

Schulpaket Kraft-Wärme-Kopplung



Handreichungen für Lehrerinnen und Lehrer

Für den fächerübergreifenden Unterricht ab der 9. Klasse

Schulpaket Kraft-Wärme-Kopplung

Einleitung

„Energie“ ist nicht erst seit dem hessischen Kerncurriculum eines der Basiskonzepte für den Physikunterricht. Die dort thematisierten Fragen von Energieumwandlung und Energieentwertung sind gleichzeitig grundlegend für die Entwicklung einer nachhaltigen Energieversorgung.

Die Stadt Frankfurt initiiert im Rahmen des Klimakonzepts verschiedene Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Nutzung erneuerbarer Energien. Ein Baustein ist das Projekt „CHP Goes Green“, also die Nutzung von Biogas als Brennstoff für die Erzeugung von Strom und Wärme in Blockheizkraftwerken. Mit dem Schulpaket „Kraft-Wärme-Kopplung“ hat Umweltlernen in Frankfurt e.V.

Materialien entwickelt, die diese innovative Technik für den Unterricht nutzbar macht und zahlreiche Anlagen in Frankfurt für die pädagogische Arbeit erschließt. Die Materialien dienen gleichzeitig dem Kompetenzerwerb im Inhaltsbereich der Physik wie im Bereich „Nachhaltiger Entwicklung“.

Allgemeine Hinweise zum Schulpaket

Das Schulpaket zum Thema Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) richtet sich an LehrerInnen der Jahrgangsstufen 9/10 und der Oberstufe. Die Thematik eignet sich für die Einbindung in den Physikunterricht. Darüber hinaus gibt es vielfältige Schnittstellen zu den Bereichen Erdkunde, Chemie, Biologie, Arbeitslehre, Politik und Wirtschaft sowie Mathematik. Das Themenfeld ist ebenso geeignet für die Abschlussarbeit im Realschulbereich, als Hausarbeit (Klausuren-Ersatz) oder als gestelltes Thema, um fachunabhängig Präsentationstechniken zu üben. Das Thema ist neben dem Physikunterricht auch als Prüfungsinhalt für den mittleren Schulabschluss (MSA) geeignet. Zum Abschluss soll eine Präsentationsarbeit der SchülerInnen mit freier Wahl des Präsentationsmediums stehen. Folgende Fragestellungen sollen in der Präsentations- bzw. Abschlussarbeit erörtert werden:

- Was ist KWK, wie funktioniert sie und wo liegen die Vorteile zur herkömmlichen Energieerzeugung?
- Was ist „grüne“ KWK, wie funktioniert sie und wo sind die Vorteile zur herkömmlichen KWK?
- Kreativbeitrag zum Thema „Speicher“ (Energiespeicher) und „Netze“ (Versorgungsstrukturen).

Dieses Schulpaket beinhaltet:

- Einführung zum Thema Kraft-Wärme-Kopplung
- Didaktisch-methodischen Hinweise und Anknüpfungspunkte zum Kerncurriculum der Sekundarstufe I in Hessen und eine Übersicht der einzelnen Modulen des Schulpaketes
- PPT-Foliensatz zur Anwendung im Unterricht, als Download zu erhalten auf www.umweltlernen-frankfurt.de/Energie/KWK
- Referatsliste für Schülerinnen und Schüler
- Informationssammlung zum Thema KWK als Linkliste für Lehrkräfte und SchülerInnen, auch für den Unterricht verwendbar

Warum soll das Thema in der Schule behandelt werden?

Der Klimawandel betrifft uns alle. Die folgenden Generationen werden die Konsequenzen noch deutlicher zu spüren bekommen. Es ist eine dringende gesamtgesellschaftliche Aufgabe, Lösungen für den Klimaschutz und die sich abzeichnende Verknappung fossiler Energieträger zu finden. Die Schule ist der Ort, an dem über die ökologischen und ökonomischen Folgen des Klimaschutzes diskutiert und zu einem verantwortlichen Umgang mit unseren Ressourcen angeregt werden kann. KWK als technisches Prinzip im Energiebereich steht im Schatten der erneuerbaren Energien (Wind- und Sonnenstrom). Unter dem Aspekt des Wirkungsgrades und dem möglichen Betrieb der Anlagen mit Bio-, Öko- oder Synthesegas, hat diese Technik enorme Vorteile bei der Umstellung auf regenerative Energien, als weitere Alternative zur herkömmlichen Energieversorgung. Die Abkehr von fossilen Energieträgern macht die KWK zu einem Teil des mehrsäuligen Konzeptes zur Erreichung der Energiewende. Nicht nur als Brückentechnologie, wenn alle Anlagen mittelfristig durch Umstellung dauerhaft mit regenerativen und weitestgehend klimaneutralen Brennstoffen betrieben werden.

Was sind die Lernziele?

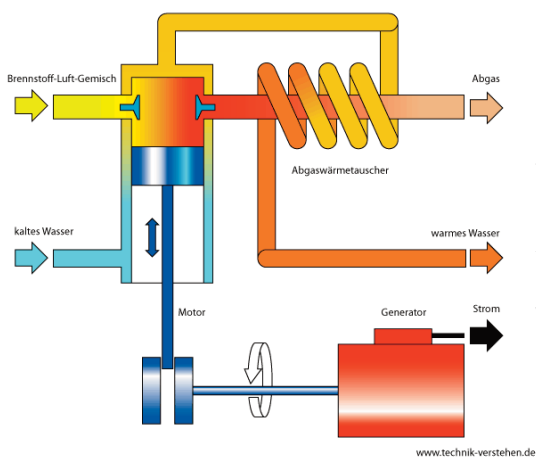
Das „Lernangebot“ möchte mit dem hier vorliegenden Schulpaket SchülerInnen über diese fortschrittliche, umweltfreundliche Technik informieren und für einen ökologischen Wandel in der Energieversorgung überzeugen. Es sind die jetzigen SchülerInnen, die eventuell später im Beruf und eigenen Haushalt Entscheidungsträger sind, ob diese Technik zum Einsatz kommt.

Neben der Vermittlung von Fachwissen zur KWK, sollen Schülerinnen und Schüler dazu angeregt werden – durch produktives Gestalten, projektorientiertes Lernen, gemeinsames Diskutieren, selbstständiges Recherchieren und Präsentieren – Kenntnisse, Fähigkeiten und einen Überblick zu erlangen, der über den schulischen Rahmen hinaus in ihrem Lebensalltag Bestand hat. Methodenvielfalt, Medieneinsatz und ein hoher Anschaulichkeitsgrad sind wichtige Eckpunkte für die Motivation. Eine ganzheitliche Betrachtungsweise wird somit erreicht.

