



HyVillage

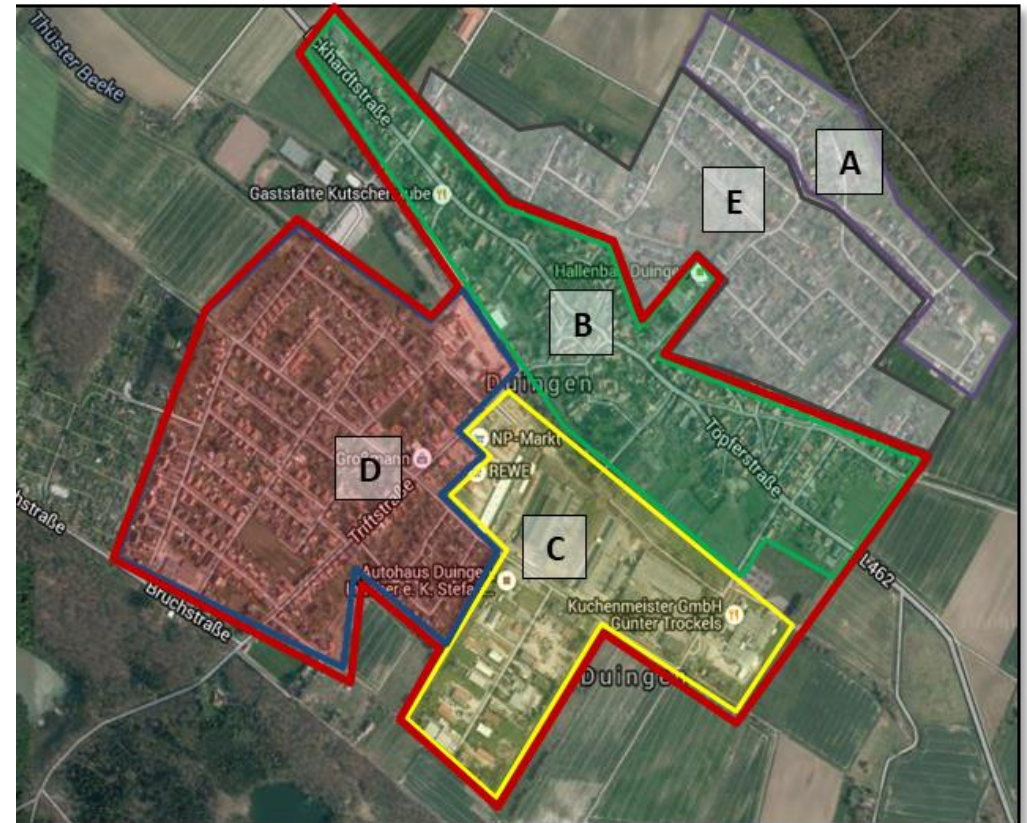
**Flecken Duingen - Reallabor zur Wasserstoffgestützten Energiewende
im ländlichen Raum**

Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften

Prof. Dr.-Ing. Lars Kühl

Inhalt

- Voraussetzungen zur Umsetzung einer nachhaltigen Energieversorgung am Standort Duingen
- Umgesetzte Beispielprojekte – Integration von Wasserstoff in den ÖPNV
- Variantenentwicklung zur Betrachtung der Integration der Wasserstofftechnologie in die Energieversorgung des Fleckens Duingen
- Wirtschaftliche Bewertung der Varianten
- Weiteres Vorgehen



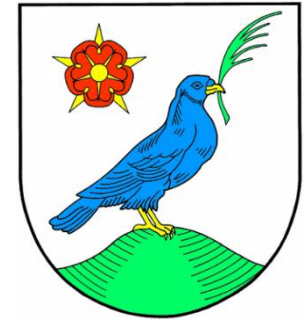


Fakultät Versorgungstechnik in Wolfenbüttel

- Zur Fakultät Versorgungstechnik an der Ostfalia Hochschule ehemals FH Braunschweig/Wolfenbüttel gehören das **EOS (Institut für energieoptimierte Systeme)** und das **IBU (Institut für Biotechnologie und Umweltforschung)**
- Die Fakultät in Zahlen:
 - 18 Professor/innen, 50 wissenschaftliche Mitarbeiter/-innen, 16 Labore
 - Im **EOS** finden sich für folgende Bereiche **Labore**: Angewandte Datenverarbeitung, Gas- und Verbrennungstechnik, Elektrotechnik und regenerative Energietechnik, Energie- und Kältetechnik, Heizungstechnik, Klimatechnik, Regelungstechnik und Gebäudeautomation, Sanitärtechnik, Strömungstechnik sowie Wasser- und Abwassertechnik.
 - ca. 700 Studierende, Mehr als 20 Partnerunternehmen
- Zu den Studiengänge an der Fakultät gehören
 - die Bachelorstudiengänge **Energie- und Gebäudetechnik (EGT)**, **Energie- und Gebäudetechnik im Praxisverbund (EGTiP)**, **Bio- und Umwelttechnik (BEE)**, **Wirtschaftsingenieurwesen Energie/Umwelt**, **Green Engineering** und **Smart City Engineering** sowie
 - die Masterstudiengänge **Energiesystemtechnik** und **Netztechnik und Netzbetrieb**

Der Flecken Duingen auf dem Weg zu einer nachhaltigen Energieversorgung

- 2009 – Verlegung von PV-Modulen auf den Dächern der Grundschule und der Oberschule mit Sporthalle
- 2010 – Umsetzung einer Biogastrasse von der etwa 2 km entfernten Biogasanlage Hoyershausen über den Duinger Berg, Betrieb von 2 BHKW's mit je 300 kW zur Versorgung von Schwimmbad, Sauna, Grundschule, Oberschule, Sporthalle, Jugendzentrum und Rathaus
- 2014 – Errichtung einer 2.250 kWp PV-Anlage mit einem Jahresertrag von 2.100 MWh, Deckung des jährlichen Verbrauchs von rund 600 Einfamilienhäusern, CO₂-Ersparnis von ca. 1800 T/Jahr
- 2018 – Abschluss der Entwicklung eines „Integrierten Quartierskonzeptes“ für Duingen Mitte/Süd und Nord gefördert durch die KfW - Programm 432 A "Energetische Stadtsanierung"
- Seit 2019 Betreuung von Sanierungsvorhaben der Bewohner durch ein „Sanierungsmanagement“, gefördert durch die KfW – Programm 432 B
- Seit 2020 Erarbeitung einer Machbarkeitsstudie „Wärmenetzsysteme 4.0“ gefördert durch die BAFA
- **Ab 2021/2022 Zusammenführung der Ergebnisse und Abstimmung der Maßnahmen mit kommunalen Vertretern, Betreibern von Biogas- und PV-Anlagen, ortsansässigen Unternehmen, Energieversorgungsunternehmen und Bürgern mit dem Ziel der Umsetzung einer nachhaltigen und ressourcenoptimierten Energieversorgung**



