

Julian Hillebrand<sup>1</sup>  
Michael Komorek<sup>1</sup>  
Kai Bliesmer<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universität Oldenburg

## **Funktionsprinzip von Wärmepumpen verstehen**

Aufgrund hoher Treibhausgas-Emissionen im Wärmesektor (BMWK/BMWSB, 2022) sind neue Konzepte zum Heizen von Gebäuden notwendig. Wärmepumpen werden in der aktuellen energiepolitischen Diskussion als Schlüsseltechnologie zur Reformation des Wärmesektors betrachtet. Laien (Bürger:innen, junge Erwachsene) können dieser Diskussion aber häufig nur bedingt folgen, weil ihnen die physikalischen und die technischen Grundlagen fehlen. Ihre energiebezogene Mündigkeit (vgl. Höffe, 1996; Reheis, 2016) ist daher begrenzt, sodass auch ihre Partizipation an gesellschaftlichen Entscheidungsprozessen eingeschränkt ist (vgl. Weißen, Hufer, Kuhn, Massing & Richter, 2007; von Wensierskie, 2015). Das vorliegende Projekt soll die Mündigkeit von erwachsenen Laien und Schüler:innen hinsichtlich Wärmepumpen unterstützen. Dies bedeutet im Detail, dass fachliches Lernen mit der Entwicklung einer Bewertungs- und Entscheidungskompetenz hinsichtlich energie- und klimabezogener Herausforderungen verknüpft werden. Als ein Weg, dieses Ziel zu erreichen, ist ein non-formales Lehr-Lern-Angebot für das Schülerlabor physixS an der Universität Oldenburg entwickelt und mit einer Gruppe von erwachsenen Laien erprobt worden. Durch die Auswahl der Versuchspersonen ist das Schülerlabor zum ‚Bürgerlabor‘ geworden.

Der Entwicklung der Lern-Angebots liegt das sehr praxisnahe Modell der Didaktischen Rekonstruktion (Duit, Gropengießer, Kattmann, Komorek & Parchmann, 2012) zugrunde. Im ersten Schritt hat eine fachliche Klärung der thermodynamischen Prozesse stattgefunden, die in eine Elementarisierung gemündet ist, die wiederum Grundlage für die didaktische Strukturierung eines Lernangebots, also seine konkret Planung bildet. Ein Elementarium besteht darin, dass die Wärmepumpe einen thermodynamischen Kreisprozess erzeugt. Eine weitergehende Elementarisierung für die Zielgruppe der Erwachsenen besteht in der Unterscheidung von vier Teilprozessen, der Verdampfung eines Wärmetransportmittels, seiner Kompression, seiner Kondensation und seiner (erneuten) Expansion/Entspannung (vgl. Abb. 1)

Auf Basis bekannter Laienvorstellungen zu thermodynamischen Prozessen (vgl. Schecker, Wilhelm, Hopf & Duit, 2018) ist ein Pilotangebot für das Bürgerlabor didaktisch strukturiert worden. Dieses ist ‚kontextstrukturiert‘ (vgl. Nawrath, 2010), indem von der problematischen Heizsituation in Deutschland ausgegangen wird, in der die Probanden Lösungen für die Heizversorgung entwickeln sollen und dabei das Heizen mit der Wärmepumpe als ein Lösungsszenario angeboten bekommen. Die Wärmepumpe und der bei ihr ablaufende Prozess ist von den Probanden zunächst zu entschlüsseln.

Das entstandene Lehr-Lern-Angebot ist Teil vermehrter Bildungsangebote im Bereich energie- und klimabezogener Mündigkeit. Zielgruppen sind Schüler:innen und Schulklassen, Studierende, Laien aus der Bürgerschaft der Region Nordwest Niedersachsen sowie Multiplikatoren (Stakeholder aus Politik, Wirtschaft, Medien, Vertreter:innen von NGO). Auch Fortbildungen für Lehrkräfte gehören zu diesem Angebotsspektrum, das sich grundsätzlich einem ‚public understanding of science‘ im Bereich Energie und Klima verpflichtet sieht. Das hier vorgestellte Teilprojekt zum Thema Wärmepumpe ist im Rahmen einer studentischen Abschlussarbeit (Hillebrand, 2023) entstanden.

### Wärmepumpe: Fachliche Klärung und Elementarisierung

Die fachliche Klärung führt auf zentrale physikalische Phänomene und Beziehungen. Eine nachfolgende Elementarisierung geht noch darüber hinaus, indem zentrale Aussagen formuliert werden; diese sind abhängig von der Zielgruppe, von deren fachbezogenen Vorstellungen, von Kontexten und von Zielen in einem Lehr-Lern-Prozess sind (vgl. Duit et al., 2012).

