

IV./V. Jahrgang HTL – Energie- und Umwelttechnik

Energie aus dem Wald – Nachhaltigkeitsprobleme im 18. Jahrhundert

Vermittelte Kompetenzen: selbstständiger Einsatz verschiedener Methoden zur Bearbeitung einer Fragestellung; fächerübergreifendes (interdisziplinäres) Denken

Lehr- und Lernziele: Umfassendes Verständnis der Rolle von Holz in vorindustriellen Gesellschaften. Reflexion von Wachstums- und Nachhaltigkeitsfragen bei der Energieversorgung mit nachwachsenden Rohstoffen

Lehrplanbezug: Energieumwandlung, Biomasse, Energiebedarf, Energietechnik aus ökonomischer und ökologischer Sicht

Umwelthistorischer Hintergrund: Holz als nachwachsende Energiequelle in vorindustriellen Gesellschaften

Bevor fossile Energieträger verfügbar wurden, waren Gesellschaften in ihrer energetischen Versorgung auf erneuerbare Energieträger angewiesen. Holz spielte für die Bereitstellung sogenannter technischer Energie, das ist Energie für Industrie und Gewerbe, aber auch für Haushalte (Heizen und Kochen), eine zentrale Rolle. Erst mit der Industrialisierung und dem Umstieg auf Kohle (in Österreich im Lauf des 19. Jahrhunderts) und nach dem Zweiten Weltkrieg auf Erdöl und Erdgas veränderte sich die Verfügbarkeit von Energie.

Holz unterscheidet sich als erneuerbarer und nachwachsender Energieträger fundamental von fossilen Energieträgern.

- Holz fällt dezentral an. Es gibt keine lokalen Massenvorkommen, die vergleichbar wären mit Kohle- oder Erdöllagern.
- Holz besitzt vergleichsweise niedrige Energiedichten: Ein Kilogramm Holz enthält im Durchschnitt etwa halb so viel Energie wie die gleiche Menge Erdöl.
- Die Übernutzung eines Waldes führt mittel- und langfristig zu einer Verringerung der Verfügbarkeit von Holz.

Der Text „Gedanken über den Holzmangel“ von C. P. Laurop stammt aus dem Jahr 1798, einer Zeit, in der im deutschsprachigen Raum die Nutzung von fossilen Energieträgern noch sehr wenig verbreitet war. Zu dieser Zeit führten Bevölkerungswachstum und technischer Fortschritt zu einem zunehmenden Bedarf an technischer Energie, an vielen Orten trat lokal und regional Holzknappheit auf. In der Forstwirtschaft versuchte man auf verschiedene Weise, den Holzknappheit zu begegnen. Der Anbau schnell wachsender Holzarten, den C. P. Laurop vorschlägt, ist einer dieser Versuche. Aber auch das Konzept der nachhaltigen Nutzung wurde in dieser Zeit in der Forstwirtschaft entwickelt, um die zunehmende Holzknappheit zu bewältigen, wie folgendes Zitat belegt:

„Wird derhalben die größte Kunst/Wissenschaft/Fleiß und Einrichtung hiesiger Lande darinnen beruhen / wie eine sothane Conservation und Anbau des Holtzes anzustellen / daß es eine kontinuierliche beständige und nachhaltige Nutzung gebe / weil es eine unentberliche Sache ist / ohne welche das Land in seinem Esse nicht bleiben mag.“

(Hans Carl von Carlowitz, Sylvicultura Oeconomica 1713, S. 105–106)

Mittelfristig wurde das Problem der Holz- und Energieknappheit im Lauf des 19. Jahrhunderts durch die Substitution von Holz durch Kohle (später Erdöl und Erdgas) gelöst. Damit wurde zwar der energetische Engpass behoben (auch die Wälder nahmen seither nachweisbar an Fläche und Holzbestand zu), allerdings wurde ein neues Umweltproblem geschaffen: Durch die Emissionen von zuvor fossil gebundenem CO₂ verursacht die fossil-basierte Industriegesellschaft heute den globalen Klimawandel.