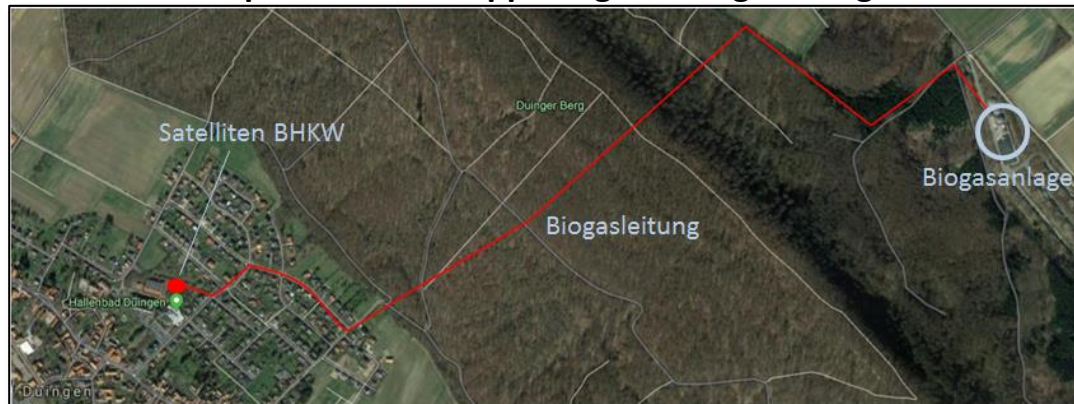
Umgesetzte Bausteine des Energieversorgungssystems – Wärmeerzeugung aus Biogas

Die öffentlichen Gebäude, wie das Schwimmbad, die Schulen und das Rathaus in Duingen werden bereits über eine Nahwärmeleitung mit Wärme versorgt.

Die Wärme wird über biogasbetriebene BHKWs erzeugt. Die Biogasversorgung erfolgt seitens der Bioenergie Kühltal GmbH & Co. KG, Hoyershausen mit einer Fernleitung über den Duinger Wald. Das Biogas wird in die Technikzentrale in Duingen eingespeist. Die Wärme wird direkt vor Ort erzeugt und die Wärmeverluste werden auf ein Minimum reduziert. Insgesamt stehen 4 BHKW mit einer thermischen Leistung von jeweils 265 kW_{th} zur Verfügung.

Dieses bestehende Nahwärmenetz soll in die neue Fernwärmeversorgung integriert werden.

Aufgrund einer Umstrukturierung der Biogasanlage besteht ab 2021 die Option der Verdoppelung des Biogasbezuges.



Umgesetzte Bausteine des Energieversorgungssystems – PV-Anlage in Duingen

Im südlichen Teil der Ortschaft ist eine Freiland Photovoltaikanlage bestehend aus ca. 9.500 Modulen mit einer Gesamtleistung von etwa 2.270 kWp installiert.

Dazu gibt es zwei weitere PV-Anlagen auf dem Dach des Bauhofes. Diese weisen jeweils eine Leistung von 250 kWp auf.

Zu dem gibt es östlich von Duingen 2 Windkraftanlagen mit einer Nennleistung von jeweils 1 MW.

Zu allen Betreibern der Anlagen, die von kleinem Genossenschaften, Privatpersonen etc. betrieben werden ist bereits Kontakt aufgenommen worden.



Umgesetzte Beispiele - eFarm

eFarm – Wasserstoff und Wärmenetz in Nordfriesland

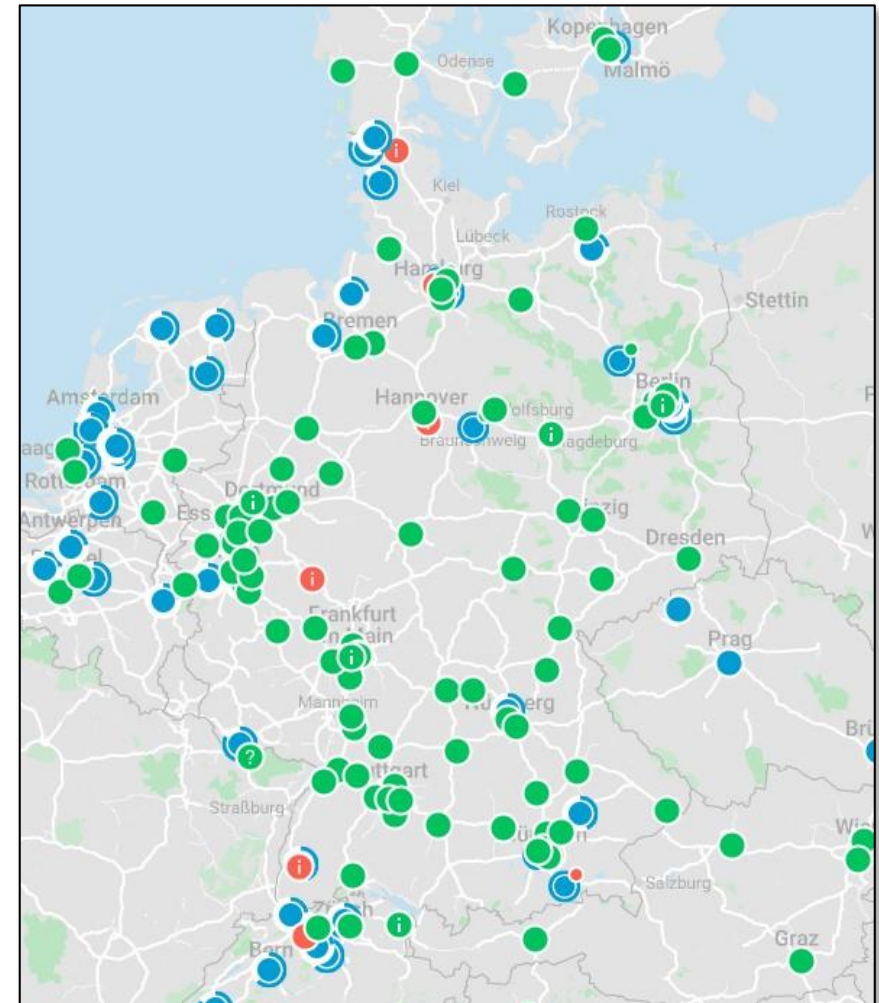
- Kombination von Windkraft und Elektrolyse mit Mobilität und Wärmenetz 4.0
- Mobilitätskonzept:
 - 2 Wasserstoff-Tankstellen
 - 2 Brennstoffzellen-Busse
 - 30 Brennstoffzellen-PKW
- Wärmenetz in Bosbüll für 25 Haushalte und einen Großabnehmer



Quelle: gp-joule.de

Wasserstofftankstellen

- Aktuell knapp 100 öffentliche Wasserstofftankstellen in Deutschland
- In der Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie der Bundesregierung soll ein Netz von ca. 1000 H₂-Tankstellen bis 2030 geschaffen werden
- Bis Ende 2021 sollen 130 H₂-Tankstellen betrieben werden
- Ende 2019 waren 600 Brennstoffzellen-PKW in Deutschland zugelassen
- Ende 2020 bereits über 1000 Brennstoffzellen-PKW zugelassen



Quelle: h2.live/tankstellen

Entwicklung im Bereich von Wasserstofftankstellen

Öffentliche Tankstelle

- Positionierung auf Wasserstoffkarte
- Möglichkeiten für Bürger schaffen
- Investitionskosten ca. 1,5 Mio. Euro



„Fleet-Owner-Station“

- Versorgung von Fahrzeugen der Stadtverwaltung / ÖPNV
- Kostengünstiger Einstieg in H₂-Mobilität
- Investitionskosten ca. 200.000€



Integration von Wasserstoff in den ÖPNV

- Förderung von Brennstoffzellen-Bussen, z.B. über NIP II – Schwerpunkt Nachhaltige Mobilität
 - Bis zu 80% der Investitionsmehrkosten durch BMVI-Förderung
 - Bis zu 40% von Infrastrukturmaßnahmen durch BMVI-Förderung
- Bereits diverse Hersteller am Markt
- Weitestgehend positives Feedback aus Regionen mit Brennstoffzellen-Bussen
- Innovation in der Region wird für Bevölkerung sichtbar

