

Wer beherrscht die Hefe am Besten?

Ein Egg-Race als Zugang zum forschenden Lernen

S. Schanze

1 | Aller Anfang ist schwer

Das Forschende Lernen fokussiert auf die eigenständige Anwendung naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen zur Lösung einer Problemstellung. Diese Lernmethode erhält ihren Reiz daraus, dass den Lernenden ein großer Aktivitätsspielraum zugestanden wird. Neben dem Weg ist oft auch das Ziel – die Lösung eines Problems – bewusst offen gehalten. Damit unterscheidet sich diese Methode maßgeblich von der des Entdeckenden Lernens [1], bei der die Lehrkraft ein konkretes Ziel vorhält, das es zu entdecken gilt oder auch des forschend-entwickelnden Unterrichtsverfahrens [2], bei der einzelne Prozessschritte in der Regel bereits vorstrukturiert sind. Beide Methoden haben jedoch eine große Nähe zum Forschenden Lernen, welches als Königsdisziplin des problemorientierten experimentellen Arbeitens bezeichnet werden kann, da es in der extremsten Ausprägung das völlig selbstorganisierte Arbeiten verlangt: Zu einer Problemstellung wären Fragestellung, Theorie, Experiment, Modellierung und Auswertung möglichst ohne Fremdsteuerung zu bewältigen. Es ist nicht verwunderlich, dass in der Literatur zum Forschenden Lernen neben einer Lernwirksamkeit, die gerade aus der Selbstständigkeit und dem hohen Anteil eigener auch kognitiver Aktivität resultiert, zahlreiche Schwierigkeiten beschrieben werden. So haben die Lernenden Probleme, Hypothesen zu entwickeln und anzuwenden. Gelingt es dann eine eigene Fragestellung zu entwickeln, bildet das Experiment die nächste Hürde. Oft eignet es sich nicht für die Generierung adäquater Daten. Darüber hinaus haben die Lernenden auch Schwierigkeiten, ihre gewonnenen Daten zu interpretieren. Schließlich fällt es ihnen insgesamt schwer, den sehr komplexen Lernprozess zu regulieren [3]. Sie wissen also an verschiedenen Stellen des Prozesses nicht, welcher Schritt der nächste ist. Diese Probleme sind überwiegend der Komplexität der Methode des Forschenden Lernens geschuldet. Genau wie bei den Methoden des forschend-entwickelnden oder des Ent-

deckenden Lernens ist außerdem die Lehrkraft stark gefordert, wenn die Lerngruppen in bestimmten Phasen selbstorganisiert arbeiten und somit aufgrund möglicher Leistungsheterogenität zu verschiedenen Zeitpunkten verschiedene Hilfestellungen benötigen. Um also die Lernenden auf diese Lernmethoden vorzubereiten, ist es sinnvoll, sukzessive die einzelnen Prozessschritte einzuführen und somit die Komplexität zu nehmen. Die Egg-Race-Methode [4] kann hervorragend dazu dienen, unter anderem die besondere Phase des Modellierens im forschenden Lernen kennenzulernen. Das Modellieren bezeichnet das Beschreiben theoretischer Zusammenhänge auf Basis experimentell gewonnener Ergebnisse. Das Besondere am Egg-Race ist, dass verschiedene Lerngruppen mit einer Aufgabenstellung starten und sich einen eigenen Weg suchen sollen, um die Aufgabe so gut wie möglich zu bewältigen. Die in der Regel verschiedenen Lösungswege und Ergebnisse bilden dann die Datengrundlage für das Finden einer ersten Gesetzmäßigkeit.

2 | Das Egg-Race

Die Aufgabenstellung erscheint einfach: Jede Schülergruppe hat eine definierte Menge an Mehl und (Trocken)Hefe. Außerdem stehen mit Kochsalz, Zucker, Wasser und Mineralwasser weitere Stoffe in beliebigem Umfang zur Verfügung. Ziel ist es, nach einer bestimmten Zeit einen besonders lockeren Rohteig herzustellen. Im Klartext: Wer nach der vorgegebenen Zeit den Teig mit der geringsten Dichte hat, ist Sieger (siehe Arbeitsblatt 1). Diese Aufgabe ist als Wettbewerb gestellt. Das birgt natürlich die Gefahr, dass die Schülerinnen und Schüler ergebnisorientiert arbeiten und dem Prozess selbst weniger Beachtung schenken. Erzielt eine Gruppe ein sehr gutes Ergebnis, dann hat sie erst einmal alles richtig gemacht. Was soll sie dann noch motivieren, sich weiter mit der Sache und vor allem mit dem Prozess auseinanderzusetzen? Aus bisherigen eigenen Erfahrungen sind bei der oben beschriebenen Aufgabenstel-