Hintergrund Kraft-Wärme-Kopplung

Was ist Kraft-Wärme-Kopplung?

In einer KWK-Anlage werden gleichzeitig Strom und Nutzwärme erzeugt. Durch diese Kopplung kann die eingesetzte Energie (z. B. Kohle, Heizöl, Erdgas, Biogas) effizienter genutzt werden, als bei der herkömmlichen Erzeugung in getrennten Systemen. Große Abwärmemengen konventioneller Kraftwerke werden z.B. in Kühltürmen „vernichtet“ und somit ungenutzt in die Umwelt entlassen. KWK hingegen nutzt das bestehende Wärmepotential im Zusammenhang mit der Stromerzeugung aus.



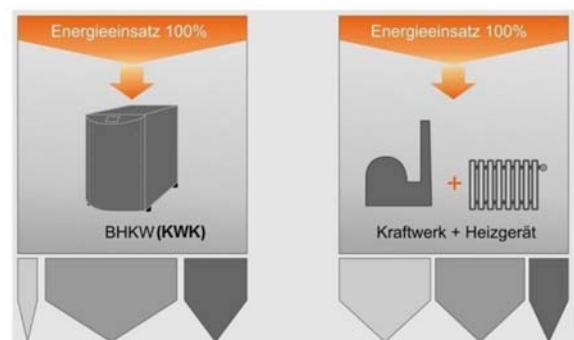
Funktions-
schema
einer
motorg-
etriebenen
BHKW-
Anlage
Quelle:
Wikipedia

KWK-Anlagen gibt es in allen Größenordnungen. Große Megawatt-Leistungsbereiche decken zentrale Heizkraftwerke ab, die Fernwärme und Strom gleichzeitig produzieren. Die Technik ist skalierbar und reicht herunter bis zu dezentralen Kleinstanlagen, sogenannte Mikro-KWK Anlagen, die im einstelligen Kilowatt-Bereich für einzelne Gebäude Strom und Wärme produzieren. KWK ist eine äußerst effiziente Methode, durch die Energieressourcen geschont und die CO₂-Emissionen verringert werden. Unabhängig von Anlagengröße wird durch das Kopplungsprinzip Umwandlungs- und Verteilverluste wesentlich reduziert. Somit ist der Wirkungsgrad (Verhältnis der eingesetzten zur erzeugten Energie) stark erhöht und der Verbrauch von Primärenergie sehr verringert. Ein weiterer Schritt zur Senkung der CO₂-Emissionen innerhalb der KWK-Technik ist die Nutzung von Biomasse als Gaserzeugerin oder direkter

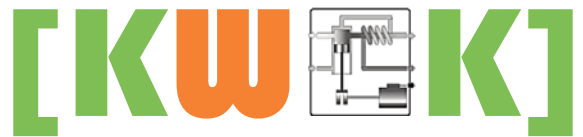
Brennstoff für Blockheizkraftwerke („grüne“ KWK). Hierfür können sehr verschiedene organische Stoffe verwendet werden, vom Altholz über Biomüll aus der Haussammlung, Klärschlämme, Gülle, Schlachtabfälle, biologische Produktionsreste bis zu „kompletten“ Energiepflanzen. Sehr interessant und wichtig ist die kritische Betrachtung, welche Biostoffe in welcher Quantität mit z.T. weitreichenden, globalen Auswirkungen einen wirklich sinnvollen Beitrag zur Verbesserung des Klima- und Ressourcenschutzes leisten können oder eben auch nicht (Stichwort „Energienmais“).

Um die Anlagenvorteile voll ausschöpfen zu können, darf sich der Fokus nicht nur auf effiziente Herstellung von Energie richten, sondern auf den gesamten Energiefluss. Hierzu gehören „smarte“ Energiespeicher und Verteilnetze, in welche die Anlagen eingebunden werden. Nur auf diese Weise können möglichst lange, gleichmäßige und unterbrechungsfreie Anlagenlaufzeiten erreicht werden. „Energieversorgungs-löcher“ in gemeinsamer Betrachtung aller heute möglichen „grünen“ Energieerzeuger werden so immer kleiner.

Die regenerativen Bio(rest)stoffe für die Energieerzeugung fallen im Siedlungsgebiet der Menschen permanent und flächendeckend an. Emissionen, Energie- und Ressourcenverbräuche für Gewinnung, Transport und Aufbereitung dieser Materialien sind wesentlich geringer im Vergleich zu konventionellen Energieträgern. Im Bereich der „grünen“ KWK sind die Versorgungsstrukturen lokal bzw. regional und nicht international.



Verteilung der Energie bei Kraft-Wärme-Kopplung



Kraft – Wärme – Kopplung

Wie sind die politischen Rahmenbedingungen?

In einigen Ländern und verstärkt auch in Deutschland werden immer mehr KWK-Anlagen gebaut und durch finanzielle Anreize gefördert. Europa ist Vorreiter für eine moderne Energie- und Klimapolitik. Um der Klimaerwärmung entgegenzuwirken und den Ausstoß von Treibhausgasen zu vermindern, hat die Bundesregierung bereits im Jahr 2000 in ihrem Klimaschutzprogramm die KWK als eine wichtige Maßnahme festgeschrieben. Beständige Novellierungen der Gesetze fördern die Etablierung der Technik im Energiemarkt.

Nach einer Schätzung der Bundestags-Enquete Kommission „Nachhaltige Energieversorgung“ könnten bis zu 70% des Stroms in Deutschland durch KWK erzeugt werden, aktuell sind es ca. 10%. Finnland, Dänemark und Holland sind bereits bei bis zu 50%.

Gesetz zur Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung (KWKG)

Fassung von 2012, Kernpunkte sind:

- Erhöhung des KWK-Anteils an der Energieerzeugung in Deutschland bis zum Jahr 2020 auf 25 %.
- Förderung von modernisierten Bestands- und Neuanlagen, eingeteilt in verschiedene Größenklassen, durch einen Zuschlag zum Einspeisetarif pro kWh Stromerzeugung über 10 Jahre oder Zahlung eine Einmalpauschale.