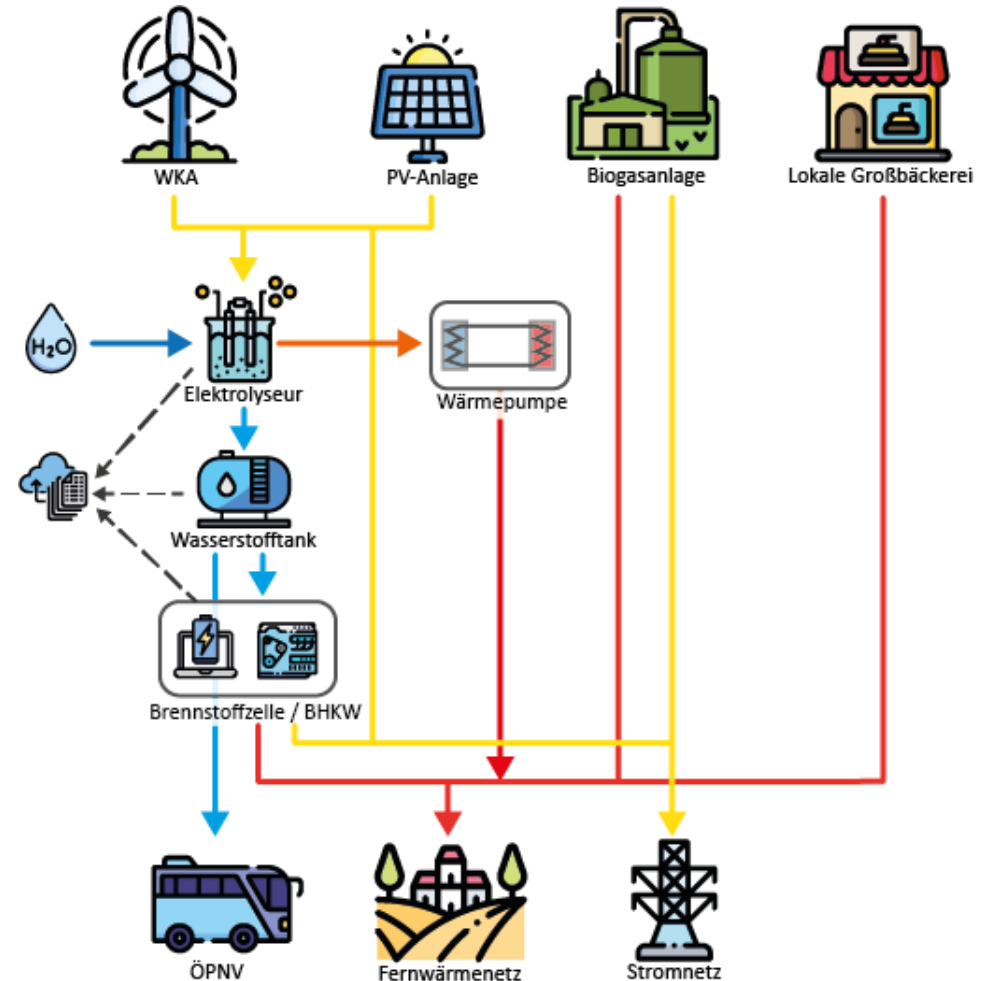


Konzeptansätze zur Umsetzung

- Betrachtung von verschiedenen Konzepten zur Evaluierung der Einsatzmöglichkeiten von Wasserstoff am Standort Duingen
- Bewertung der Grenzen des Einsatzes grünen Wasserstoffs
- Vergleich der Varianten unter ökonomischen Gesichtspunkten

Betrachtet werden:

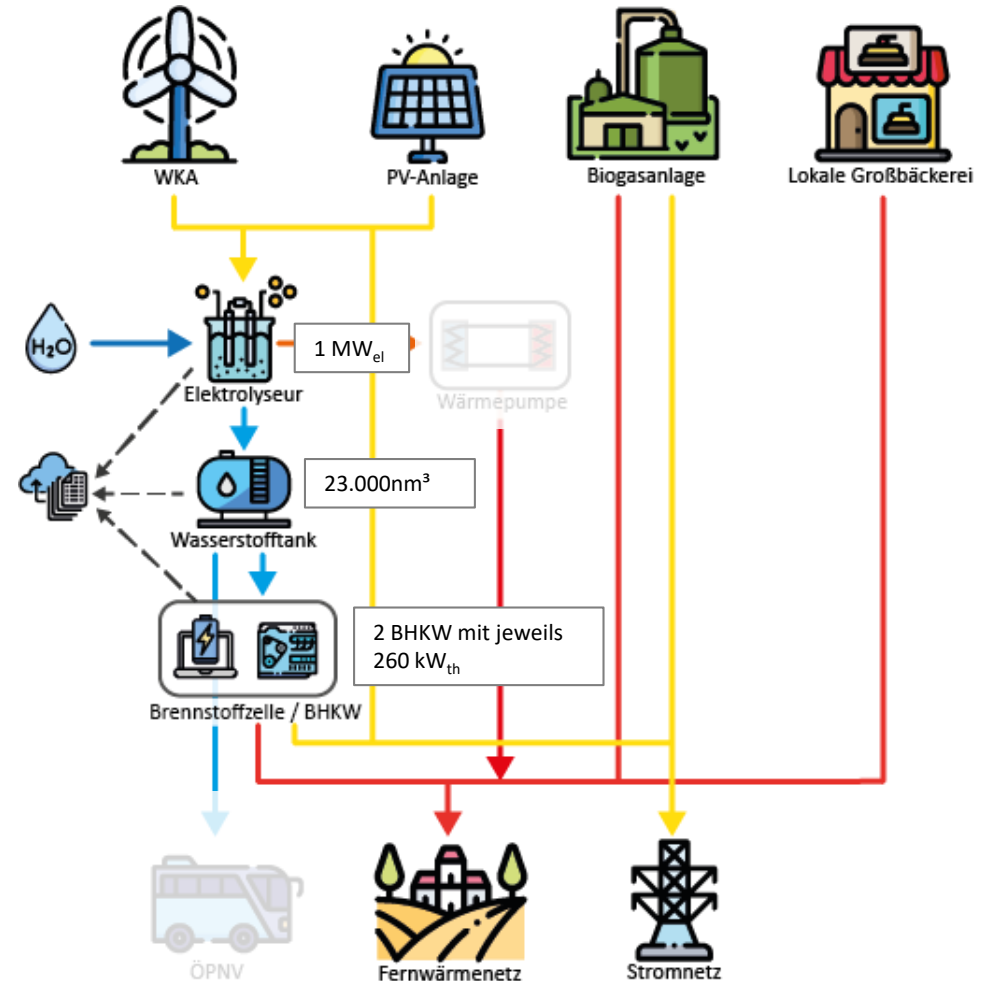
- Nutzung von lokalem Grünstrom zur Wasserstoffgewinnung
- Wasserstoff als Bestandteil des Nahwärmenetzes
- Sektorkopplung von Energie und Wärme
- Einbindung des ÖPNV
- Online-Monitoring
- Offene Schnittstellen für Zukunftstechnologien



