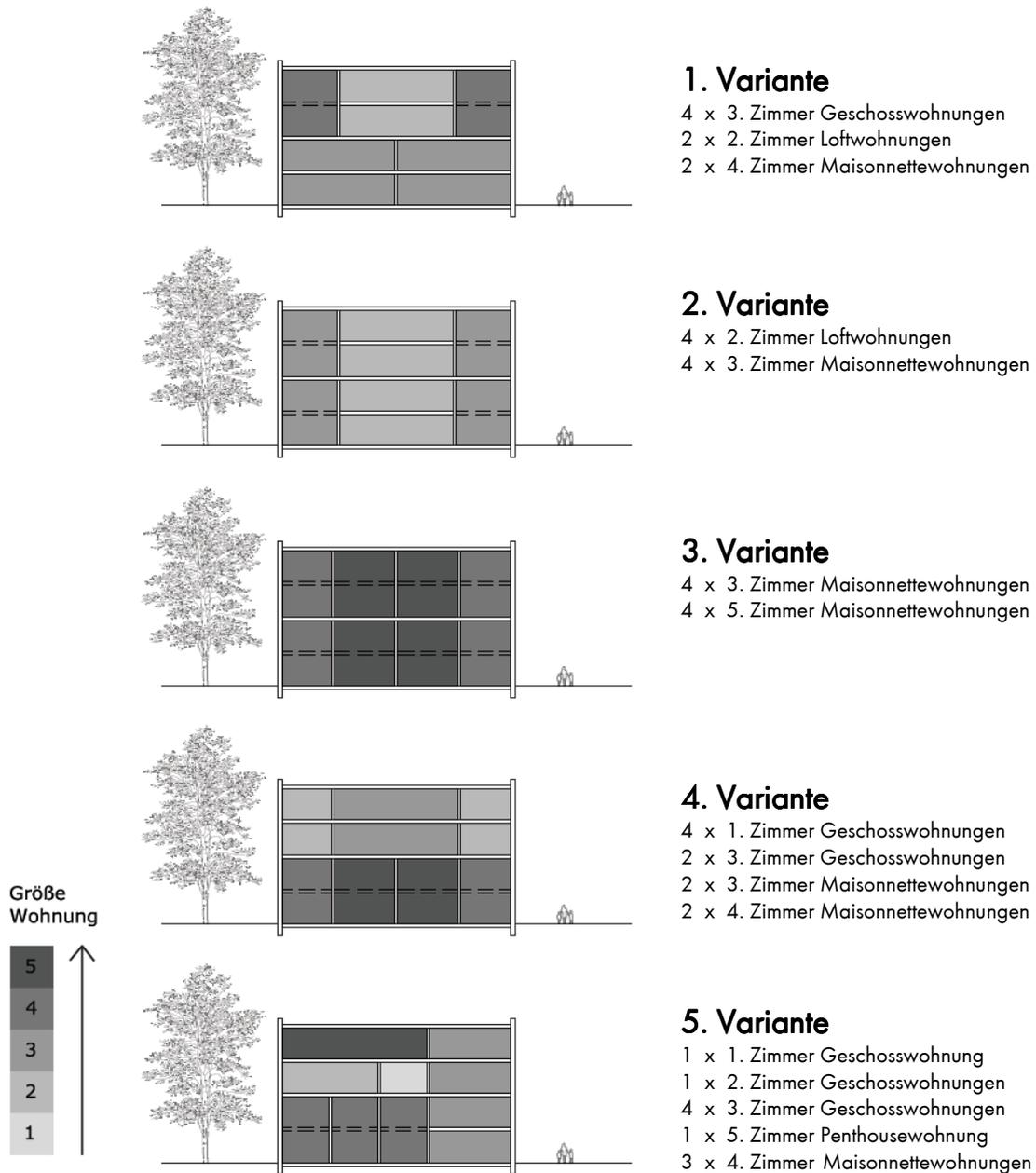
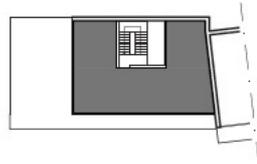
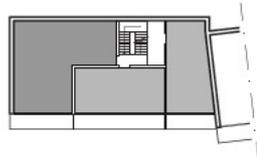


Abbildung 5: Vielfalt des Wohnungsgemenges (Quelle: Eigene Darstellung)



DG

4. Zimmer Penthousewohnung - 108 m²

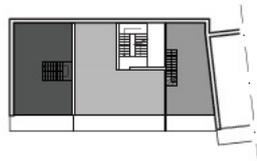


2. OG

3. Zimmer Geschosswohnung - 78 m²

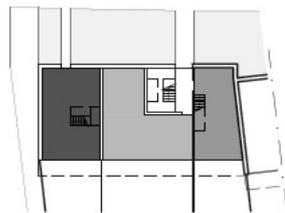
2. Zimmer Geschosswohnung - 43 m²

2. Zimmer Geschosswohnung - 42 m²



1. OG

2. Zimmer Loftwohnung - 58 m²



EG

5. Zimmer Maisonnetwohnung - 108 m²

2. Zimmer Loftwohnung - 58 m²

3. Zimmer Maisonnetwohnung - 72 m²

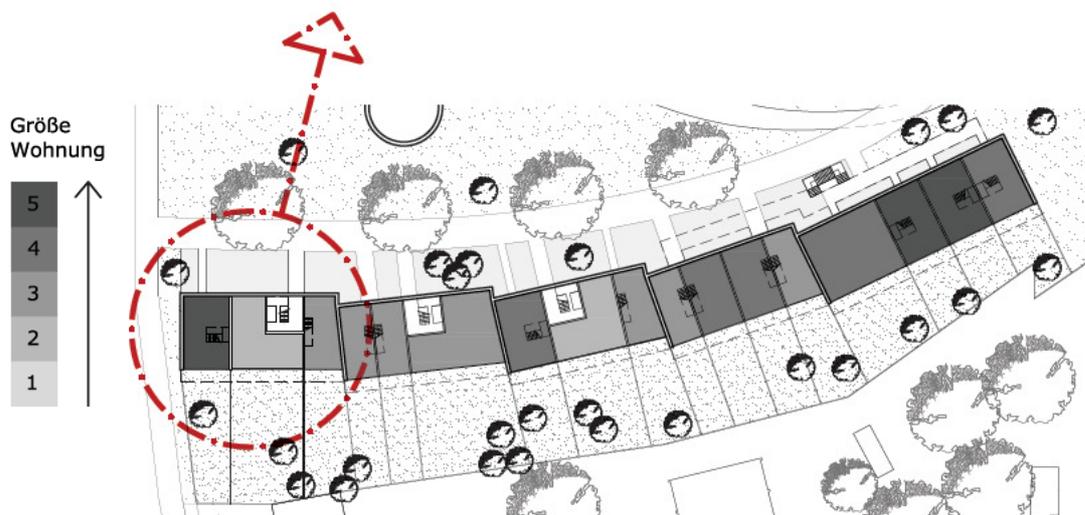
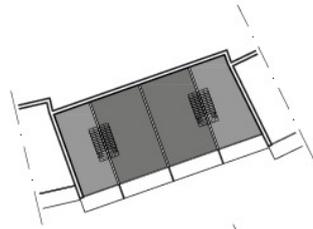
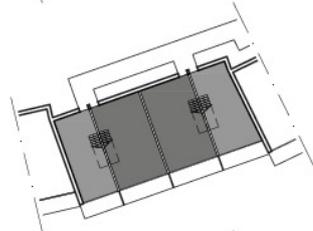


Abbildung 6: Mögliche Wohntypologie / Variantenvielfalt / normale Erschließung (Quelle: Eigene Darstellung)

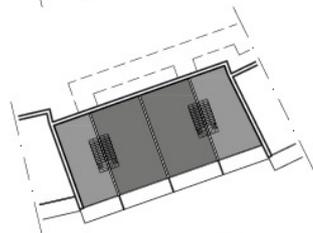


DG

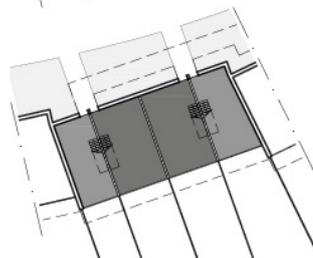


2. OG

- 3. Zimmer Maisonnettewohnung - 72 m²
- 2 x 4. Zimmer Maisonnettewohnung - 106 m²
- 3. Zimmer Maisonnettewohnung - 76 m²



1. OG



EG

- 3. Zimmer Maisonnettewohnung - 72 m²
- 2 x 4. Zimmer Maisonnettewohnung - 106 m²
- 3. Zimmer Maisonnettewohnung - 76 m²

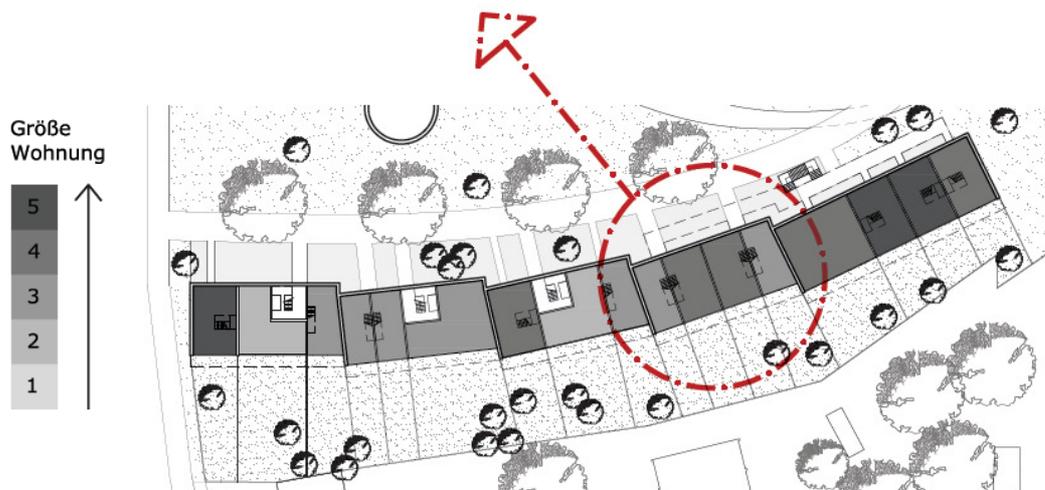


Abbildung 7: Mögliche Wohntypologie / Variantenvielfalt / Laubgangerschließung (Quelle: Eigene Darstellung)

3.2 Prüfung der Orientierung und Anordnung der Gebäude

Die Orientierung der Gebäude ist sehr wichtig, um in einer energieautarken Siedlung kosteneffizientes Bauen zu ermöglichen. Um eine Energiebedarfsminimierung zu erreichen, sollten die Solargewinne durch eine Südorientierung der Hauptfassaden der Wohngebäude erreicht werden. Die Balkone der Südfassade erlauben im Sommer bei hohen Sonnenständen eine Verschattung der verglasten Bereiche und minimieren damit die Überhitzungsgefahr, ohne den solaren Wärmeeintrag im Winter bei flacheren Sonnenständen einzubüßen.

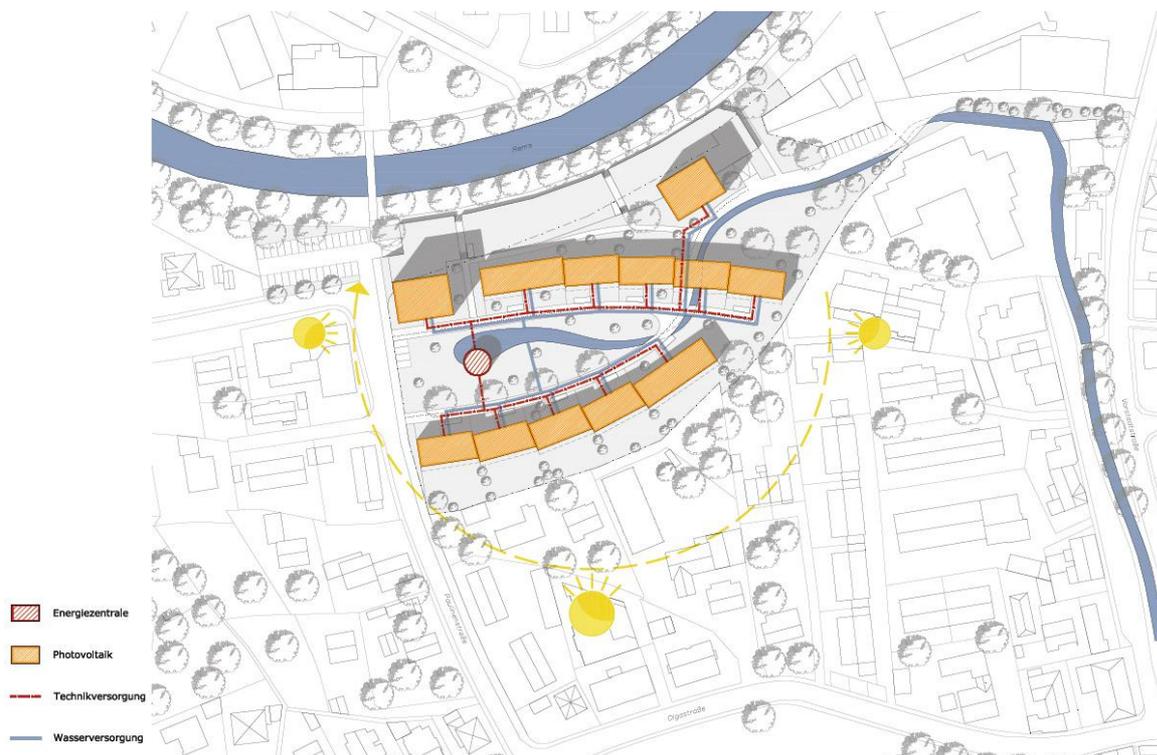


Abbildung 8: Energetische Versorgungswege (Quelle: Eigene Darstellung)

Die Anordnung der Wohngebäude verfolgen die Ziele eines qualitativ hochwertigen Städtebaus, sowie die Entstehung von funktional hochwertigen öffentlichen Räumen.

Die Homogenität und Raumqualität des neuen Quartiers wertet die Qualität der Umgebung nachhaltig auf. Zwei gebogene Wohnriegel kreieren einen identitätstiftenden Anger als Herz der neuen Siedlung. Dieser grüne öffentliche Raum wird als Obstwiese gestaltet. Das Wasser wird durch die Reaktivierung des Baches als spielerisches Element eingefügt. Es erhöht damit die Attraktivität des gemeinschaftlich genutzten Raumes.

Die Kreissegmentartige Anordnung der Gebäude folgt dem Sonnenverlauf. Es entsteht ein Eingangsbereich an der Paulinenstraße, zu der sich das Gebiet öffnet.

Das Grünkonzept sieht die Beteiligung der Einwohner bei der Gestaltung der Vorgärten der gesamten Siedlung vor (siehe Abbildung 10).

Die Riegelgebäude werden von zwei Punkthäusern flankiert, die gegenüber der Rems einen Abschluss bilden und im Stadtbild von Schorndorf die Reihe von Hochpunkten fortsetzen. Mit dem dadurch entstehenden Mix der Wohnformen wird dem Wunsch der sozialen Pluralität Rechnung getragen (Durchmischung).

Die Anordnung der Parkierungsmöglichkeiten entlang des Ufers der Rems schafft einerseits einen Freizeitraum auf dem begrünten Dach und andererseits eine Abtrennung zum Radweg an der Rems. Damit wird das Innere der Siedlung deutlich privater und sicherer. Die Parkierung ist in die Böschung des Flusses integriert, um eine naturnahe landschaftliche Komposition zu ermöglichen. Gemäß dem geltenden Baurecht werden dort ca. 100 Parkplätze angeboten. Damit wird der Autoverkehr verborgen, so dass die stadträumliche Qualität nicht negativ beeinflusst wird.

Der Anger ist als verkehrsberuhigter Raum dargestellt, welcher nur den Einwohnern das Heranfahren mit Autos an die Gebäude erlaubt. An dieser Stelle sind auch die Parkplätze für die E-Mobile erkennbar, welche für alle Einwohner zur Verfügung stehen (siehe Abbildung 12 und Kapitel 6).

Als Symbol der energieautarken Siedlung dient die Energiezentrale in der Mitte des Angers, die auch als Informationspunkt für Anwohner und Besucher der Landesgartenschau 2019 dient. Diese kann je nach energetischem Konzept auch für die spätere Nutzung der Wasserstofftechnologie dienen.



Abbildung 9: Städtebauliches Konzept Modellsiedlung Schorndorf (Quelle: Eigene Darstellung)



Abbildung 10: Grünkonzept Modellsiedlung Schorndorf (Quelle: Eigene Darstellung)



Abbildung 11: Verkehrskonzept Modellsiedlung Schorndorf (Quelle: Eigene Darstellung)

3.3 Prüfung und Ermittlung der möglichen Bebauungsdichte und Kompaktheit

3.3.1 Kompaktheit und Gebäudetiefe

Bei der Betrachtung der Kompaktheit wurden mögliche Gebäudetiefen von 10 m für einen hohen Anteil der natürlichen Belichtung gewählt. Im zweiten Schritt wurde zur Reduktion der Hüllflächen die Riegelbauweise der Gebäude gewählt, um dadurch die Außenflächen der Gebäudehüllen und dadurch die Energieverluste durch die Gebäudehüllen zu reduzieren.

Die Punktgebäude haben durch ihren fast quadratischen Grundriss ein günstiges Außenflächen-zu-Volumen-Verhältnis und somit einen hohen Grad an Kompaktheit.

3.3.2 Bebauungsdichte

Es wurden hier 150 Wohneinheiten auf einer Fläche von 15.000 m² entwickelt. Im Verhältnis zur Umgebung weist sie dadurch eine deutlich höhere Anwohnerdichte auf und somit wird die Ressource Boden deutlich intensiver genutzt.

Der negative Effekt der damit wachsenden Verkehrsdichte soll im ersten Schritt mit einem Car-Sharing-Modell abgefangen und in weiteren Schritten durch ein zu implementierendes modernes Mobilitätskonzept reduziert werden (Siehe Kapitel 6).

Die Gebäudetypen in der Siedlung bestehen aus viergeschossigen Gebäuderiegeln und zwei Punktgebäuden. Sie stellen eine formale Beziehung zur existierenden Bebauung her, durch ihre kompakte Bauweise und die Integration von Photovoltaik und Solarthermie sind sie jedoch energetisch deutlich effizienter.



Abbildung 12: Bebauungskonzept Quartier (Quelle: Eigene Darstellung)

3.4 Verhältnis Gebäudehöhe zu Abständen von Gebäuden

In Baden-Württemberg ist gesetzlich ein Mindestabstand von Gebäuden zur Grundstücksgrenze vom mindestens 0,4 fachen der Gebäudehöhe vorgeschrieben. Dies war die formale Anforderung für die Anordnung der Gebäude.

Für einen hohen Anteil solarer Einträge an den Südfassaden wurde eine Untersuchung zur Verschattungen im Verhältnis zur Gebäudehöhe durchgeführt.

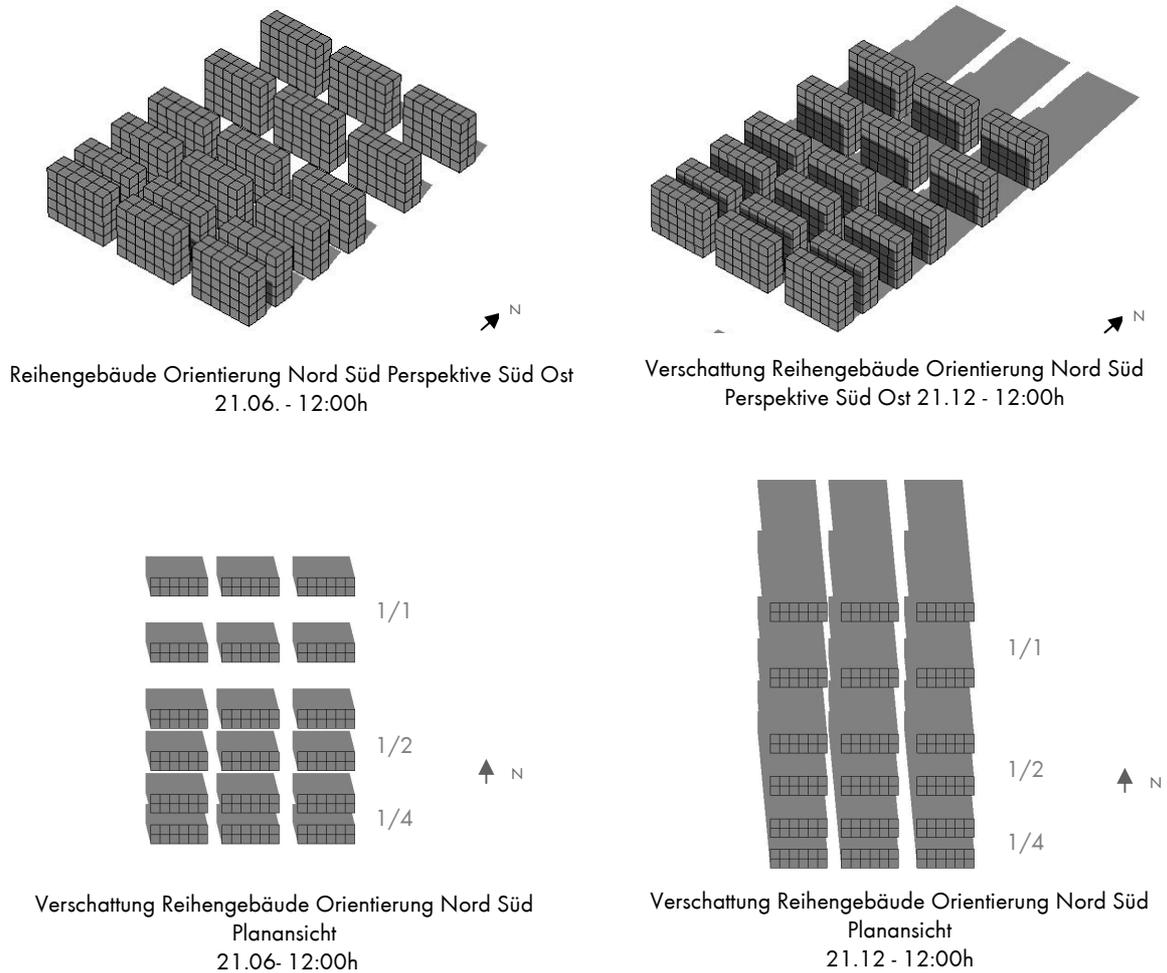


Abbildung 13: Analyse / Gebäudeabstände Nord-Süd-Orientierung (Quelle: Eigene Darstellung mit Ecotect)

3.5 Architektonische Grundlage für weitere Berechnungen

Die Planung der Modellsiedlung sieht insgesamt 12 Mehrfamilienhäuser im Passivhausstandard vor. Dabei wird Wert auf eine kompakte Bauweise gelegt. Die Gebäude gruppieren sich um einen landwirtschaftlich hochwertigen Anger. Weiter befindet sich zentral gelegen die Technikzentrale. Derzeit ist ein Parkhaus geplant, welches – wie auch die Energiezentrale - vorerst nicht in die energetische Betrachtung einbezogen wird.