Die fachliche Klärung führt auf einen Kreisprozess (Kaldampfprozess) mit vier Teilprozessen/Phänomenen (s. Abb. 1). Bei der fachlichen Klärung muss man die Klärung der Funktion der technischen Bauteile einer handelsüblichen Wärmepumpe von der Klärung der thermodynamischen Teilprozesse unterscheiden. Dies ist deswegen wichtig, weil man auch in der Kommunikation z. B. mit erwachsenen Laien diese beiden Ebenen unterscheiden muss. Denn die physikalischen Teilprozesse sind bei allen Wärmepumpen gleich, doch unterscheiden sich die technischen Realisationen. Als elementare Teilprozesse lassen sich vier unterscheiden, die insgesamt Wärmeenergie aus der relativ kühlen Umgebung (Luft, Erdwärme, Wärme von Grundwasser) transportieren. Das bedeutet, dass der Fluss der Energie von der Umgebung eines Hauses ins Innere des Hauses erfolgt (daher der Begriff der Wärme'pumpe'), während sich das Wärmetransportmittel im Kreis bewegt.

Die vier Teilprozesse, die mit den Energietransport in Verbindung stehen, sind erstens die Verdampfung der Wärmetransportmittels im geschlossenen Kreislaufsystem. Für das Verdampfen wird Energie benötigt, die die Umgebung liefert; sie kühlt ab. Kühles Grundwasser wird dadurch noch kühler. Für einen Lernprozesse kann hier eine erst kognitive Hürde bestehen, weil es kontraintuitiv ist, dass die kalte Umgebung eines Haus das Innere des Haus heizen kann. Der zweite Teilprozess ist die Verdichtung der Wärmeenergie durch eine adiabatische Kompressen. Im Rahmen der Gasgesetze nimmt die Temperatur zu, die Wärmeenergie befindet sich in einem kleineren Volumen, sodass die Energiedichte steigt. Im Inneren des Hauses kondensiert das heiße Medium in einem Wärmetauscher und gibt dabei die Wärmeenergie an das Heizwasser ab. Der Übertrag funktioniert in diesem dritte Schritt aufgrund der Temperaturdifferenz. Im vierten Schritt findet eine Entspannung bzw. eine Expansion des Wärmetransportmediums statt, sodass es danach erneut verdampfen kann, was den Kreisprozess schließt.

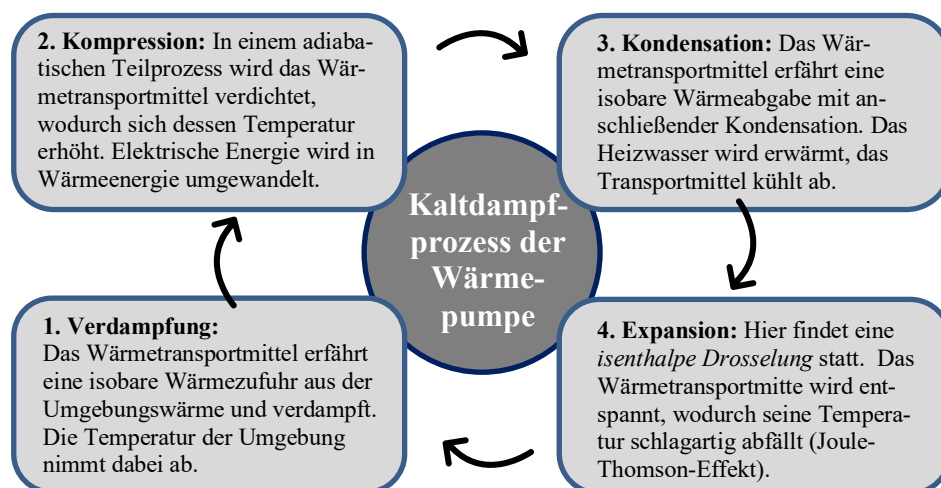


Abb. 1 Der Kaldampfprozess der Wärmepumpe mit den vier Teilprozessen der Verdampfung, der Kompression, der Kondensation und der Expansion eines Wärmetransportmittels

### **Didaktische Strukturierung eines Lernangebot zur Wärmepumpe**

Das hier entwickelte Angebot zur Vermittlung des Funktionsprinzips einer Kompressionswärmepumpe ist als Kurs im Schülerlabor physixS strukturiert. Es haben Schüler:innen der 9. bis 13. Klasse und interessierte erwachsene Laien teilgenommen. Der Kurs setzt darauf, dass jeder der vier Teilprozesse durch ein elementares Experiment erfahrbar gemacht wird. So wird die Temperaturerhöhung bei Kompression durch eine Luftpumpe verdeutlicht. Vergleichbar einfache Experimente kommen für das Verdampfen einer Flüssigkeit oder ihr Kondensieren zum Einsatz. Zusätzlich wird eine Struktur-Lege-Technik genutzt, bei der auf Karten die Elementaria, d. h. die vier elementaren Teilprozesse repräsentiert und durch weitere Karten mit Erklärungselementen ergänzt sind. Es wird hierbei darauf gesetzt, dass sich die theoretisch-begriffliche Ebene (repräsentiert durch die Karten) und die Phänomen-Ebene (hands-on-Experimente) gegenseitig unterstützen und beim Aufbau eines Verständnisses helfen. Dieses Vorgehen wird durch ein Wärmepumpen-Modell (ELWE) unterstützt, das eine technische Realisation darstellt und die Zuordnung der Teilprozesse zu technischen Komponenten erlaubt.