lung die Ergebnisse der einzelnen Gruppen sehr unterschiedlich. Gruppen mit einem guten Ergebnis haben nicht unbedingt einen Teig, der weiterverarbeitet werden kann: Er wird schon nach kurzer Zeit wieder in sich zusammenfallen. Schülerproteste sind vorprogrammiert aber auch nicht unerwünscht, zeigen sie doch, dass sie sich mit dieser Aufgabe intensiver auseinandersetzen. Wie könnten die unterlegenen Lernenden in dieser Phase argumentieren? Locker sollte der Teig sein aber auch im gesamten Backprozess beständig. Was nützt es da, wenn ein Teig kurzfristig aufgeht, dann aber wieder seine Struktur verliert und – wie das berühmte Soufflé – zusammenfällt. Was könnte die Gegenseite dazu sagen? Es war nicht die Aufgabe, einen idealen Hefeteig herzustellen. Der Teig sollte lediglich zu einem bestimmten Zeitpunkt bestimmte Eigenschaften aufweisen. Diesem Argument muss die Lehrkraft zustimmen. Dennoch, wie kommen diese unterschiedlichen Ergebnisse zustande, wo doch alle Gruppen offensichtlich die gleichen Voraussetzungen hatten? Für diese Antwort ist eine Analyse der unterschiedlichen Zubereitungsmethoden, eventuell geleitet von eigenen Backerfahrungen oder von der Zubereitungsanweisung auf der Hefetüte, die auf dem Lehrerpult ausliegt, hilfreich: Es muss mehrere Faktoren geben, die das Schicksal eines Hefeteigs bestimmen wie zum Beispiel Temperatur, Häufigkeit des Verknetens des Teigs, Zugabe von Zucker, Wasser oder die Reihenfolge der Zugabe von Zutaten. Im Folgenden werden wesentliche chemische Hintergründe für den Prozess der Hefeteigzubereitung kurz erläutert, um die besonderen Einflussgrößen zu kennzeichnen.

3 | Fachliche Klärung

3.1 Freund und Feind der Hefe

Hefe ist ein einzelliger Mikroorganismus, der zu den Pilzen gehört und Kohlenhydrate in Kohlenstoffdioxid und Alkohol oder Wasser abbaut. Beim Backen wird Hefe verwendet, die wenig Alkohol produziert. Die Hefeart *Saccharomyces cerevisiae* setzt Zucker in ei-

ner sauerstoffreichen Umgebung überwiegend zu Kohlenstoffdioxid und Wasser um. Sie bevorzugt wie die meisten anderen Hefearten Glucose für den Abbau. Saccharose wird von der Hefe zunächst in Glucose und Fructose abgebaut. Dafür produziert die Hefe das Enzym Saccharase. Andere von der Hefe gebildete Enzyme können außerdem Stärke in Maltose abbauen, welches zu Kohlenstoffdioxid und Alkohol vergoren wird. *Saccharomyces cerevisiae* baut Glucose selbst bei Temperaturen unter 5 °C ab, wobei die Bildungsrate bei Erhöhung der Temperatur bis auf 38 °C exponentiell zunimmt. Bei über 40 °C stirbt die Hefe ab. Bei 20 °C ist die Aktivität der Saccharase recht gering. Bei Temperaturen über 30 °C wach-

sen auch andere Mikroorganismen mit, die zur Bildung von Aromastoffen (hefeartig aber auch Fehlaromen) beitragen.

Neben dem enzymkatalysierten Abbau von Kohlenhydraten kann sich die Hefe auch vermehren, was wiederum zu einer erhöhten Enzymkonzentration und damit zu einer stärkeren Kohlenstoffdioxid-Konzentration führt. Geeignete Bedingungen für die Vermehrung sind Temperaturen von 24–26 °C. Geeignete Temperaturen für den enzymatischen Abbau der Zucker sind 28 bis 32 °C. Das Anrühren eines so genannten Vorteiges mit der Hefe und nur einem Teil des Mehls und etwas lauwarmem Wassers oder lauwarmer Milch soll in der Regel der Vermehrung der Hefekulturen dienen. Der eigentliche Gärprozess erfolgt dann nach dem Vermischen mit weiterem Mehl, Zucker und Salz.

der Hefezellen zerstören oder isolieren. Fett umschließt die Zellen der Hefe, wodurch ihr Stoffwechsel behindert wird. Salz oder Zucker kann Wasser an sich binden und somit der Hefe entziehen. Die Hefe kann ihre Nahrung jedoch nur in wasser-gelöster Form aufnehmen. Durch Zugabe von Salz, Zucker oder Fett würde weniger Wasser zur Lösung der Nährstoffe zur Verfügung stehen, was sich auf den verminderten Trieb der Hefe auswirkt.