Diese Abbildung verwendet Ressourcen von FlatIcon.com

Variante 1 – 100% H₂

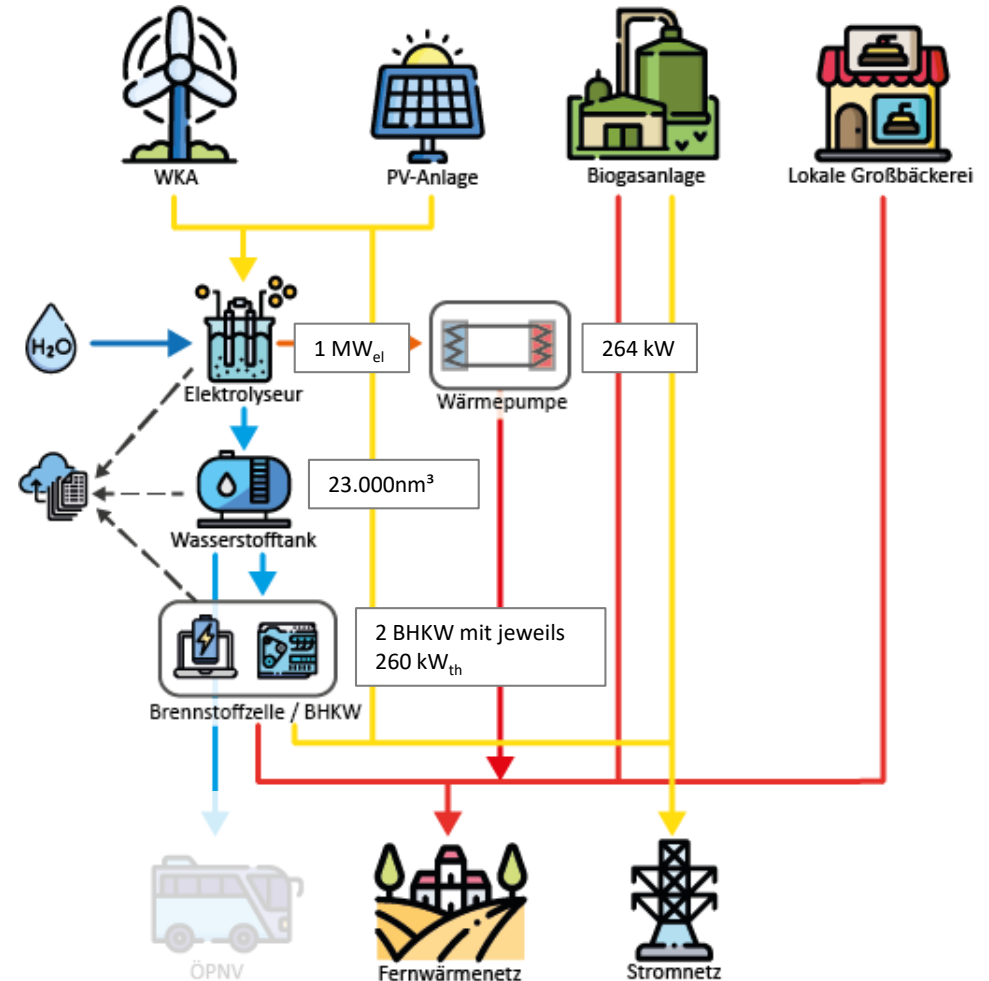
- Nutzung des gesamten über Photovoltaik und Windkraft erzeugten grünen Stroms zur Wasserstofferzeugung
- Einspeisung der erzeugten Wärme in das Fern-/ Nahwärmenetz
- Bewertung der technischen Möglichkeiten und resultierenden Kosten bei maximaler Wasserstoffintegration



Diese Abbildung verwendet Ressourcen von FlatIcon.com

Variante 2 – 100% H₂ mit maximierter Wärmenutzung

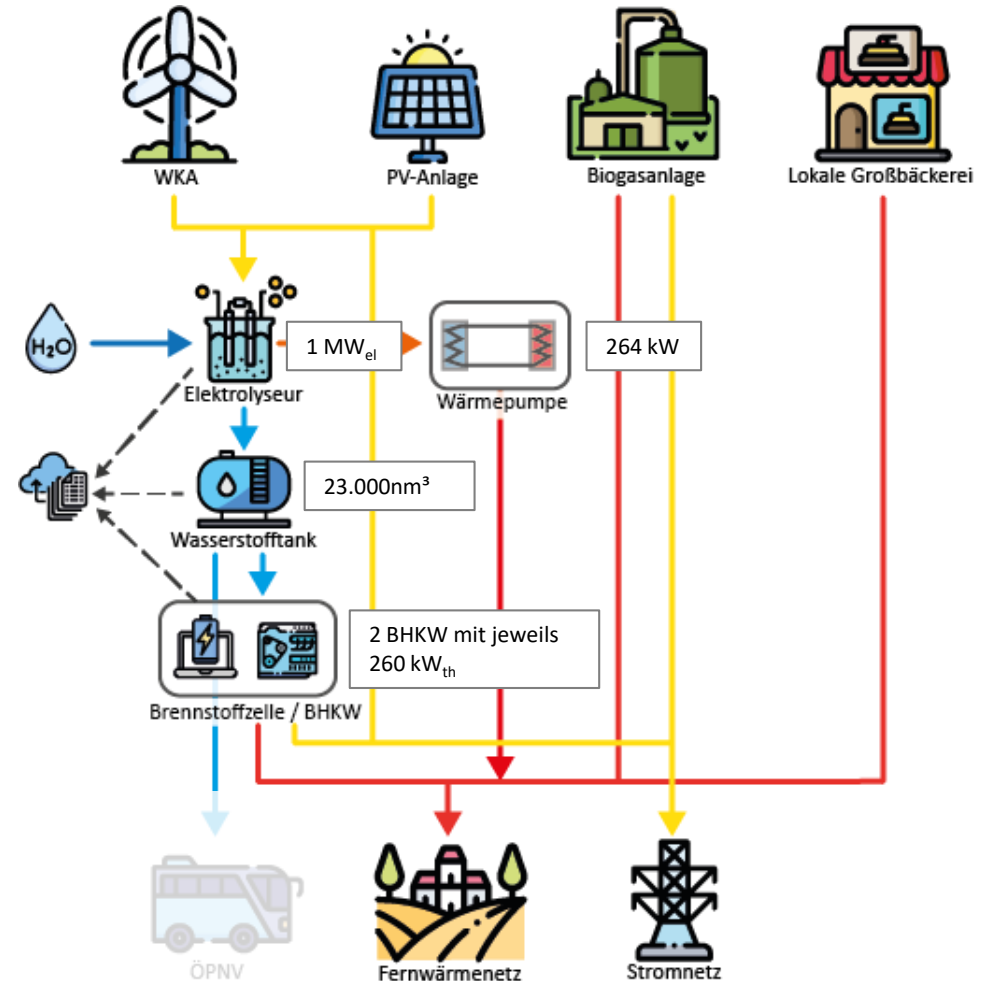
- Aufbau wie Variante 1 mit ergänzender Abwärmenutzung des Elektrolyseurs zur Einkopplung in das Wärmeverteilnetz
- Dazu muss die Abwärme über eine Wärmepumpe auf ein Temperaturniveau von 80 °C gebracht werden.