Um eine energetische Bilanzierung vorzunehmen, werden die einzelnen Mehrfamilienhäuser in Gebäudegruppen eingeteilt: Riegel eins und zwei haben eine identische Bauweise und bestehen aus jeweils fünf Mehrfamilienhäuser. Die beheizte Fläche eines Riegels beträgt rund 2.800 m². Weiterhin

sollen zwei Hochhäuser mit einer beheizten Fläche von 2070 m² und 3.200 m² Grundlage der Berechnungen sein. Daraus ergibt sich eine gesamte beheizte Fläche von ungefähr 10.600 m².



Abbildung 14: Gebäudeanordnung Schorndorf (Quelle: Eigene Darstellung)

Riegel 1/2 : jeweils 880 m² Grundfläche, insgesamt ca. 80 Bewohner

Hochhaus 1 : Grundfläche 324 m², 8 Geschosse, freistehend, geeignet für ca. 55 Personen

Hochhaus 2 : Grundfläche 400 m², 10 Geschosse, frei stehend, geeignet für ca. 85 Personen

Tabelle 3: Gebäudekennwerte Modellsiedlung

Grunddaten	Riegel 1	Riegel 2	Hochhaus 1	Hochhaus 2
Grundfläche [m ²]	880	880	324	400
Geschosse	4	4	8	10
beheizte Fläche [m ²]	2816	2816	2074	3200
Fensterfläche Süd [%]	60			
Fensterfläche Ost [%]	25			
Fensterfläche West[%]	25			
Fensterfläche Nord [%]	20			

4 POTENZIALANALYSE ENERGIE UND GEBÄUDETECHNIK

Mit der Potenzialanalyse soll die Energiemenge ermittelt werden, welche mit Hilfe der regenerativen Energiequellen bzw. Anlagentechnik erzeugt werden kann. Diese Analyse soll das theoretische und technische Potenzial aufzeigen.

Theoretisches Potenzial:

Das theoretische Potenzial soll die physikalischen Möglichkeiten aufzeigen, welche zur Nutzung erneuerbarer Energien vorhanden sind.

Technisches Potenzial:

Das technische Potenzial ist der Anteil des theoretischen Potenzials, welcher mit Hilfe verfügbarer Technologien realisierbar ist.

Da die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen gerade im Bereich der erneuerbaren Energien ständigen Veränderungen unterliegen, wird dieser Punkt nicht in die Potenzialanalyse einfließen, sondern im Kapitel 6.5 betrachtet. Die technischen Potenziale werden durch den Einsatz geeigneter Simulationsprogramme ermittelt. Die Ergebnisse sollen keine komplette Planung darstellen, sondern eher einen Überblick über den möglichen Energieertrag geben.

Für die Potentialuntersuchung der Energie und Gebäudetechnik dienen als Energiebedarf thermisch 198 MWh/a und als Strombedarf 250 MWh/a als Grundlage. Die Berechnung dieser Energiebedarfe findet sich in Kapitel 5.

Verwendete Simulationsprogramme zur Ermittlung des technischen Potenzials:

- TSol: Mit der Simulationssoftware TSOL pro 5.5 wird der Ertrag einer thermischen Solaranlage dynamisch über den Jahresgang ermittelt.
- PVSol: Mit der Simulationssoftware PVSOL expert 6.0 wird der elektrische Ertrag der Solaranlage dynamisch über den Jahrgang ermittelt
- BHKW Plan: Mit dieser Simulation wird der thermische und elektrische Ertrag eines Blockheizkraftwerks ermittelt.

4.1 Potenzial regenerativer Energiegewinnung

Die Potenzialanalyse soll einen Überblick über die für das Gesamtkonzept ausgewählten Energiequellen und -erzeuger mittels regenerativer Energien schaffen. Es werden nicht alle Techniken der regenerativen Energiegewinnung berücksichtigt und untersucht. Folgende regenerativen Techniken sind von der Untersuchung - aus in Kapitel 2.3 dargestellten Gründen - ausgeschlossen:

- Wasserkraft
- Windenergie
- Geothermie
- Verbrennung auf Basis nachwachsender Rohstoffe

4.1.1 Solarenergie

Die Strahlungsenergie der Sonne kann durch entsprechende Anlagentechnik sowohl zur thermischen als auch elektrischen Energiegewinnung eingesetzt werden. Das Potenzial der Solarenergie ist die jährlich auf die Horizontale einstrahlende direkte und indirekte Sonnenenergie (Globalstrahlung). Die Einstrahlung der Sonne im Schorndorf beträgt $1090 \text{ kWh/m}^2\text{a}$.

4.1.2 Solarthermie

Eine gängige Methode der Wärmeerzeugung in Gebäuden ist der Einsatz einer solarthermischen Anlage. Dabei nutzt eine thermische Solaranlage die Einstrahlung der Sonne, absorbiert die Energie und gibt diese an eine Wärmeüberträgerflüssigkeit weiter. Diese transportiert die Energie über einen solaren Wärmetauscher in den Solarspeicher.

Prinzipiell besteht die thermische Solaranlage aus einer Kollektoranlage, einem Solarkreislauf, einer Pump- und Regelstation (Solarstation) und einem Wärmetauscher für den Brauchwasserspeicher. Der Kollektor nimmt über einen Absorber Energie der Sonne auf und gibt diese an das in ihm fließende Wärmeträgermedium ab. Ist die Temperatur des Mediums höher als die Temperatur im Speicher, so wird es mit Hilfe einer Pumpe über Rohre zu einem Solarspeicher transportiert. Gesteuert wird alles über die Solarstation. Die Wärme wird über einen Wärmetauscher an den Solarspeicher abgegeben und so zur Erwärmung des Brauchwassers oder der Heizung zur Verfügung gestellt. Zwei Kollektortypen dominieren die Technik der Solarthermie: Flach- und Röhrenkollektoren.

Theoretisches Potenzial:

Die durchschnittliche Globalstrahlung für die Stadt Schorndorf beträgt 1.090 kWh/a m^2 . Die potenzielle Dachfläche der Modellsiedlung beträgt ca. 2.400 m^2 . Mit einem Kollektorwirkungsgrad von 80% und der Annahme von 5% Leitungsverlusten, ergibt sich ein theoretisches Potenzial von 1.988 MWh/a .

Technisches Potenzial:

Annahmen:

- Wirkungsgrad Solarkollektor: Flachkollektoren mit 80%
- Anstellwinkel: 30° (Flachdach, Kollektoren aufgeständert)
- Ausrichtung: Süd
- Verschattung: keine
- Bereitschafts- und Langzeitspeicher nötig

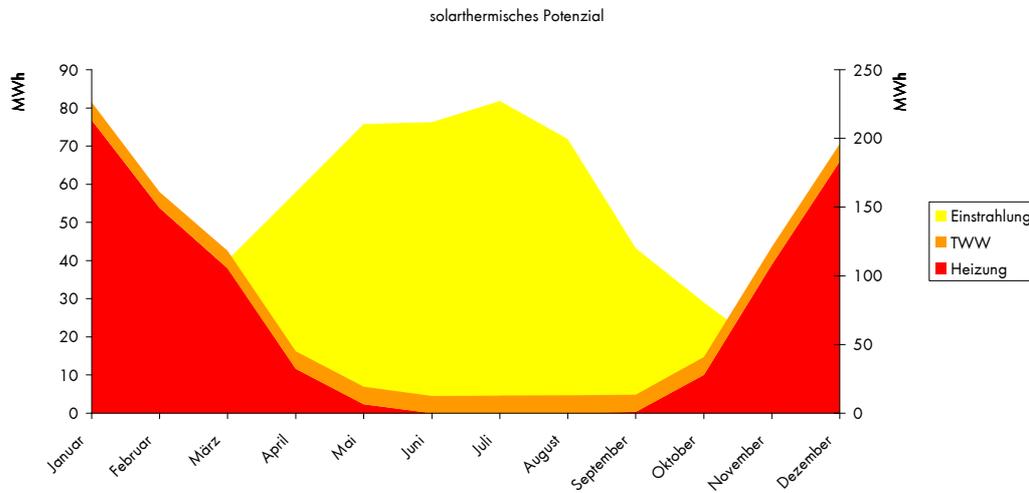


Abbildung 15 Solarthermisches Potenzial (Quelle: Eigene Darstellung)

Tabelle 4: Überblick solarthermisches Potenzial

Solarthermie	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
Energielieferung Solaranlage [MWh]	6	8	15	21	21	17	16	20	17	13	6	3
Energiebedarf TWW [MWh]	26	23	24	22	20	19	17	19	18	21	24	25
Energiebedarf Heizung [MWh]	63	48	34	0	0	0	0	0	0	19	41	57
Deckungsgrad [%]	7	11	26	95	105	89	94	105	94	33	9	4

4.1.3 Photovoltaik

Die Photovoltaik beschreibt den Prozess der Umwandlung der Sonnenstrahlen in elektrische Energie. Ein Photovoltaikmodul besteht aus mehreren in Reihe und/oder parallel geschalteten Photozellen. Die Solarzelle nutzt den Photoeffekt: Treffen Sonnenstrahlen auf eine Photozelle, so entsteht eine Spannung zwischen der dem Licht zu- und der dem Licht abgewandten Seite. In einem angeschlossenen Photovoltaikmodul erfolgt die Umwandlung der Sonnenenergie in elektrischen Strom. Unterschieden werden Photovoltaik-Module nach den verwendeten Materialien. Da die Kosten je kWh nur geringfügig von der Materialauswahl abhängen, wird für die Modellsiedlung das Potenzial der polykristallinen Dünnschichtzellen genauer untersucht. Diese weisen mit 13 % Wirkungsgrad ein günstiges PreisLeistungsverhältnis auf.

Theoretisches Potenzial:

Wie bereits im Abschnitt 2.3.1 erläutert, entspricht das theoretisch ermittelte Strahlungsangebot auf die geplante Siedlungsfläche dem Stromerzeugungspotenzial.

Mit einem Modulwirkungsgrad von 13 % und der verfügbaren Dachfläche von 2400 m² ergibt sich ein theoretisches Potenzial von 340MWh/a.

Technisches Potenzial:

Annahmen:

- polykristalline Siliziumzellen mit einem Wirkungsgrad von 17 %
- Anstellwinkel: 30°
- Ausrichtung: Süd
- Verschattung: keine
- Modulfläche: 1.800 m²
- Optionale Nutzung der Fassadenflächen

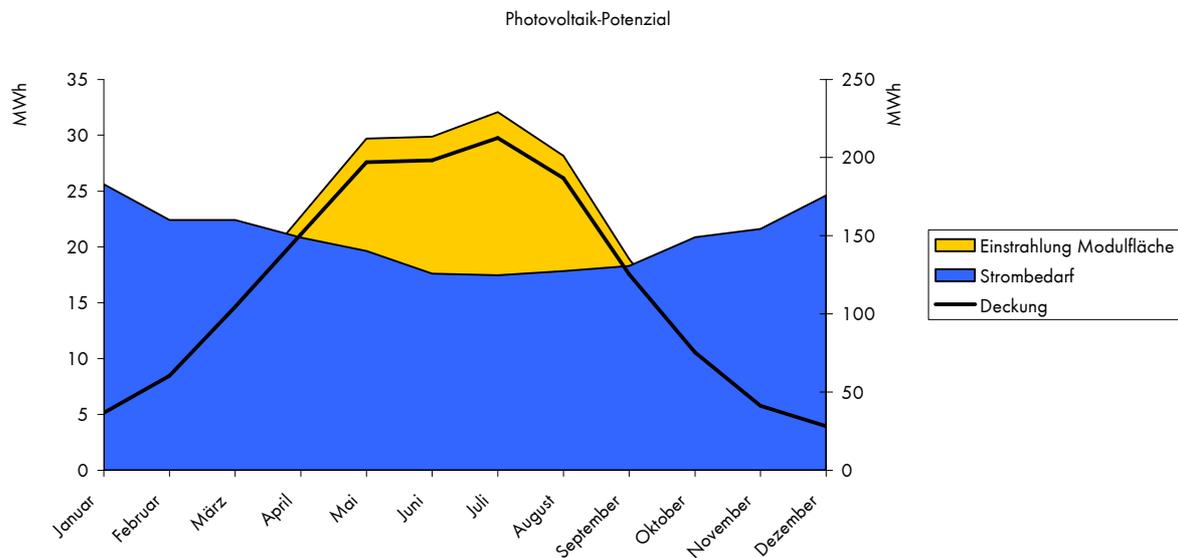


Abbildung 16 Photovoltaikpotential (Quelle: Eigene Darstellung)

Tabelle 5: Übersicht PV- Ertrag

Photovoltaik	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
Erzeugte Energie Generator [MWh]	7776	9561	15170	20507	24426	24364	26174	23926	18363	12479	7668	6184
Energiebedarf [kWh]	25497	21670	22514	20109	19224	17815	16700	18154	18506	21341	22898	25573
Deckungsgrad [%]	30	44	67	102	127	137	157	132	99	58	33	24

4.1.4 Kraft-Wärme-Kopplung

Die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) beschreibt das gleichzeitige Entstehen von Strom und Wärme mit Hilfe eines KWK - Aggregats. Ein solches Aggregat kann eine Gas- oder Dampfturbine darstellen, einen Motor oder eine Brennstoffzelle. Somit ist der Brennstoffeinsatz auch sehr vielseitig. Es können konventionelle Brennstoffe bis hin zu Wasserstoff und Biogas verwendet werden. Der standardisierte Einsatz eines Blockheizkraftwerks (BHKW) für den Wohnungsbau ist die wärmegeführte Ausführung, da auf diese Weise die Wärmeenergie voll genutzt werden kann. Während der Wintermonate kann ein Wärmebedarf von nahezu 100 % gedeckt und gleichzeitig einen Teil des Strombedarfs übernommen werden. Zum Betrieb eines BHKWs gehört in den meisten Fällen auch ein Pufferspeicher, um in den Heizperioden und Sommermonaten den Überschuss an Energie einzuspeichern. Blockheizkraftwerke müssen eine hohe Laufzeit erreichen, um wirtschaftlich zu sein. So sollten für den Einsatz, unabhängig davon ob wärme- oder stromgeführt, mindestens 5.000 Betriebsstunden angestrebt werden. Kleinere Leistungsschwankungen werden dabei vom Pufferspeicher abgedeckt, längerfristige hingegen werden durch Verschaltung mehrerer BHKW Module in Reihe abgedeckt. Durch die Verschaltung von mehreren Modulen kann die optimale Leistung bereitgestellt werden zur Versorgungssicherheit (Redundanz) dienen.

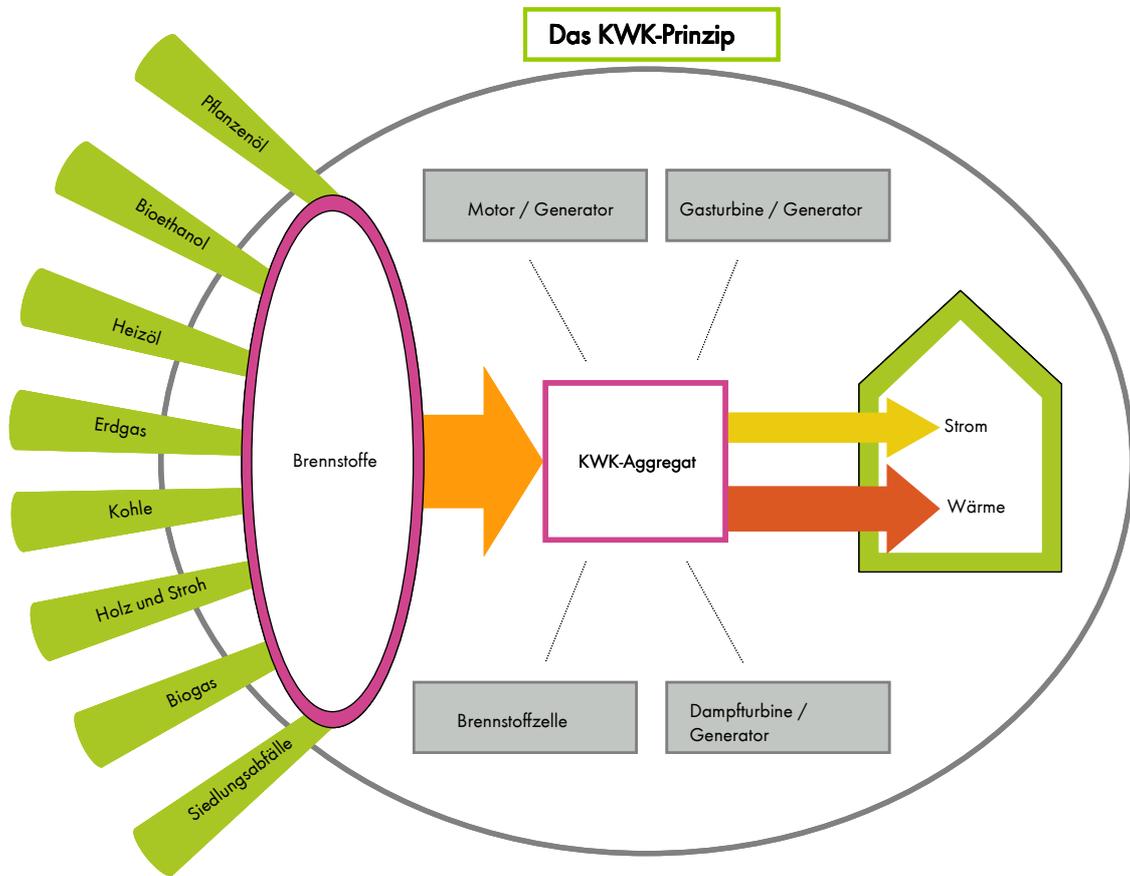


Abbildung 17: Prinzip Kraft-Wärme-Kopplung (Quelle: Eigene Darstellung)

Um die Flexibilität für eine spätere Umstellung auf Biogas zu ermöglichen, wurde ein BHKW gewählt, das dies ermöglicht. Dieses wurde wärmeführend berechnet, d.h. dass sich der Betrieb und die Größe des BHKWs nach dem Heizwärmebedarf richten.

Theoretisches Potenzial:

Mit der Annahme von 5.000 h, einer Leistung von 170 kW thermisch und 150 kW elektrisch, erhält man einen Wärmeertrag von 850 MWh/a und einen elektrischen Ertrag von 750 MWh/a.

Technisches Potenzial:

Mit Hilfe der BHKW-Plan Software fällt die Wahl auf 3 Module von Vitobloc 200 EM. Die Simulation ergibt eine Laufzeit von 5440 h, bei einer thermischer Leistung von 270 MWh und einem Stromertrag von 150 MWh.

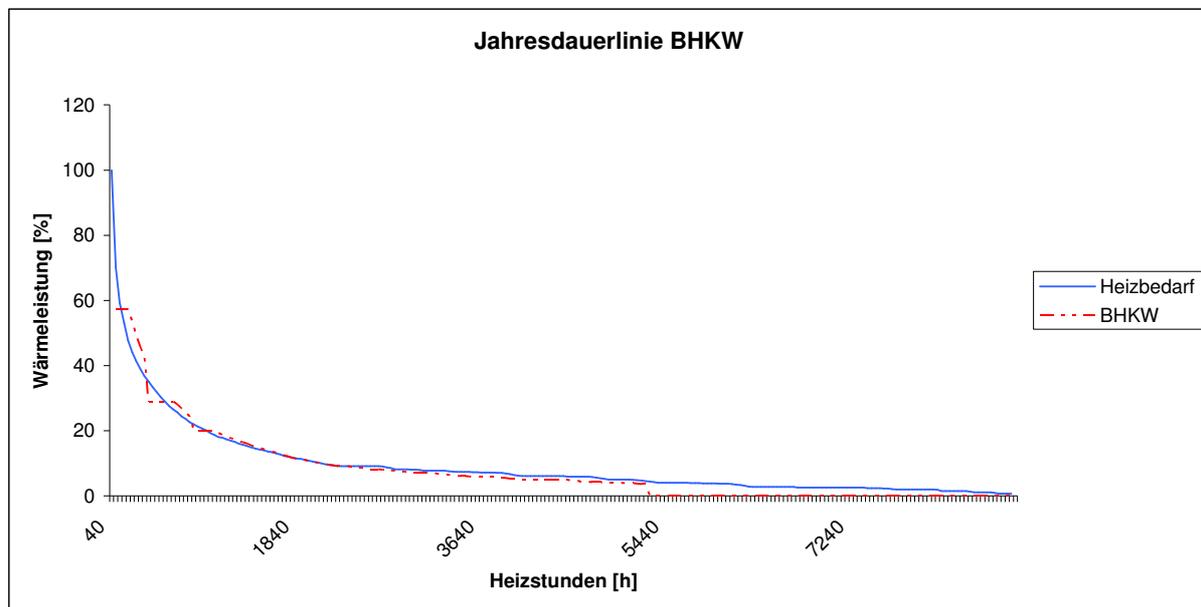


Abbildung 18: Jahresdauerlinie BHKW (Quelle: Eigene Darstellung)

4.1.5 Wärmepumpe

Wärmepumpen wandeln Wärme eines niedrigen Temperaturniveaus in nutzbare Heizenergie um. Als Wärmequelle können das Erdreich, Wasser und auch Luft genutzt werden. In einem geschlossenen Kältemittelkreislauf übernimmt das Arbeitsmedium den Wärmetransport und die Übertragung. Die Wärmepumpe macht sich die Eigenschaften des Kältemittels zunutze, welche bereits bei niedrigen Temperaturen bis -50°C verdampft. Das Kältemittel entzieht der Wärmequelle somit Wärmeenergie. Dadurch findet ein Wechsel des Aggregatzustandes des Kältemittels von flüssig zu gasförmig statt. Durch Komprimierung im Verdichter wird das Kältemittel auf ein höheres Temperatur- und Druckniveau gebracht und anschließend im Kondensator wieder entspannt. Die dabei freiwerdende Wärme wird über einen

Wärmetauscher auf einen Wärmeträger (Heizwasser) übertragen und nutzbar gemacht. Nach Abkühlung des Kältemittels kann erneut Wärme entzogen werden, der Kreislauf beginnt von vorn. Die Effizienz einer Wärmepumpe wird mit der Jahresarbeitszahl (JAZ) beurteilt. Die Jahresarbeitszahl stellt das Verhältnis der Jahresnutzwärme der Wärmepumpenanlage zu der aufgenommenen Jahresarbeit dar. Die Leistungszahl hingegen beschreibt die aufgenommene Wärmeleistung, welche im Verhältnis zur aufgenommenen elektrischen Antriebsleistung des Kompressors steht (COP). Im Gegensatz zur JAZ werden keine Hilfsströme mit einbezogen. In der Potenzialbetrachtung wird von einem Niedertemperatursystem ausgegangen.

Theoretisches Potenzial:

Das theoretische Potenzial der Wärmepumpe ist von der Wahl der Wärmequelle abhängig. Da im Rahmen dieser Studie kein geologisches Gutachten erstellt wurde, werden das Erdreich und auch das Grundwasser als Wärmequelle vorerst ausgeschlossen. Aus diesem Grund wird für die Modellsiedlung eine Luft-Wasserwärmepumpe als Wärmeerzeuger vorgeschlagen.

