

Manuel Becker¹
Martin Hopf¹

¹Universität Wien

Der Energie-Feld-Ansatz Merkmale und erste Ergebnisse

Der Energie-Feld-Ansatz (EFA) entwickelt im Rahmen eines Design-based Research Projektes ein Unterrichtskonzept für den Energieunterricht der Sekundarstufe II. Ziel des EFA ist es, die traditionellen Energieformen sinnstiftend auf Feldenergie und Bewegungsenergie zurückzuführen und dadurch den zentralen Charakter der Energie für die Beschreibung von Phänomenen herauszustellen. Dadurch, dass Energie nunmehr in Bewegungs- und Feldenergie unterschieden werden muss, werden Prozesse der Energieübertragung übersichtlicher. Außerdem können Phänomene unterschiedlichster Bereiche (Astronomie, Makro- & Mikrokosmos, Teilchenphysik, usw.) konsistent beschrieben werden. Nach dem Modell der didaktischen Rekonstruktion wird das Unterrichtskonzept mittels Akzeptanzbefragungen evaluiert und zyklisch weiterentwickelt.

Problematik

Zahlreiche Studien zeigen, dass es der traditionelle Formen-basierte Physikunterricht nicht schafft, Schüler*innen ein angemessenes und aufbaufähiges Verständnis von Energie und Energieerhaltung zu vermitteln (vgl. Driver et al., 1985; Neumann et al., 2013; Nordine et al., 2019). Die zahlreichen Energieformen dienen dabei eher einer Umbenennung als einer sinnstiftenden Bereicherung (Quinn, 2014). Deshalb schlagen mehrere Forscher*innen vor, Formen der potenziellen Energie (z. B. Höhenenergie, chemische, innere oder Kernenergie) mit Feldern zu verknüpfen (s. Rückl, 1991; Swackhamer, 2005). Eine einheitliche und nachweislich lernwirksame Konzeption existiert allerdings noch nicht.

Der Energie-Feld-Ansatz

Der Energie-Feld-Ansatz (EFA) implementiert Vorteile bereits existierender Vorschläge in einem Unterrichtskonzept für die Sekundarstufe II und führt die traditionellen Energieformen auf Bewegungsenergie und Feldenergie zurück. Das bedeutet, dass für die Betrachtung von Phänomenen und ihrer Prozesse aus der Energieperspektive nur nach Bewegungen und Feldern „gesucht“ werden muss. Um dann plausibel über Prozesse sprechen zu können, müssen lediglich verschiedene Arten von Feldern thematisiert und mit der Energie verknüpft werden.¹ Dazu werden das elektrische, magnetische, elektromagnetische, Quark- und Gravitationsfeld über ihre Quellen eingeführt. So sind Ladungen die Quellen von elektrischen Feldern, Magnete (bzw. bewegte Ladungen) von Magnetfeldern, Quarks von Quarkfeldern und Massen von Gravitationsfeldern. Das Higgsfeld wird ohne Quelle eingeführt. Die Einführung einer limitierten Zahl verschiedener

¹ Die Einführung verschiedener Arten von Feldern ist insofern vorteilhaft gegenüber Energieformen, da hier durch den expliziten Charakter von Feldern und deren Wechselwirkung die Gefahr von „Blackboxes“ begrenzt ist. Die limitiert Zahl von Feldern (hier sechs) bildet vielmehr die Art der Interaktion von Feldern und Bewegungen ab sowie die Rolle der Energieübertragung bei Prozessen.

Arten von Feldern (sechs) ist insofern vorteilhaft gegenüber Energieformen, da hier durch den expliziten Charakter von Feldern und deren Wechselwirkung die Gefahr von „Blackboxes“ begrenzt ist.