Neuanlagen: bis 50 kWel: 5,41 Cent pro kWh
bis 250 kWel: 4,00 Cent pro kWh
bis 2 MWel: 2,40 Cent pro kWh
über 2 MWel: 1,80 Cent pro kWh

- Einmaliger Investitions-Zuschuss für „Mini“-KWK (bis 20 kWel) in Bestandsbauten. So erhalten zum Beispiel sehr kleine, für Ein- und Zweifamilienhäuser besonders geeignete Anlagen mit einer Leistung von 1 kWel 1.500 Euro, große Anlagen mit 19 kWel hingegen 3.450 Euro.
- Förderung von Wärme- und Kältespeichern sowie von Kältenetzen zur Nutzung von Kraft-

Wärme-Kälte-Kopplung ist erstmals in das KWKG-Gesetz aufgenommen.

Gemäß KWKG besteht die Vergütung für eingespeisten Strom, die dem Betreiber einer KWK-Anlage zusteht, aus drei Preisbestandteilen:

1. dem üblichen Strompreis (lt. EEX Strom-Index),
2. den vermiedenen Netzkosten und
3. dem KWK Zuschlag (z.B. 5,41 Ct/kWh).

Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)

Dieses Gesetz legt u.a. zur Planungssicherheit von Anlagenbetreibern langfristig Vergütungssätze für Strom aus erneuerbaren Energien fest. Die Vergütung liegt höher als bei der konventionellen KWK. Die Netzbetreiber entrichten den Anlagenbetreibern eine leistungsabhängige Vergütung in Höhe von bis zu 23 Cent pro erzeugter Kilowattstunde.

Bundesgesetz zur Kreislaufwirtschaft (KrWG)

Einen weiteren Schub erhält die Biomasse-KWK durch diese Gesetzgebung: Nach dem ab 2012 in Kraft getretenen Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) müssen biologische Abfälle spätestens bis Anfang 2015 bundesweit getrennt gesammelt werden. Der positive Druck zur Verwertung von Stoffen jeder Art ist gestiegen.

Das Land Hessen und KWK

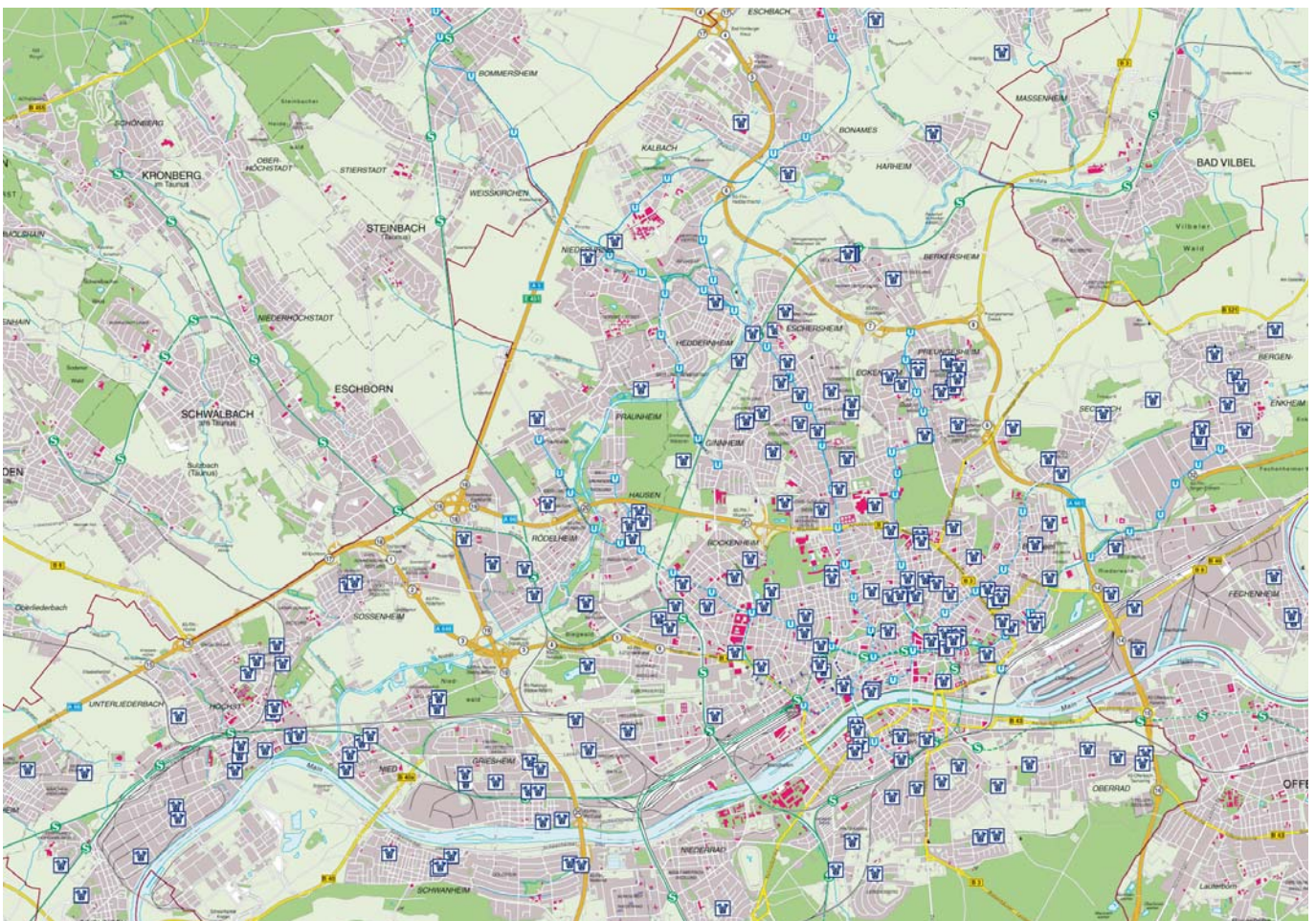
Das Land Hessen strebt eine verstärkte Nutzung des KWK-Potenzials an und hat hierfür ein Programm zur Förderung von Mikro-KWK-Anlagen-Contracting ab Juni 2012 aufgelegt. Dies bietet Hauseigentümern einen Anreiz für den Austausch ihrer veralteten Heizungsanlage und somit den beschleunigten Markteintritt von Mikro-KWK-Anlagen im Bereich von Ein- und Zweifamilienhäusern. Es wird zusätzlich zur Bundesförderung in Höhe von 1.500 Euro jede Anlage bezuschusst, die im Contracting betrieben wird. Die Förderung ist vom Energie-Dienstleister (regionaler Energieversorger) zu beantragen und wird über die Contracting-Vergütung an den Kunden weitergereicht.