Technisches Potenzial:

Für Wärmepumpenanlagen zum reinen Heizbetrieb gelten Betriebszeiten von 1600-1800 Stunden pro Jahr. Bei einem Heizwärmebedarf von 351 MWh/a und einer Betriebszeit von 1800 h/a ergibt sich eine benötigte Heizleistung von 100 kW. Mit dieser Heizleistung und einer angenommenen Jahresarbeitszahl von 3,5 ergibt sich ein elektrischer Energieaufwand von 18 MWh/a.

4.1.6 Wärmerückgewinnung aus Abwasser

Mittels einer Wärmepumpe und eines Wärmetauschers wird dem Abwasser Wärme entzogen. Je nach anfallendem Abwasser unterscheidet man die Art der Wärmerückgewinnung:

- innerhalb des Gebäudes: Wärme des Abwassers wird vor Einleitung in den Kanal entzogen
- im Kanal: Abwärme wird in großen Abwasserkanälen oder Druckleitungen gewonnen

Für die Technologie entscheidend ist die Höhe des Abwasseraufkommens, aber auch die vorherrschenden Richtlinien und Rahmenbedingungen der Kanalnetze in der Stadt Schorndorf. Je nach Art der Wärmerückgewinnung unterscheiden sich die Wärmetauschersysteme. Die Deutsche Gesellschaft für Wasserwirtschaft, Abfall und Abwasser e.V. schätzt das theoretische Potenzial der Abwasserwärmerückgewinnung so ein, dass 10 % des Wärmebedarfs aller Gebäude gedeckt werden kann.

Theoretisches Potenzial:

Laut Statistischem Bundesamt Baden-Württemberg beträgt das Abwasseraufkommen durchschnittlich 88 l pro Einwohner und Tag. Für die Modellsiedlung (300 EW) ergibt sich somit ein tägliches

Abwasseraufkommen von $26,4 \text{ m}^3/\text{a}$. Mit der Berechnungsformel der Wärmemenge ergibt sich für diese Menge ein Wärmehalt von 22.413 kWh pro Jahr.

Technisches Potential:

Für die Wärmerückgewinnung aus Abwasser (Kanalwärmetauscher) sind folgende technische Anforderungen zu erfüllen:

- Mindestdurchmesser Kanalisation sollte $> \text{DN } 800$ sein
- Mittlerer Trockenwetterabfluss mindestens 15 l/s
- Abwassertemperatur sollte auch im Winter mehr als 10°C sein
- Möglichst gradliniger Verlauf im Bereich des Wärmetauschers
- Länge Wärmetauscher mindestens 50m

Weiterhin sollte das zu versorgende Objekt in unmittelbarer Nähe zum Abwasserkanal liegen, um die auftretenden Wärmeverluste zu reduzieren. Das Kanalnetz in Schorndorf umfasst eine Länge von 160 km , wobei die einzelnen Kanäle einen Durchmesser von $0,25$ bis 2 m haben. Die Kanalisation besteht überwiegend aus Mischkanälen, welche Schmutz- und Niederschlagswasser gleichzeitig führen.⁹ Die Kanalisation im Bereich der Paulinen-, Olga- und Hauffstraße besteht aus Anfangshaltungen mit einem Kanaldurchmesser von $\text{DN } 250$ bzw. 300 . Der Trockenwetterabfluss beträgt unter 1 l/s . Entlang der Remsböschung bzw. Remsstraße verläuft eine Sammelleitung mit einem Durchmesser von $\text{DN } 900$. Dieser hat einen Trockenwetterabfluss von $3,3 \text{ l/s}$ und wird teils als Stauraumkanal des Regenüberlaufbeckens genutzt.¹⁰

Die örtlichen Gegebenheiten entsprechen nicht den herkömmlichen Anforderungen der Abwasserwärmerückgewinnung im Kanal. Bei zu geringem Trockenwetterabflusswert ist eine permanent ausreichende Überströmung des Wärmetauschers nicht gewährleistet. Dies wiederum fördert die Bildung von Ablagerungen, woraus ein sich verschlechternder Wärmedurchgangskoeffizient resultiert. Dieses würde die ganze Anlage unwirtschaftlich darstellen. Dennoch wird nachfolgend trotz des geringen Trockenwertabflusses der potenzielle Wärmegewinn in der Sammelleitung der Remsstraße untersucht. Bei einem Trockenwetterabflusswert von $3,3 \text{ l/s}$ und einer Abkühlung von 2 K ergibt sich eine Entzugsleistung des Abwassers:

Daraus ergibt sich eine bereitgestellte Wärmeleistung von $P_{wp} = 36,5 \text{ kW}$. Bei 2000 Betriebsstunden ergibt sich eine Wärmemenge von 73.066 kWh . Für die von der Wärmepumpe aufgebrauchte Leistung von $36,5 \text{ kW}$ ergibt sich ein Strombedarf von $P_{el} = 18.250 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$.

⁹ Stadtentwässerung Schorndorf

¹⁰ Auskunft Abteilungsleiter Stadtentwässerung Schorndorf

4.1.7 Weitere Potentiale

In Anlehnung an das Pilotprojekt DEUS 21 in Knittlingen wird nachfolgend die Energieerzeugung mittels Biogasanlage für die Modellsiedlung untersucht. In dem Pilotprojekt wird das Abwasser (Schwarz- und Grauwasser) mittels Vakuumkanalisation für die Biogasproduktion aufbereitet. Weiterhin werden Bioabfälle gesammelt, die zusätzlich der Biogasproduktion zuträglich sein sollen. Zusätzlich wird Regenwasser für das Wassermanagement genutzt.

4.1.7.1 Biogas aus Faulgas und Bioabfall

Bei der Vergärung organischer Materialien unter Luftausschluss erhält man Biogas. Für diesen Prozess sind nahezu alle organischen Stoffe pflanzlicher und tierischer Abfallprodukte geeignet. In Folge mehrstufiger bio-chemischer Reaktionen entsteht ein Gas, welches überwiegend aus Methan und Kohlenstoffdioxid besteht. Für Biogas ist ein Brennwert je nach Methangehalt von 5- 7 kWh/m³ anzunehmen. Die Biogausausbeute liegt bei durchschnittlich 123 m³ pro Tonne Bioabfall. Das gewonnene Biogas kann beispielsweise in einem Blockheizkraftwerk zur Strom- und Wärmeerzeugung eingesetzt werden. Im Landkreis Rems-Murr fallen pro Einwohner durchschnittlich 82 kg Bioabfall pro Jahr an. Dies würde für die Modellsiedlung ein gesamtes Bioabfallaufkommen von 24,6 Tonnen bedeuten.

Faulgas:

Faulgas ist ein Produkt, welches bei der Vergärung von Abwasser entsteht. Je Einwohner fallen pro Tag 20 m³ Faulgas aus Abwasser an.

Faulgas/EW:	20 m ³ /d
EW:	300
Faulgasgesamt:	2.190 m ³ /a

Energiegewinn mit 65 % Methankonzentration: 2.190m ³ /a * 6,5 kWh/m ³ = 14.235 kWh/a

Bioabfall:

Bioabfall/EW:	82 kg/a
Bioabfall gesamt:	24,6 t
Biogausausbeute:	123 m ³ /t

Energiegewinn mit 65 % Methankonzentration: 24,6 t * 123 m ³ /t * 6,5 kWh/m ³ = 15.990 kWh/a
--

Mit Biogas aus Biomüll und Faulgas kann ein BHKW befeuert werden, wodurch sich ein Potenzial von insgesamt 10.170 kWh/a elektrisch und 16.950 kWh/a thermisch ergibt.

4.1.7.2 Regenwassernutzung

Unter Regenwassernutzung versteht man das Auffangen des Niederschlages auf Dachflächen und die anschließende Sammlung in Zisternen. Anschließend kann das gesammelte Wasser für den im Haushalt anfallenden Wasserbedarf verwendet werden. Unter Haushaltswasser versteht man das benötigte Wasser

für WC-Spülung, Waschmaschine und Gartenbewässerung. Mit dem Einsatz sparsamer Sanitärtechnik lassen sich somit Ressourcen der Trinkwasseraufbereitung schonen. Durch die Speicherung des Regenwassers erreicht man weiterhin eine Reduktion und Rückhaltung der Niederschlagsabflüsse. Damit wird eine Entlastung der Kanalisation und Kläranlagen bewirkt.

Theoretisches Potenzial

Über die Niederschlagshöhe und die vorhandene Dachfläche lässt sich der nutzbare Niederschlag ermitteln:

Niederschlagshöhe:	$725 \frac{mm}{a}$	Daraus ergibt sich ein Niederschlag von
Dachfläche:	2.484 m^2	$1.800 \frac{m^3}{a}$.

Um eine reale Aussage über den nutzbaren Niederschlag machen zu können, müssen der Ertragsbeiwert und der hydraulische Filterwirkungsgrad für die Modellsiedlung betrachtet werden. Der Ertragsbeiwert ist abhängig von der Beschaffenheit der Dachflächen. Der nutzbare Niederschlag ermittelt sich aus dem Produkt von Niederschlag und Ertragsbeiwert 0,6 (Annahme: Kiesdach) und hydraulischer

Filterwirkungsgrad (0,9). Daraus ergibt sich ein theoretisch nutzbarer Niederschlag von $972 \frac{m^3}{a}$ ¹¹. Der

Bedarf an Haushaltswasser beträgt für die Modellsiedlung ca. $4.600 \frac{m^3}{a}$ ¹².

Technisches Potenzial

Für die Nutzung des Regenwassers muss ein getrenntes Leitungsnetz installiert werden. Dieses verhindert die Verkeimung und Vermischung mit dem normalen Trinkwasser. Die Dimensionierung eines Regenwasserspeichers erfolgt in Anlehnung an die DIN 1989-1:2002-04. Die Speichergröße hängt vom Regenwasserertrag und dem Bedarf an Betriebswasser ab. Die Menge des Wasserbedarfs aus Regenwasser, sollte den Niederschlagsenertrag nicht überschreiten. So würde einzig der Bedarf an Reinigungs- und Spülwasser durch die Regenwassernutzung gedeckt werden können. (300m³)

Die Speichergröße der Zisterne ergibt sich aus dem Haushaltswasserbedarf und der angenommenen Trockenperiode. Bei einer Trockenperiode von 20 Tagen und einem Bedarf von $300 \frac{m^3}{a}$ ergibt sich ein Speichervolumen von ungefähr 16 m³.

¹¹ Quelle: DIN 1989-1 Regenwassernutzungsanlagen, Teil 1: Planung, Ausführung, Betrieb und Wartung, 2002.

¹² Annahme: 5 m³-Wäschewaschen, 9 m³-Spülung, 1 m³-Reinigung/Putzen, 6 m³-Gartenbewässerung, Angaben je Person

4.2 Energiespeicher

Energiespeicher dienen der zeitlichen und räumlichen Überbrückung von verfügbarer und gebrauchter Energie. Da die Energiespeichertechnik derzeit mit hohen Kosten und Aufwand verbunden ist, sollte der Speicherbedarf durch optimierten Verbrauch und Verteilung möglichst klein gehalten werden.

Energiespeicher dienen der Glättung von Bedarfsspitzen und werden in Kurz- oder Langzeitspeicher unterschieden. Ein geeignetes Speichersystem nach den auf dem Markt aktuellen Technologien zu finden, ist nicht nur eine Frage des Verhältnisses aus Angebot und Bedarf, viel mehr ist es wichtig, eine intelligente Vernetzung von Energieerzeugern, Speichern und Verbrauchern herzustellen. Um eine Energieautarkie zu erreichen, ist die Überbrückung von saisonalen Schwankungen ein wesentlicher Schlüssel. Die Potenziale hierzu werden nachfolgend untersucht. Dem Forschungsantrag nach soll geklärt werden, welche elektrischen Energiespeichersysteme mit welchem Wirkungsgrad für die Modellsiedlung sinnvoll sind und in wie weit die Installation dezentral oder zentral erfolgen soll. Weiterhin wird geprüft, ob eine saisonale Speicherung von Energie sinnvoll und für die Modellsiedlung technisch möglich ist. Speichersysteme wie Pumpspeicher und Druckluftkraftwerke werden für die Modellsiedlung auf Grund des großen Platzbedarfs nicht berücksichtigt.

4.2.1 Stromspeicher

Stromspeicher (Elektrochemische Energiespeicher) sind galvanische Elemente, die elektrische Energie in Form von chemischer Energie speichern. Diese chemische Energie wird in Form eines Endladestroms wieder an das System abgegeben. Die Beurteilung eines geeigneten elektrochemischen Speichers erfolgt nach den Kriterien geringe Kosten, hohe Lebensdauer, hohe Kapazität und geringer Wartungsaufwand. Im Folgenden werden Batterietypen vorgestellt, die den Sonnenstrom der Sommermonate in der Modellsiedlung einspeichern können.

4.2.1.1 Blei-Batterie

Die Energiespeicherung in einer Bleibatterie erfolgt mittels Elektronen aus Blei und Schwefelsäure. Aus Sicherheitsgründen müssen diese Batterien mit einem säurefesten Gehäuse als Schutz vor mechanischen Beschädigungen und Säureaustritten ausgeführt werden. Mit jeder Entladung sinkt die Kapazität der Batterien, wodurch die Endladetiefe und damit die Lebensdauer bzw. der Verwendungszweck begrenzt ist. Bleibatterien sind bereits seit vielen Jahren im Einsatz und technisch ausgereift.

Bleibatterien sind die weltweit verbreiteten Batteriespeicher mit vergleichsweise geringen Investitionskosten. Mit einem Wirkungsgrad von 65-80% und einer Lebensdauer von 200-2000 Ladezyklen können Bleibatterien in Größenordnungen von kleinen Inselanlagen zu großen Anlagen eingesetzt werden. Die Kosten einer Bleibatterie belaufen sich auf über 200-450 EUR/kW.

4.2.1.2 Lithium-Ionen-Akkumulatoren

Li-Akkus finden hauptsächlich in portablen Stromverbrauchern Anwendung. Diese Batterietechnologie unterscheidet sich bei gleicher Dichte durch eine deutlich höhere Kapazität zu Blei-Batterien. Die höhere Zellspannung ermöglicht daher eine höhere Energiedichte. Auch die lange Lebensdauer überzeugt. Nachteilig bei der Verwendung einer Lithium Batterie sind die hohen Aufwendungen zur Schutzschaltung auf Grund höherer Zellspannung, Sicherung der Spannung, Strom, Temperatur und der daraus resultierende Preis von ca. 1.000 EUR/kW.

4.2.2 Stoffliche Energieträger für Elektrizität

4.2.2.1 Wasserstoff als Energieträger

Überschüssige Energie kann genutzt werden, um Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff umzuwandeln. Nach diesem Elektrolyseprozess kann der Wasserstoff gespeichert und bei Bedarf an elektrischer Energie wieder verstromt werden. Der daraus gewonnene Wasserstoff kann anschließend gespeichert und bei Bedarf mittels Brennstoffzelle verstromt werden. Die Kette an Umwandlungen von der Elektrolyse über die Wasserstoffspeicherung und die Rückumwandlung in der Brennstoffzelle führen zu erheblichen Wirkungsgradverlusten, die sich am Ende auf ca. 40 % belaufen.

Für die Umwandlung regenerativ gewonnener Energie werden spezielle PEM¹³-Elektrolyseur eingesetzt, da im Gegensatz zum alkalischen Elektrolyseur, diese Technologie im Millisekundenbereich auf das veränderliche Stromangebot reagieren kann. Ein PEM-Elektrolyseur besteht aus Kathode und Anode, welche durch eine PEM-Membran getrennt sind.

Der Wirkungsgrad der Elektrolyse beträgt 70 – 80 %, ausgehend von 1.000 - 2.000 EUR/kW. Da die Anforderungen an den Speicher sehr hoch sind, v.a. an die Dichte und die Sicherheit, sind die Kosten um nahezu ein fünffaches größer als die der Erdgasspeicherung. Die Technologie und Forschung ist zwar längst nicht ausgereift, aber eine Preisminimierung und serielle Produktion ist durchaus denkbar. Die letztendliche Verstromung des Wasserstoffs in Brennstoffzellen ist sehr kostenintensiv. Brennstoffzellen funktionieren nach dem umgekehrten Prinzip der Elektrolyse. Von der Elektrolyse bis zur Verstromung gehen 30 % durch Umwandlungsprozesse verloren.

Ausgehend von einem hohen Entwicklungspotenzial ist dieser Prozess durchaus für die zukünftige Langzeitenergiespeicherung vorstellbar, jedoch würde es z. Zt. Die Kosten für die Modellsiedlung sprengen.

4.2.2.2 Erdgassubstitution

Eine weitere Möglichkeit, elektrische Energie zu speichern, ist die Erdgassubstitution. Die Erdgassubstitution ist eine Weiterentwicklung, die auf Grund der hohen technologischen Anforderungen an die Speicherkapazität von Wasserstoff und der Inkompatibilität erdgasbetriebener Anlagen eine Alternative bietet. Bei dem Prozess der Methanisierung wird der im Elektrolyseur erzeugte Wasserstoff durch chemische Reaktion mit CO₂ in Methan umgewandelt. Vorteile dieser Umwandlung sind die schon vorhandenen und ausgebauten Gasinfrastrukturen und die geringeren Speicherkosten. Das so gewonnene Substitut kann zur Beheizung der Wohngebäude, aber auch zur Rückeinspeisung ins Erdgasnetz genutzt werden. Der Gesamtwirkungsgrad von Strom zu Methan liegt dabei bei 60 % für den Methanisierungsprozess.¹⁴

¹³ Proton-Exchange-Membran

¹⁴ IRES 2012 Ulrich Zuberhüber „Power to gas – Speichertechnologie und Schub für Erneuerbare Mobilität“, 2012

Potenziale elektrischer Speichersysteme:

Wichtige Kriterien bei der Auswahl geeigneter Stromspeicher sind der Wirkungsgrad (Entladung und Beladung), die Speicherdichte und die Zyklenfestigkeit.

Deutliche Unterschiede werden bei der Betrachtung des Wirkungsgrades der betrachteten Speichermethoden sichtbar. Dieser liegt bei Lithium-Ionen- und Bleibatterien bei ca. 15 %. Die niedrigste Effizienz bei der Be- und Entladung weist die Umwandlung in Wasserstoff auf.

Die Speicherdichte gibt Aufschluss über die benötigte Größe des Speichersystems. Diese ist für die Modellsiedlung ein relevantes Kriterium. Die fortschrittlichste und effizienteste Speicherdichte weist derzeit die Lithium Ionen Batterie mit bis zu 400 kWh pro m³ Speichermasse auf.

Lebens- und Einsatzdauer sind durch die Zyklenfestigkeit gekennzeichnet. Wesentlicher Einflussfaktor hierbei ist die Entladetiefe des Speichersystems. Eine Bleibatterie mit durchschnittlich 1.200 Ladezyklen weist eine Entladetiefe von 80 % auf. Im Gegensatz dazu ergibt sich bei ca. 2.000 Ladezyklen eine Entladetiefe von 100 % für Lithium-Ionen-Batterien.

4.2.3 Thermische Speicher

Thermische Energiespeicher sollen die Energie der solarthermischen Anlage speichern. Es gibt unterschiedliche Arten der thermischen Wärmespeicherung, wobei die kapazitive Wärmespeicherung die kostensparendste und effizienteste ist.

4.2.3.1 Kapazitive (fühlbare) Wärmespeicher

Das Prinzip der kapazitiven Wärmespeicherung ist, einem geeigneten Speichermedium Wärme zuzuführen, welches in Folge dessen eine Temperaturerhöhung erfährt. Wesentliches Entscheidungsmerkmal zur Beurteilung kapazitiver Wärmespeicher ist das Speichermedium und das Volumen. Daher wird für das Speichermedium eine hohe spezifische Wärmekapazität bevorzugt, um das Gesamtvolumen so gering wie möglich zu halten. In vielen Fällen wird Wasser als Speichermedium eingesetzt. Der Vorteil ist eine hohe spezifische Speicherkapazität von 4.182 KJ / kg K, beziehungsweise der volumetrischen Wärmekapazität vom 4.175 kJ/m³ K. Weiterhin ist Wasser überall verfügbar und als ein preiswertes Speichermedium ideal für die Modellsiedlung. Durch die temperaturabhängige Dichte wird eine stabile Schichtung im Speicher erleichtert.

Kombiniert mit Materialien wie Kies und Sand kann die Speicherfähigkeit noch erhöht werden. Da die Wärmeverluste über die Dämmschicht proportional zur Oberfläche und Temperaturdifferenz im Speicher sind, muss für Wärmespeicher ein möglichst kleines Verhältnis von Oberfläche zu Volumen angestrebt werden. Daher ist eine effektive Wärmespeicherung über längere Zeit nur im großen Maße möglich, da hier das A/V-Verhältnis auf eine entsprechende Größenordnung reduziert werden kann.

Eine Kombination aus Kurz- und Langzeitspeicher (bivalente Systeme) wird verstärkt als Speichersystem für solarthermische Anlagen eingesetzt. In diesem Fall wird über Sonnenenergie der Kurzzeitspeicher zur Trinkwarmwassernutzung befüllt wohingegen im Langzeitspeicher die Wärme sonnenreicher Tage zu Heizungszwecken gepuffert wird.

4.2.3.2 Latentwärmespeicher

Latentwärmespeicher finden zunehmend Anwendung im Wärmesektor. Erfährt ein Phasenwechselmaterial (PCM) eine Temperaturerhöhung, so ändert sich der Aggregatzustand, beispielsweise von fest zu flüssig. Das heißt, bei diesem Phasenwechsel kann bei sehr geringen Temperaturdifferenzen eine relativ große Menge an Wärme verlustfrei gespeichert werden. Als Speichermedien kommen Paraffine (Wärmeleitfähigkeit 0,2 W/mK) oder Salzhydrate (0,6 W/mK) in Frage. Aufgrund der geringen Wärmeleitfähigkeit der PCM-Materialien müssen sehr große Wärmeübertragungsflächen geschaffen werden. Der Einsatz fokussiert sich heutzutage in der Gebäudetechnik eher auf die Integration von PCM in Fußbodenheizungen, Sonnenschutz und Glasfassaden, aber auch Temperatur ausgleichender PCM-Gipsputz.

Potenzial Wärmespeicher

Im Vergleich zu latenten Wärmespeichern (PCM) ist die Speicherung fühlbarer Wärme die derzeit erprobteste und günstigste Variante. Ausgehend vom Potenzial der solarthermischen Anlage besteht ein Überschuss an Wärmeenergien, welche in den Wärmespeicher eingespeichert werden können.

4.2.4 Zukunft Speichertechnologien

Wasserstoff als Energiespeicher der Zukunft hat ein großes Potenzial auf dem Gebiet der Speichertechnologien. Da mit dem Elektrolysevorgang und der anschließenden Verstromung derzeit nur ein Wirkungsgrad bis max. 40 % erreicht werden kann, müssen hier noch Weiterentwicklungen stattfinden.

4.3 Zusammenfassung Potenziale

In der Potenzialanalyse wird jede Energiequelle als alleiniger Energieerzeuger betrachtet. Aus diesen Erkenntnissen soll im nachfolgenden Abschnitt ein geeignetes Energiekonzept erstellt werden, welches durch gute Kombination einzelner Energieerzeuger eine Energieautarkie erreichen soll.