IV./V. Jahrgang HTL – Energie- und Umwelttechnik

Originaltext als Einstieg zu den Arbeitsaufgaben (Ausschnitt im SchülerInnenarbeitsblatt)

Aus: C. P. Laurop, *Freimüthige Gedanken über den Holzmangel, vorzüglich über den Brennholzmangel in den Herzogthümern Schleswig und Holstein, und die Mittel ihm abzuhelfen. Nebst einem Anhang von einem holzersparenden Ofen* (Altona 1798).

C. P. Laurop: Der Holzmangel und seine Behebung (1798)

Einleitung

Klagen über Holzmangel, besonders über Brennholzmangel und über sehr hohe Preise des Holzes, haben schon seit mehreren Jahren in den Herzogthümern Schleswig und Holstein statt gehabt. In diesem letztem Jahre haben sie besonders sehr zugenommen und angefangen, so laut zu werden, daß ernstliche Vorkehrungen, um die nothwendigsten aller Bedürfnisse des menschlichen Lebens zu befriedigen, für den Staat von der größten Wichtigkeit sind.

Denn unter allen Bedürfnissen des menschlichen Lebens ist das Holz überhaupt und besonders das Brennmaterial, unstreitig eines der wichtigsten und als eine Haupt=Gewerbsquelle des Staats zu betrachten. Der Mangel an diesem so unentbehrlichen Bedürfnisse erfordert Menschenalter und darüber, ehe er ersetzt werden kann; es kann hiebey nicht so leicht als bey jedem anderen Mangel das Gleichgewicht wieder hergestellt werden, und so müssen oft ganze Generationen auf eine empfindliche Art dafür leiden, daß ihre Vorfahren Fehler begangen haben.

Mangel an Holz überhaupt, ist schon für einen jeden Staatsbürger von nachtheiligen Folgen, ja ich getraue mir zu behaupten, daß der Wohlstand und die Glückseligkeit derselben dadurch vermindert werden. Mangel und dadurch bewirkte große Theuerung desjenigen Materials, welches ein jeder Mensch zu seinen täglichen Bedürfnissen nöthig hat, ist für Reichere zwar minder, für die ärmere Volksklasse aber desto mehr drückend.

Mangel an Brennholz aber ist für einen Staat und dessen Einwohner unstreitig von den nachtheiligsten Folgen. Er verursacht, daß viele Fabriken, Manufacturen und Handwerker nicht bestehen können, jene niedergelegt und eingehen, wenigstens sehr eingeschränkt werden, diese zurückkommen und ihr Handwerk aufgeben müssen. Natürlich muß dies Theuerung und Mangel derjenigen Producte verursachen, welche durch das Feuer bearbeitet und aus Holz verfertigt werden. Das Ausland kann solche oft wohlfeiler liefern, die Einfuhr wird dadurch vermehrt und muß vermehrt werden, wodurch nicht allein vieles Geld außerhalb Landes geht, sondern auch die einheimischen Handwerker außer Verdienst gesetzt werden, welche zuletzt verarmen und so dem Staate dadurch eine Last aufgebürdet wird, die drückend für ihn ist, und von der er selten wieder ganz befreiet werden kann.

Nicht weniger wichtig ist der Nachtheil des Brennholzmangels für die sämtlichen Einwohner des Staats, in Hinsicht ihrer täglichen Feuerungs=Bedürfnisse. Hier leiden vorzüglich diejenigen Diener des Staats sehr darunter, die eine feststehende Besoldung haben. Ihre Einnahme bleibt immer dieselbe und steigt nicht in dem Verhältnisse, so wie die Bedürfnisse zum Lebensunterhalte im Preise steigen. Für diese besonders wird der Brennholzmangel sehr drückend werden, und die Anschaffung des unentbehrlichen Brennmaterials in der Folge gewiß die Hälfte von der Besoldung mancher Diener des Staats erfordern. Der Handwerker und jeder anderer, der ein Gewerbe im Staate treibt, leidet freylich auch sehr durch den Brennholzmangel, diese erhalten oder nehmen aber daher einen Ersatz, daß sie in dem Verhältnisse, als die Bedürfnisse zum Lebensunterhalte im Preise steigen, sich ihre Waaren und Producten theurer bezahlen lassen, und so fällt hier wieder, und also auf eine zwiefache Art, das Drückende des Brennholzmangels auf diejenigen zurück, welche eine unveränderte, nie größer werdende Einnahme erhalten, und die bey dieser, in frühern wohlfeileren Zeiten,

IV./V. Jahrgang HTL – Energie- und Umwelttechnik

einmal bestimmten Besoldung jetzt alles theurer bezahlen müssen, ohne auf eine andere Art dafür wieder einen Ersatz hoffen zu können.