KWK und Biogas in Frankfurt

Die Situation von KWK in Frankfurt

Frankfurt ist einer der Vorreiter in Sachen KWK. Aktuell bestehen in Frankfurt vom Mikro-BHKW im Einfamilienhaus bis zum Großkraftwerk ca. 270 KWK-Anlagen. Umgerechnet auf die Einwohneranzahl liegt Frankfurt weit vor der „KWK-Modellstadt“ Berlin als Landeshauptstadt mit ca. 600 Anlagen, die täglich Strom und Wärme gleichzeitig produzieren. Die elektrische Gesamtleistung beträgt 181.200 kW (industrielle Kraft-Wärme-Kopplung - keine zentralen Fernwärme Heizkraftwerke). Laufen alle Anlagen zusammen eine Stunde, erbringen sie eine Leistung, mit der 45 Familien ein Jahr lang mit Strom versorgt werden können. Bei Jahreslaufzeiten von ca. 5000 Stunden ist somit die Versorgung von rund 900.000 Privatpersonen mög-

lich. Der Haushaltsstrom der Frankfurter BürgerInnen (700.000 Personen) kann so schon heute rein rechnerisch bei Weitem mit KWK gedeckt werden. Regionale Energieversorger bieten für Frankfurt KWK-Komplettpakete an. KWK-Anlagen-Eigentümer werden von ihnen z.T. finanziell zusätzlich zur Bundesförderung nochmals in gleicher Höhe bezuschusst. KWK-Contracting-Nehmer werden ebenfalls zusätzlich zur Bundesförderung über die bereits erwähnte Landesförderung unterstützt. Bestimmte regionale Energieversorger, die KWK als Contracting für Mikroanlagen anbieten, sind als Partner des Landes Hessens im Programm gelistet und bieten diesen Zuschuss an. Alle zentralen und dezentralen KWK-Einheiten, konventionell und „grün“, decken knapp 50% des Strombedarfes der Stadt Frankfurt.



KWK-Anlagen in Frankfurt. Quelle: Klimastadtplan Frankfurt

„Grüne“ KWK , „CHP*Goes Green“ in Frankfurt (*engl.= Combined Heat and Power)

Herausragend sind Frankfurter KWK-Anlagen, die mit „Bio“- oder „Öko“-Gas betrieben werden. Es sind Objekte im industriellen und städtischen Bereich, die mit erneuerbaren Energien betrieben werden. Die Firma InfraServ (Energieversorger Industriegelände Höchst) betreibt den Industriepark fast gänzlich „Energieautonom“. Überschüssige Energie in Form von Strom oder (Bio)Synthesegas wird mit regionalen Energieanbietern kommerziell vermarktet. Das Biomasse-Kraftwerk Fechenheim (BKF) und die Rhein-Main Biokompost GmbH (RMB) betreiben mit organischen Reststoffen (Bioabfälle aus der Hausmüllentsorgung, Altholz, Grünschnitt) ihre Anlagen und tragen so erfolgreich zur klimarentlastenden Energieversorgung bei. Die Stadt hat sich für eine Energiewende ehrgeizige Ziele gesetzt: Die Versorgung der Stadt bis zum Jahr 2050 zu 100% aus erneuerbaren Energien.

Aktuell plant die Stadt Frankfurt vertraglich die kontinuierliche Abnahme von Biogas vom regionalen Erzeugern (z.B. Infranova) über die Mainova AG. Das BHKW des Palmengartens ist bereits auf den Einkauf von Biogas umgestellt.

Koordiniert und eingebettet sind diese ambitionierten Prozesse und Anlagen im Rahmen von Projekten wie „CHP Goes Green“ und „Masterplan 100% Klimaschutz“ (Energierferat Stadt Frankfurt). „CHP Goes Green“ als EU-Projekt fördert europaweit als Lobbyarbeit den Bekanntheitsgrad von „grüner“ KWK durch Beratung, Netzwerktätigkeit und Anshubarbeit zur Errichtung und Betrieb von Anlagen.

Die nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz geforderte Getrenntsammlung biologischer Abfälle ist in Frankfurt schon länger Praxis. Es ist zu vermuten, dass durch die Gesetzgebung der „Anlagenbestandsvorsprung“ durch weitere, von außerhalb der Stadtgrenze kommende Biostoffe noch stärker ausgebaut wird.

Biogasanlage
InfraServ F-Höchst



Rhein-Main-
Biokompostanlage



Biomassekraftwerk
F-Fechenheim



KWK in den Bildungsplänen

Didaktisch-methodisch Ansätze zur Arbeit

Kraft-Wärme-Kopplung ist ein Thema, das sich aufgrund seiner vielen Überschneidungspunkte für den fächerübergreifenden Unterricht eignet.

Neben der technischen Seite werden auch ökologische, ökonomische, politische und gesellschaftliche Aspekte der KWK im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung berücksichtigt.

Im Folgenden werden Anknüpfungspunkte zum Kerncurriculum der Sekundarstufe 1 und einzelne Unterrichtsbausteine aufgezeigt. Die Unterrichtsmodule lassen sich in den Fachunterricht oder in ein Unterrichtsprojekt integrieren. Die Unterrichtsvorschläge orientieren sich an Konzepten des projekt-

und produktorientierten Lernens. Sie sollen die kommunikativen Kompetenzen der SchülerInnen stärken und sie zum selbständigen Arbeiten ermutigen. Gleichzeitig können die Jugendlichen ihre Präsentationsfähigkeiten ausbauen, indem sie Referate erarbeiten und vortragen.

Die Materialsammlung ist anschaulich gestaltet. Sie enthält Grafiken und Fotos für den Einsatz im Unterricht und wird ergänzt durch Film- sowie Literaturhinweise. Integrierte Fragestellungen und Vorschläge für Arbeitsaufträge nehmen nach Möglichkeit Bezug auf den Lebensalltag junger Menschen und sollen zum Nachdenken, Diskutieren und eigenständigen Handeln motivieren. Auch Vorschläge für Exkursionen zu Frankfurter KWK-Anlagen sind in die Unterrichtskonzeption einbezogen.