Solare Energieerzeugung: Für die solarthermische und photovoltaische Energieerzeugung ist nach dem jetzigen Stand der Technik ausreichend Dachfläche zur Energiegenerierung vorhanden. Mit einer Aufteilung von 1.800 m² Fläche für Photovoltaik und 450 m² Solarthermie ergibt sich ein solarer Deckungsgrad von ca. 40 % thermisch und 60 % elektrisch. Somit bietet die solare Energieerzeugung ideale Voraussetzungen für das Energiekonzept.

Wärmepumpe/Abwasserwärmerückgewinnung: Das Potenzial der Wärmepumpe in Luft-Wasserausführung ist für das Energiekonzept ein geeigneter Energieerzeuger zur Heizungsunterstützung. Für die Nutzung der Abwasserwärme sollten in einem weiteren Schritt die Rahmenbedingungen der Kanalisation genauer untersucht werden.

Biogas: Durch ein BHKW kann Biomasse in thermische und elektrische Energie umgewandelt werden. Die Produktion von Biogas aus Bioabfall und Abwasser stellt für die Modellsiedlung kein ausreichendes Potenzial bereit. Nach derzeitigen Abschätzungen wird mit Hilfe des BHKWs 4 % des Strombedarfs und 9 % Wärmebedarfs abgedeckt.

Regenwassernutzung: Die Nutzung des Regenwassers wird auch im Energiekonzept berücksichtigt, da mit vergleichbar geringen Aufwand das Wasser- und Kanalisationsmanagement positiv beeinflusst werden können.

BHKW: Ein erdgasbetriebenes BHKW mit drei Modulen kann nach derzeitigen Abschätzungen 77 % des Wärmebedarfs und 60 % des Strombedarfs abdecken.

Speicher: Das Potenzial der Batteriespeicher ist nach dem heutigen Stand der Technik ausreichend, um einen hohen solaren Deckungsgrad von über 50 % zu erreichen. Für das Energiekonzept wird ein Lithium-Ionen-Batteriespeicher vorgeschlagen. Für das Wärmekonzept soll ein saisonaler Warmwasserspeicher im Nahwärmenetz integriert werden.

Fazit

Mit der Potenzialanalyse lässt sich ein gesamtes energetisches Potenzial von 472.391 kWh/a elektrisch und 926.851 kWh/a thermisch generieren. Für das Energiekonzept werden die Technologien der Photovoltaik, Solarthermie und Wärmepumpe, sowie das BHKW in 3 Varianten untersucht. Abgesehen von der Speicherproblematik wird die Solarenergie Hauptenergiequelle der konzeptionellen Untersuchung sein. Da das Potenzial der Biogasgewinnung aus Abwasser und Bioabfall relativ gering ausfällt, wird diese Technologie im Energiekonzept nicht mit aufgenommen. In wie weit die Biogasproduktion und Gewinnung für die Modellsiedlung Schorndorf relevant sein kann, muss in einer weiteren Untersuchung geklärt werden.

5 ENERGIEKONZEPT

Das Energiekonzept soll strategische Handlungsfelder aufzeigen und die Ansatzpunkte der lokalen Möglichkeiten zur Verringerung des Verbrauchs endlicher Ressourcen durch den Einsatz regenerativer Energien verdeutlichen.

Die Aufgabe des Energiekonzepts soll es sein, eine optimale Lösung zur Umsetzung der Energieautarkie zu finden. Es werden zwei Varianten untersucht, um eine Aussage zur Machbarkeit zu treffen. Mit dem Energiekonzept soll eine ganzheitliche Grundlage geschaffen werden, welche mit einem hohen energetischen Gebäudestandard, einem hohen Anteil an regenerativ gewonnener Energie und guter technischer Umsetzbarkeit überzeugt. Dieses Gesamtkonzept soll die Möglichkeiten der Energieautarkie aufzeigen, aber auch die Lücken, welche bis zur Umsetzung 2019, aber auch in der Zukunft durch die Entwicklung des Energiemarktes geschlossen werden können und müssen.

Das Energiekonzept sieht die Sonne als Hauptenergielieferant vor. Aus der Potenzialanalyse hervorgehend besteht die Möglichkeit, über Batteriespeicher und Photovoltaikanlage ca. 80% des Strombedarfs zu decken. Auch bringen die Solarkollektoren einen solaren Deckungsgrad von 100 % in den Sommermonaten und mit der richtigen Speichertechnologie ca. 40 % Bedarfsdeckung. Weiterhin sollen Wärmepumpe und Blockheizkraftwerk Bestandteil der energetischen Untersuchung sein. Ein hoher solarer Deckungsgrad setzt einen geringen Energiebedarf der Gebäude voraus. Daher ist ein effizienter Baustandard Grundvoraussetzung des Energiekonzepts. Nur durch diesen lässt sich der Heizwärmebedarf auf ein Minimum reduzieren. Um eine Energieautarkie zu erreichen, ist das Passivhaus über die Betriebszeit hinweg der passende Baustandard mit dem geringsten Wärmeenergiebedarf. Mit einem sehr hohen Dämmstandard, einer kompakten Bauweise und der Ausnutzung interner und solarer Gewinne über große Fensterflächen mit Südorientierung wird der Wärmebedarf ausschließlich über die Nachheizung des Belüftungsstroms sichergestellt. Somit ist eine behagliche Raumtemperatur sowohl im Sommer als auch im Winter über eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung realisiert. Schließlich sollen die Einsparungen an Primärenergie und CO₂-Emissionen im Vergleich zur Standardplanung Aufschluss über das geeignete Konzept geben.

Standardvariante:

Gebäudehülle:	-	Konventionell
Energieerzeugung:	-	Gasbrennwerttherme
Energieverteilung:	-	Netzanschluss Ökostrom, Fernwärme Erdgas

Die mit der Stadt Schorndorf abgestimmten Varianten beinhalten folgende Energieerzeuger:

Variante 1:

Gebäudehülle:	-	Nach Passivhausstandard
Energieerzeugung:	-	Solarthermie ca. 30 % der DF + Photovoltaik 60% der DF als vorrangige Energieerzeuger
Speichersystem:	-	saisonaler Wasserwärmespeicher 250 m ³ , Kurzzeitspeicher
	-	Batteriespeichersystem
Umwandlung:	-	Wärmepumpe
Energieverteilung:	-	Nahwärmenetz
Backup:	-	Netz- und Gasanschluss

Variante 2:

Gebäudehülle:	-	Nach Passivhausstandard
Energieerzeugung:	-	Solarthermie + Photovoltaik im Sommer, BHKW im Winter und zur Überbrückung bei sonnenarmen Tagen
Speichersystem:	-	saisonaler Wasserwärmespeicher 50 m ³ , Kurzzeitspeicher
	-	Batteriespeichersystem
Umwandlung:	-	BHKW
Energieverteilung:	-	Nahwärmenetz

5.1 Standardplanung und Optimierung der Gebäudehülle

5.1.1 Gebäudehülle der Standardvariante nach EnEV 2009

Die Gebäudehülle der Standardvariante wird nach den Richtlinien der EnEV 2009 definiert. Die Luftdichtheit wird mit 2,0 l/h angenommen.

Tabelle 6: U-Werte Standardvariante

U-Werte Standard	
Wand [W/m ² K]	0,28
Dach [W/m ² K]	0,2
Boden [W/m ² K]	0,35
Verglasung Gesamt [W/m ² K]	1,3

5.1.2 Optimierte Gebäudehülle nach Passivhausstandard

Mit einem geforderten Baustandard von 250 mm bis 400 mm Außenwanddämmstärke, dazugehörigen U-Werten von kleiner als 0,15 W/(m²K) und einer Dreifach-Wärmeschutzverglasung mit U-Werten von kleiner als 0,80 W/(m²K) sowie g-Werten von 50 %, sollte die Gebäudehülle möglichst kompakt sein, um Wärmebrücken zu vermeiden.

Weitere wichtige Bewertungskriterien sind ein maximaler Heizwärmebedarf von 15 kWh/(m²a) oder eine Heizwärmelast von 10 W/m². Mit dem Bedarf an Heizung, Warmwasserbereitung, Lüftung und Haushaltsstrom darf nach Definition des Passivhausstandards der Primärenergiebedarf nicht größer als 120 kWh/(m²a) sein.

Tabelle 7: U-Werte Passivhaus

U-Werte Passiv	
Wand [W/m ² K]	0,11
Dach [W/m ² K]	0,09
Boden [W/m ² K]	0,1
Verglasung Gesamt [W/m ² K]	0,95

Für die Luftdichtheit des Passivhauses muss bei einem Unter- bzw. Überdruck von 50 Pa ein Wert von kleiner als $n_{50}=0,6$ l/h eingehalten werden. Um eine ausreichende Be- und Endlüftung zu gewährleisten, ist eine mechanische Lüftung vorzusehen.

Die Lüftungsanlage sollte mit einem Gegenstromwärmeübertrager zur Erwärmung der Zuluft ausgestattet sein, um eine prozentual hohe Wärmerückgewinnung von mindestens 90 % nutzen zu können.

5.1.3 Technische Randbedingungen für die Bestimmung des Energiebedarfs

Zur Bestimmung des Energiebedarfs wurden des Weiteren folgende Randbedingungen herangezogen:

- zentrale Wasserzirkulation
- mittlere Bauschwere
- pauschal - verbesserte Wärmebrücken
- Gasbrennwerttherme als Wärmeerzeuger
- Netzanschluss als Stromlieferant

Eine zentrale Trinkwarmwasserbereitung wurde mit einer dezentralen Warmwasserbereitung gegenübergestellt, mit dem Ergebnis, dass die zentrale Anlage zu bevorzugen wäre, siehe Anhang Kapitel 3. Daher wurde weiterhin wird von einer zentralen Trinkwarmwasserbereitung mit Zirkulation ausgegangen.

Die nachfolgende Abbildung zeigt vereinfacht die Energieversorgung. Ausgehend von einem angebotenen Strommix¹⁵ wird von einem Primärenergiefaktor von 2,7 und einem CO₂-Ausstoss von 0,644 kg/kWh¹⁶ ausgegangen. Die Beheizung der Gebäude und die Erwärmung des Trinkwarmwassers würde eine Gasbrennwerttherme übernehmen. Dazu ist ein Erdgasanschluss nötig, der Erdgas mit einem Primärenergiefaktor von 1,1 und einem entsprechenden CO₂-Äquivalent von 0,232 kg/kWh liefert.

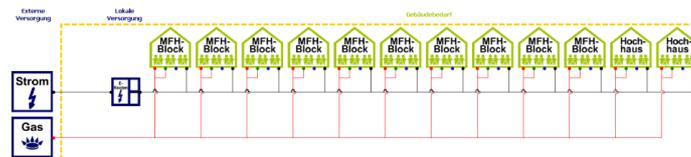


Abbildung 19: Vereinfachte Darstellung Energieversorgung Standardvariante (Quelle: Erstellt mit der Software Quartier ECA)

¹⁵ Zusammensetzung Ökostrom: 75% Ökostrom aus Wasserkraft, ca. 25% konventioneller Strombezug (38,4% Kernkraft; 40,8% Kohle; 9,5% Erdgas; 3,4% Sonstige fossile Energieträger)

¹⁶ Stadtwerke Schorndorf

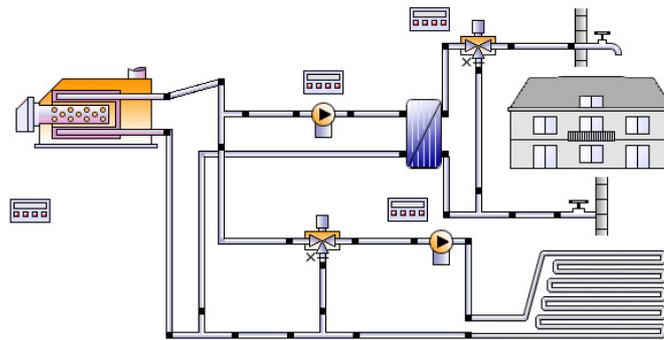


Abbildung 20: Standardvariante, Prinzip Wärmeerzeugung (Quelle: Erstellt mit der Software Polysun)

Die Ermittlung des Heizwärmebedarfs erfolgt mit Hilfe der DIN V 18599. Folgende Arbeitsschritte ergeben sich nach dieser DIN:

1. Einteilung des Gebäudes in Versorgungs- und Nutzungszonen und Ermittlung der jeweiligen Nutzflächen. Die von der gleichen Technik versorgten Zonen werden zu einem Nutzbereich zusammengefasst.
2. Die Ermittlung des Energiebedarfs, sowie die aus der Beleuchtung, Lüftung, Transmission, Personen und Geräten resultierenden Wärmesenken und -quellen
3. Vorläufige Bilanzierung des Wärme- und Kältebedarfs sowie die Aufteilung der Versorgungssysteme
4. Bestimmung der Anlagenverluste für Heizung, Kühlung, Lüftung und Trinkwarmwasser
5. Endgültige Bilanzierung der Nutzenergie
6. Bestimmung des End- und Primärenergiebedarfs inklusive Hilfsenergie

Eine vereinfachte Methode, den Heizwärmebedarf zu ermitteln, bietet das excelbasierte Werkzeug EnerCalc. Nach dem vereinfachten Verfahren, die Gebäudehüllfläche als 1-Zonen-Modell zu betrachten, kann mit EnerCalc die vereinfachte energetische Bilanzierung von Gebäuden in Anlehnung an die DIN V 18599 vorgenommen werden.

Im Rahmen einer Dissertation am Lehrgebiet „Bauphysik und Technischer Ausbau“ der Bergischen Universität Wuppertal wurde dieses Werkzeug von Markus Lichtmess entwickelt und dient ausschließlich Forschungszwecken.

Nach der Erfassung der Gebäudehüllen ergibt sich ein Heizwärmebedarf von 150.000 kWh/a. Der Warmwasserbedarf von 153.300 kWh/a resultiert aus einer Annahme von 1,4 kWh pro Tag und Person sowie dem Bezug auf die Größe des einzelnen Gebäudes. Für die Warmwasserbereitung wird in der Standardvariante die Nutzungsvariante „Mehrfamilienhaus mit zentraler Zirkulation“ gewählt. Da in dem Exceltool zwar die Beleuchtung und der Hilfsstrom betrachtet, aber nicht der allgemeine Haushaltsstrom mit eingerechnet wird, ist an diesem Punkt von einem aus der „Faustformel

Gebäudetechnik¹⁷ entnommener Wert für Passivhäuser von 17 kWh/m² Ausgangspunkt zur Abschätzung des Strombedarfs. Für die Siedlung bedeutet dies einen Strombedarf von ca. 250.000 kWh/a. (Darin enthalten sind auch Hilfsströme für eventuelle Verbraucher wie Wärmepumpe, Straßenbeleuchtung, Versorgungstechnik).

Der Primärenergiebedarf ist die Energiemenge, die zur Deckung des Gesamtenergiebedarfs aufgebracht werden muss. Darin enthalten ist zusätzlich der Energiebedarf zu Gewinnung, Umwandlung und Transport des Energieträgers. Der Primärenergiebedarf ergibt sich also aus dem Produkt der Endenergie und dem dazugehörigen Primärenergiefaktor. Die CO₂-Emissionen werden mit Hilfe des CO₂-Äquivalent ermittelt.

Die Ergebnisse für die Standardvariante und die Variante mit optimierten Gebäudehüllen werden in folgender Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 8: Randbedingungen für die Standardvariante, mit Standard Gebäudehülle („Standard“) und optimierter Gebäudehülle („Passivhaus“)

Grunddaten	Riegel 1	Riegel 2	Hochhaus 1	Hochhaus 2
Grundfläche [m ²]	880	880	324	400
Geschosse	4	4	8	10
beheizte Fläche [m ²]	2816	2816	2074	3200
Fensterfläche Süd [%]	60			
Fensterfläche Ost [%]	25			
Fensterfläche West [%]	25			
Fensterfläche Nord [%]	20			
U-Werte Standard				
Wand [W/m ² K]	0,28			
Dach [W/m ² K]	0,2			
Boden [W/m ² K]	0,35			
Verglasung Gesamt [W/m ² K]	1,3			
U-Werte Passivhaus				
Wand [W/m ² K]	0,11			
Dach [W/m ² K]	0,09			
Boden [W/m ² K]	0,1			
Verglasung Gesamt [W/m ² K]	0,95			

Tabelle 9: Ergebnisse des Wärmeenergiebedarfs für die Standardvariante, mit Standard Gebäudehülle („Standard“) und optimierter Gebäudehülle („Passiv“)

¹⁷ Faustformel Gebäudetechnik

Energiebilanz Standard	Riegel 1	Riegel 2	Hochhaus 1	Hochhaus 2
spez. Heizlast [W/m ² a]	45	45	32	29
spez. Wärmebedarf [kWh/m ² a]	60,3	60,3	32,5	34,7
Primärenergiebedarf Wärme	101	101	65	67
CO ₂ -Emission [kgCO ₂ /m ² a]	25,2	25,2	16,4	16,9
Energiebilanz Passivhaus				
spez. Heizlast [W/m ² a]	25	25	20	20
spez. Wärmebedarf [kWh/m ² a]	15,2	15,2	12,1	12,2
Primärenergiebedarf Wärme	34,1	34,1	28,5	28,6
CO ₂ -Emission kgCO ₂ /m ² a]	8,5	8,5	7,1	7,1

Tabelle 10: Zusammenfassung der Energiebilanz der optimierten Gebäudehülle für die ganze Modellsiedlung

Standardvariante	Heizlast [kW]	Wärmebedarf [kWh/a]	Primärenergiebedarf [kWh/a]	CO ₂ -Emission [kgCO ₂ /a]
12 Mehrfamilienhäuser	414	518,055	925,530	229,700
Passivhaus				
12 Mehrfamilienhäuser	149	246,280	342,564	85,018
Einsparung Bauweise [%]	36	48	37	37

5.2 Variante 1

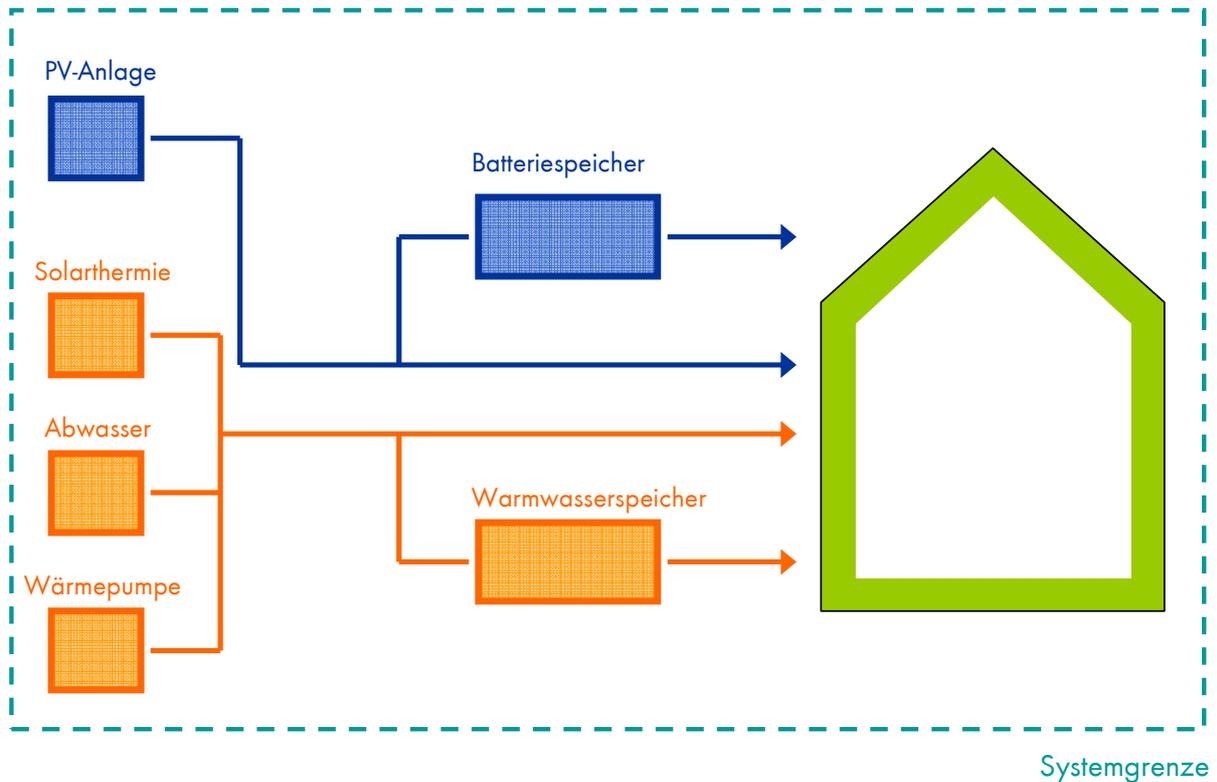


Abbildung 21 Systemdarstellung Energiekonzept 1 (Quelle: Eigene Darstellung)

Die Wärmeerzeugung erfolgt grundsätzlich mit solarthermischen Kollektoren. Über eine solarthermische Anlage soll in den Sommermonaten der Trinkwarmwasserbedarf gedeckt werden. Dazu sind mehrere Kurzzeitspeicher mit einem Temperaturniveau von 50 °C vorgesehen. Die überschüssige Energie der Solarkollektoren soll in einem großen Pufferspeicher eingespeichert werden. Für den Pufferspeicher ist ein Volumen von 250 m³ vorgesehen, welcher im Erdreich versenkt werden soll. Für die Solarkollektoren ist die volle in der Potenzialanalyse angenommene Fläche von 450 m² berücksichtigt. Weiterhin wird dem Pufferspeicher die gewonnene Energie des Abwasserwärmetauschers zugeführt. Eine Wärmepumpe macht die Energie des Pufferspeichers im Winter nutzbar.

Stromseitig wird die Modellsiedlung über Photovoltaikmodule mit einer Fläche von 1.800 m² versorgt. Batteriespeicher werden die Überschussenergie des Sommers speichern und über eine intelligente Steuerung des Lastmanagements dem Verbraucher zur Verfügung stellen.