Wenn auch zu den Brennholz=Bedürfnissen andere Materialien, z. B. Torf, Steinkohlen etc. vorhanden sind; so steigen auch diese im Verhältniß mit der Abnahme des Holzes im Preise, und wenn vollends die Bedürfnisse des Brennmaterials eines Staats einzig und allein davon befriedigt werden sollen; so mußten die Torfmohren und die Steinkohlengruben von einem äußerst großen Umfange und unerschöpflich seyn, wenn auch hieran in der Folge kein Mangel entstehen sollte. Wenn diese auch wirklich von einem solchen Umfange wären, daß sie eine Zeitlang die nöthigen Brennmaterialien liefern könnten; so würden doch, auf einem jeden Fall, immer viele Manufacturen, Fabriken und Handwerker, die zu ihrem Betriebe nothwendig des Holzes bedürfen, einen Mangel leiden, gar nicht, wenigstens in langer Zeit nicht wieder in Gang gebracht werden können, und also für den Staat auf lange Zeit manche Vortheile und Bequemlichkeiten verlustig gehen.

Dies ist, wie ich glaube, wenn nicht ganz, doch zum Theil, schon der Fall in den Herzogthümern Schleswig und Holstein. – Durch den ehemaligen wirklichen Ueberfluß an Waldungen sahe man sich zwar genöthiget, einen großen Theil derselben auszurotten; allein, die zugenommene Bevölkerung und der immer größer gewordene Verbrauch des Holzes überhaupt, besonders des Brennholzes, lassen uns den schrecklichsten Mangel an letzterem befürchten, woran der jetzige hohe, und seit dem letzten Jahre außerordentlich unverhältnißmäßig gestiegene Preis desselben schon ein sicherer Vorbote ist, und der mit jedem Jahr noch höher steigen wird und muß, so lange keine ernsthafte Anstalten zur Holzvermehrung getroffen werden. – Obgleich die Natur diese Gegenden mit einem ziemlichen Vorrathe von Torfmohren versehen hat; so fängt, bey der wirklich großen Menge derselben, der Torf auch schon an sehr im Preise zu steigen, und es ist zu befürchten, daß der Preis desselben, wenn er das einzige Brennmaterial ausmachen soll, noch höher steigen wird, ja daß hieran auch zuletzt ein gänzlicher Mangel entstehen werde, weil, wie bekannt, der Torf sehr langsam wieder nachwächst. – Diese traurigen Aussichten in die Zukunft werden durch den immer höher steigenden Luxus, eine Ursache der Vermehrung der Bedürfnisse, und vorzüglich durch die Zunahme von Fabriken noch vermehrt. Wenn gleich diese in jeder Hinsicht für einen Staat von dem größten Nutzen sind; so werden sie hier doch in so fern nachtheilig, so lange ein Mangel an Brennmaterialien zu ihrem Betriebe vorhanden ist. Denn die vielen Fayance=Fabriken, Ziegeleyen etc. die vorzüglich in den letztern Jahren in den Herzogthümern so häufig angelegt worden, erfordern viel Holz und Torf, rauben also diese Brennmaterialien den übrigen Staatsbürgern und veranlassen dadurch einen noch höhern Preis derselben. Nicht weniger tragen die unzähligen Brandweinbrennereyen in großen und kleinen Städten der Herzogthümer dazu bey, die auch noch mit jedem Jahre vermehrt werden. Wenn also dem jetzigen Holz-mangel nicht abgeholfen wird; so ist nichts natürlicher, als daß die Fabriken und Brennereyen nach und nach eingehen müssen, und der Staat dadurch vom Auslande abhängig gemacht wird.