Wesentlich für den EFA ist dabei, dass die Interaktion verschiedener Quellen über ihre Felder zur Überlagerung zu einem sogenannten *Gesamtfeld* führt. Diesem wird dann die Energie der Wechselwirkung zugeschrieben. Das bedeutet, dass Energieübertragung in bzw. aus einem Feld mit dessen Veränderung verbunden ist. Entfernen sich beispielsweise zwei abstoßende Magnetwägen voneinander (durch die Abstoßung beschleunigt), so wird Energie aus dem magnetischen Gesamtfeld der Wägen auf die Bewegung übertragen; das Feld gibt Energie ab. Durch diese Konzeptualisierung spielt das Gesamtfeld als Entität eine aktive Rolle. Indikatoren für die Energieübertragung sind dann die Änderung von Tempo oder Abstand der Quellen. Dieses Prinzip ist sowohl auf makroskopischer als auch auf mikroskopischer sowie nuklearer und subnuklearer Ebene anwendbar. Verknüpft man die Zu- bzw. Abnahme der Energie von Feldern mit deren *Tendenz zur Minimierung der Energie*, so wird klar, warum sich gebundene Zustände z. B. von Atomen bilden. So gibt ein attraktives elektrisches Gesamtfeld von Atomen aufgrund seiner Tendenz (Wechselwirkung) Energie ab, bis es einen Zustand minimaler Energie erreicht; ein gebundener Zustand. Darüber hinaus kann auch auf subnuklearer Ebene beschrieben werden, wie die Bindungsenergie von Atomkernen durch die Veränderung des Quarkfeldes in Zerfallsprozessen frei werden kann. Mit der Energie-Masse-Äquivalenz kann dieses Modell dann mit der Masse der Kerne und dem Massendefekt verknüpft werden. Führt man anschließend das Higgsfeld ein, so kann sogar der Ursprung der Masse von Elementarteilchen erläutert und mit einem Feld verknüpft werden.² So wird Schüler*innen die Erklärungsmacht von Feldern in Kombination mit dem Konzept der Energie deutlich.³ Weitere Beschreibungen dieser didaktischen Rekonstruktion und der Merkmale des EFA können in Becker & Hopf (2021) nachgelesen werden.

Studiendesign und Methode

Der EFA versteht sich als Projekt der Designforschung mit Design (Entwicklung) und Re-Design (Weiterentwicklung) nach dem Modell der didaktischen Rekonstruktion nach Kattmann et al. (1997). Jede Design-Version wird durch Akzeptanzbefragungen nach Kuckartz (2014) untersucht und inhaltsanalytisch ausgewertet. Dabei werden Schüler*innen der 10. bis 12. Jgst. in zwei bis zweieinhalb stündigen Interviews befragt. So erhält man Informationen über die Schwierigkeiten und Benefits für Lernende und kann den EFA auf dieser Basis weiterentwickeln. Pro Design-Version werden 6 bis 8 Schüler*innen befragt. Jedes Interview gliedert sich dabei in acht Konzeptideen, deren Erklärung von den Schüler*innen bewertet, paraphrasiert und in Aufgaben angewendet werden sollen.

² Das Higgsfeld wird als einziges omnipräsentes Feld im Universum nicht als Gesamtfeld aufgefasst.

³ Beispiele für Kontexte der Anwendungsaufgaben sind beispielsweise die elliptische Satellitenbewegung um die Erde (Gravitationsfeld), das Spannen einer Schleuder, die Explosion eines Feuerwerks (atomares elektrisches Feld), der Alpha-Zerfall (Quarkfeld) oder die Annihilation von Elektron und Positron (Higgsfeld).

Ergebnisse

Die Evaluation des EFA über insgesamt drei Versionen von Akzeptanzbefragungen führte zu vielversprechenden Erkenntnissen. Am Ende des dritten Zyklus (Evaluation der dritten Version) ergibt sich ein zufriedenstellendes Bild, das die Umsetzbarkeit für den Unterricht befürwortet. Nahezu alle Schüler*innen übernehmen die wesentlichen Konzeptideen und können diese in Beispielaufgaben anwenden, um Prozesse aus der Energieperspektive zu beschreiben. Zudem bezeichne sie das Konzept als „nützlich“ und „hilfreich“ für ihr Verständnis. So verstehe man Zusammenhänge, die vorher nicht klar gewesen seien. Auch im direkten Vergleich mit dem traditionellen Ansatz wird von mehreren Schüler*innen betont, dass der Zusammenhang mit Feldern dem Ganzen einen Sinn gebe und somit „eine Gemeinsamkeit mit den Energieformen geschaffen“ würde, die den Ansatz „besser verständlich“ mache. Im Folgenden wird kurz darauf eingegangen, welche Schwierigkeiten es gab, wie sie gelöst werden konnten und welche Vorteile des EFA sich gezeigt haben. Eine Herausforderung für Schüler*innen war die „Suche nach Feldern und Bewegungen“. Besonders bei Prozessen, in denen die Zusammensetzung des Gesamtfeldes nicht offensichtlich war, wie beispielsweise bei einem fallenden Ball, wurde teilweise auf traditionelle Vorstellungen oder das Kraftkonzept zurückgegriffen. Hier haben Schüler*innen gelegentlich Schwierigkeiten, das Feld des Balles, der Erde und deren Gesamtfeld zu identifizieren, um die Energieübertragung zu beschreiben. Diese Hürde kann überwunden werden, wenn Schüler*innen darauf aufmerksam gemacht werden, dass ein Gesamtfeld stets aus der Überlagerung resultiert (z. B. „Bedenke, dass Energie immer in einem Gesamtfeld mit mehreren Quellen steckt.“). Erkennen Schüler*innen dann den Mehrwert des Feldes als aktiver Akteur in Prozessen, so greifen sie auch auf dieses Konzept zurück:

„Je nachdem was es will gibt es Energie ab. [...] Sobald sich der Satellit entfernt, schrumpft das Feld und zieht den Satellit[sic!] wieder zur Erde.“

(Auszug aus dem Interview von Schülerin S2 der zweiten Version; Kontext Satellit auf elliptischer Bahn um die Erde)

Problematisch zeigt sich gelegentlich die Zuordnung von thermischer Energie und Bewegungsenergie. Hier muss den Schüler*innen deutlich gemacht werden, dass es sich um sich bewegende Teilchen auf mikroskopischer Ebene handelt. Dies gelingt mit einer geeigneten Veranschaulichung. Dass elektromagnetische Strahlung Feldenergie (und nicht wie oft vermutet Bewegungsenergie) trägt, wird plausibel, wenn man die Strahlung explizit gegen sich bewegende Teilchen mit Masse abgrenzt.

Besondere Vorsicht gilt der Verknüpfung der Richtung der Energieübertragung (in ein oder aus einem Feld) mit der Tendenz des Feldes (Richtung der Wechselwirkung). Hier muss mit untermauernden Beispielen verdeutlicht werden, dass ein Feld immer dann Energie abgibt, wenn es sich entsprechend seiner Tendenz (in Richtung der Wechselwirkung) verändern kann. Umgekehrt nimmt es Energie auf (z. B. beim Spannen einer Feder).

Die Schüler*innen akzeptieren und verwenden die Idee des Gesamtfeldes und dessen Rolle in Prozessen. Dabei greifen sie auch auf die Energie als Konzept zurück und verknüpfen es in der Regel problemlos mit dem Feldkonzept. Der Mehrwert des EFA für die umfassende Beschreibung für Phänomene auf verschiedenen Ebenen und in diversen Kontexten wird als besonders positiv eingeschätzt. So werden auch die Zusammenhänge mit den modernen

Feldern (Quark- und Higgsfeld) als interessant empfunden und meist angemessen mit den Konzeptideen verknüpft.

Zusammenfassung

Der Energie-Feld-Ansatz bietet auf Grundlage existierender Vorschläge ein neues Unterrichtskonzept zur Energie der Sekundarstufe II, das Energie mit Feldern verknüpft und sich für die qualitative Beschreibung verschiedenster Prozesse eignet. Von den Lernenden erhält der EFA insgesamt besonders positives Feedback und stellt auch in der Evaluation einen sinnvollen und wirksamen Ansatz für die Verknüpfung von Energie und Feldern dar.

Literatur

- Becker, M., & Hopf, M. (2021). Der Energie-Feld-Ansatz: Design-Forschung zur Entwicklung und Evaluation eines Unterrichtskonzeptes für den Energieunterricht der Oberstufe. *PhyDid B-Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 1*.
- Driver, R., & Warrington, L. (1985): Students' use of the principle of energy conservation in problem situations. In: *Physics Education*, 20, S. 171–176.
- Jung, W. (1992): Probing acceptance, a technique for investigating learning difficulties. In: *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies*. Kiel: IPN, S. 278-295.
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H., Komorek, M. (1997): Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion - Ein Rahmen für natur-wissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 3 (3), S. 3–18
- Kuckartz, U. (2014): *Qualitative text analysis. A guide to methods, practice & using software*. Los Angeles: SAGE
- Neumann, K., Viering, T., Boone, W. J., & Fischer, H. E. (2013): Towards a learning progression of energy. In: *Journal of Research in Science Teaching*, 50(2), S. 162–188
- Nordine, J. C., Fortus, D., Krajcik, J. S., Neu-mann, K., & Lehavi, Y. (2019): Modelling energy transfers between systems to support energy knowledge in use. In: *Studies in Science Education*, 54(2), S. 177–206
- Quinn, H. (2014). A physicist's musings on teaching about energy. In: R.F. Chen, A. Eisenkraft, D. Fortus, J. Krajcik, K. Neumann, J. Nordine, & A. Scheff (Hrsg.): *Teaching and learning of energy in K-12 education*, New York, NY: Springer, S. 15–36
- Rückl, E. (1991): *Feldenergie: ein neues didaktisches Konzept*. BI-Wiss.-Verlag.
- Swackhamer, G. (2005): Cognitive resources for understanding energy. Url: <http://modeling.asu.edu/modeling/CognitiveResources-Energy.pdf>, Stand: 10/2021