Fächer- und Themenbereiche zur (grünen) Kraft-Wärme-Kopplung

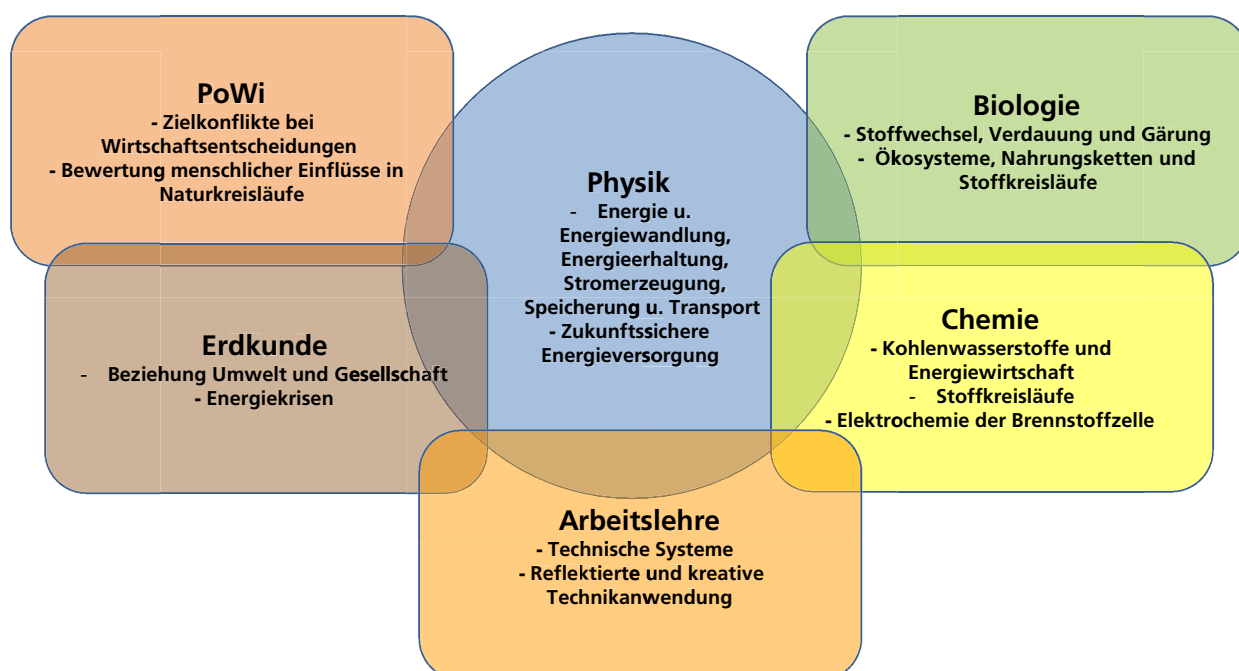


Abb: Umweltlernen in Frankfurt e.V.

Einordnung des Themas KWK in das hessische Kerncurriculum der Sekundarstufe I

Kraft-Wärme-Kopplung wird bis jetzt in der Schule wenig thematisiert, auch wenn darüber in einigen neueren Schulbüchern mittlerweile informiert wird. Im Kerncurriculum lassen sich verschiedene Anknüpfungspunkte zur Behandlung des Themas disziplinär und interdisziplinär im Unterricht finden.

Physik

Inhaltsfelder	Kompetenzbereiche
<p>Energie in Umwelt und Technik</p> <p>Inhaltliche Schwerpunkte:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Energie als quantifizierbare Größe • Energieformen und ihre Umwandlung • Prinzip der Energieerhaltung und dessen Anwendungen 	<p>Erkenntnisgewinnung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Untersuchung von Maßnahmen zur Reduzierung der Energieentwertung <p>Kommunikation:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Geeignete Veranschaulichung von Umwandlung, Entwertung und Transport von Energie <p>Bewertung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bewertung von Maßnahmen zur Reduzierung von Energieentwertung <p>Nutzung fachlicher Konzepte:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zuordnung von Beispielen aus Umwelt, Technik und Natur zu verschiedenen Energieformen
<p>Zukunftssichere Energieversorgung</p> <p>Inhaltliche Schwerpunkte:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Umwandlung verschiedener Energieformen in elektrische Energie • Großenergieanlagen • Speicherung und Transport von Energie • Energieversorgungsnetze 	<p>Erkenntnisgewinnung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Durchführung von Experimenten zur Energieübertragung <p>Kommunikation:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Recherchen zum lokalen und globalen Bedarf an Energie sowie zu verfügbaren Ressourcen • Angemessene Präsentation von Recherchen und Untersuchungen • Diskussion zukünftiger Energieversorgung <p>Bewertung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Beurteilung der Bedeutung der elektrischen Energie für die Gesellschaft • Bewertung zentraler und dezentraler Versorgung mit Energie • Bewertung von Lösungsmöglichkeiten für die globale Energieproblematik <p>Nutzung fachlicher Konzepte</p> <ul style="list-style-type: none"> • Erklärung der Funktionsweise elektromagnetischer Energiewandler • Erläuterung von Gemeinsamkeiten und Unterschieden verschiedener Kraftwerksarten • Verknüpfung von individuellen und globalen Aspekten der Energieversorgung

Biologie

Inhaltsfelder	Kompetenzbereiche
<p>Stoffwechsel und Regelmechanismen</p> <p>Inhaltliche Schwerpunkte:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Stoffumwandlungen bei Verdauung und Gärung • Nahrungsketten und Stoffkreisläufe bei Mikroorganismen 	<p>Erkenntnisgewinnung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Planung, Durchführung und Auswertung physiologischer Experimente zu einem Stoffwechselprozess <p>Kommunikation:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Erläuterung eines Regelkreisschemas mit Bezug zu physiologischen oder ökologischen Prozessen <p>Bewertung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bewertung der Auswirkungen menschlichen Handelns auf die Umwelt <p>Nutzung fachlicher Konzepte:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Querbezüge zum Basiskonzept Struktur und Funktion
<p>Wechselwirkungen im Ökosystem</p> <p>Inhaltliche Schwerpunkte:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mehrfaktorielle Beziehungen in einem Ökosystem • Die ökologische Funktion der einzelnen Art, abiotische und biotische Faktoren, Trophieebenen 	<p>Erkenntnisgewinnung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kriterien geleitetes Vergleichen <p>Kommunikation:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Darstellung von Zusammenhängen in einfacher grafischer Form • Beurteilung lokaler Auswirkungen menschlicher Handlungen auf die Umwelt <p>Nutzung fachlicher Konzepte</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vernetzung zu auf- und abbauenden Stoffwechselprozessen wie Fotosynthese und Atmung