Somit gibt es neben der Reihenfolge der Teigzubereitung drei wesentliche Faktoren, die das Gelingen eines Hefeteigs bestimmen: Die Temperatur, der Zuckeranteil und das Vermengen der Zutaten. Werden die Zutaten nicht ausreichend miteinander vermischt, fehlt dem Teig die Elastizität, um das Kohlenstoffdioxid zu halten. Wird dem Teig kein Zucker zugegeben, so muss Stärke abgebaut werden, was den Prozess der Kohlenstoffdioxidbildung zeitlich verzögert. Die Temperatur entscheidet schließlich über die Enzymvermehrung, den Zuckerabbau und das Leben der Hefe. Je nach Vorkenntnissen der Lerngruppe auch aus dem Biologieunterricht können den Lernenden Informationen in Form von Hilfefkarten zur Verfügung gestellt werden (Kasten 1). Es kommt bei diesem Egg-Race als Einstieg in die Methode des forschenden Lernens nicht so sehr darauf an, dass im Unterricht die Fachinhalte selbst erarbeitet werden. Der Fokus liegt stärker auf der Anwendung oder Förderung prozessbezogener Kompetenzen wie im nächsten Schritt bei dem Zusammenführen experimentell erhobener Daten mit den vorliegenden fachlichen Hintergründen.

Kasten 1

Beispiel einer Hilfefkarte für den Hefeteig >>

*Hefe ist ein einzelliger Mikroorganismus, der zu den Pilzen gehört und Kohlenhydrate in Kohlenstoffdioxid und Alkohol oder Wasser abbaut. Beim Backen wird Hefe verwendet, die wenig Alkohol produziert. Die Hefeart *Saccharomyces cerevisiae* setzt Zucker in einer sauerstoffreichen Umgebung überwiegend zu Kohlenstoffdioxid und Wasser um. Sie bevorzugt wie die meisten anderen Hefearten Glucose (Traubenzucker) für den Abbau. Saccharose (Kristallzucker) wird von der Hefe zunächst in Glucose und Fructose abgebaut. Dafür produziert die Hefe das Enzym Saccharase. Andere von der Hefe gebildeten Enzyme können außerdem Stärke in Maltose abbauen, welches zu Kohlenstoffdioxid und Alkohol vergoren wird. *Saccharomyces cerevisiae* baut Glucose selbst bei Temperaturen unter 5 °C ab, wobei die Bildungsrate bei Zunahme der Temperatur auf 38 °C exponentiell zunimmt. Bei über 40 °C stirbt die Hefe ab. Bei 20 °C ist die Aktivität der Saccharase recht gering. Bei Temperaturen über 30 °C wachsen auch andere Mikroorganismen mit, die zur Bildung von Aromastoffen (hefeartig aber auch Fehlaromen) beitragen. Das Kneten eines wasserhaltigen Teigs führt zur Bildung eines hochelastischen gummiartigen Materials, in dem entstehende Gase aufgefangen werden können: Proteinmoleküle (insbesondere Gliadin und Glutenin) auf der Außenseite der Stärkekörner werden hydratisiert und „haften“ durch Wechselwirkung aneinander. Werden diese auseinander bewegt (verstreckt), bilden sich zwischen ihnen andere Wechselwirkungen aus. Diese neue Struktur heißt Gluten. Wie erhält man ein Brot mit besonders kleinen und gut verteilten Gasräumen?*

3.2 Warum eigentlich kneten?

Das Kneten eines wasserhaltigen Teigs führt zur Bildung eines hochelastischen gummiartigen Materials. Proteinmoleküle (insbesondere Gliadin und Glutenin) auf der Außenseite der Stärkekörner werden hydratisiert und „kleben“ aneinander. Werden diese auseinander bewegt (verstreckt), bilden sich zwischen ihnen andere Wechselwirkungen aus. Diese neue Struktur heißt Gluten und ist sehr belastbar. Die in dem Teig entstehenden Gase können ihr nur schwer entweichen, was zur Blasenbildung führt. Durch das Kneten des Teigs werden zunächst die Zutaten sehr gut miteinander vermengt, es werden aber auch Bedingungen geschaffen, die das Verstrecken der hydratisierten Proteinmoleküle und somit die Glutenbildung fördert. Ruht der Teig nun eine Zeit, dann kann sich durch den voranschreitenden Gärprozess weiteres Kohlenstoffdioxid bilden. Wird der Teig erneut verknetet, hat das den zusätzlichen Effekt, dass größere Kohlenstoffdioxidkammern aufgebrochen werden und sich das Gas somit gleichmäßig im Teig verteilt. Das Produkt überzeugt dann durch eine lockere und auch gleichmäßige Struktur.