...

Die Hofnung zur Erreichung des Wunsches: daß dem Brennholzmangel doch noch in Zeiten vorgebeuet werde; kann nicht ganz verschwinden, wenn man bedenkt, wie viele noch unbebauete, zum Theil beträchtliche, Heidestrecken, wie viele verhauene Holzungen, und sonstige wüste Plätze, deren es so viele giebt und die nie mit Vortheil zu Ackerfeld, Wiesewachs etc. genutzt werden können, in den Herzogthümern Schleswig und Holstein vorhanden sind. Diese Plätze mit schnellwachsenden Holzarten anzubauen, und eine möglichst große Holzersparniß zu veranstalten, werden, meines Bedünkens, die einzigen, und auch nur die einzig sicheren Mittel dagegen seyn.

...

Zweyter Abschnitt

...

IV./V. Jahrgang HTL – Energie- und Umwelttechnik

Zweytes Kapitel

Von dem unvorzüglichen Anbau schnellwachsender Holzarten in den Herzogthümern Schleswig und Holstein.

Dem Holz-mangel abzu-helfen und dem-nächst eine reg-el-mäßi-gie Forst-wirth-schaft ein-zu-füh-ren, muß billig das Ziel seyn, wohin in den Herzogthümern gestrebt werden sollte. Nächst der Holz-spam-riß wird dies nur durch einen un-gesäu-mten Anbau schnellwachsender Holzarten mit Sicher-heit geschehen können. Denn in diesem Fall und unter diesen Um-ständen, bleibt kein anderes Mittel übrig, jenem Uebel abzu-helfen, um nicht allein den Wohlstand der Ein-wohner des Landes zu be-för-dern, sondern auch um eine gute und reg-el-mäßi-gie Forst-wirth-schaft zu füh-ren, den Betrieb der Forsten nach-haltig zu ma-chen und so die jäh-rli-chen Forsteinkünfte zu si-chern und zu vermehren.

Ordnung, Auskommen und Erwerb muß also der Endzweck einer jeden guten Forst-wirth-schaft seyn.

Die Grundsätze und Regeln aber, worauf eine solche Wirth-schaft beru-het, bestehen: in Vermessung und Abschätzung der Wälder; Berechnung des jährlichen Zuwachses; Ausmittlung der sämmtlichen jährlichen Bedürf-nisse; Vergleichung der Konsumtion mit dem Ertrag der Forsten; reg-el-mäßi-gie Ein-theilung derselben; Beför-derung der Unterhaltung und des Wiederanbaues der Wälder, und endlich in einer mög-lichst hohen Benutzung derselben.

Wenn aber bey Ausübung dieser Grundsätze sich er-giebt, daß die Konsumtion des Holzes den Ertrag der Forsten weit über-steigt, folglich Mangel an Holz vorhanden oder zu befürchten ist; so muß nothwendig vorher erst dieses Hinderniß gehoben werden, weil es sonst eine schädliche, unordentliche folglich un-sichere Wirth-schaft bewirkt.

Dieser Fall tritt aber in den Herzogtümern Schleswig und Holstein ein. – Meine Absicht gehet also dahin, zu zeigen, wie durch den Anbau von schnellwachsenden Holzarten, das Gleichgewicht zwischen Konsumtion und Ertrag, bald wieder hergestellt werden könne, um einem Holz-mangel abzu-helfen, der mit seinen traurigen Folgen schon vorhanden ist und noch größer zu werden droht. In wie fern alsdann eine reg-el-mäßi-gie Forst-wirth-schaft ein-zu-füh-ren sey, liegt zu weit außer meiner Sphäre, als daß ich mich in das Detail derselben weiter einlassen könnte.

(Die Rechtschreibung der Umlaute wurde modernisiert.)

Arbeitsaufgaben für die SchülerInnen

Christian Peter Laurop (1772–1858) war ein in Karlsruhe tätiger Forstwissenschaftler, Lehrer und Forstrat. Der Autor diskutiert im Text die Knappheit des nachwachsenden Rohstoffes Holz. Er schlägt den Anbau von schnell wachsenden Holzarten vor. Prüfen Sie nach, ob die Holzknappheit durch den Umstieg auf eine andere Holzart langfristig behoben werden kann.