Chemie

Inhaltsfelder	Kompetenzbereiche
<p>Chemie in Alltag und Technik</p> <p>Inhaltliche Schwerpunkte:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Stoffkreisläufe in Natur und Technik • Elektrochemische Vorgänge in der Brennstoffzelle 	<p>Kommunikation:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Arbeiten mit Quellen • Kommunizieren, argumentieren • Dokumentieren, präsentieren • Verwenden von Fach- und Symbolsprache <p>Bewertung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Beurteilen von Alltagskontexten mit naturwissenschaftlichen Kenntnissen • Abwägen und bewerten von Handlungsfolgen auf Natur und Gesellschaft

Chemie Fortsetzung

Inhaltsfelder	Kompetenzbereiche
<p>Organische Verbindungen</p> <p>Inhaltliche Schwerpunkte:</p> <ul style="list-style-type: none"> Auseinandersetzung mit alltagsrelevanten Kohlenwasserstoffverbindungen aus der Energiewirtschaft 	<p>Bewertung:</p> <ul style="list-style-type: none"> Reflektieren und bewerten von Handlungsoptionen als Grundlage für gesellschaftliche Partizipation <p>Nutzung fachlicher Konzepte</p> <ul style="list-style-type: none"> Vernetzen von Sachverhalten und Konzepten Problemorientiertes und konzeptbezogenes Erschließen von Sachverhalten

Erdkunde

Inhaltsfelder	Kompetenzbereiche
<p>Umwelt-Gesellschaft-Beziehungen und globale Probleme</p>	<p>Bezug zu allen Kompetenzbereichen</p>
<p>Geographie auf regionaler Ebene</p>	<p>Bezug zu allen Kompetenzbereichen</p>

Politik und Wirtschaft

Inhaltsfelder	Kompetenzbereiche
<p>Wirtschaft</p>	<p>Analysekompetenz:</p> <ul style="list-style-type: none"> eigene Fragen zu einem gesellschaftspolitischen Problem stellen Zielkonflikte in wirtschaftlichen Entscheidungssituationen beschreiben Ansatzpunkte für fächerübergreifende Bezüge und vernetztes Denken nutzen <p>Urteilskompetenz:</p> <ul style="list-style-type: none"> das Ausmaß und die Folgen menschlicher Eingriffe in die natürlichen Kreisläufe bewerten eigene und begründete Lösungen für Zielkonflikte in wirtschaftlichen Zusammenhängen entwickeln <p>Handlungskompetenz:</p> <ul style="list-style-type: none"> eigene Positionen zu politischen und wirtschaftlichen Lösungsmöglichkeiten formulieren und vor anderen begründend vertreten

Unterrichtsmaterialien

Bausteine für den Unterricht

Die nachstehende Tabelle enthält Vorschläge zur Einbindung des Themas KWK in den Unterricht. Die Bausteine sind entweder als fächerübergreifende Unterrichtseinheit kombinierbar oder einzeln als Ergänzung zum Fachunterricht durchführbar.

Zur Einführung des Themas KWK im Unterricht steht ein Foliensatz zur Verfügung. Er enthält Grafiken, Fotos, Fragestellungen und Arbeitsaufträge und ist so gestaltet, dass sich die Schülerinnen und

Schüler durch Abdecken oder Ausfüllen schrittweise Zusammenhänge erschließen können. Die Folien sind so gestaltet, dass sie in Unterrichtsphasen zur Einführung in die verschiedenen Themenbereiche benutzt werden können. Diese Folien sind als Download unter www.umweltlernen-frankfurt.de/Energie/ KWK erhältlich.

Als weitere Bausteine werden Referate, Exkursionen und eine Schulpräsentation bzw. die Beteiligung an einem Wettbewerb vorgeschlagen.

Zeitplan / Fach	Themen / Folie	Methodik	Material / Medien
<ul style="list-style-type: none"> 45 min, Physik, Chemie 	<ul style="list-style-type: none"> Einführung ins Thema KWK: Vorerfahrungen sammeln 	<ul style="list-style-type: none"> Brainstorming oder Kartenabfrage 	<ul style="list-style-type: none"> Brainstorming-Blankos Tafelbild oder Cluster
<ul style="list-style-type: none"> 45 min Physik, Chemie 	<ul style="list-style-type: none"> Folie 1: Was ist Kraft-Wärme-Kopplung? Folie 2/3: Vergleich getrennte Energieerzeugung mit KWK 	<ul style="list-style-type: none"> Klassengespräch – Folie gemeinsam Schritt für Schritt erschließen (ggf. Teile abdecken) und Fragen klären 	<ul style="list-style-type: none"> Folie 1 + 2/3 OH-Projektor/Beamer Arbeitsblatt
<ul style="list-style-type: none"> 25 min Physik, Mathematik 	<ul style="list-style-type: none"> Folie 4: Wirkungsgrad einer KWK-Anlage 	<ul style="list-style-type: none"> Lehrervortrag zur Einführung Bearbeitung der Rechenbeispiele 	<ul style="list-style-type: none"> Folie 4 OH-Projektor/Beamer Arbeitsblatt Taschenrechner
<ul style="list-style-type: none"> 20 min Physik 	<ul style="list-style-type: none"> Folie 5: Größenordnungen KWK-Anlagen 	<ul style="list-style-type: none"> Klassengespräch – Folie gemeinsam erschließen 	<ul style="list-style-type: none"> Folie 5, OH-Projektor/Beamer
<ul style="list-style-type: none"> 45 min Physik 	<ul style="list-style-type: none"> Folie 6: Der Energieverbrauch: KWK für unsere Schule? 	<ul style="list-style-type: none"> Rundgang mit dem Schulhausverwalter Vervollständigung der Folie 	<ul style="list-style-type: none"> Folie 6 Arbeitsblatt
<ul style="list-style-type: none"> 45-90 min oder als Hausarbeit Physik und weitere Fächer 	<ul style="list-style-type: none"> Referate 	<ul style="list-style-type: none"> Projektarbeit – Gruppenbildung, Themenverteilung Projektplanung, Recherche 	<ul style="list-style-type: none"> Referatsliste Literaturliste Informationssammlung Karteikarten
<ul style="list-style-type: none"> 45-90 min Physik und weitere Fächer 	<ul style="list-style-type: none"> Präsentation der Referate 	<ul style="list-style-type: none"> Präsentationsrahmen schaffen Vorträge mit anschließender Auswertung 	<ul style="list-style-type: none"> Technik (CD-, DVD-, Video-Rekorder, OH-Projektor/Beamer) KWK-Plakate
<ul style="list-style-type: none"> 1-2 Tage 	<ul style="list-style-type: none"> Exkursion 	<ul style="list-style-type: none"> Gemeinsame Planung, Durchführung und Auswertung 	
<ul style="list-style-type: none"> 1-2 Tage 	<ul style="list-style-type: none"> Ausstellung Wettbewerb 	<ul style="list-style-type: none"> Ausstellung oder Beteiligung an Wettbewerb 	<ul style="list-style-type: none"> KWK-Plakate

Foliensatz

Folie 1: Was ist Kraft-Wärme-Kopplung?