Diese Abbildung verwendet Ressourcen von FlatIcon.com

Variante 3 – 100 % H₂ mit maximierter Wärmenutzung und „Nullinvest“

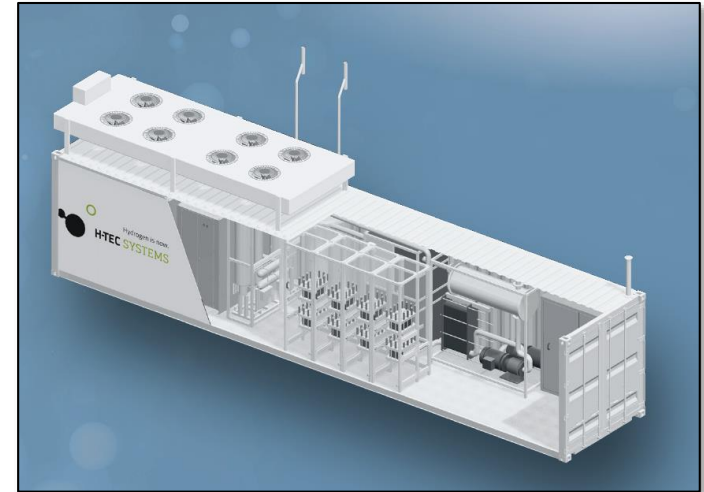
- Variante 2 ohne Invest- und Stromkosten zur ausschließlichen Bewertung der Betriebskosten
- Berücksichtigung einer maximalen Förderung, d.h. Investitionskosten „Null“ und Stromkosten zur Wasserstofferzeugung ebenfalls „Null“



Diese Abbildung verwendet Ressourcen von FlatIcon.com

Eingesetzte Technik - Elektrolyseur H-TEC ME 450/1400 – berücksichtigt in Varianten 1, 2 und 3

- Zukunftsweisende PEM-Elektrolyse
- Wasser wird durch Stromzufuhr in Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten
- 1 MW elektrische Leistung nominal
- 74% Systemwirkungsgrad ohne Wärmeauskopplung
- Wärmeabspaltung bis 20% der el. Leistung möglich (65°C)
- 450 kg H₂ pro Tag



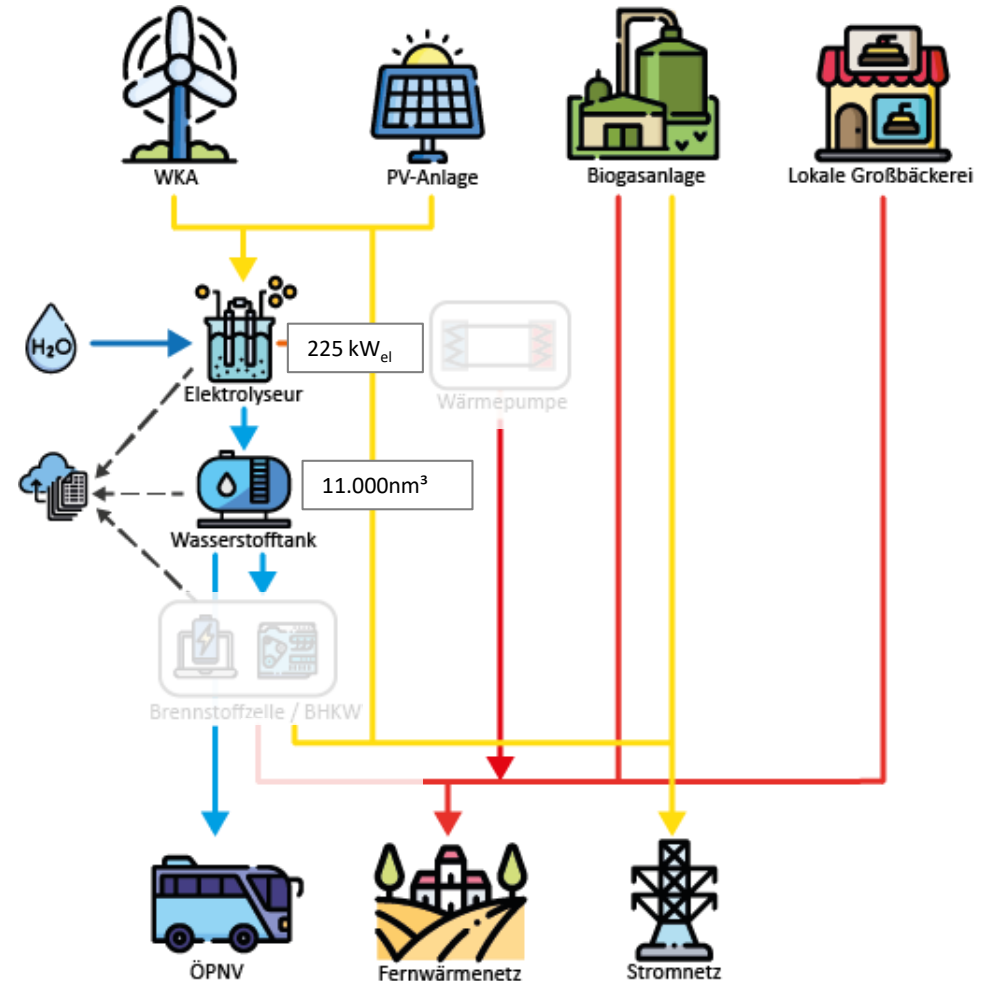
Eingesetzte Technik - Blockheizkraftwerk agemitor 404 H2 von 2G – berücksichtigt in Variante 1, 2 und 3

- CO₂-freie Kraft-Wärme-Kopplung
- Leistung von 240 kW_{el} und 250 kW_{therm}
- 82,1 % Gesamtwirkungsgrad
- Wasserstoffbedarf 17,9 kg H₂ pro Stunde



Variante 4 – H₂ Verkauf

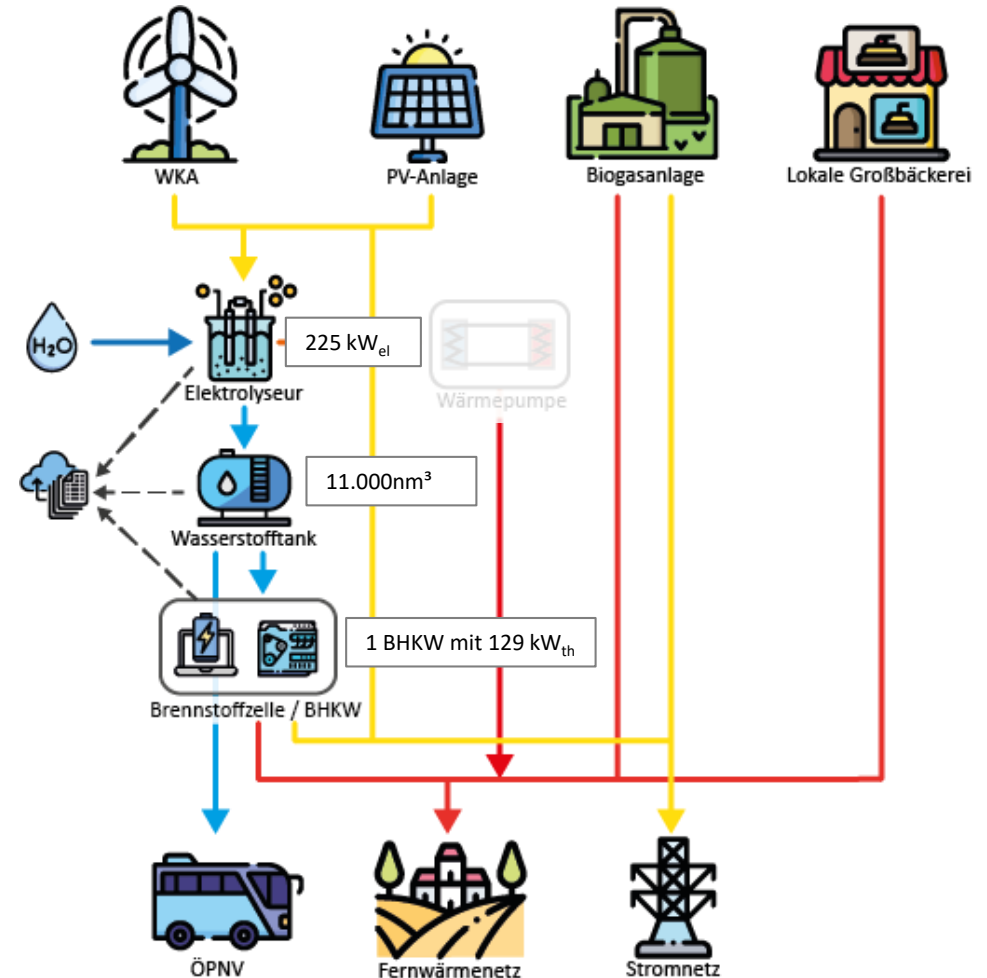
- Annahme, dass 100% des produzierten Wasserstoffs über eine Tankstelle und den freien Handel verkauft werden
- Die Einnahmen durch den Verkauf von Wasserstoff sind bedeutend höher, als die Einnahmen bei Rückverstromung