- 1 Holz wächst langsam und benötigt dafür große Flächen. Überlegen Sie, wie viel Prozent der Fläche in einem Wald bei **nachhaltiger Bewirtschaftung** jährlich geerntet werden kann, wenn die Altersverteilung der Bäume gleichmäßig ist und das Erntealter hundert Jahre. Berechnen Sie den jährlichen Ertrag in einem Wald mit einer Fläche von 135 000 ha (so groß ist der Wienerwald), in dem 50 % Eichen und 50 % Buchen wachsen, die beide nach hundert Jahren geerntet werden. Verwenden Sie die Erträge wie sie in der Tabelle angegeben sind.
- 2 Kann der Anbau schnell wachsender (hier im Sinne von ertragreichen) Holzarten langfris-tig zu einer Verbesserung der Lage führen, so wie es C. P. Laurop vorschlägt? Wenn in diesem Wald jedes Jahr nach der Ernte eines Waldstückes schneller wachsende (ertrag-reichere) Hölzer wie Fichten angepflanzt werden, wie hoch ist dann der Ertrag nach 50

IV./V. Jahrgang HTL – Energie- und Umwelttechnik

Jahren (Wald A) und nach hundert Jahren (Wald B)? Verwenden Sie die in der Tabelle angegebenen Erträge.

- 3 Vergleichen Sie die Ergebnisse Ihrer Berechnungen zu Wald A und Wald B: Wie viele Menschen können maximal ihren Heizenergiebedarf mit dem Holz aus Wald A bzw. Wald B decken, wenn pro Person im Durchschnitt 30m² Wohnfläche mit 700 MJ/m² pro Jahr beheizt werden?
- 4 Welche Schlüsse ziehen Sie aus Ihren Berechnungen? Teilen Sie die Einschätzung des Autors C. P. Laurop oder sind Sie anderer Meinung? Begründen Sie Ihr Urteil.
- 5 Wieso treten derartige Knappheitsprobleme in der heutigen Industriegesellschaft nicht auf?

Aktualität erhält die Betrachtung biogener Brennstoffe auch durch die Treibhausproblematik:

- 6 Ermitteln Sie für die Erträge der Wälder A und B die im Holz gebundene Kohlenstoffmenge und daraus die bei der Verbrennung freigesetzte CO₂-Menge. Diskutieren Sie das Ergebnis.
Anmerkung: Für trockenes Holz kann angenommen werden, dass 50,5 % (Massenprozent) der Brennstoffmenge aus Kohlenstoff bestehen. Die Brennwerte der Holzsorten können der Tabelle entnommen werden. Als Molmasse können für C 12 g/mol und für O 16 g/mol angenommen werden.

Tabelle

Holzart	Fichte	Buche	Eiche
Durchschnittlicher Ertrag nach 100 Jahren in fm/ha	546	348	250
Durchschnittliche Holzdichte in kg/fm	470	685	670
Energiegehalt in MJ/kg	15,5	15	15

Anmerkung:

Der **Festmeter** ist ein Raummaß für Holz. 1 Festmeter (**fm**) entspricht 1 Kubikmeter (m³) fester Holzmasse, d. h. ohne Zwischenräume in der Schichtung. Das entsprechende Maß mit Zwischenräumen ist der Raummeter.