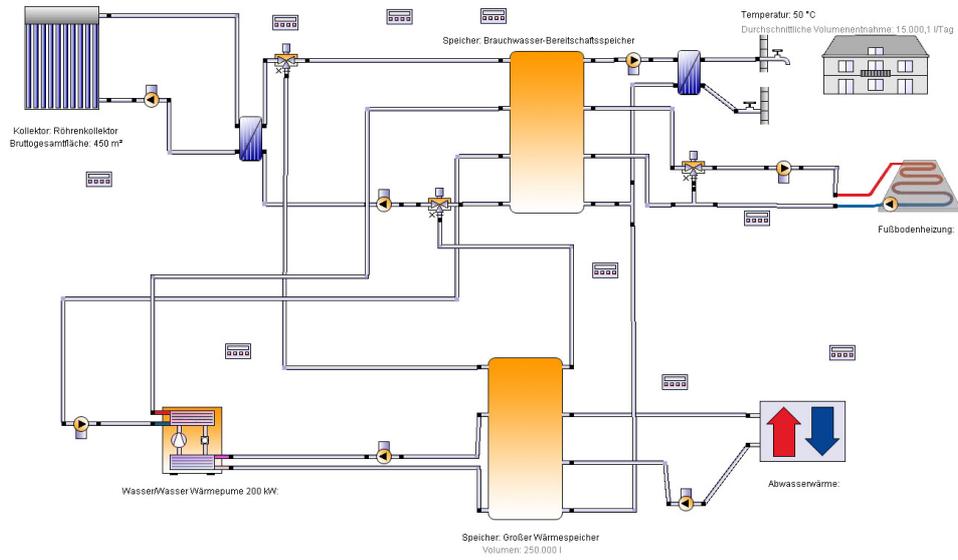


Abbildung 22: Anlagenschema Variante 1 (Quelle: Erstellt mit der Software Polysun)

5.3 Variante 2

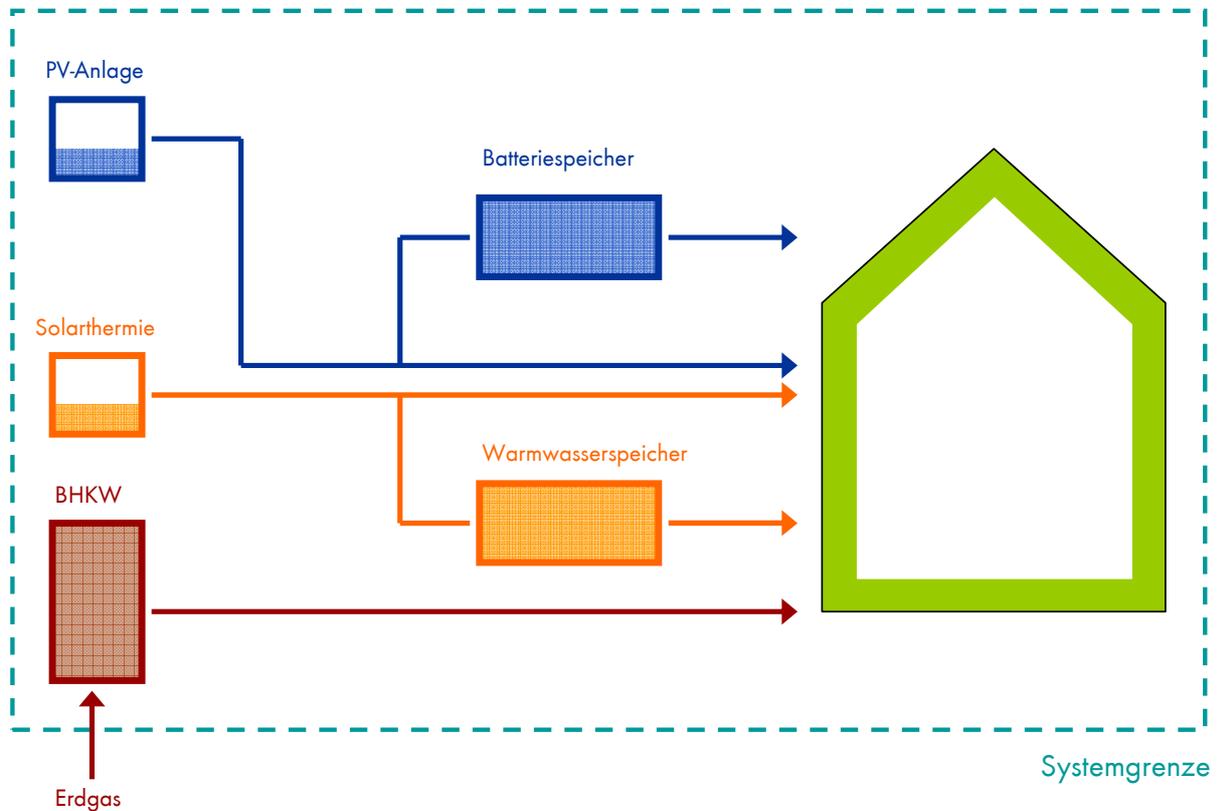


Abbildung 23: Systemskizze Energiekonzept Variante 2 (Quelle: Eigene Darstellung)

In den Sommermonaten wird auch hier die Wärme und Stromerzeugung über solarthermische und photovoltaische Anlagen gedeckt. Zusätzlich und gerade in den Wintermonaten steht ein BHKW im wärmegeführten Betrieb zur Verfügung. Dies erhöht die Sicherheit der Energieversorgung in sonnenschwachen Monaten. Da das BHKW einen größeren Teil der Wärme und Strom produzieren muss, um wirtschaftlich zu sein, wird für die PV- und Solarthermieanlage eine kleinere Fläche angenommen. Des Weiteren reduziert sich dadurch das Volumen des Langzeitspeichers verglichen mit Variante 1.

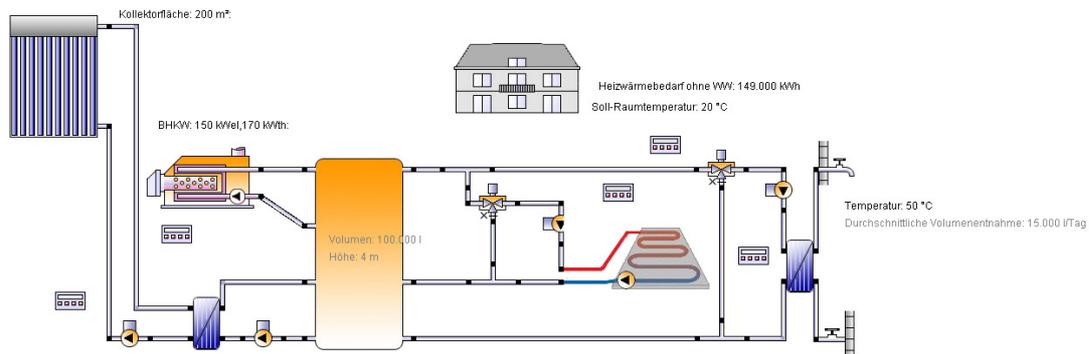


Abbildung 24: Anlagenschema Variante 1 (Quelle: Erstellt mit der Software Polysun)

5.4 Energie- und CO₂ Bilanz

Für den Variantenvergleich wird eine Primär- und CO₂ Bilanzierung der Variante 1 und 2 vorgenommen. Die Ergebnisse werden wiederum mit den Ergebnissen der Standardvariante verglichen, um eine Aussage über die Effizienz und eine Entscheidung über die Auswahl der Anlagentechnik treffen zu können.

Ausgehend von der Annahme, dass die Wärmepumpe mit dem von der PV-Anlage generierten Strom versorgt wird, das BHKW mit Erdgas betrieben wird und dass alle Wärmeerzeuger je Variante ein Nahwärmenetz darstellen, ergibt sich folgender Primärenergiebedarf der einzelnen Varianten:

Tabelle 11: Primärenergiebilanz

Variante	Anlagen	Primärenergiefaktor	Primärenergiebedarf [kWh/a]	Summe [kWh/a]
Standard	Netzanschluss	2,7	675.000	892.800
	Gasbrennwerttherme	1,1	217.800	
1a	Photovoltaik	0,0	0	175.500
	Solarthermie	0,0	0	
	Wärmepumpe	2,7	175.500	
1b	Photovoltaik	0,0	0	325.500
	Netzanschluss	2,7	150.000	
	Solarthermie	0,0	0	
	Wärmepumpe	2,7	175.500	
2	Photovoltaik	0,0	0	294.000
	Solarthermie	0,0	0	
	BHKW Strom	0,7	189.000	
	BHKW Wärme	0,7	105.000	

Standardvariante:

Der Wärmebedarf der Standardvariante mit optimierter Gebäudehülle beträgt für die Beheizung und Trinkwarmwasserbereitung 198 MWh/a. Dieser Wärmebedarf wird in der Standardvariante vollständig durch eine Gasbrennwerttherme abgedeckt. Für die Primärenergiebilanz wird ein Primärenergiefaktor von 1,1 angenommen. Der Primärenergiewert von 1,1 ist ein Standardwert für Erdgas, wie es in Schorndorf zur Verfügung steht. Daraus ergibt sich wärmeseitig ein Primärenergiebedarf von 218 MWh. Stromseitig wird der Bedarf von 250 MWh durch einen konventionellen Netzanschluss sichergestellt. Ausgehend von einem Strommix ergibt sich ein Primärenergiebedarf von 893 MWh/a.

Variante 1a:

Für die regenerativ erzeugte Energie aus Photovoltaikanlage und Solarthermie wird ein Primärenergiefaktor von 0 angenommen. Dieser resultiert aus der Annahme, dass der Primärenergiefaktor ein Gewichtungsfaktor ist. Daher wird nur die Wärmepumpe der Variante 1 primärenergetisch bilanziert, da diese mit elektrischer Energie angetrieben wird und im Jahr ca. 65 MWh Strom benötigt. Daraus ergibt sich ein Primärenergiebedarf von 175 MWh/a.

Der Netzanschluss hier dient als Back-Up System und erscheint daher nicht in der CO₂-Bilanz.

Variante 1b:

Mit einem geringeren solaren Deckungsgrad der Photovoltaikanlage aber einem höheren Anteil an netzbezogener elektrischer Energie, ergibt sich für die Variante 1 b ein Primärenergiebedarf von 325 MWh pro Jahr.

Variante 1 b erfordert aufgrund des größeren Strombezugs aus dem Netzanschluss einen höheren primärenergetischen Aufwand.

Variante 2:

Zentraler Energieerzeuger der Variante 2 ist das Blockheizkraftwerk. Im Nahwärmeverbund wird für die Kraftwärmekopplung nach der Energieeinsparverordnung ein Primärenergiefaktor von 0,7 angenommen. Das Blockheizkraftwerk erzeugt ca. 70 % des Wärmebedarfs und 40 % des Strombedarfs. Der Rest wird über Solarenergie und die entsprechenden Anlagen erzeugt. Daraus ergibt sich ein Primärenergiebedarf von 294 MWh pro Jahr.

Tabelle 12: Tabelle CO₂-Bilanz

		Wärmebilanzierung			Strombilanzierung			CO ₂ -Bilanzierung				
		Bedarf [kWh/a]	Deckung [kWh/a]	Deckung [%]	Bedarf [kWh/a]	Deckung [kWh/a]	Deckung [%]	CO ₂ -Faktor [kg CO ₂ /kWh]	CO ₂ -Emission [kg CO ₂ /a]	Σ CO ₂ [kg CO ₂ /a]		
Standard	Netzanschluss	351.400			250.000	250.000	100	0,576	144.000	225.525		
	Gasbrennwerttherme		351.400	100				0,232	81.525			
Variante	1a		Photovoltaik				250.000	100	0	0	142.162	
			Solarthermie	168.672		48			0	0		
			Abwasser	24.598		7			0,778	19.137		
			Wärmepumpe	158.130		45			0,778	123.025		
	1b		Photovoltaik				100.000	40	0	0		547.162
			Netzanschluss				150.000	60	2,7	405.000		
			Solarthermie	168.672		48			0	0		
			Abwasser	24.598		7			0,778	19.137		
	Wärmepumpe	158.130	45			0,778	123.025					
	2	Photovoltaik			100.000	40	0	0	294.000			
Solarthermie		80.822	23			0	0					
BHKW Strom				150.000	60	0,7	105.000					
BHKW Wärme		270.000	77			0,7	189.000					

Die Standardvariante verursacht eine CO₂-Emission von insgesamt 225 t CO₂ pro Jahr. Im Vergleich dazu emittiert Variante 1 a nur ca. 50 % des CO₂-Aufkommens. Variante 1 b weist auf Grund des prozentual höheren Anteils an Strom aus dem Netz sowie dem Strom für die Wärmepumpen nahezu 50 % mehr CO₂-Emissionen als die Standardvariante auf. Dazu weist die Variante 2 mit 294 t CO₂ pro Jahr nur unwesentlich mehr Emissionen als die Standardvariante auf.

5.5 Untersuchungen der technischen Anlagen in Bezug auf die Lebenszykluskosten

Im Folgenden werden die drei technischen Lösungen der Varianten monetär über ihren gesamten Lebenszyklus betrachtet. Dabei wird eine vereinfachte Lebenszykluskostenberechnung basierend auf den Vorgaben der DGNB (Deutschen Gütesiegel für Nachhaltigen Bauen) verwendet. In dieser vereinfachten Berechnung werden nur die Kosten der technischen Anlagen zur Strom- und Wärmeerzeugung sowie die Brennwert- und Energiekosten bilanziert. Alle weiteren für eine DGNB-Zertifizierung relevanten Kosten, wie z.B. die Kosten der Baukonstruktion oder die Kosten für Wasser werden der Einfachheit hier nicht betrachtet.

Bei der Lebenszykluskostenbetrachtung nach DGNB werden die (Erst-)Investitionskosten sowie die Folgekosten in Form von Betriebs-, Instandsetzungs- als auch Ersatzinvestitionskosten berücksichtigt. Ferner finden, wie zuvor erwähnt, die Energiekosten Berücksichtigung. Nicht berücksichtigt werden hingegen die Kosten für Abbruch, Recycling und Entsorgung.

Zur Berechnung der Lebenszykluskosten auf die folgenden 50 Jahre wird die Kapitalbarwertmethode angewandt. Der errechnete Barwert ermöglicht es, unterschiedlich Kosten-Zeit-Verläufe miteinander zu vergleichen. So lässt sich zwischen anfänglichen Aufwendungen und späteren Folgekosten oder auch Einsparungen abwägen. Um die Barwertmethode anwenden zu können, werden neben den auftretenden

Kostengrößen auch Angaben zum Zeitpunkt des Auftretens benötigt. In der Methode werden die Preisentwicklung (Preissteigerung) und der Kalkulationszinssatz berücksichtigt.

Der Barwert gibt an, welchen Betrag man heute (bzw. zum Betrachtungszeitraum) anlegen (bei der Bank) müsste, um davon bei einer Verzinsung von i alle Zahlungen im Betrachtungszeitraum zu leisten.

Beim Kalkulationszinssatz wurden die DGNB-Vorgaben von 5, 5% gewählt. Dieser drückt die Verzinsungserwartung für das eingesetzte Kapital aus.

Ebenso werden die Preissteigerung für Baukosten (2,0 %) sowie für die Energiekosten (4,0 %) nach DGNB-Vorgaben gewählt. Preissteigerungen für Wasser-/Abwasserkosten sowie für Dienstleitung und Reinigung wurden aus Gründen der Überschaubarkeit vernachlässigt.

Die Energiekosten hingegen wurden in folgender Betrachtung an die tatsächlichen Strom- und Gaspreise in Schorndorf angepasst. So beträgt der aktuelle Gaspreis $0,63 \text{ €/m}^3$ und der Strompreis $0,24 \text{ €/kWh}$.

Alle Preise sind Bruttopreise, also einschließlich der Mehrwertsteuer von aktuell 19 %.

5.5.1 Energie- und Brennstoffbedarf

Standard Variante – Netzanschluss und Gasbrennwerttherme

Bei dieser Basis-Variante wird der gesamte Heizwärmebedarf von ca. 351.400 kWh über eine Gasbrennwerttherme gedeckt. Bei angenommenen Leitungsverlusten von 10 % und einem Heizwert von Erdgas von 11 kWh/m^3 ergibt sich somit ein Gasbedarf von ca. 35.500 m^3 .

Der Strombedarf der Siedlung beläuft sich auf ca. 250.000 kWh und wird komplett über einen Netzanschluss bereitgestellt.

Variante 1a – Photovoltaik, Solarthermie, Abwasserwärme, Wärmepumpe und kleiner Netzanschluss

In dieser Variante wird der Heizwärmebedarf zu 48 % (entspricht ca. 168.600 kWh) über Solarthermie, zu 7 % (entspricht ca. 24.600 kWh) über Abwasserwärme und zu 45% (entspricht 158.000 kWh) über eine Wärmepumpe gedeckt. Bei einer Jahresarbeitszahl von 3,5 für die beiden Wärmepumpen ergibt dies einen gesamten Stromverbrauch für die Wärmepumpen von 52.200 kWh. Der verbleibende Strombedarf der Siedlung wird hauptsächlich über die Photovoltaik-Anlage gedeckt, dennoch ist ein kleiner Netzanschluss vorgesehen.

Variante 1b – Photovoltaik, Solarthermie, Abwasserwärme, Wärmepumpe und großer Netzanschluss

Um die Kosten für einen Batteriespeicher zu senken und die Varianten unter ähnlichen Bedingungen monetär miteinander vergleichen zu können, wurde für die Lebenszykluskostenbetrachtung eine zusätzliche Variante eingeführt, bei der ergänzend zur Photovoltaik ein Netzanschluss eingeführt wird, der den Strombedarf zu 60 % (entspricht 150.000 kWh) deckt. 40 % (entspricht 100.000 kWh) des Strombedarfs werden durch die PV-Anlage erzeugt. Die restlichen Werte entsprechen der der Variante 1a.

Variante 2 – Photovoltaik, Solarthermie, BHKW

Bei dieser Variante wird der Heizwärmebedarf zu 23 % (entspricht ca. 80.800 kWh) über die Solarthermie und zu 77 % (entspricht ca. 270.000 kWh) über das BHKW gedeckt. Der Strombedarf wird zu 40 % (entspricht 100.000 kWh) über die Photovoltaikanlage und zu 60 % (150.000 kWh) über das BHKW gedeckt.

5.5.2 Investitionskosten

Standard Variante – Netzanschluss und Gasbrennwerttherme

Bei dieser Basis-Variante wird von einem klassischen Netzanschluss ausgegangen, der sich für die Siedlung überschlägig geschätzt auf ca. 30.000 € belaufen wird. Dies ist allerdings ein sehr grober Richtwert, da die sonstigen Gegebenheiten des Baufeldes und der bereits vorhandene Anschluss des Baubetriebshofes nicht bekannt sind.

Die Investitionskosten für die Gasbrennwertthermen belaufen sich auf ca. 45.000 €, da für die beiden Punkthäuser jeweils eine 45 kW - sowie eine 60 kW - Gasbrennwerttherme gekauft werden müssen. Für die beiden Riegel werden insgesamt zwei 90 kW Thermen benötigt, was inklusive zusätzlicher Komponenten und Steuerung den Gesamtpreis ergibt.

Variante 1a – Photovoltaik, Solarthermie, Abwasserwärme und Wärmepumpe

Die Gesamtkosten der Photovoltaikanlage belaufen sich auf ca. 220.000 €. Zugrunde gelegt wurde ein aktueller Preis von ca. 1.100 €/kW Peak. Die Kosten des Batteriespeichers belaufen sich in dieser Variante auf ca. 380.000 €¹⁸ für insgesamt 320 kWh. Die Kosten der Solarthermieanlage belaufen sich auf insgesamt ca. 112.500 € wobei ein Preis von 250 €/m² für Flachkollektoren zugrunde gelegt wurde¹⁹. Die Kosten für den Abwasserwärmetauscher und die dazugehörige 30 kW-Wasser/Wasser Wärmepumpe belaufen sich auf ca. 30.000 €. Für die zusätzliche Wärmebedarfsdeckung kommen drei in Kaskade geschaltete Luft-Wasser-Wärmepumpen mit einer Leistung von jeweils 50 kW zum Einsatz. Die Gesamtinvestitionen belaufen sich hierbei auf ca. 65.000 €. Der zusätzlich benötigte Wärmespeicher von insgesamt 250 m³ besteht aus fünf Wärmespeichern von 50 m³, die unter den Gebäuden installiert werden könnten. Der Gesamtpreis von 250.000 € ergibt sich aus den Anschaffungskosten des Speichers, inklusive Zubehör und Anlieferung. Ein zusätzlicher Aushub, falls die Speicher außerhalb der Gebäude installiert werden müssten, wurde nicht berücksichtigt. Der Netzanschluss wurden in allen Varianten mit 30.000 € beziffert.

Variante 1b – Photovoltaik, Solarthermie, Abwasserwärme, Wärmepumpe und großer Netzanschluss

Die Variante 1b unterscheidet sich von der Variante 1a nur dadurch, dass eine kleine Photovoltaikanlage zum Einsatz kommt, deren Kosten sich auf 120.000 € belaufen, bei Zugrundelegung desselben Preises pro kW Peak. Daraus ergibt sich auch eine kleinerer benötigter Batteriespeicher von nur 128 kWh und ein Preis von 178.500 €.

Variante 2 – Photovoltaik, Solarthermie, BHKW

Die Investitionskosten für die Photovoltaikanlage und den zugehörigen Batteriespeicher belaufen sich in dieser Variante entsprechen der Variante 1b. Für die kleinere Solarthermieanlage von 100 m² ergeben sich Kosten von nur 25.000 €. Die Kosten für das BHKW belaufen sich auf ca. 300.000 € inklusive Schalldämpfung, Katalysator, Lüftung, Schaltschrank sowie Transport, Montage und Inbetriebnahme. In dieser Variante kann der Netzanschluss entfallen.

¹⁸ vgl. Berechnung von Europartner Energy

¹⁹ <http://www.solaranlage-ratgeber.de/solarthermie/solarthermie-wirtschaftlichkeit/solarthermie-anschaffungskosten>

Tabelle 13: Kostenübersicht (Nettopreise)

Variante	Einrichtungen	Investitionskosten	techn. Daten
Standard	Netzanschluss	30,000 €	
	Gasbrennwerttherme	45,000 €	245 kW
1a	Photovoltaik	220,000 €	200 kWp
	Batteriespeicher	380,000 €	320 kWh
	Netzanschluss	30,000 €	
	Solarthermie	112,500 €	450 m ²
	Abwasser	30,000 €	30 kW
	Wärmepumpe	65,000 €	150 kW
	Wärmespeicher	250,000 €	250 m ³
1b	Photovoltaik	120,000 €	107 kWp
	Batteriespeicher	178,500 €	128 kWh
	Netzanschluss	30,000 €	
	Solarthermie	112,500 €	450 m ²
	Abwasser	30,000 €	30 kW
	Wärmepumpe	65,000 €	150 kW
	Wärmespeicher	250,000 €	250 m ³
2	Photovoltaik	120,000 €	107 kWp
	Batteriespeicher	178,500 €	128 kWh
	Solarthermie	25,000 €	100 m ²
	BHKW Strom		138 kW el
	BHKW Wärme	300,000 €	232 kW th

In der Kostenübersicht sieht man zwischen 1a und 1b einen Unterschied der PV-Anlagen und des Batteriespeichers, da bei 1a eine große PV-Anlage mit einer installierten Leistung von 200kWp gegeben ist, bei 1a lediglich 107kWp.

Bei 2 wird ebenfalls ein kleinerer Energiespeicher installiert, welcher über die PV-Anlage, aber auch mit dem überschüssigen Strom des BHKWs betrieben wird.

Der Wärmespeicher bei 1a und 1b wird benötigt, um die durch die Solarthermie erhaltene Energie in Form von Warmwasser zu speichern um Sie dann wieder freizusetzen, wenn Sie an Sonnenschwachen beziehungsweise kälteren Tagen benötigt wird.

Unter dem Punkt Abwasser versteht man die Energiegewinnung durch das Entziehen von Energie aus noch erwärmtem Abwasser.