Diese Abbildung verwendet Ressourcen von FlatIcon.com

Variante 5 – H2 red

- Elektrolyseur und Wasserstoff-BHKW in geringerer Leistungsgröße
- Dadurch Verringerung von Investitions- wie auch Wartungskosten
- Berücksichtigung einer vollständigen Sektorkopplung mit Nutzung des Wasserstoffs sowohl zur Strom- als auch zur Wärmeenerzeugung
- Weiterhin Nutzung des Wasserstoffs im Mobilitätssektor



Diese Abbildung verwendet Ressourcen von Flaticon.com

Eingesetzte Technik - Elektrolyseur H-TEC ME 100/350 – berücksichtigt in Variante 4 und 5

- Zukunftsweisende PEM-Elektrolyse
- Wasser durch Stromzufuhr in Wasserstoff und Sauerstoff aufspalten
- 225 kW elektrische Leistung nominal
- 74% Systemwirkungsgrad ohne Wärmeauskopplung
- Wärmeausspeisung bis 20% der el. Leistung möglich (65°C)
- 100 kg H₂ pro Tag



Eingesetzte Technik - Blockheizkraftwerk agenitor 404 H2 von 2 G – berücksichtigt in Variante 4 und 5

- CO₂-freie Kraft-Wärme-Kopplung
- Leistung von 115 kW_{el} und 129 kW_{therm}
- 80 % Gesamtwirkungsgrad
- Wasserstoffbedarf 9,1 kg H₂ pro Stunde



Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsberechnung

- Kostenansätze für die Anlagenbauteile nach Herstellerangaben / Vergleichsprojekten / BKI
- 10% für Unvorhergesehenes und 25% für Planung
- Kapital-Zinssatz 2,5%
- Nutzungsdauer der Anlagenteile in Anlehnung an VDI 2067 bzw. Herstellerangaben
- 5% Energiepreissteigerung (inkl. 1% Inflation)
- Betrachtungszeitraum 20 Jahre
- Betrachtet werden Bruttokosten





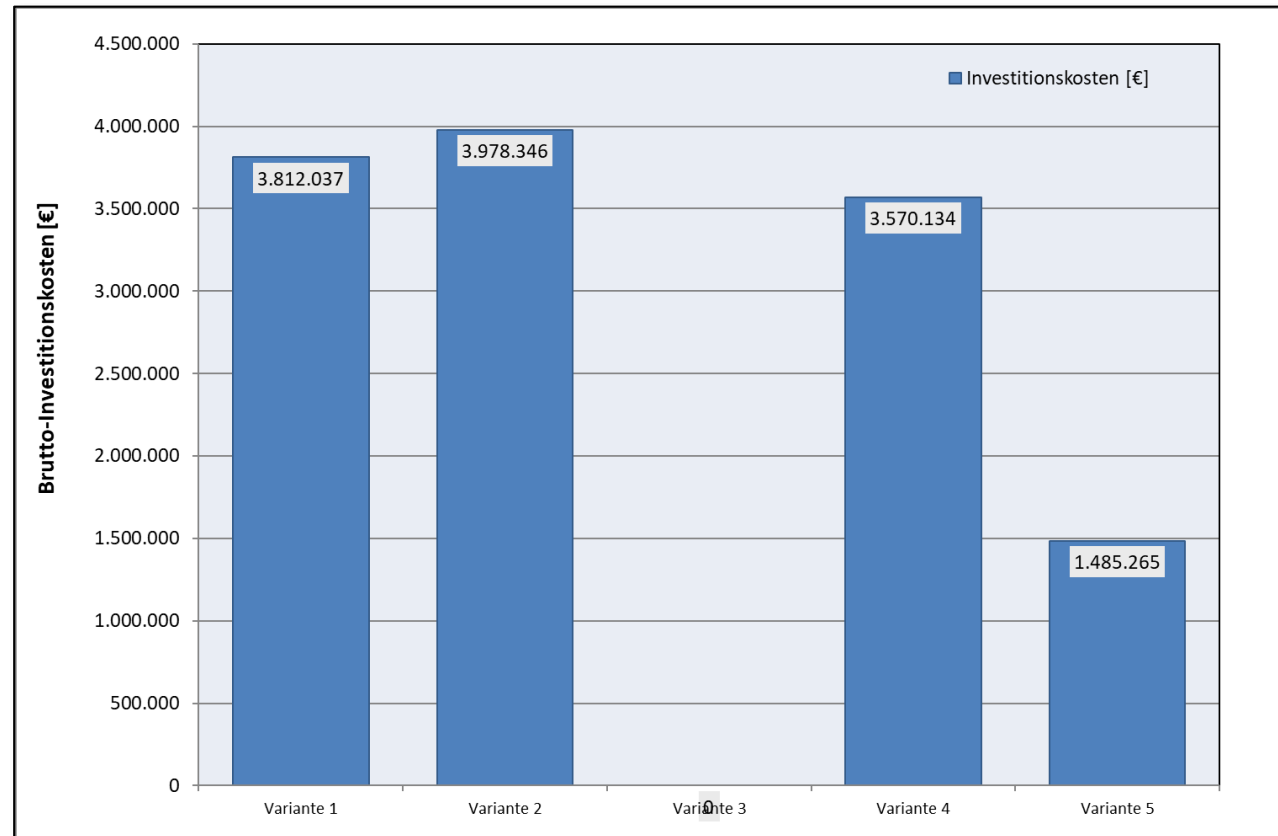
Energiekosten

Strom Windkraftanlagen:	0,08 €/kWh (abgeschätzt)
Strom PV-Freifläche	0,10 €/kWh
Strom PV-Dach	0,12 €/kWh
Stromkosten für WP wenn nicht aus lokalen regenerativen Erzeugern:	
	0,20 €/kWh
Grundpreis:	79 €/a
Wasserstoff	8,00 €/kg
Wärme Arbeitspreis	0,09 €/kWh
Wasser	2,00 €/m ³
Grundpreis	76 €/a