4./5. Schulstufe HTL – Energie- und Umwelttechnik

Lösungen

- 1 Wenn jeder Baum 100 Jahre lang wachsen muss, bevor er geerntet wird, kann bei einer gleichmäßigen Altersverteilung jedes Jahr nur 1 % der Bäume geerntet werden, ohne dass Nachhaltigkeitsprobleme auftreten. Von 135 000 ha Wald können jährlich nur 1350 ha geerntet werden. Bei 50 % Buchen und 50 % Eichen kann man jährlich $348 \text{ fm/ha} \cdot 1350 \text{ ha} \cdot 50 \% + 250 \text{ fm/ha} \cdot 1350 \text{ ha} \cdot 50 \% = 403\,650 \text{ fm}$ Holz ernten.
- 2 Nach 50 Jahren können noch keine Fichten geerntet werden. Der Ertrag entspricht daher jenem aus Frage 1. Nach 100 Jahren werden die ersten Fichten geerntet. Der Ertrag entspricht $546 \text{ fm/ha} \cdot 1350 \text{ ha} = 737\,100 \text{ fm}$ Holz. Dieser Ertrag kann nicht gesteigert werden, da nach 100 Jahren alle Bäume durch Fichten ersetzt sind.
- 3 Den jährlichen Ertrag in MJ erhält man, indem man den jährlichen Ertrag in fm mit der Holzdichte und dem Energiegehalt multipliziert.
 Wald A: $403\,650 \cdot 685 \cdot 15 \cdot 0,5 + 403\,650 \cdot 670 \cdot 15 \cdot 0,5 = 4\,102\,093\,125 \text{ MJ}$
 Wald B: $737\,100 \cdot 470 \cdot 15,5 = 5\,369\,773\,500 \text{ MJ}$
 Der jährliche Heizenergiebedarf beträgt pro Person $30 \text{ m}^2 \cdot 700 \text{ MJ/m}^2 = 21\,000 \text{ MJ}$. Mit dem Holz aus Wald A können demnach $4\,102\,093\,125 \text{ MJ} : 21\,000 \text{ MJ} = 195\,338$ Personen ihren Heizenergiebedarf decken,
 mit dem Holz aus Wald B $5\,369\,773\,500 \text{ MJ} : 21\,000 \text{ MJ} = 255\,704$ Personen.
 Zum Vergleich: Wien hat heute knapp 2 Millionen Einwohner (und die durchschnittliche Wohnfläche ist mit etwa $40 \text{ m}^2/\text{Person}$ höher als im Rechenbeispiel). Das Rechenbeispiel geht darüber hinaus davon aus, dass der gesamte Holzertrag für Heizzwecke in Haushalten aufgewendet wird. Unter dieser Annahme bleibt kein Holz für gewerbliche oder industrielle Zwecke oder als Bauholz übrig.
- 4 Die SchülerInnen sind aufgefordert, sich eine Meinung zu bilden, die durchaus unterschiedlich ausfallen kann. Ihnen soll mit dieser Aufgabe bewusst werden, dass nachwachsende Ressourcen (im Gegensatz zu fossilen Ressourcen) langsam wachsen und große Flächen brauchen. Für eine nachhaltige Nutzung nachwachsender Ressourcen muss sich der Verbrauch daher dem Wachstum dieser Ressourcen anpassen.
- 5 Die SchülerInnen sind aufgefordert, darüber nachzudenken, was die prinzipiellen Unterschiede zwischen flächengebundenen erneuerbaren Energieträgern mit vergleichsweise geringer Energiedichte und fossilen, zentral vorkommenden Energieträgern mit hoher Energiedichte wie Erdöl und Erdgas, sind.
- 6 Die Masse an Holzertrag erhält man durch Multiplikation des Ertrages mit der Rohdichte. 50,5 % dieser Masse bestehen aus Kohlenstoff. Die CO_2 -Masse erhält man durch die Multiplikation mit dem Verhältnis der Molmassen von CO_2 und C, da bei der Verbrennung aus einem mol C ein mol CO_2 entsteht.
 Wald A: $1350 \cdot (0,5 \cdot 348 \cdot 685 + 0,5 \cdot 250 \cdot 670) = 273\,969\,000 \text{ kg Holz/a}$
 $273\,969\,000 \cdot 0,505 = 138\,354\,345 \text{ kg C}$
 $138\,354\,345 \cdot (12 + 2 \cdot 16) : 12 = 507\,299\,265 \text{ kg CO}_2$
 Wald B: $1350 \cdot 546 \cdot 470 = 346\,437\,000 \text{ kg Holz/a}$
 $346\,437\,000 \cdot 0,505 = 174\,950\,685 \text{ kg C}$
 $174\,950\,685 \cdot (12 + 2 \cdot 16) : 12 = 641\,485\,845 \text{ kg CO}_2$