Das Angebot ist empirisch begleitet worden. Mit quantitativen Instrumenten sind Vorwissen und fachbezogene Vorstellungen etwa zu Kreisprozessen pre und post der Intervention im Schülerlabor erhoben worden. Qualitative Interviews haben die Selbsteinschätzung hinsichtlich der Mündigkeit in Fragen nachhaltiger Energieversorgung durch Wärmepumpen, Geothermie, Dämmung etc. erhoben (Hillebrand, 2023).

### **Ergebnisse**

*Kreisprozess.* Die beteiligten Laien haben große Schwierigkeiten nachzuvollziehen, was einen Kreisprozess ausmacht. Vielmehr wird ein linearer Prozess mit Beginn und Ende erwartet. Nach dem Laborangebot kann ein Verständnis dahingehend erkannt werden, dass die Probanden die Abfolge der Teilprozesse zwar als geschlossene Abfolge beschreiben, dass sie aber weiterhin Anfang und Ende definieren möchten.

*Hand-on-Experimente zur Verdeutlichung der Elementaria.* Die eingesetzten Experimente für die Teilprozesse, die mit Alltagsgegenständen die Kompression und die Expansion eines Gases demonstrieren und dies in Eigenaktivität erfahrbar machen, sind grundsätzlich geeignet, dass die Probanden die vermittelten theoretischen Modellvorstellungen nachvollziehen. Prozesse, die den Phasenwechsel des Wärmetransportmittels und das Konzept der Verdampfungswärme betreffen, sind für die Probanden schwierig nachzuvollziehen.

*Wechselbezug von Begriffskarten, Funktionsmodell und Experimenten.* Nicht ohne Hilfestellung durch die Laborleitung können die Probanden weder die Teilprozesse anhand der Experimente erklären noch den Bauteilen des Funktionsmodells der Wärmepumpe zuordnen. Auch hier zeigen sich Schwierigkeiten bei der Zuordnung der Phasenwechsel und den dahinterstehenden energetischen Konzepten. Insgesamt scheint das Funktionsmodell für die Vermittlung der Funktionsweise einer Wärmepumpe geeignet zu sein, denn es lassen sich die ablaufenden Prozesse daran Schritt für Schritt nachvollziehen bzw. rekonstruieren. Dies funktioniert jedoch nur durch die Anleitung der Probanden.

*Mündigkeit:* Veränderungen im Bereich der Mündigkeit sind durch kurzzeitige Laborangebote aber nicht zu erwarten. Dennoch ist zu erkennen, dass die Probanden vor dem Laborbesuch lediglich formulieren konnten, dass eine Wärmepumpe klimaneutral arbeitet, aber nicht erklären konnten, was das bedeutet. Somit konnten sie auch keinen Vergleich z. B. zu einer Gasheizung herstellen. Dagegen konnten die Probanden nach dem Laborangebot die Funktionsweise der Wärmepumpe anhand des Funktionsmodells weitgehend erklären und auch eine Klima-Bewertung im Vergleich zur Gasheizung abgeben.

## Literatur

- BMWK/BMWSB. (2022). Sofortprogramm gemäß § 8 Abs. 1 KSG für den Sektor Gebäude. Verfügbar 2. August 2023 unter <https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/pressemitteilungen/Webs/BMWSB/DE/2022/07/sofortprogramm-klimaschutz-gebaeude.html>
- Duit, R., Gropengießer H., Kattmann U., Komorek, M. & Parchmann, I. (2012). The Model of Educational Reconstruction – a Framework for improving Teaching and Learning Science. In: D. Jorde & J. Dillon (Hrsg.), Science Education Research and Practice in Europe. Retrospective and Prospective (S. 13-37). Sense Publishers.
- Hillebrand (2023). Physikdidaktische Entwicklung und Erprobung eines non-formalen Lehr-Lern-Angebotes zum Funktionsprinzip von Wärmepumpen. Bachelorarbeit. Universität Oldenburg
- Höffe, O. (1996). Moral und Erziehung. In C. Gestrich (Hrsg.), Ethik ohne Religion? (S. 16–27). Wichern.
- Nawrath, D. (2010). Kontextorientierung: Rekonstruktion einer fachdidaktischen Konzeption für den Physikunterricht (Diss.). Carl von Ossietzky Universität Oldenburg.
- Reheis, F. (2016). Politische Bildung : Eine kritische Einführung (2. Aufl.). Springer VS.
- Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M. & Duit, R. (2018). Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis. Springer Spektrum.
- von Wensierski, H.-J. (2015). Technische Bildung: Ein pädagogisches Konzept für die schulische und außerschulische Kinder- und Jugendbildung. Budrich.
- Weißeno, G., Hufer, K.-P., Kuhn, H.-W., Massing, P., & Richter, D. (2007). Wörterbuch Politische Bildung. Schwalbach: Wochenschau.