5.5.3 Auswertung der Lebenszykluskosten

Aus den Lebenszykluskostenberechnungen nach DGNB (Kapitel 1.4) ergeben sich für die vier Varianten die Herstellkosten, also die Investitionskosten für die technischen Anlagen, die zu Baubeginn getätigt werden müssen. Darüber hinaus ergeben sich die Barwerte für den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren für die Nutzungskosten, also die Kosten für Strom und Gas, außerdem die Barwerte für die

Erneuerungsinvestitionen, der gesamte Barwert sowie der Barwert pro m² BGF. Die Ergebnisse sind in folgender Tabelle zusammengefasst:

Tabelle 14: Übersicht Auswertung Lebenszykluskostenanalyse

Variante	Herstellkosten	Barwert			
		Nutzungskosten	Erneuerung	Gesamt	pro m ² BGF
Standard	75,000 €	2,936,226 €	19,360 €	3,030,586 €	278 €
Variante 1a	1,087,500 €	1,000,077 €	514,075 €	2,601,652 €	239 €
Variante 1b	786,000 €	1,881,263 €	316,172 €	2,983,435 €	274 €
Variante 2	623,500 €	1,253,716 €	337,112 €	2,214,328 €	203 €

Wie aus vorangestellter Tabelle ersichtlich, gibt es einen großen Unterschied in den reinen Investitionskosten für die technischen Anlagen. Die Herstellkosten der Standard-Variante betragen lediglich 75.000 € für den Netzanschluss und die Gasbrennwerttherme. Dabei ist die Variante 1a mehr als 13 mal teurer als die Standard-Variante. Interessanterweise schlägt sich die Energieeinsparung der nahezu energieautarken Lösung so stark nieder, dass auf den Lebenszyklus betrachtet die Variante 1a 400.000 € günstiger ist, als die Standard-Variante, trotz ebenfalls hoher Erneuerungskosten.

Trotz der günstigeren Variante 1b, bei der die Herstellkosten durch eine kleinere Photovoltaik Anlage und einen geringeren Batteriespeicher um bis zu 400.000 € im Vergleich zur Variante 1a gesenkt werden konnten, ist diese am Ende des Lebenszyklus fast genauso teuer als die Standard-Variante.

Die insgesamt kostengünstigste Möglichkeit der Energieversorgung der Modellsiedlung ist die Variante 2, bei der ein BHKW zum Einsatz kommt. Über 50 Jahre spart diese Lösung im Vergleich zur Standard-Variante ca. 800.000 € an Kosten ein.

6 E-MOBILITÄT

Die Einsparung des CO₂-Ausstoß wird zusätzlich durch ein Mobilitätskonzept gefördert. Die Thematik Elektromobilität umfasst das Anbieten von Car-Sharing und Lademöglichkeiten von Elektroautos, welches in ein Gesamtkonzept zur Einbindung der Elektromobilität ins Versorgungssystem der Modellsiedlung integriert ist. Außerdem wird eine intelligente Vernetzung zwischen Bewohner, Elektromobil und Energieversorgung vorgeschlagen, welche Anreizsysteme zur Nutzung von Car-Sharing und E-Mobilität vorgesehen ist.

6.1 Status-Quo der Stadt Schorndorf

6.1.1 Vorhandene Car-Sharing Infrastruktur

Der Verein Stadtmobil e.V. stellt derzeit zwei Car-Sharing-Autos für Mitglieder in Schorndorf zur Verfügung, welche stunden- oder tageweise gebucht werden können. Am S-Bahnhof Schorndorf-Weiler steht ein Opel Astra Kombi mit Anhängerkupplung sowie ein Opel Combo Zwei-Sitzer mit großem Transportraum in der Bismarckstraße 11-15 bereit.

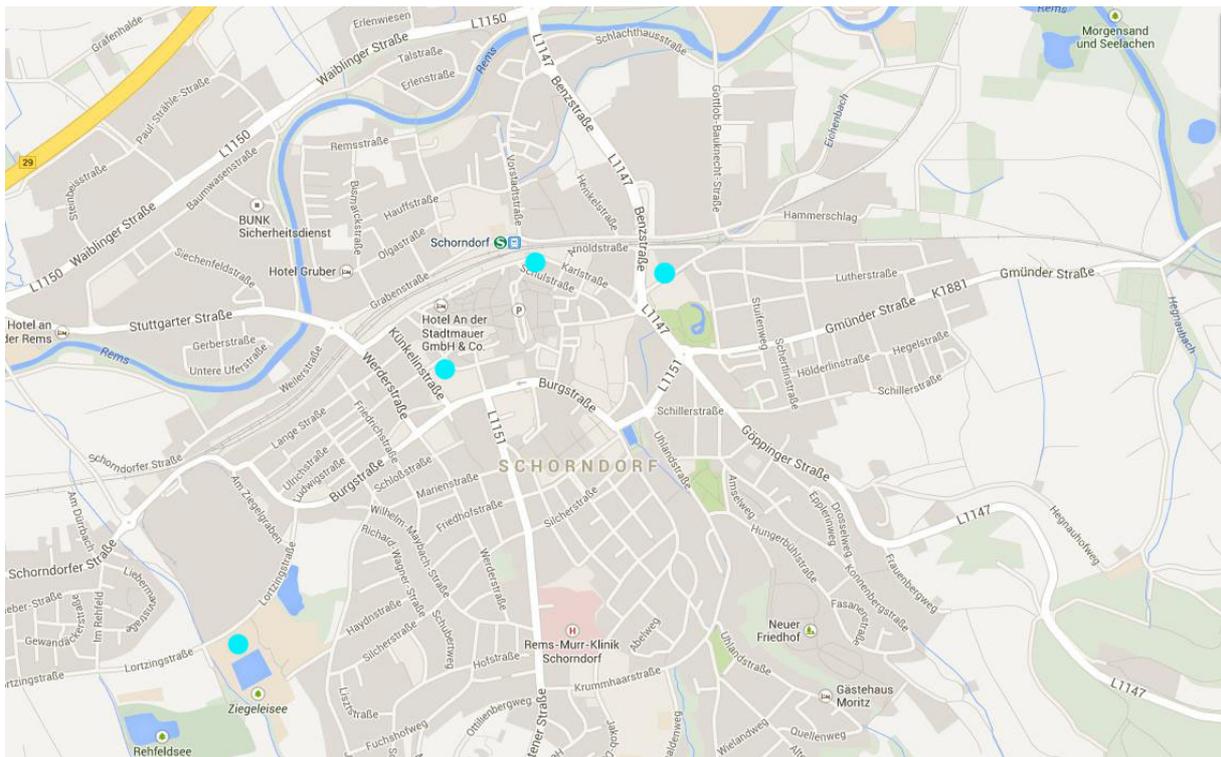


Abbildung 25: Existierende Ladestationen in Schorndorf (Quelle: Google Maps)

6.1.2 Vorhandene E-Mobilitätsinfrastruktur

Mit dem Pilotprojekt „EMIL- E-Mobilität im Ländle“ bietet Schorndorf, nicht nur die Möglichkeit, Elektroautos aufzuladen, sondern auch Elektrofahrräder. Dazu bieten die Stadtwerke Schorndorf den Verleih von sieben Pedelecs an, welche an drei der vier zur Verfügung stehenden E-Tankstellen geladen werden können. Die Abholung und Rückgabe erfolgt über vorangegangene Anmeldung bei dem Kooperationspartner Bikes ´n´ Boards.

6.1.3 Eigenverbrauch E-Mobilität

Die Batterieladung der Elektromobile sollte weitestgehend durch regenerativen Strom gedeckt werden, um den Anteil der gesamten Eigenstromversorgung anzuheben.

Ein Elektroauto verbraucht ca. 17 kWh/100 km (ADAC Verbrauchstest). Bei zwei Elektroautos und einer täglich zurückgelegten Strecke von ca. 30 km je Fahrzeug ergibt sich ein zusätzlicher Strombedarf von ca. 6.000 kWh pro Jahr. PV-Anlagen und E-Mobile passen auf Grund des jahreszeitlichen und tageszeitlichen Verbrauchs nur bedingt zusammen, da das E-Mobil im Winter mehr Strom braucht, die PV-Anlage aber weniger produziert. Dennoch würden für einen zusätzlichen Strombedarf des E-Mobils ca. 60 m² zusätzliche PV Fläche benötigt. Daher ist eine spezielles Versorgungsnetz und Lademangement notwendig, um die Versorgung der Elektromobile sicherzustellen.

6.2 Anreizschaffung zur Nutzung der E-Mobilität und Car-Sharing

6.2.1 Wahl des Verkehrsmittels

Bei einer Mittelstadt wie Schorndorf ergeben sich andere Rahmenbedingungen für die Wahl des Verkehrsmittels und die Nutzung eines bestimmten Verkehrsmodus. Gründe für das Entstehen von Verkehr und die Wahl eines bestimmten Verkehrsmittels wird im Folgenden dargestellt.

Gründe für das Entstehen von Verkehr kann in folgende Hauptkategorien gegliedert werden.

- Berufsverkehr: Verkehr vom Wohnort zur Arbeitsstätte und zurück.
- Ausbildungsverkehr: Verkehr, der von Schülern zur Ausbildungsstätte zurückgelegt wird.
- Verkehr für Versorgung: Wege, die zur Versorgung (Einkaufen, Arztbesuche) zurückgelegt werden.
- Freizeitverkehr: Verkehrswege zur Sportstätten oder zu Freizeitveranstaltungen (z.B. Landesgartenschau)
- Besucherverkehr: Verkehrswege, die von Gästen zum Zielort und wieder zurück zurückgelegt werden.

Die Wahl des passenden Verkehrsmittels ist dabei abhängig von folgenden Faktoren:

- Besitz von eigenen Transportmitteln (PKW, Roller, Fahrrad) oder einer Dauerkarte für den Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV)
- Zeitbedarf für die Fahrt zum Zielort
- Angebote von Alternativen am Wohnort
- Kosten je zurückgelegtem Weg und über das Jahr

- Bequemlichkeit, Gesundheitlicher Zustand (Einschränkungen der Mobilität)
- Ideelle Motivation
- Attraktivität von Alternativen (Gestaltung von Fuß und Radwege, Nähe zur Parkplätzen)
- Distanz des Zieles
- Parkmöglichkeiten am Ziel

6.2.2 Besonderheiten in einer Mittelstadt Schorndorf

Wie bereits im vorangegangenen Kapitel dargestellt, ist die Wahl des Verkehrsmittels von einer Vielzahl von Faktoren abhängig. Einen wesentlichen Einfluss hat jedoch, ob das Fahrziel wie beispielsweise die Arbeitsstätte in einer angemessenen Zeit und vertretbaren Kosten mit dem ÖPNV erreicht werden können, d.h. ob der ÖPNV ausreichend ausgebaut ist bzw. wird. Im Rahmen dieser Studie sollen jedoch die Besonderheiten für die Einbindung und Anreizschaffung für E-Mobilität in die Modellsiedlung Schorndorf diskutiert werden, daher wird sich auf beeinflussbare Faktoren im Folgenden beschränkt. Dabei werden Bewohner durch ein attraktives Angebot dazu motiviert, soweit möglich auf eigene PKW oder Zweitfahrzeuge zu verzichten und alternative Mobilitätskonzepte zu nutzen.

Besonderheiten:

- Nähe zum S-Bahnhof

Die Modellsiedlung befindet sich in einer Laufdistanz von etwa zehn Minuten zum S-Bahnhof. Mit der S-Bahn ist eine schnelle Verbindung zur Innenstadt von Stuttgart gegeben. Bei einem Arbeitsplatz in Richtung Stuttgart oder in der Umgebung von Schorndorf kann durch eine schnelle Verbindung zum Bahnhof besteht der Anreiz, auf einen PKW zu verzichten und öffentliche Verkehrsmittel zu nutzen.

Mit einem Pedelec oder Fahrradangeboten kann auch diese Verbindung zum S-Bahnhof zeitlich verkürzt werden. Am S-Bahnhof ist mit dem Programm EMiL bereits eine Pedelec Station vorhanden.

Vorraussetzung ist hierfür fahrradfreundliche und sichere Verbindungswege zwischen der Modellsiedlung und dem S-Bahnhof.

Pedlecs können auch zur Landesgartenschau eine gute Verbindung darstellen.

Stichwort: Berufsverkehr, Ausbildungsverkehr

- Barrierefreie und attraktive Rad und Fußwege

Mit dem Radweg entlang der Rems ist bereits eine Fahrradverbindung zu angrenzenden Ortschaften geschaffen. Für sportliche Bewohner kann auch ein Arbeitsweg auf dem Fahrrad eine Alternative zu ÖPNV oder einem eigenen PKW darstellen. Die schnelle Verbindung zum S-Bahnhof wurde bereits im vorangegangenen Punkt dargestellt. Die Verkehrsverbindungen innerhalb der Modellsiedlung werden bereits in Kapitel 3.2 und in

Abbildung 11: Verkehrskonzept dargestellt.

Für Bewohner mit eingeschränkter Mobilität und auch im Rahmen des Gender-Mainstreamings muss jedoch eine barrierefreie Umsetzung der Verkehrswege und auch der Verbindung zur Innenstadt und zum S-Bahnhof vorgesehen werden.

Stichwort: Berufsverkehr, Ausbildungsverkehr

- Angebot für attraktive technische Alternativen

Für Besorgungen und besondere Veranstaltungen in der Umgebung kann Car-Sharing eine Alternative zum eigenen PKW liefern. Immer wieder fallen Fahrten für Einkäufe, beispielsweise zu Baumärkten, oder zu Freizeitangeboten an, die nicht einfach mit öffentlichen Verkehrsmitteln erledigt werden können.

Mit attraktiven E-Mobilen, die in der Modellsiedlung zur Verfügung stehen, kann diese Mobilitätslücke geschlossen werden. Durch die aktuell geringe Verkehrsdichte wie in einer Mittelstadt wie Schorndorf, sind dabei jedoch nicht „get in and drop off“ Angebote wie bei Car2Go²⁰ möglich, sondern eine feste Station nach dem Leihprinzip von Stadtmobil vorzusehen.

Stichwort: Verkehr für Versorgung, Freizeitverkehr

- Der Wohlfühl-Faktor

Die Modellsiedlung Schorndorf stellt nicht nur eine energieeffiziente und soziale Siedlung dar, sondern spiegelt auch den damit zusammenhängenden Zeitgeist wieder. Dieser Zeitgeist beinhaltet den Wunsch nach einem komfortablen Leben in einem spannenden und gesunden Umfeld ohne ein schlechtes ökologisches Gewissen in Bezug auf Ressourcenverbrauch und Emissionen. Die Wahl und das Angebot von E-Mobilität spiegelt diesen Zeitgeist wieder und macht diesen Lebensstil möglich.

Durch Information der Bewohner über Möglichkeiten und Einsparung von Ressourcen und Kosten können auch neue Nutzer für alternative Verkehrskonzepte gewonnen werden. Dafür sollte die Energiezentrale als Informationsplattform dienen. Der Spaß am Fahren mit Elektrofahrzeugen soll auch im Rahmen der Landesgartenschau getestet und zu einem Verzicht auf das eigene PKW oder Zweitfahrzeug motiviert werden.

²⁰ <https://www.car2go.com/de/stuttgart/>

6.3 Technische Aspekte für E-Mobilität für die Modellsiedlung Schorndorf

Nachfolgend wird untersucht, wie weit die Elektromobilität ins Energiekonzept integriert werden kann.

6.3.1 Arten von Stellplätzen für E-Mobilität

Stellplätze für Elektroautos lassen sich in vier Kategorien unterteilen:

- Öffentliche Stellplätze:
 - Am Straßenrand; größte Herausforderung für Ladeinfrastruktur
 - Keine Rechte für Mieter mit Elektroauto, da Kommune bzw. öffentliche Netzbetreiber dafür verantwortlich sind
- Halböffentliche PKW-Stellplätze:
 - auf Parkplätzen, Hoch- und Tiefgaragen
 - Nutzung von privaten oder öffentlichen Betreibern zur Kurzzeitvermietung
- Nicht zugewiesene Stellplätze auf Grundstücken von Wohnungsunternehmen (für Mieter)
 - keine Zuweisung zu bestimmten Mietern, keine Mietverträge
 - offen für die Benutzung durch alle Mieter
- zugewiesene Stellplätze
 - Parkflächen oder Einzelgaragen mit Mietverhältnis und alleiniges Nutzungsrecht

Für alle Stellplätze (überbaut oder im Freien) ist zu beachten, ob ein ausreichender Stromanschluss, das Platzangebot und weiterhin eine entsprechende Ausweisung der Parkplätze vorhanden ist.

Um sowohl das Stellplatzangebot der Modellsiedlung richtig nutzen (zu können), aber auch die Nachfrage der möglichen Mieter decken zu können, werden nachfolgend Ladesysteme vorgestellt, welche den Anforderungen der Modellsiedlung gerecht werden könnten.

6.3.2 Ladesystem mit Ladekabel

Es besteht die Möglichkeit das E-Mobil über eine Schutzkontaktsteckdose zu laden. Diese Methode bietet den Vorteil, dass Steckdosen dafür verbreitet vorhanden sind. Der Nachteil der Ladung mit Schutzkontaktstecker ist die Nutzung einer geringeren Spannung (230V) und Stromstärke (16A), was zu langen Ladedauern von 6 - 8h führt.

Eine höhere Ladeleistung erreicht man mit dem Einsatz von Spezialsteckern die speziell für die Elektromobilität entwickelt zu werden. Mit diesen Steckern wird das E-Mobil 3-phasig bei bis zu 43 kW Ladeleistung geladen werden.

Eine Erweiterung des „einfachen“ Ladesteckers ist die Wallbox. Über ein Anschlusskabel der Hausverteilung kann die Wallbox sowohl innen als auch außen installiert werden. Mit bis zu zwei Ladepunkten bietet die Wallbox je nach Ausführung Schnell- und Langsamladesysteme an.



Abbildung 26: Stecker Drehstrom
(Quelle Mennekes)



Abbildung 27: IEC-Typ 2 (Quelle: Mennekes)



Abbildung 28: Schuko-Stecker
(Quelle: NWS)

Ladesäulen hingegen werden insbesondere im öffentlichen und halböffentlichen Bereich eingesetzt. Vorteilhaft ist die vorhandene Abrechnungstechnik und die Möglichkeit der Schnellladung. Ladesäulen müssen im Gegensatz zu Wallboxen mit einem kleinen Fundament sicher im Boden verankert werden. Neben dem konventionellen Schuko-Anschluss verfügen die meisten Ladesäulen auch über einen Drehstromanschluss. Dieser ermöglicht eine höhere Übertragungsleistung und setzt eine Installation mit direktem Zugang zum Stromnetz über einen Anschlusskasten voraus. Da Ladesäulen unter das Bauordnungsrecht fallen, wird eventuell eine Baugenehmigung benötigt.



Abbildung 29: Ladesäule Mennekes
(Quelle: Mennekes)



Abbildung 30: Ladesystem Tech
(Quelle: Tech)

6.3.3 Induktive Ladesysteme

Eine mögliche Alternative zum konduktiven Laden über Kabel ist die induktive Ladung der Autobatterie. Dazu erzeugt eine im Boden eingelassene Spule ein elektromagnetisches Feld. Gleiches passiert in der sich im Auto befindlichen Spule. Die dort entstehende elektromagnetische Feldenergie wird in elektrische Energie konvertiert und ins Batteriesystem eingespeist. Derzeitige Ladesysteme sind besonders in der Industrie vorhanden (Hochstapler etc.) und haben sich auf dem Sektor der Elektromobilität jedoch bislang noch nicht etabliert. Da Erstens eine einheitliche Ausstattung der E-Mobile mit Spulen Voraussetzung ist, zweitens eine Vermeidung von Umweltschäden durch elektromagnetische Strahlung ausgeschlossen werden müssen, wird diese Möglichkeit für die Modellsiedlung derzeit nicht weiter berücksichtigt.

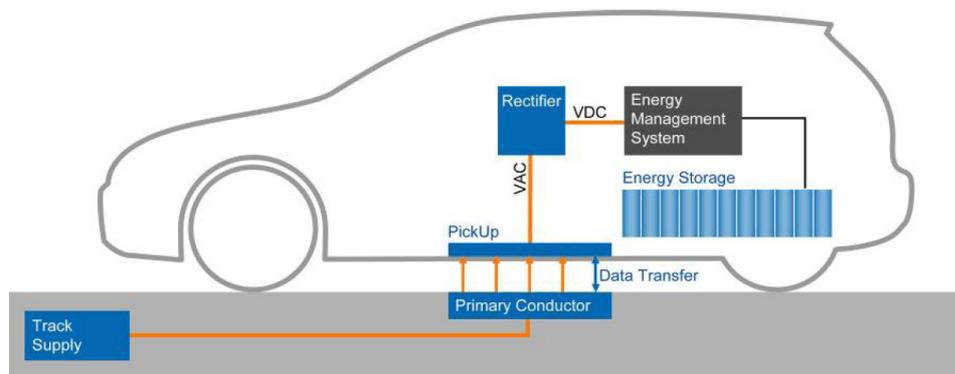


Abbildung 31: Prinzip induktives Laden (Quelle: Vortrag Cities for Mobility Dr. Heiko Hepp 2010)

6.3.4 Bezahlssysteme für Carsharing mit E-Mobilität

Es stellt sich die Frage, wie der von den Autos aufgenommene Strom abgerechnet werden kann. An öffentlich installierten Ladestationen wird meistens über Parkgebühren oder sogar ohne Zusatzkosten abgerechnet. Für die Modellsiedlung bieten sich folgende Möglichkeiten an:

- **Festpreis:**
 - Jeder Mieter zahlt einen monatlichen Festbetrag für die Nutzung der E-Mobile.
 - Für diese Möglichkeit wäre kein Abrechnungssystem nötig. Es könnten sich jedoch Unstimmigkeiten zwischen den Mietern ergeben, da eine klare Abrechnung des tatsächlichen Verbrauchs nicht machbar ist.
 - Der Vorteil wäre eine sehr vereinfachte Verwaltung der E-Mobile
 - Gleichzeitig wäre der Anreiz gegeben, öfter in E-Mobil zu nutzen und auf das eigene PKW zu verzichten, da dies bereits bezahlt ist.

- **Prepaidkarte:**
 - Jeder Mieter lädt einen bestimmten Betrag auf eine Karte und kann für diesen Betrag eine bestimmte Zeit bzw. Strecke fahren.

- Dieses System bietet den Vorteil einer nutzungsabhängigen Abrechnung. Es gibt derzeit nur einheitliche Bezahlungssysteme innerhalb eines Unternehmens.
- RFID:
 - (Identifizierung mit elektromagnetischen Wellen)
 - Erfassung von Nutzerdaten (Ladedauerleistung)
 - Anmeldung für eine Vielzahl von Nutzern möglich, genaue Abrechnung
 - Hoher Anschaffungspreis als Anbieter

6.3.5 Smart Grid /Last management

Regenerative Energieträger, wie die Sonnenenergie oder Windenergie, haben den Nachteil, dass die Energieumwandlung antizyklisch zum Energiebedarf geschieht bzw. immer wieder Peaks und Einbrüche zu verschiedenen Zeiten hat. Um diese Unregelmäßigkeiten auszugleichen, muss auch beim Stromnetz umgedacht werden. Hier steht schon seit einigen Jahren der Gedanke des Smart Grids im Vordergrund. Smart Grid beschreibt die intelligente Steuerung der Stromnetze, bei der die Verteilung, Speicherung und Abgabe an die Verbraucher je nach Energieumwandlung gesteuert wird. Es setzt sich zusammen aus Energie erzeugenden Elementen (Photovoltaik, Windenergie o. ä.), Langzeitspeichern (Elektrolyseur und Brennstoffzelle), Kurzzeitspeichern (Batterien) und entsprechender Steuerung.