3.3 Alles auf einmal?

Kochanleitungen können sehr unterschiedlich detailliert sein und besonders die Reihenfolge der Zugabe einzelner Zutaten offen lassen. Für die Zubereitung eines Hefeteigs wäre das riskant. Hier ist darauf zu achten, dass Salz, Gewürze, Zucker und Fett nicht in direkten Kontakt mit der Hefe kommen, da sie die Zellwände

4 | Modellierung gewonnener Daten

● In dieser Phase der Problembearbeitung sollen die Gruppen basierend auf dem zur Verfügung gestellten Fachwissen die verschiedenen Ergebnisse im Hinblick auf die Vorgehensweise und die gewählten Zutaten interpretieren. Es ist möglich, dass Gruppen ein achtbares Ergebnis bezüglich der Aufgabenstellung erzielen, obwohl sie der Temperatur im Prozess wenig Beachtung geschenkt haben. Sie haben ihren Rohteig zum Beispiel in einem Bad mit kochendem Wasser auf 60–90 °C erwärmt. Bei diesen Temperaturen wird die Hefe bereits getötet. Wie lässt sich die Gasbildung erklären? Hier trägt weniger das Kohlenstoffdioxid maßgeblich zum Aufgehen des Teigs bei, sondern Wasserdampf. Kühlt der Teig ab, kondensiert das

Arbeitsblatt 1_Wer beherrscht die Hefe am besten?

Geräte und Chemikalien

200-ml-Becherglas schmal (eingewogen; Masse notiert), 100 g Mehl, 30 g Zucker, Trockenhefe (1,9 g), Kochsalz, Leitungswasser, Mineralwasser, Wasserbad, Thermometer, Gasbrenner, diverse Kleingeräte (Spatel, Glasstäbe etc.).

Aufgabe

Stelle mit den dir zur Verfügung stehenden Mitteln einen Teig her. Du hast dazu 35 Minuten Zeit. Der Teig soll dabei so locker wie möglich sein.

Gewonnen hat die Gruppe, die den Teig mit der **geringsten Dichte** herstellt. Der Teig selbst sollte eine Masse von **120 g** nicht unterschreiten. Es zählt, was nach **35 Minuten** auf der Waage steht!

Hinweis: Glasstab oder Thermometer bitte **nicht** zum Rühren verwenden (Bruchgefahr)

Hausaufgabe:

1. Notiere die Vorgehensweise bei der Bearbeitung der Aufgabe.
2. Konntest du Vorerfahrungen, Wissen, Informationen hilfreich nutzen? Wenn ja, notiere was du genutzt hast und wie du es genutzt hast.

Hinweis für die Lehrkraft: Alle Stoffe sollten in der Vorbereitung eingewogen werden. Die Verpackung der Trockenhefe kann kommentarlos im Raum ausliegen. Findige Schülerinnen und Schüler kommen selbst auf die Idee, die Informationen der Verpackung zu nutzen. Die Ermittlung der Dichte ist nicht einfach, da der Rohteig in der Regel nicht ebenmäßig aufgeht. Es empfiehlt sich daher, schmale Bechergläser zu verwenden. Für die Bestimmung haben wir folgenden Weg gewählt: Jeweils ein Schüler aus einem fremden Team markiert gemeinsam mit einem Schüler aus dem betreffenden Team direkt nach Ablauf der Zeit die Höhe des Rohteigs auf dem Becherglas. Im Streitfall moderiert die Lehrkraft. Danach wird das Volumen an der Skalierung des Becherglases (notfalls unter Zuhilfenahme eines Lineals) ermittelt. Für die Bestimmung der Dichte ist es unbedingt erforderlich vor dem Experiment die Masse der Bechergläser zu ermitteln und zu notieren. Auch die Dichteberechnung kann dann von den oben zusammengesetzten Schülerteams vorgenommen werden. Die Mindestvorgabe der Roh-teigmasse von 120 g dient der Sicherung, dass genügend Teig für eine zuverlässige Dichtebestimmung vorhanden ist.

Wasser. Der Teig verringert schnell sein Volumen, fällt in sich zusammen. Geschieht dies nach Beendigung des Egg-Races, so ist es wie oben bereits erwähnt für die Aufgabenstellung nicht von Bedeutung. Wie auch immer die Ergebnisse der Gruppenarbeiten aussehen und welcher Weg auch immer gewählt wurde, in dieser Phase ist jede Information für das weitere Vorgehen im Unterricht förderlich.