Brutto- Investitionskosten im Vergleich

- Für die Variante 1, 2, 4 und 5 wird von einer Förderung von 50 % über die gesamten Investitionskosten ausgegangen
- In Variante 3 werden die Investition bewusst nicht berücksichtigt, um den Effekt der laufenden Kosten (Instandhaltung und Wartung) aufzuzeigen

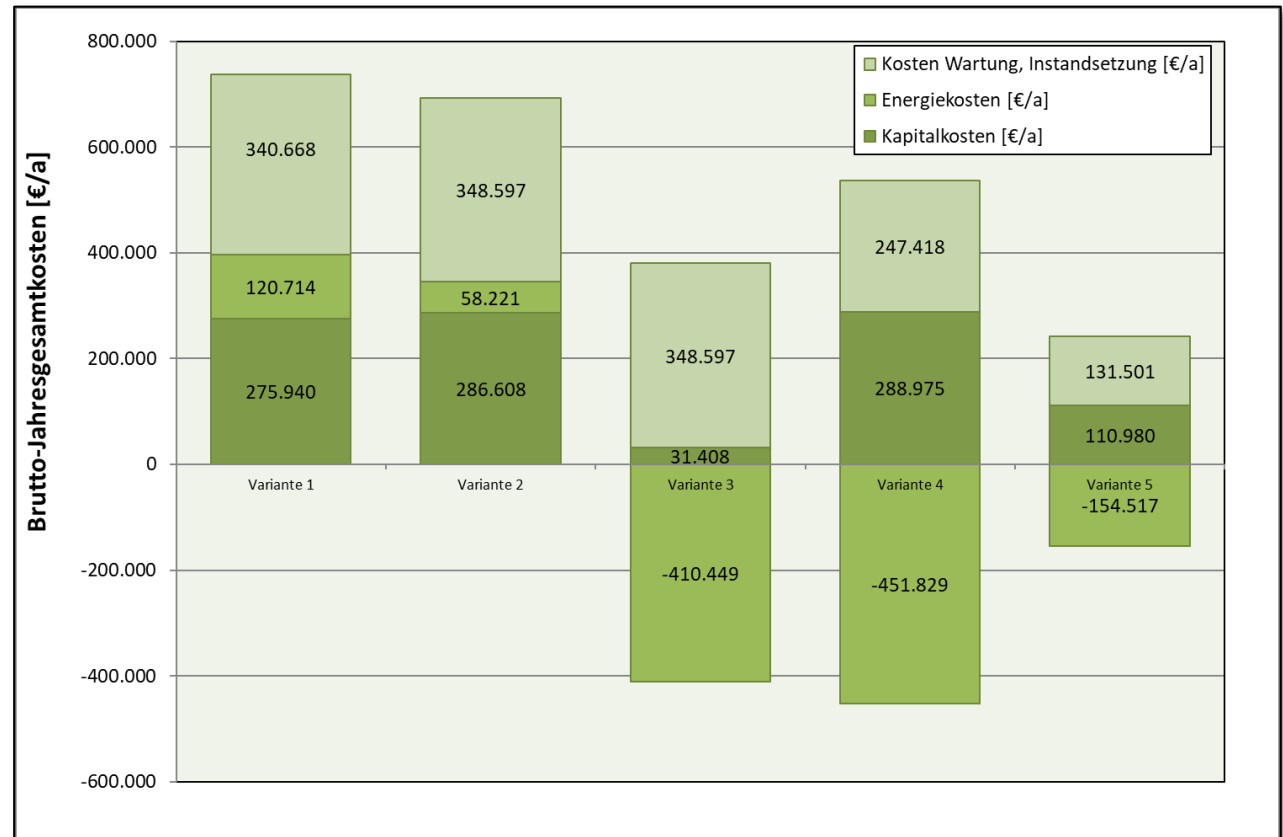
- Variante 1** gesamter reg. Strom zur Wasserstofferzeugung (Elektrolyseur 1 MWel, 2 BHKW á 260 kWth, Speicher)
- Variante 2** V1 + Ausspeisung Wärme Elektrolyseur + WP
- Variante 3** V2 ohne Stromkosten, 100% Förderung für Anlagentechnik
- Variante 4** Elektrolyseur, nur Windstrom, 100% des Wasserstoffs an H2-Tankstelle verkauft
- Variante 5** 400 kW Elektrolyseur, Tankstelle



Brutto-Jahresgesamtkosten im Vergleich

- Variante 1 und 2 zeigen, dass mit den angenommenen Stromkosten und dem angenommenen Arbeitspreis für die Wärme keine Gewinne erzielt werden können
- Variante 3 berücksichtigt als fiktive Variante keine Stromkosten
- In Variante 4 und 5 wird Wasserstoff über Tankstellen verkauft und so ein Gewinn erwirtschaftet

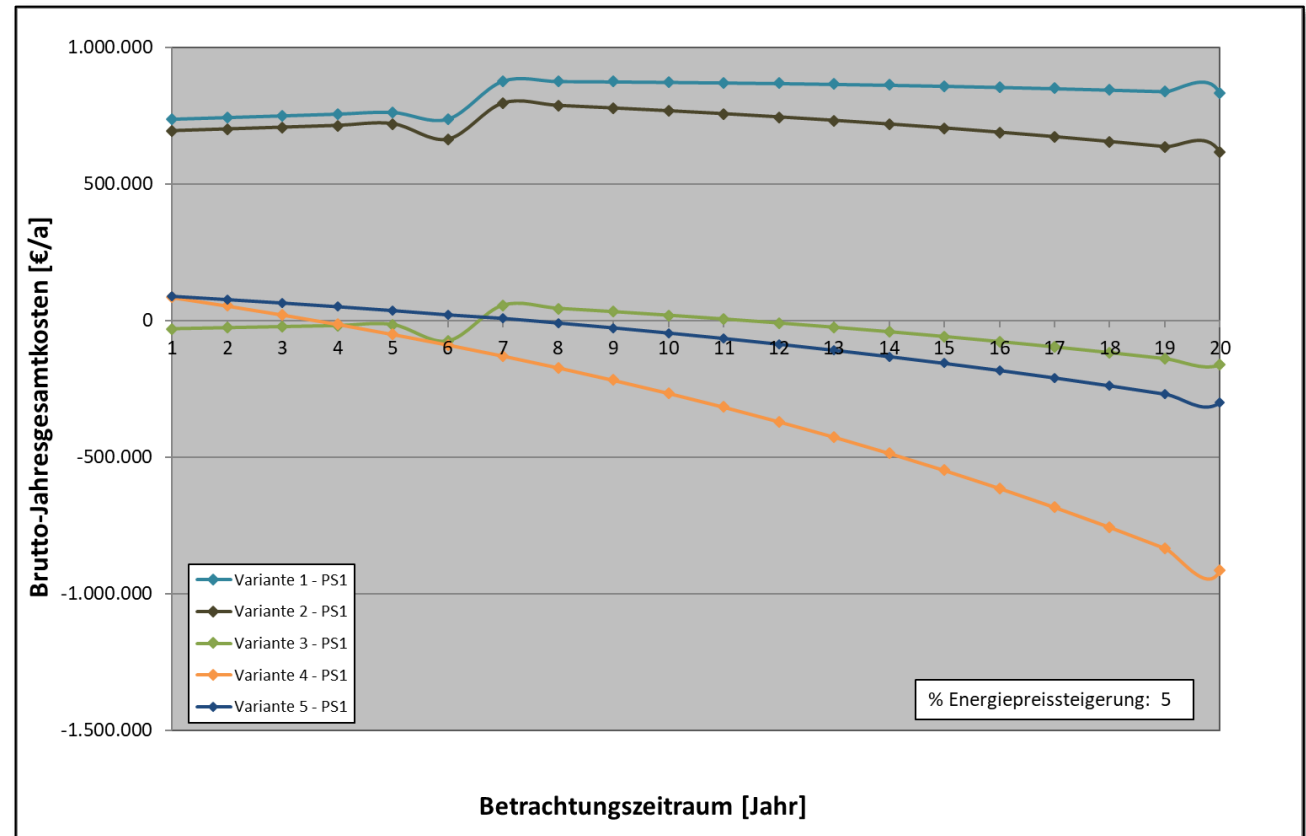
- Variante 1** gesamter reg. Strom zur Wasserstofferzeugung (Elektrolyseur 1 MWel, 2 BHKW á 260 kWth, Speicher)
Variante 2 V1 + Ausspeisung Wärme Elektrolyseur + WP
Variante 3 V2 ohne Stromkosten, 100% Förderung für Anlagentechnik
Variante 4 Elektrolyseur, nur Windstrom, 100% des Wasserstoffs an H2-Tankstelle verkauft
Variante 5 400 kW Elektrolyseur, Tankstelle