Ziel eines intelligenten Lastmanagement ist, die Energienachfrage der Erzeugung anzupassen. Dies wirkt entgegen der konventionellen Regelung der Anpassung der Energieerzeugung an die Nachfrage. Das Prinzip sieht die bevorzugte Nutzung von Energie vor, wenn die meiste Energie zur Verfügung steht. Durch ein intelligentes Stromnetz können Erzeuger und Verbraucher, die nicht deckungsgleich arbeiten, geregelt werden. Solch eine Steuerung bezeichnet man als Smart Grid. Das Smart Grid umfasst die intelligente Vernetzung von Verbrauchern, Energieerzeugern, Speichern und Netzbetriebsmitteln, die mit Übertragungs- und Verteilnetzen über Kommunikations- und Informationstechnik verbunden sind. Weiterhin ist ein intelligenter Stromzähler (smart meter) Bestandteil des Konzepts, welcher seit dem 1. Januar 2010 verpflichtend für Neubauten vorgesehen ist.

Das intelligente Energienetz soll die Gesamtheit aller auftretenden Energieströme in der Modellsiedlung durch ein intelligentes Kommunikations- und Regelnetzwerk steuern. Mit Hilfe von hausinternen Bedienelementen soll dem Bewohner der Umgang des gesamten Energie-Managements erleichtert werden. Dadurch wird eine Hausautomation geschaffen, welche das Monitoring von Heizung, Beleuchtung und Belüftung sowie der Haustechnik, als auch Konsumelemente und Kommunikationsgeräte miteinander verbindet und verwaltet. Die Regelung über eine hausinterne Kommunikation setzt einen gewissen Standard an intelligenten Geräten und Anlagentechnik voraus. Nur durch diese können Geräte wie Waschmaschine, Trockner oder Geschirrspüler angesteuert werden, wenn besonders viel Strom zur Verfügung steht. Mit dem integrierten Energiemanagement wird eine zeitliche Umschichtung erreicht welche die Koordination zwischen Verbraucher und Erzeuger erleichtert.

Für die Modellsiedlung setzt dies eine hohe Akzeptanz der Nutzer voraus, die mit einer ausreichenden Information versorgt werden müssen, um die Technik effizient nutzen zu können. Letztendlich ist das Nutzerverhalten der Bewohner ausschlaggebend für eine effiziente energieautarke Siedlung.

Technologische Anforderungen Smart Grid:

- Sensorik für die Messtechnik (Temperatur) und Aktorik zum Stellen (Licht, Heizung) müssen energieeffizient, robust und langlebig ausgeführt werden
- Haustechnik muss leicht administrierbar und zuverlässig sein
- Software der Bedienelemente sollte selbsterklärend, selbstinstallierend und intuitiv sein
- Intelligente Geräte (Router etc.)

Smart Metering:

- Intelligentes Messsystem, welches dem Verbraucher ein Transparenz zum eigenen Energieverbrauch, Eigennutzung und den Einsparungsmöglichkeiten
- Hohe Anforderungen an Datenschutz und -sicherheit

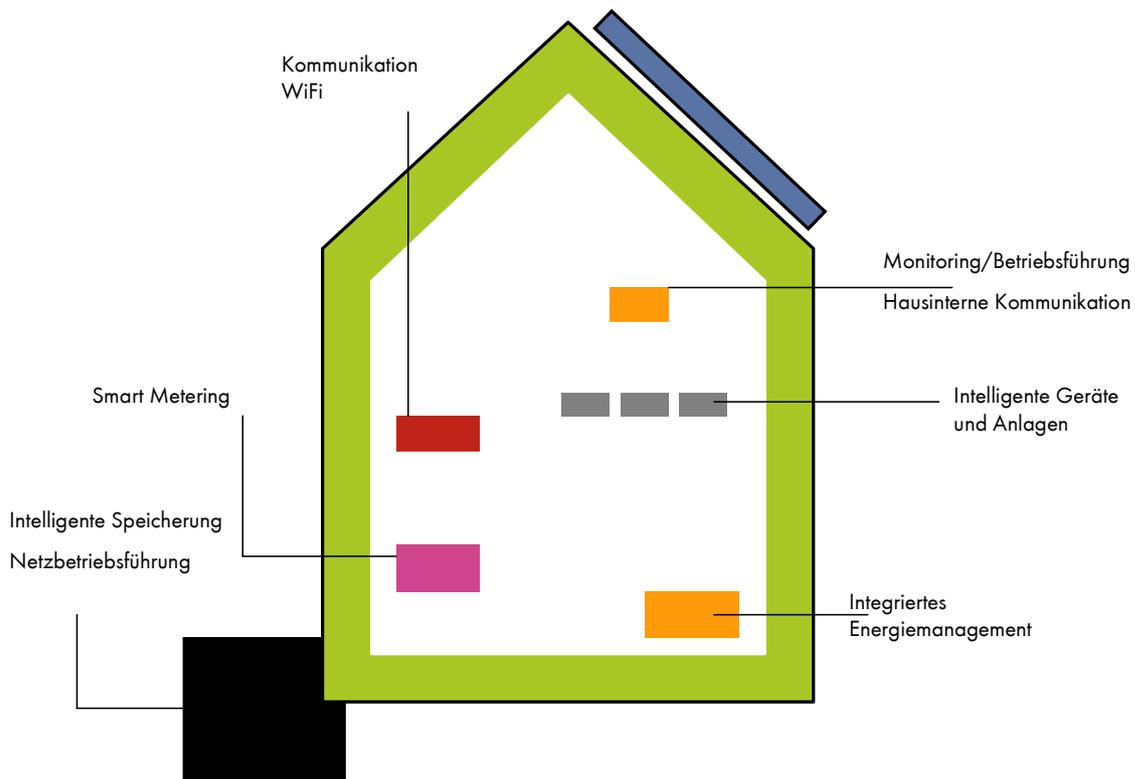


Abbildung 32: Prinzip Smart Grid (Quelle: <http://www.bine.info/publikationen/publikation/das-stromnetz-wird-interaktiv/>)

7 CONTROLLING UND KONZEPT ÖFFENTLICHKEITSARBEIT

Die Ergebnisse dieser Studie sollen in der weiteren Projektentwicklung weiterhin berücksichtigt werden. Dies kann nicht alleine durch die Erstellung dieser Studie geschehen. Im Folgenden werden die Ergebnisse des Controlling-Konzeptes vorgestellt, welche bei der weiteren Entwicklung des Areals umgesetzt werden sollten, um das Ziel einer energieautarken Siedlung zu erreichen.

7.1 Kontrollinstitution

Um die Ziele umsetzen zu können, muss eine Kontrollinstitution geschaffen werden, welche in den Planungsprozess Einblick hat. Dabei muss die Kontrollinstitution folgende Aufgaben erfüllen.

- Klare Zielformulierung des Projektes
- Aufbrechen/Reduktion der Ziele für die jeweiligen Fachplaner auf spezifische Inhalte
- Prüfung der Planung hinsichtlich der Ziele

Diese Kontrollinstitution kann bei der Stadt Schorndorf angesiedelt werden, als Projektbeauftragte(r), ein externes Architektur- oder Ingenieurbüro oder ein Auditor einer betreffenden Zertifizierungsorganisation sein. Es sollte eine Institution in engem Kontakt mit der Projektsteuerung des jeweiligen Auftraggebers sein.

Um eine zielführende Zusammenarbeit mit den Projektbeteiligten zu erreichen, müssen dabei folgende Voraussetzungen erfüllt werden und in Verträgen mit den jeweiligen Planungsbüros oder Generalunternehmen festgehalten werden.

- Einblick in Planungsunterlagen
- Aufnahme in das Planungsteam
- Einblick und Kontrolle von Ausschreibungsunterlagen

7.1.1 Zertifizierung nach DGNB Stadtquartiere

Durch eine Zertifizierung des Projektes mit der Nutzungsvariante DGNB Stadtquartiere kann der Auditor von Anfang an die Planung begleiten und unterstützen, neben den Zielen der vorliegenden Studie alle Kriterien prüfen und dabei die Qualität des gesamten Projektes sichern.

Dabei wird durch ein transparentes Verfahren das Projekt bewertet und die Güte des Projektes mit einem Siegel Gold, Silber oder Bronze ausgezeichnet.

8 AUSBLICK

Wie die Studie bereits herausgestellt hat, bleibt die Speichertechnologie auf dem Weg zur energieautarken Siedlung der entscheidende Faktor. Der heutige Stand der Technik erlaubt es nicht, ohne eine sehr starke Überdimensionierung von Anlagen und dem Fokus auf solare Energiequellen eine Energieautarkie in der Modellsiedlung herzustellen. Unter Berücksichtigung der Primärenergie- und CO₂-Bilanz bleibt die Variante 1 a mit einem Großteil an Photovoltaik und größtmöglichen Speichermedien, die bevorzugte Variante. Eine kombinierte Variante mit Blockheizkraftwerk, Solarthermie und Photovoltaik wird unter Anbetracht der Lebenszykluskosten als zurzeit zu bevorzugende Variante bestimmt.

Diese Variante kann mit der Gewinnung von Energieträgern aus biogenen Abfällen (Abwasser und organischen Abfällen) zu einem größeren Maß an Autarkie und einer positiveren Energiebilanz kombiniert werden.

Im Rahmen der Sanierung des Berufsschulzentrums (erläutert in Kapitel 2.2) wäre eine Kombination der Energieversorgung denkbar. Dabei würde sich folgende Synergie einstellen:
Der Energiebedarf der Schule ist vor allem tagsüber und unter der Woche hoch. Der Strombedarf der Siedlung wird hauptsächlich abends und an Wochenenden entstehen. Der nächtliche Energiebedarf könnte über ein BHKW auf dem Schulgelände gedeckt werden. Der Energiebedarf, tagsüber könnte über die Solarenergie in der Siedlung gedeckt werden.

Beide Themen waren nicht Teil dieser Studie und sollten in weiteren Schritten untersucht werden.

9 MASSNAHMENKATALOGE

9.1 Zusammenstellung baulicher und technischer Einzelmaßnahmen

9.1.1 Verfügbare Energiequellen

Die Stadtwerke Schorndorf betreiben bereits mehrere Heizwerke (Gas Brennwertkessel), solarthermische Einheiten und Blockheizkraftwerke. Darüber wird auch ein kleines Nahwärmenetz versorgt. Als verfügbare Wärmequellen wird somit bislang auf fossile Brennstoffe (Erdgas) und auf die regenerative Sonnenenergie zurückgegriffen.

Die Stromversorgung geschieht hauptsächlich durch das Hochspannungsnetz und den gesamtdeutschen Strommix. Ferner wird die Energiequelle Wasser, und bereits Sonnenenergie in Form von Photovoltaikanlagen genutzt.

Das Potential von Vergärungsprozessen von Abfällen und Abwasser wurde geprüft. Mit Biogas aus Biomüll und Faulgas kann ein BHKW befeuert werden, wodurch sich stromseitig ein Potenzial von insgesamt 10.170 kWh/a elektrisch und 16.950 kWh/a thermisch ergibt.

Daraus ergibt sich eine bereitgestellte Wärmeleistung von $P_{WP} = 36,5 \text{ kW}$. Bei 2000 Betriebsstunden ergibt sich eine Wärmemenge von 73.066 kWh. Für die von der Wärmepumpe aufgebrauchte Leistung von 36,5 kW ergibt sich ein Strombedarf von $P_{el} = 18.250 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$.

Sonnenenergie und die Nutzung von Wärme aus Abwasser wird als größtes Potential verfügbarer regenerativer Energiequellen gesehen.

9.1.2 Lösungsansätze zur Energiebedarfsminimierung durch architektonische Maßnahmen

Im Sinne der Minimierung des Energiebedarfs sind eine städtebauliche Verdichtung (150 Wohneinheiten in 15 000 m²) sowie eine kompakte Bauweise (Blockbauweise aneinander gereiht) vorgesehen.

Durch eine Minimierung der Gebäudehüllfläche sowie angepasste Ausrichtung der Gebäude und Fassadengestaltung wird passive Energiegewinnung ermöglicht.

Eine passive Regelung der Sonneneinstrahlung, z.B. mit Balkonanlagen ermöglicht die jahreszeitlich angepasste Nutzung der passiven Sonnenenergie.

9.1.3 Lösungsansätze zur Energiebedarfsminimierung

In erster Linie steht die Betrachtung der Gebäudeausrichtung und Anordnung für die Nutzung der maximalen passiven solaren Energieerträge. Diese werden in der Studie durch Mindestabstände der Gebäude und Orientierung von Hauptfassaden in verschiedene Ausrichtung geprüft. Erschließung der Gebäude durch zentrale Versorgungswerte in Gebäudeketten vermeiden Leitungsverluste.

Im zweiten Schritt erfolgt dann die Optimierung der Gebäudehülle zur Energiebedarfsminimierung. Der Lösungsansatz ist hier die Einhaltung des Passivhausstandards. Daher werden folgende U-Werte für die Errichtung der Siedlung vorgeschlagen:

Tabelle 15: U-Werte für architektonische Optimierung

	Passivhaus				Standardvariante			
	Riegel 1	Riegel 2	HH1	HH2	Riegel 1	Riegel 2	HH1	HH2
beheizte Fläche [m ²]	2816	2816	2074	3200	2816	2816	2074	3200
U-Werte								
Wand [W/m ² K]			0.11				0.28	
Dach [W/m ² K]			0.09				0.2	
Boden [W/m ² K]			0.1				0.35	
Verglasung Gesamt [W/m ² K]			0.95				1.3	
Heizlast								
spezifisch [W/m ²]	25	25	20	20	45	45	32	29
[kW]	70,400	70,400	41,480	64,000	126,720	126,720	66,368	92,800
Summe [kW]	246.3				412.6			
Heizwärmebedarf								
spezifisch [kWh/m ² a]	15.2	15.2	12.1	12.2	60.3	60.3	32.5	34.7
[kWh/a]	42,803	42,803	25,095	39,040	169,805	169,805	67,405	111,040
Summe [kWh/a]	149,742				518,055			

9.1.4 Lösungsansätze zur Energiespeicherung

Technische Lösungen für Energiespeicherung sind bereits auf dem Markt vorhanden und wurden zum heutigen Stand geprüft. Dabei gliedern sich Energiespeicher zum einen in Energieart Wärme bzw. Strom und in die Speicherdauer, kurzzeitig bzw. langfristig.

Das erste Ziel sollte der Abruf der Energie sein, wenn sie generiert wird. Dafür dienen intelligente Energiemanagement-Konzepte (Smart Grid).

Für antizyklische Energiequellen (v.a. Sonne) muss jedoch eine Speicherform gefunden werden.

Dabei werden für Strom folgende Speicherungen untersucht:

Kurzzeitspeicher Batteriespeicher Blei-Akku oder Lithium-Ionen Akkus

Langzeitspeicher, stoffliche Energiespeicherung: Wasserstoffspeicher, Erdgassubstitution

Wärme:

Kurzzeitspeicher: Latentspeicher Phase-Change-Material, wird nicht genauer berechnet jedoch für die Pufferung von Temperaturschwankungen in Übergangszeiten empfohlen.

Langzeitspeicher: Kapazitive Wärmespeicher mit dem Speichermedium Wasser.

9.1.5 Lösungsansätze zur E-Mobilität

Car-Sharing

Nach Absprache mit der Stadt Schorndorf werden zwei Stellplätze für Elektroautos vorgesehen. Diese werden als Car-Sharing Konzept vornehmlich für die Energieautarke Siedlung angeboten. Das Angebot für Car-Sharing-Elektroautos soll einen Anreiz für die Bewohner der Siedlung bieten, auf einen privaten PKW bzw. auf einen zweiten PKW zu verzichten.

Als Konzept zur Abrechnung von der Nutzung der Fahrzeuge werden in der Studie die Möglichkeiten des Festpreises, der Prepaid-Karte oder des RFID Systems vorgestellt.

Die Möglichkeit, in Schorndorf Carsharing Angebote zu nutzen, besteht, ist aber noch ausbaufähig. So ist ein Angebot von zwei Elektroautos auf 40.000 Einwohner sehr gering. Die Einwohner sollten animiert werden, dieses Angebot großräumiger zu nutzen.

Das Carsharing Angebot der Modellsiedlung soll zentral im Wohnkomplex integriert werden. Empfohlen werden zwei Carsharing Autos, zusätzlich auch Elektrofahrräder. Dazu sind in dieser ersten Phase zwei Ladestationen vorgesehen. Die Erweiterung des Fuhrparks ist durchaus vorstellbar, richtet sich aber auch nach den Forderungen der Anwohner. Daher ist hier, abhängig von der Akzeptanz und Nachfrage der Bewohner, eine weitere Studie empfehlenswert.

9.1.6 Zusammenstellung der architektonischen und städtebaulichen Randbedingungen, die eine energieautarke Siedlung benötigt

Folgende Maßnahmen in der architektonischen Gestaltung müssen vorgesehen werden:

Die Solargewinne sollten durch eine Südorientierung der Hauptfassaden der Wohngebäude erreicht werden.

Die gegenseitige Verschattung der Gebäude wird durch ein Verhältnis der Gebäudehöhe zum Abstand bestimmt und darf einen maximalen Wert von eins nicht übersteigen. Für die Riegelgebäude wurde eine maximale Höhe von vier Geschossen vorgeschlagen. Die Punkthäuser im Nord des Grundstücks sollten nicht mehr als zehn Geschosse vorsehen.

9.2 Bewertung der Abhängigkeiten von Einzelmaßnahmen

9.2.1 Bewertung der Frage zum Zusammenhang zwischen Speichersystemen und wirtschaftlichen Aspekten in Bezug auf Energieautarkie

Die tatsächliche Energieautarkie der Modellsiedlung Schorndorf durch ausreichende Speicherung von Elektrizität ist technisch (ohne eine hohes Maß an Überproduktion) nicht möglich und wirtschaftlich nicht darstellbar (Siehe hierzu auch Punkt 9.2.2.).

Wie bei den Investitionskosten in Tabelle 13: Kostenübersicht in Kapitel 5.5 zu erkennen stellt sich wirtschaftlich folgendes Bild dar:

Variante 1a (maximaler Anteil PV und höchste solare Deckung):	Variante 1b	Variante 2:
Batteriespeicher: 380.000 €	Batteriespeicher: 178.500 €	Batteriespeicher: 178.500 €
Wärmespeicher: 250.000 €	Wärmespeicher: 250.000 €	Gesamtkosten: 623.500 €
Gesamtkosten: 1.087.500 €	Gesamtkosten: 786.000 €	Anteil: 29%
Anteil: 58%	Anteil: 54%	

Wie aus diesen Zahlen ersichtlich, stellt die Speicherung von Strom und Wärme bei der Installation den größten Anteil dar. Die Ersparnisse durch die Eigennutzung von Strom und Wärme werden anschließend in der Lebenszykluskostenanalyse untersucht und werden unter Punkt 9.2.3 erläutert.

9.2.2 Bewertung der Möglichkeiten zur Energiespeicherung / saisonaler Speichersysteme

Es wurden Batteriespeicher (Li-Ionen und Bleiakumulatoren) für die Stromspeicherung untersucht. Ein Maximum der Energieautarkie ist hier jedoch bei 64 % Energieautarkie möglich. Eine Langzeitspeicherung mit einem Elektrolyseverfahren zur Gewinnung und eventueller späterer Methanisierung bedarf noch einem weiteren Forschungsbedarf, so dass der Einsatz zum Bauvorhaben bis 2019 aus wirtschaftlichen Aspekten wahrscheinlich nicht darstellbar sein wird.

Bei der saisonalen Wärmespeicherung ist ein Speicher mit der Größe 250 m³ mit Unterstützung einer Wärmepumpe möglich und ausreichend.

9.2.3 Bewertung der technischen Lösungen hinsichtlich des gesamten Lebenszyklus

Wie in Kapitel 5.5.3 dargestellt, ergibt sich ein großer Unterschied in den reinen Investitionskosten für die technischen Anlagen. Die Herstellkosten der Standard-Variante betragen lediglich 75.000 € für den Netzanschluss und die Gasbrennwerttherme. Dabei ist die Variante 1a mehr als 13 mal teurer als die Standard-Variante. Interessanterweise schlägt sich die Energieeinsparung der nahezu energieautarken Lösung so stark nieder, dass auf den Lebenszyklus betrachtet die Variante 1a 400.000 € günstiger ist, als die Standard-Variante, trotz ebenfalls hoher Erneuerungskosten.

Trotz der günstigeren Variante 1b, bei der die Herstellkosten durch eine kleinere Photovoltaik Anlage und einen geringeren Batteriespeicher um bis zu 400.000 € im Vergleich zur Variante 1a gesenkt werden konnten, ist diese am Ende des Lebenszyklus fast genauso teuer als die Standard-Variante.

Die insgesamt kostengünstigste Möglichkeit der Energieversorgung der Modellsiedlung ist die Variante 2, bei der ein BHKW zum Einsatz kommt. Über 50 Jahre spart diese Lösung im Vergleich zur Standard-Variante ca. 800.000 € an Kosten ein.

9.2.4 Bewertung der Machbarkeit der Energieautarkie

Eine energieunabhängige Energieversorgung ist nur dann möglich, wenn der Energiebedarf der Siedlung schon mit der architektonischen Planung beginnt. Dies wird in der Untersuchung deutlich: Mit einem optimierten hochwertigen Dämmstandard und der Beachtung der Orientierung und Stellung der Gebäude können bis zu 50 % des gesamten Energiebedarfs eingespart werden. Ist der Energiebedarf gering, wird auch weniger Energie von außen benötigt, was einen prozentual höheren Deckungsgrad der regenerativen Energien bewirkt.

Strom und Wärme werden im Konzept der Variante 1 überwiegend durch Sonnenenergie gedeckt. Dennoch ist ein Bezug aus dem Netz notwendig, um sowohl Bedarfsspitzen als auch sonnenarme Tage und Wochen abzudecken. Das Problem der fluktuierenden Energien ist die Speicherung. Zur Wärmespeicherung ist ein saisonaler Wärmespeicher vorgesehen, der mittels Wärmepumpe die gespeicherte Energie wieder zur Verfügung stellen kann. Mit diesem Prinzip ist eine theoretische Energieautarkie wärmeseitig erreichbar. Praktisch sind jedoch Verluste im Speicher und Sonnenkollektor zu

diesem Zeitpunkt nicht abschätzbar. Stromseitig zeigt die Photovoltaikanlage mit Batteriespeicher ein hohes Potenzial in Richtung Energieautarkie bei einem Deckungsgrad von 64%.

Eine 100%tige Energieautarkie ist in Variante 1 nicht unwahrscheinlich, es wird aber noch einige Jahre dauern, bis diese umgesetzt werden kann. Abhängig ist dies von der Entwicklung der Energiespeicher. Die Erwartungen gehen in Richtung höherer Kapazitäten bei kleinerem Platzbedarf und geringerem Investitionsaufwand.