Grafik zum KWK-Prinzip (alle Fächer)

Folie 2: (Arbeitsblatt): Vergleich Energieerzeugung getrennt /gekoppelt

getrennte Energieerzeugung, Fragen zu Brennstoffen und Energieumwandlern (Physik/Chemie)

Folie 3: Vergleich Energieerzeugung getrennt /gekoppelt Grafik

getrennte Energieerzeugung, Fragen zu Brennstoffen und Energieumwandlern (Physik/Chemie)

Folie 4: (Arbeitsblatt): Wirkungsgrad einer KWK-Anlage

Formel zum Wirkungsgrad, Rechenbeispiele für KWK und getrennte Energieerzeugung (Physik/Mathematik)

Folie 5: Größenordnungen von verschiedenen KWK-Anlagen

3 Beispiele (alle Fächer)

Folie 6: (Arbeitsblatt): Der Energieverbrauch: KWK für unsere Schule?

Diskussionsfragen zu KWK an der Schule (Physik/Arbeitslehre/ Erdkunde)

The image shows six slides from a presentation titled 'KWK kann's besser'. Each slide has the logo in the top right corner.

- Folie 1:** 'Was ist Kraft-Wärme-Kopplung?' - A central diagram shows 'Brennstoff' entering a 'KWK-Anlage', which produces 'Strom' and 'Wärme'. Surrounding this are icons for 'Mikro-Generator', 'Dezimal-Generator', 'Brennstoffzelle', and 'Dampf-/Pumpen-Generator'. A 'CHP Geos Green' logo is at the bottom left.
- Folie 2:** 'Vergleich: Energieerzeugung getrennt / gekoppelt' - A table comparing 'Getrennte Energieerzeugung' and 'Kraft-Wärme-Kopplung'. It lists 'Grundprinzip', 'Effizienz', 'Wärmegewinn', and 'Energieerzeugung' for both, along with 'Vorteile von KWK' and 'Aufgaben'.
- Folie 3:** 'Vergleich: Energieerzeugung getrennt / gekoppelt Grafik' - A bar chart comparing 'Energieerzeugung 100%' for 'BHKW (KWK)' and 'Kraftwerk + Heizgerät'. It shows 'Verlust' (10-20% vs 40-70%), 'Wärme', and 'Strom' outputs.
- Folie 4:** 'Wirkungsgrad einer KWK-Anlage' - Text explaining the efficiency of cogeneration compared to separate production, including a formula for 'Wirkungsgrad'.
- Folie 5:** 'Größenordnungen von verschiedenen Anlagen' - A table listing 'Größe', 'Leistung', and 'Energieerzeugung' for 'Mikro-KWK-Anlagen', 'Mittlere KWK-Anlagen', and 'Große KWK-Anlagen'.
- Folie 6:** 'Der Energieverbrauch: KWK für unsere Schule?' - Text and a table asking for school energy consumption data (Electricity, Gas, Heat) to evaluate KWK feasibility.

Exkursionen, Außerschulische Lernorte

- Mini-BHKW im Umweltamt (Energieferrat Frankfurt)
- BHKW Palmengarten (Mainova Energiedienste)
- BHKW Frankfurter Berg (Mainova Energiedienste)
- Biomassekraftwerk Fechenheim (Mainova Energiedienste)
- Rhein-Main-Biokompost GmbH (RMB)
- Biogasanlage Industriepark Höchst (InfraServ)
- BHKW Wöhlerschule (Hochbauamt Frankfurt)
- BHKW Helmholtzschule (Hochbauamt Frankfurt)
- Lernwerkstatt „Energie schlau nutzen“ (Umweltlernen in Frankfurt e.V./ Mainova)

Referate

Themen zur Schülerbearbeitung

Durch die Ausarbeitung von Referaten in Einzel-, Partner- oder Gruppenarbeit erschließen sich die Schülerinnen und Schüler eigenständig fächerübergreifendes Wissen zur KWK. Sie nehmen die Rolle von Expertinnen und Experten für ihr Teilthema ein und präsentieren dieses vor der Klasse. Hierbei sollen sie dazu angeregt werden, ihre Präsentation anschaulich mit Fotos, Grafiken, Tafelbildern o.ä. zu gestalten.

Arbeitsauftrag könnte beispielsweise sein, zunächst Einzelthemen-Referate mit einem Handout für die MitschülerInnen zu erstellen. Dieses erarbeitete Wissen ist die Vorarbeit für die (gemeinsame) Präsentations- bzw. Abschlusarbeit. Zusätzlich kann auf die gesondert angegebene Linkliste bei der Recherche zurückgegriffen werden. Link- und Literaturhinweise sind aufbereitet, SchülerInnen sollten ebenfalls zu einer freien Recherche außerhalb des Angebotes animiert werden.

Themenblock: KWK Grundwissen	Inhalte, Materialien
Was ist KWK und wie funktioniert sie?	<ul style="list-style-type: none"> • KWK-Definition und Prinzip • Zentrale und dezentrale Kraftwerke, Blockheizkraftwerke → B.KWK-Broschüre: Kraft-Wärme-Kopplung → BINE: Kraft und Wärme koppeln → BMU-Broschüre: Energie dreifach nutzen
Was gehört zu einer KWK-Anlage	<ul style="list-style-type: none"> • Fossile und regenerative Brennstoffe • Überblick über Komponenten • Größenordnungen von KWK-Anlagen → BINE: Kraft und Wärme koppeln → B.KWK-Broschüre: Kraft-Wärme-Kopplung. → www.kwk-infozentrum.info
Energie sinnvoll nutzen mit KWK	<ul style="list-style-type: none"> • Energieeffizienz, Gesamtnutzungsgrad, Wirkungsgrad und Stromkennzahl • Vergleich der KWK in Deutschland → BINE: Kraft und Wärme koppeln → B.KWK-Broschüre: Kraft-Wärme-Kopplung. → ASUE-Broschüre: Die Stromerzeugende Heizung → BMU-Broschüre: Energie dreifach nutzen
„Grüne“ KWK – Strom u. Wärme aus organischen Stoffen	<ul style="list-style-type: none"> • Grundlagen Bio-KWK • Bio-KWK in Frankfurt • Rhein-Main-Biokompostanlage • Informations- und Arbeitsblatt zu Biogas • Rhein-Main-Biomassekraftwerk
Alles über Blockheizkraftwerke	<ul style="list-style-type: none"> • BHKW mit Otto- oder Dieselmotor, Mikrogasturbine, Stirlingmotor • BHKW Brennstoffzelle → BINE: Kraft und Wärme koppeln → B.KWK-Broschüre: Kraft-Wärme-Kopplung. → ASUE-Broschüre: Die Strom erzeugende Heizung