5 | Finden neuer Fragestellungen

● So lassen sich nicht alle Ergebnisse eindeutig klären, bestenfalls lassen sich hierfür Vermutungen äußern. Ist es in Anbetracht der vorgegebenen Zeit zum Beispiel überhaupt sinnvoll, einen Vorteig zu erstellen? Es gibt Backrezepte, in denen der Vorteig mit Mehl bestäubt wird. Er soll dann weiter verarbeitet werden, wenn die Oberfläche deutlich Risse zeigt. Ein Indiz dafür, dass der Gärprozess bereits eingesetzt hat. Ist dann vielleicht schon wertvolles Gas entwichen oder wird es beim Versuch, den Vorteig mit den anderen Zutaten zu vermengen, entweichen? Wird ein besseres Ergebnis erzielt, wenn anstelle von Haushaltszucker Glucose verwendet wird? Wie unterscheiden sich der Prozess und das Ergebnis, wenn gar kein Zucker hinzugegeben wird? Welchen Einfluss hat Kochsalz auf die Hefe? Was bringt der Kohlenstoffdioxidgehalt zugefügten Mineralwassers? Für den weiteren

Verlauf des Unterrichts können diese Phänomene näher untersucht werden. Die Lernenden entwickeln Experimente, um den Fragestellungen nachzugehen. Dabei sollten sie lernen, Variablen zu kontrollieren und möglichst auch objektive Beobachtungskriterien zu entwickeln.

Für eine Fortsetzung oder eine Variation dieses Einstiegs sind weitere Fragestellungen aus dem Bereich Kochen und Backen möglich. Zur Frage „Wie erhalte ich einen langlebigen Milchschaum?“ werden Konzepte wie Schaum und Emulsion sowie Proteine als Bestandteile der Milch und der Einfluss der Temperatur vermittelt (vgl. auch Beitrag zum Latte Macchiato, S. 21). „Wie gelingt Eischnee am Besten?“ behandelt die Denaturierung von Eiweiß, aber auch mögliche Einflussgrößen wie Zucker, Salz oder Zitronensaft (je nach bekanntem oder recherchiertem Rezept). Die Fragen „Wie erhalte ich eine gute Kuchenglasur aus Schokolade?“ und „Wie viel Ei benötige ich für eine Mayonnaise?“ greifen ebenfalls das Konzept Emulsion auf. Bei der Schokolade wird das Zusammenspiel von Kakao, Fett und Zucker betrachtet. Fettanteil und gewählter Temperaturbereich für das Schmelzen der Schokolade entscheiden über gewünschte und ungewünschte Kristallbildungen und somit über die Qualität der Glasur. Dies ist ein hoch sensibler aber auch spannender Prozess. Für die Mayonnaise gibt es eigentlich kein einheitliches Rezept

und viele Zutaten, die vornehmlich dem Geschmack dienen. Fokussiert man aber auf Grundzutaten (Wasser, Öl und Emulgator), so ist das Experiment schon komplex genug. Auch für diese Fragestellungen kann das Grundwissen als Hilfekarte zur Verfügung gestellt werden. Letztendlich werden für die Entscheidungen über die Qualität des Ergebnisses immer auch wieder objektive Kriterien verlangt. Es kann nicht immer der Geschmack sein, besonders, wenn im Chemieraum ein lebensmittelreines Arbeiten nicht garantiert ist. Hier sind der Kreativität der Lernenden keine Grenzen gesetzt.

Literatur

- [1] E. Kirchner, Methoden im Physikunterricht. In: Physikdidaktik – Theorie und Praxis. E. Kirchner, R. Girwidz, P. Häußler (Hrsg.), Springer-Lehrbuch, Heidelberg 2007, S. 135–188
- [2] P. Pfeifer, B. Lutz, H. J. Bader (Hrsg.), Konkrete Fachdidaktik Chemie. Oldenbourg Schulbuchverlag GmbH, München 2002
- [3] T. De Jong und W. R. Van Joolingen, Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. Review of Educational Research, 179–201 (1998)
- [4] H.-J. Gärtner, Kreativität und Wettbewerb – Chemisches Egg-Racing in der Sekundarstufe I. NIUChemie, 42(8), 17–20 (1997).

Anschrift des Verfassers

Prof. Dr. Sascha Schanze, Leibniz-Universität Hannover, Institut für Didaktik der Naturwissenschaften, Fachgebiet Chemiedidaktik, Bismarckstraße 2, 30173 Hannover, E-Mail: schanze@chemiedidaktik.uni-hannover.de