Das Energiekonzept der Variante 2 sieht in der ersten Planungsphase eine Versorgung des Blockheizkraftwerkes mit Erdgas vor, weshalb eine Energieautarkie im ersten Schritt auch nur teilweise erfüllt ist nämlich dann, wenn die im Verhältnis zu Variante 1 reduzierten Photovoltaik- und Solarthermief Flächen im Sommer mehr Strom und Wärme produzieren, als gebraucht wird. Bestünde die Möglichkeit, das Blockheizkraft mit einem auf dem Gelände bestehenden Biogasanlage (Bioabfall und Abwasser) zu betreiben, so wäre Variante 2 der Energieautarkie sehr nahe.

Die Wärmeversorgung durch den saisonalen Speicher mit einer Unterstützung einer Wärmepumpe wie in Kapitel 5 dargestellt ist möglich und machbar.

Bei der Energiespeicherung des Stroms durch Batterien ist ein solarer Deckungsgrad von 64% mit Photovoltaikanlagen auf dem Dach auch unter wirtschaftlichen Aspekten darstellbar.

Bei Variante 2 ist eine vollständige Energiespeicherung für Photovoltaik und Solarthermie möglich. Jedoch benötigt das vorgesehene BHKW einen Energieträger, der von außen eingebracht werden muss. Wenn dieser nicht durch biogene Rohstoffe, wie Biogas aus Abfällen und Abwasser, eingebracht wird, ist hier ein autarker Betrieb nicht möglich.

Weitet man den Begriff Energieautarkie auf die Stadtgrenze aus, so ist es durchaus möglich, eine Versorgung der Modellsiedlung ausschließlich über regenerative Energien sicherzustellen. Wie anfangs erwähnt, bestehen bereits Anlagen wie PV, BHKW und Wasserkraftwerk, welche durchaus in der Lage wären, einen Teil des Strom- bzw. Wärmebedarfs abzudecken.

9.2.5 Bewertung der Infrastruktur für E-Mobilität

Car-Sharing

Je nach Abrechnungsvariante und Anreizschaffung für die Nutzung von E-Mobilität wird ein Bedarf an Car-Sharing Stellplätzen und Fahrzeugen entstehen.

Private E-Mobilität

Die Nutzung von privaten E-Mobilen wird abhängig von der Bequemlichkeit der Ladeinfrastruktur und vorgesehenen Stellplätzen und Ladestationen für diese abhängen.

Um den Wohnwert weiter zu erhöhen, besteht weiterhin die Möglichkeit, Pedelecs oder E-Bikes in das Konzept mit aufzunehmen. Dazu, unabhängig von der Anschaffung der Pedelecs im privaten Rahmen oder als öffentlich nutzbare Variante, ist die Integration von Fahrradboxen zur Aufbewahrung und Parkmöglichkeiten dieser auf der Anlage sinnvoll. Eine spezielle Ladestation ist nicht notwendig, da die meisten E-Bikes über einen ausbaubaren Akku haben, der im Haus bzw. auch an den Ladesäulen geladen werden kann, verfügen.

9.2.6 Bewertung der Eigenstromversorgung hinsichtlich der Mobilität

Die Batterieladung der Elektromobile sollte größtmöglich durch regenerativen Strom gedeckt werden, um den Anteil der gesamten Eigenstromversorgung anzuheben.

Ein Elektroauto verbraucht ca. 17 kWh/100 km (ADAC Verbrauchstest). Bei zwei Elektroautos und einer täglich zurückgelegten Strecke von ca. 30 km je Fahrzeug ergibt sich ein zusätzlicher Strombedarf von ca. 6.000 kWh pro Jahr. Dies ist unabhängig von Winter oder Sommer, denn im Winter benötigt ein Elektroauto weitaus mehr Energie als im Sommer. PV-Anlagen und E-Mobile passen auf Grund des jahreszeitlichen und tageszeitlichen Verbrauchs nur bedingt zusammen, da das Mobil im Winter mehr Strom braucht, die PV Anlage aber weniger produziert. Dennoch würden für einen zusätzlichen Strombedarf des Mobiles ca. 60 m² zusätzliche PV Fläche benötigt. Daher ist eine spezielles Versorgungsnetz und Lademangement notwendig, um die Versorgung der E-Mobile sicherzustellen.

9.3 Zusammenfassende Empfehlungen

9.3.1 Empfehlungen zu Städtebau und Architektur

Die Stellung und die Maßstäblichkeit der Wohngebäude auf dem Grundstück müssen auf die Heterogenität der Umgebung und der Architektur im Viertel abgestimmt sein.

Ausgangspunkt für die städtebauliche Gestaltung ist die Paulinenstrasse, welche als Eingang in das Quartier fungiert.

Eingang und Zentrum des Quartiers werden so gestaltet, dass die Gebäude zur Paulinenstraße einen offenen Raum bilden und an den Enden zusammenlaufen. So bildet sich ein Anger aus, welcher den Mittelpunkt des Quartiers bilden soll. Dieses Konzept wird in Form 4-geschossiger Riegel umgesetzt. Durch eine Vielfalt der Wohntypologien, sowie verschiedener Fassaden- und Erschließungssysteme, wird die gestalterische Lebendigkeit und soziale Durchmischung gefördert.

Zwei Punkthäuser im Norden des Areals stellen eine Verknüpfung zu den bestehenden Punkthäusern in der Umgebung her. Die Energiezentrale wird zentral in der Mitte des Innenhofes positioniert, die Parkmöglichkeiten werden integrierte Parkhäuser an der Flussböschung bieten.

9.3.2 Empfehlungen zur Integration von Grünflächen

Durch die Anordnungen der Wohngebäude und die städtebauliche Verdichtung werden im Quartier niedrige GrZ und hohe GfZ Werte erreicht. Hierdurch wird die Versiegelung der Flächen minimiert und im Gegenzug werden die Grünflächen maximiert.

Der zwischen den Riegelgebäuden liegende Anger bietet einen attraktiven und hochwertigen Freiraum. Die Reaktivierung des Bachlaufs erhöht die Attraktivität des Angers und ermöglicht seine Aktivierung als Retentionsfläche. Weiterhin wird durch die Wasserfläche eine Regulierung der klimatischen Verhältnisse im Quartier positiv beeinflusst.

Mit dem Anger als Obstwiese und mit der Gestaltung der Eingänge als individuelle Themenvorgärten werden private Zonen in unmittelbarer Umgebung der Gebäude geschaffen.

Die Wohnungen der Riegelgebäude verfügen auf der Rückseite über private Gärten, welche letztlich die Vielfalt der Wohntypologien erhöht.

Auf den Parkhäusern wird mit begrünten Dachflächen eine attraktive Freizeifläche geschaffen werden.

9.3.3 Empfehlungen zu technischen Lösungen hinsichtlich des gesamten Lebenszyklus

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Variante 2, also die Nutzung eines BHKW bei gleichzeitiger Nutzung einer kleinen Solarthermie sowie Photovoltaik Anlage, über den Lebenszyklus von 50 Jahren gesehen die günstigste Variante ist. Diese Lösung stellt zwar keine vollständig autarke Variante der Energieversorgung der Modellsiedlung dar, da immer noch ein klassischer Gasanschluss benötigt wird und somit CO₂ erzeugende Verbrennungsprozesse auf dem Gelände stattfinden, die Anlage könnte aber auch in Zukunft mit reinem (in der Stadt Schorndorf erzeugtem) Biogas befeuert werden, so dass in der Bilanz keine CO₂ Emissionen entstehen und die Lösung klimaneutral wäre. Eine vollständige Energieautarkie lässt sich mit dem derzeitigen Stand der Technik nicht und vor allem nicht kosteneffizient genug realisieren. Daher empfehlen wir, die zentrale Energieversorgung des Areals über ein BHKW zu realisieren.

9.3.4 Empfehlung für die Einbindung der E-Mobilität

Um die Nutzung der Siedlungsfahrzeuge attraktiv zu gestalten, sollte ein besonderes Abrechnungssystem entwickelt werden. Vorstellbar ist beispielsweise eine Abrechnung über die Miete als Festpreis. Auch könnte ein Punktekonto eingerichtet werden, welches je Nutzung einen bestimmten Betrag (Punkte) gutschreibt und am Ende des Jahres je Nutzung vergütet wird. Ein auf die Modellsiedlung abgestimmtes Buchungssystem, welches die Nachfrage der Bewohner koordiniert, wäre wünschenswert.

Für die private Nutzung sollten in der Planung ein bis zwei weitere Ladestationen (abhängig von der Parkplatzplanung) mit einbezogen werden. Die ermöglichen den Bewohnern einen zusätzlichen Komfort, bieten bei Nichtnutzung die Möglichkeit der Energiespeicherung in den Autobatterien. Auch hier gilt es, ein auf die Modellsiedlung abgestimmtes Bezahlkonzept zu entwickeln.

Stellplätze für Elektromobile sollten ausreichend vorhanden bzw. beliebig nach Bedarf erweiterbar sein. Für die private Nutzung sind Lademöglichkeiten in den Garagen wünschenswert.

Um einen Anreiz für die Bewohner zur Nutzung des Car-Sharings zu schaffen, wird vorgeschlagen, einen geringen Festpreis für jede Wohneinheit vorzusehen, die mit Freiminuten vergütet werden. Dieser sollte in Kombination mit einem RFID System vorgesehen werden, bei dem jede weitere Nutzung Benutzerspezifisch abgerechnet wird. Ein auf die Modellsiedlung abgestimmtes Buchungssystem, welches die Nachfrage der Bewohner koordiniert, wäre wünschenswert.

Wichtig ist es, dem Bewohner die Nutzung eines Elektroautos weitestgehend unkompliziert zu ermöglichen.

9.3.5 Empfehlung zur weiteren Vorgehensweise bezüglich der Nachhaltigkeitszertifizierung

Die Zertifizierung nach DGNB Stadtquartiere im frühen Stadium der Planungsphase (Vorzertifizierung) trägt dazu bei, die Umsetzung der Ziele zur Nachhaltigkeit im vollen Umfang zu erreichen.

Die Auslobung eines Wettbewerbs zum Entwurf des Quartiers ermöglicht eine Integration der DGNB-Kriterien als Kriterienkatalog, was eine Berücksichtigung dieser schon im Vorhinein ermöglicht.

Bei einer Weiterentwicklung des Projektes (durch die Werner Sobek Group oder durch ein anders Architekturbüro), kann in einer frühen Phase das Projekt weiter nach den DGNB Kriterien optimiert und eine erste Phase des Projektes zertifiziert werden. Ferner stellt die Zertifizierung nach DGNB eine Möglichkeit des Projekt Controllings dar (siehe hierzu Kapitel 7.1.1).

9.3.6 Empfehlung zur Reduktion des CO₂ Ausstoßes

Die Wahl der Energiequelle für die Versorgung des Areals ist ausschlaggebend für den CO₂-Ausstoß. Ein maximaler Anteil der Nutzung regenerativer Energiequellen die während der Nutzungsphase keine CO₂ generieren, ist die zu bevorzugende Art und Weise, den CO₂ Ausstoß zu minimieren.

Dabei ist die Variante 1 mit besonders hohem Anteil von Photovoltaik und Solarthermie zu bevorzugen.

Jedoch kann ein wesentlicher Teil des Energiebedarfs, da abhängig vom Nutzerverhalten oder von der Beschaffenheit von technischen Geräten, kaum beeinflusst werden. Dabei muss u.a. auf folgende Fragen hingewiesen werden:

Sind Präsenzmelder für Beleuchtung, Belüftung eingesetzt?

Werden elektrische Geräte genutzt die je nach Stromproduktion der Photovoltaikanlage eingeschaltet werden (Waschmaschinen, Tiefkühlgeräte)?

Im Bereich Mobilität soll der Nutzer ermutigt werden, auf den privaten PKW oder auf ein Zweitfahrzeug zu verzichten. Car-Sharing mit E-Mobilität birgt dabei ein großes Potential, hier insgesamt CO₂ einzusparen.

BIBLIOGRAPHIE

ATV-DVGW, Merkblatt M 363 "Herkunft, Aufbereitung und Verwertung von Biogasen" des ATV-Fachausschusses 3.8 „Biogas“. GFA, Hennef, 2002.

Wolfgang Suttor, Bine Informationspaket Blockheizkraftwerke „Ein Leitfaden für den Anwender, Solarpraxis“ A.G Karlsruhe 2009

Dr. Sonne Team, Klaus Oberzig: Bine Informationsdienst „Photovoltaik, Gebäude liefern Strom“ Beuth Verlag GmbH, 2010

K.-P. Felberbauer, M. Kloess, G. Jungmeier, R. Haas, K. Könighofer, W. Prügler, J. Pucker, R. Rezanian, M. Beermann, A. Wenzel, „Energiespeicher der Zukunft, Energiespeicher für erneuerbare Energie als Schlüssel-Technologie für zukünftige Energiesysteme“, 2012

Manfred Hegger / Caroline Fafflok / Johannes Hegger / Isabell Passig, „Aktivhaus, das Grundlagenbuch. Vom Passivhaus zum Energieplushaus“, Callwey Verlag, 2013

Prof. Dipl.-Ing Elmar Bollin, „Automation regenerativer Wärme- und Kälteversorgung von Gebäuden Komponenten, Systeme, Anlagenbeispiele“ Springerlink, 2009

Ralf Haselhuhn Bine Informationsdienst „Solare Wärme, Vom Kollektor zur Hausanlage“ Beuth Verlag GmbH, 2008.

STUDIEN/ SKRIPTE

Bundesministerium für Bildung und Forschung: Elektromobilität im Fokus, 2013

BMU: Planung neuer Wohngebäude nach ENEC 2009 und erneuerbare Energien Wärmegesetz

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Förderprogramme im Energiebereich für Wohngebäude in Baden-Württemberg, Stand 2012.

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung : Leitfaden Nachhaltiges Bauen, 2011.

Leitfaden Nachhaltiges Bauen, Bundesministerium für Verkehr Bau und Stadtentwicklung, 2011.

Förderprogramme im Energiebereich für Wohngebäude in Baden-Württemberg, 2012.

Grazer Energieagentur, Abwasserwärmenutzung, Leitfaden zur Projektentwicklung, 2007.

Ulrich Zuberhüber „Power to gas – Speichertechnologie und Schub für Erneuerbare Mobilität“, 2012

ISE „100 % Erneuerbare Energien für Strom und Wärme in Deutschland“, 2012.

Kreisweites integriertes Klimaschutzkonzept für den Rems-Murr-Kreis (2012), Kurzfassung, 2012

Michael Hayner, Jo Ruoff, Dieter Thiel: Faustformel Gebäudetechnik, Deutsche Verlags-Anstalt München, 2010

Nationale Plattform Elektromobilität: Fortschrittsbericht der Nationalen Elektromobilität, 2012

Prof. Dr.-Ing. Stefan Himbürg Energetische Bilanzierung von Wohngebäuden nach DIN V 18599, JAHR!

PTJ, Fraunhofer Solar Building Innovation Center SOBIC, thermische Energiespeicherung – mehr Energieeffizienz zum Heizen und Kühlen, 2006

Ulrik Neupert, Thomas Euting, Thomas Kretschmer, Claudia Notthoff, Klaus Ruhlig, Birgit Weimert
Energiespeicher Technische Grundlagen und energiewirtschaftliches Potenzial, 2012.

Baden-Württemberg Informationszentrum Energie
Hans-Martin Henning, Andreas Palzer Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
Im Rahmen von Eigenforschung erstellte Studie

GESETZE UND VERORDNUNGEN

DIN 1989-1 Regenwassernutzungsanlagen, Teil 1: Planung, Ausführung, Betrieb und Wartung, Berlin: Beuth-Verlag, 2002.

DIN V 4108-6:2003-06 Wärmeschutz und Energie-Einsparung von Gebäuden – Berechnung des Jahresheizwärme und des Jahresheizenergiebedarfs. Berlin: Beuth-Verlag, 2003

DIN V18599-1. Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 1. Berlin, Deutschland: Beuth Verlag GmbH, 02-2007.

EnEV – Energieeinsparverordnung, 18. März 2009.

Erneuerbare – Energien - Wärmegesetz - EEWärmeG. Deutschland: Bundesanzeiger Verlag. 18. August 2008.

INTERNETQUELLEN

Bine Informationsdienst Kraft-Wärme-

Kopplung: <http://www.bine.info/publikationen/basisenergie/publikation/kraft-und-waerme-koppeln/>

Bine Informationsdienst Wärme und Strom

Speichern: <http://www.bine.info/publikationen/basisenergie/publikation/waerme-und-strom-speichern/>

Bundesministerium für Umwelt: <http://www.bmu.de/bmu/aufgaben/>

Forschungszentrum Jülich: http://www.fz-juelich.de/iek/iek-1/DE/UeberUns/Profil/profil_node.html

Maßnahmenkatalog des Rems-Murr-Kreises; http://www.rems-murr-kreis.de/121025_Massnahmenkatalog_Klimaschutz_2012_Endfassung-komp.pdf

Passivhausinstitut: <http://www.passiv.de/>

R. Tamme_DLR: http://78.47.31.1/fileadmin/publikationen/Themenhefte/th2006/th2006_03_03.pdf

statistisches Landesamt Baden – Württemberg: <http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/>

ZAE Uni Wuerzburg Präsentation: [http://www.zae.uni-](http://www.zae.uni-wuerzburg.de/files/06_thermische_energiespeicher_-_m_glichkeiten_und_grenzen.pdf)

[wuerzburg.de/files/06_thermische_energiespeicher_-_m_glichkeiten_und_grenzen.pdf](http://www.zae.uni-wuerzburg.de/files/06_thermische_energiespeicher_-_m_glichkeiten_und_grenzen.pdf)

SOFTWARE

Vela Solaris AG (2013) : Polysun 6.1, Simulationssoftware , CH – Winterthur

Steinborn innovative Energietechnik (2011): BHKW Plan Version 1.1.4, Steinborn

Valentin Software (2012): Simulationssoftware für Photovoltaik und Solarthermie

- PVsol Expert 6.0
- Tsol

EnOB (2013): EnerCalc Bilanzierungstool nach DIN V18599

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Schritte zur Energieautarken Siedlung (Quelle: Eigene Darstellung).....	11
Abbildung 2: Lageplan ehemaliger Baubetriebshof (Quelle: Stadt Schorndorf).....	19
Abbildung 3: Luftbild mit Kennzeichnung weiterer Bauprojekte (Quelle: Stadt Schorndorf).....	19
Abbildung 4: Windenergie Referenzwert 60 % (Quelle: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg www.lgl-bw.de).....	21
Abbildung 5: Vielfalt des Wohnungsgemenges (Quelle: Eigene Darstellung).....	25
Abbildung 6: Mögliche Wohntypologie / Variantenvielfalt / normale Erschließung (Quelle: Eigene Darstellung).....	26
Abbildung 7: Mögliche Wohntypologie / Variantenvielfalt / Laubengangerschließung (Quelle: Eigene Darstellung).....	27
Abbildung 8: Energetische Versorgungswege (Quelle: Eigene Darstellung).....	28
Abbildung 9: Städtebauliches Konzept Modellsiedlung Schorndorf (Quelle: Eigene Darstellung).....	30
Abbildung 10: Grünkonzept Modellsiedlung Schorndorf (Quelle: Eigene Darstellung).....	30
Abbildung 11: Verkehrskonzept Modellsiedlung Schorndorf (Quelle: Eigene Darstellung).....	31
Abbildung 12: Bebauungskonzept Quartier (Quelle: Eigene Darstellung).....	32
Abbildung 13: Analyse / Gebäudeabstände Nord-Süd-Orientierung (Quelle: Eigene Darstellung mit Ecotect).....	33
Abbildung 14: Gebäudeanordnung Schorndorf (Quelle: Eigene Darstellung).....	34
Abbildung 15 Solarthermisches Potenzial (Quelle: Eigene Darstellung).....	38
Abbildung 16 Photovoltaikpotential (Quelle: Eigene Darstellung).....	40
Abbildung 17: Prinzip Kraft-Wärme-Kopplung (Quelle: Eigene Darstellung).....	41
Abbildung 18: Jahresdauerlinie BHKW (Quelle: Eigene Darstellung).....	42
Abbildung 19: Vereinfachte Darstellung Energieversorgung Standardvariante (Quelle: Erstellt mit der Software Quartier ECA).....	55
Abbildung 20: Standardvariante, Prinzip Wärmeerzeugung (Quelle: Erstellt mit der Software Polysun)..	56
Abbildung 21 Systemdarstellung Energiekonzept 1 (Quelle: Eigene Darstellung).....	59
Abbildung 22: Anlagenschema Variante 1 (Quelle: Erstellt mit der Software Polysun).....	60

Abbildung 23: Systemskizze Energiekonzept Variante 2 (Quelle: Eigene Darstellung)	61
Abbildung 24: Anlagenschema Variante 1 (Quelle: Erstellt mit der Software Polysun).....	62
Abbildung 25: Existierende Ladestationen in Schorndorf (Quelle: Google Maps).....	69
Abbildung 26: Stecker Drehstrom (Quelle Mennekes)	74
Abbildung 27: IEC-Typ 2 (Quelle: Mennekes)	74
Abbildung 28: Schuko-Stecker (Quelle: NWS).....	74
Abbildung 29: Ladesäule Mennekes (Quelle: Mennekes).....	74
Abbildung 30: Ladesystem Tech (Quelle: Tech).....	74
Abbildung 31: Prinzip induktives Laden (Quelle: Vortrag Cities for Mobility Dr. Heiko Hepp 2010)	75
Abbildung 32: Prinzip Smart Grid (Quelle: http://www.bine.info/publikationen/publikation/das-stromnetz-wird-interaktiv/).....	77

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Zusammenfassung Klima Schorndorf (Quelle: Meteonorm und NASA)	17
Tabelle 2: Stromzusammensetzung Schorndorf.....	23
Tabelle 3: Gebäudekennwerte Modellsiedlung	35
Tabelle 4: Überblick solarthermisches Potenzial.....	38
Tabelle 5: Übersicht PV- Ertrag	40
Tabelle 6: U-Werte Standardvariante.....	54
Tabelle 7: U-Werte Passivhaus	54
Tabelle 8: Randbedingungen und Ergebnisse des Energiebedarfs für die Standardvariante mit optimierter Gebäudehülle (Passivhaus)	57
Tabelle 9: Zusammenfassung der Energiebilanz der optimierten Gebäudehülle	58
Tabelle 10: Primärenergiebilanz.....	62
Tabelle 11: Tabelle CO ₂ -Bilanz.....	64
Tabelle 12: Kostenübersicht (Nettopreise)	67
Tabelle 13: Übersicht Auswertung Lebenszykluskostenanalyse	68
Tabelle 14: U-Werte für architektonische Optimierung.....	81

IMPRESSUM

WSGreenTechnologies GmbH
Albstr. 14
70597 Stuttgart
Germany

Tel +49.711.76750-00
Fax +49.711.76750-44

mail@wsgreentechnologies.com
www.wsgreentechnologies.com

Sitz Stuttgart, Amtsgericht Stuttgart, HRB 724117
Geschäftsführer: Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Thomas Winterstetter

Partners & Associate Partners:
Prof. Dr. Klaus Sedlbauer
Prof. Dr. Dr. E.h. Werner Sobek
Prof. Dr. Michael Bruse

Autoren des vorliegenden Berichts

Jürgen Schroth
Adalbert Kapp
Leman Altinisik
Jean-Charles Canas
Michael Gregorowius
Veronique Stecher