Themenblock: KWK Praxis	Inhalte, Materialien
Mikro-BHKW statt herkömmlicher Heizung?	<ul style="list-style-type: none"> • Vergleich der beiden Systeme • Elektrischer u. thermischer Wirkungsgrad • Kostenvergleich, Contracting -> B.KWK-Broschüre: Kraft-Wärme-Kopplung -> BINE: Kraft und Wärme koppeln -> www.zukunft-haus.info/de
Wo kann KWK eingesetzt werden? Was sind die Anforderungen?	<ul style="list-style-type: none"> • Einsatzorte • Anlagentypen • Anforderungen, Wirtschaftlichkeit • Stromeinspeisung -> BINE: Kraft und Wärme koppeln -> B.KWK-Broschüre: Kraft-Wärme-Kopplung -> ASUE: Die stromerzeugende Heizung -> BMU: Energie dreifach nutzen
Fernwärme – Wie kommt die Wärme zum Verbraucher?	<ul style="list-style-type: none"> • Fernwärmeprinzip • Technische Aspekte • Heizkraftwerke in Frankfurt -> Mainova Fernwärme Broschüre -> B.KWK-Broschüre: Kraft-Wärme-Kopplung
Wie funktioniert KWKK – Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung?	<ul style="list-style-type: none"> • Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung • Kältemaschinen -> Heiz-Kälte-Werk Flughafen in Mainova Kraftwerks-Broschüre

Themenblock: KWK im Klimaschutz	Inhalte, Materialien
Staatliche Rahmenbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> • KWK-Gesetz, Erneuerbare-Energien-Gesetz, Bundesvereinbarungen zur Minderung der CO₂-Emissionen und Förderung von KWK • Förderprogramm für Mini-KWK-Anlagen -> B.KWK-Broschüre: Kraft-Wärme-Kopplung
KWK in Energie- und Klimaschutzstrategien	<ul style="list-style-type: none"> • Klimaschutzziele • Ressourcenknappheit • CO₂-Einsparmöglichkeiten • Technische Entwicklungspotenziale -> BMU: Energie dreifach nutzen -> BINE: Kraft und Wärme koppeln -> Energie-Fakten: Aufsatz zur Bedeutung der KWK
KWK in Frankfurt	<ul style="list-style-type: none"> • Fernwärme und KWK in Frankfurt • Modellprojekt CHP Goes Green -> Energiereferat Frankfurt: Infopaket BHKW -> Hochbauamt Frankfurt: KWK in Frankfurter Schulen -> Klimaschutzstadtplan Frankfurt -> CHP Goes Green Internetseite

Weiterführende Quellen

Internetseiten

Kommentierte Liste aller Links:

- www.umweltlernen-frankfurt.de/Energie/KWK
- www.agfw.de
- www.asue.de
- www.bafa.de
- www.bkww.de
- www.bine.info
- www.bhkw-infozentrum.de
- www.bmu.de
- www.das-energieportal.de
- www.energiereferat.stadt-frankfurt.de
- www.hessenenergie.de
- www.kwk-infozentrum.info
- www.kwk-modellstadt-berlin.de
- www.mainova.de/kompakt-kraftwerk
- www.umweltbundesamt.de
- www.energiebildung.uni-oldenburg.de
- www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de/
- www.unendlich-viel-energie.de

Schulbücher

- Diercke spezial, Globaler Klimawandel, Westermann Verlag
- TERRA global, Klima im Wandel, Klett Verlag
- TERRA Thema, Globaler Klimawandel, Themenheft und Materialmappe, Klett Verlag
- Materialsammlung Energie, Cornelsen Verlag
- Physik-compact Sonderthemen, Erneuerbare Energie, Österr. Bundesverlag Schulbuch
- Lernsequenzen – Unterrichtsmaterialien zum Thema Energie (10 Hefte + 1 Ordner mit Stationsarbeiten) VVEW Energieverlag GmbH (www.vvew.de)

Filme/Radiobeiträge

siehe Liste unter:

- www.umweltlernen-frankfurt.de/Energie/KWK

Broschüren

Bezugsquelle und Download:

- www.umweltlernen-frankfurt.de/Energie/KWK
- Kraft-Wärme-Kopplung. Chance für Wirtschaft und Umwelt
- BINE: Kraft und Wärme koppeln
- BMU: Energie dreifach nutzen
- ASUE: Die Strom erzeugende Heizung und BHKW-Fibel
- ASUE: BHKW-Fibel
- Energiereferat Frankfurt: Klimaschutzbericht 2007 und Infopaket Fernwärme
- Vattenfall: Kraft-Wärme-Kopplung: Ein Instrument für Effizienz und Klimaschutz
- KWK Modellstadt Berlin
- AID: Biogas – Energie aus der Landwirtschaft (Unterrichtseinheit für die Sek I)
- Bioenergieträger der zweiten Generation – Biogas I und II – Experimente zur Herstellung von Biogas aus unterschiedlichen Substraten

Das Schulpaket „Kraft-Wärme-Kopplung“ wurde im Rahmen des EU-Projekts „CHP Goes Green“ im Auftrag des Energiereferats Frankfurt von Umweltlernen in Frankfurt e.V. erstellt.

Autoren: Jürgen Blum, Florian Müller.

Grundlage bildete das Schulpaket des Landes Berlin, das ebenfalls am „CHP Goes Green“ Projekt teilnimmt.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Publikation liegt bei den Autoren. Sie gibt nicht unbedingt die Meinung der Europäischen Union wieder.