Entwicklung der Jahres- gesamtkosten im Vergleich

- Energiepreissteigerung 5%
- Entsprechend den Anforderungen an eine Wärmenetzsystem 4.0 ist der Wärmepreis für 5 Jahre festgesetzt

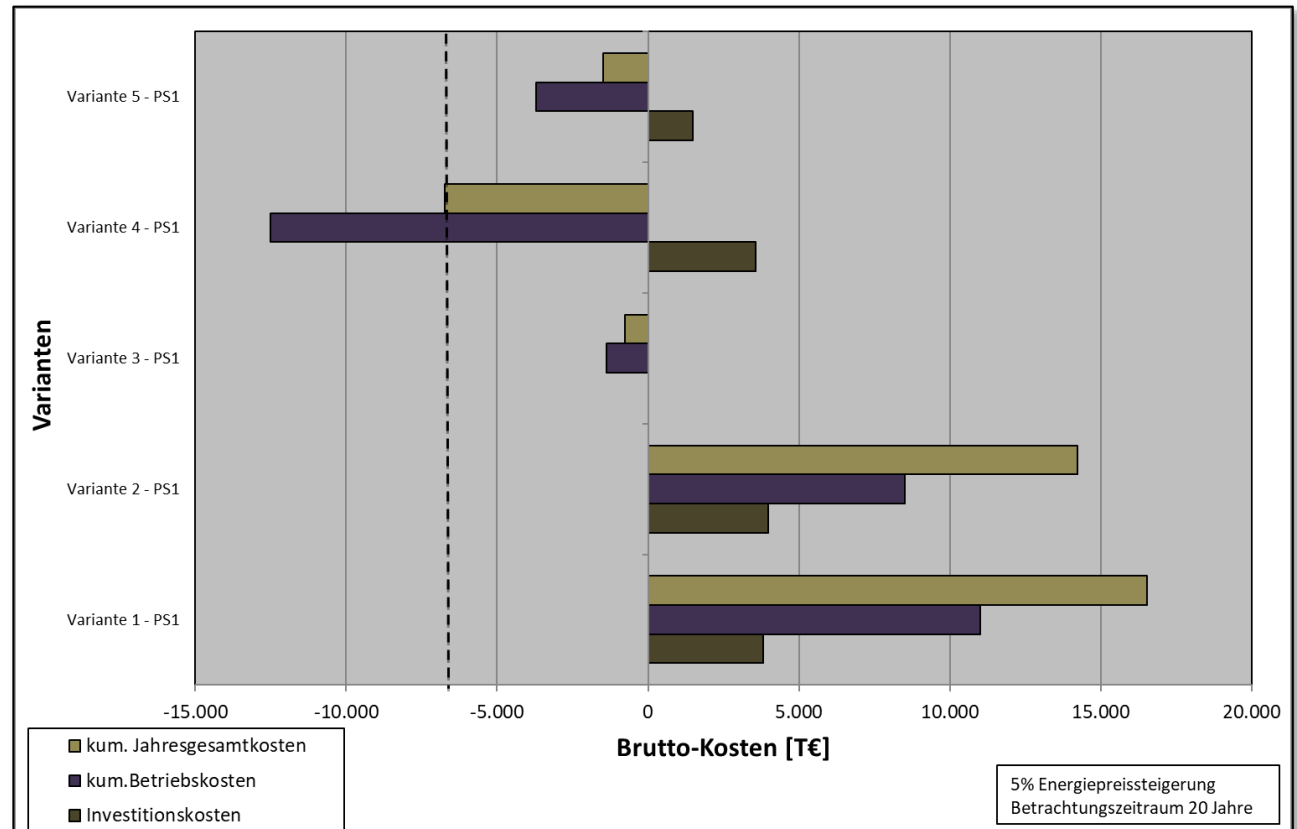
- Variante 1** gesamter reg. Strom zur Wasserstofferzeugung (Elektrolyseur 1 MWel, 2 BHKW á 260 kWth, Speicher)
- Variante 2** V1 + Ausspeisung Wärme Elektrolyseur + WP
- Variante 3** V2 ohne Stromkosten, 100% Förderung für Anlagentechnik
- Variante 4** Elektrolyseur, nur Windstrom, 100% des Wasserstoffs an H2-Tankstelle verkauft
- Variante 5** 400 kW Elektrolyseur, Tankstelle



Vergleich der kumulierten Jahresgesamtkosten über 20 Jahre Betriebszeit

- Energiepreissteigerung 5 %
- Unter den angenommenen Randbedingungen ist eine ausschließliche Wärmeerzeugung und Rückverstromung mit dem über regenerativen Strom erzeugten Wasserstoff nicht wirtschaftlich
- Es sollte auf jeden Fall der Verkehrssektor mit berücksichtigt werden

- Variante 1** gesamter reg. Strom zur Wasserstoffherzeugung (Elektrolyseur 1 MWel, 2 BHKW á 260 kWth, Speicher)
- Variante 2** V1 + Ausspeisung Wärme Elektrolyseur + WP
- Variante 3** V2 ohne Stromkosten, 100% Förderung für Anlagentechnik
- Variante 4** Elektrolyseur, nur Windstrom, 100% des Wasserstoffs an H2-Tankstelle verkauft
- Variante 5** 400 kW Elektrolyseur, Tankstelle





Weiteres Vorgehen im Rahmen der Projektentwicklung

- Mit den bis jetzt gewonnen Erkenntnissen ist eine detailliertere Analyse mittels Modellierung des Systems und simulationsgestützter Betrachtung von Ausführungsvarianten notwendig
- Eine detailliertere Bewertung und Auswahl der einzelnen Bauteile ist insbesondere im Hinblick auf eine Reduzierung der Wartungs- und Instandhaltungskosten sinnvoll und notwendig
- Integration der Anlagenhersteller in die Konzeptphase
- Es muss der Aspekt der Mobilität mit berücksichtigt werden. Hier gilt es den öffentlichen Nahverkehr mit einzubinden.
- Ein Betreibermodell ist zu erarbeiten, die Kontaktaufnahme mit möglichen Interessenten hat begonnen, die weitere Entwicklung im Bereich der Wasserstoffintegration ist entscheidend für die weiteren zu führenden Gespräche

Die weitere Vorbereitung der Umsetzung sollte im Rahme einer detaillierten Machbarkeitsstudie erfolgen !