



Technische Universität Berlin

Fakultät VI Bauen, Planen, Umwelt

Institut für Ökologie

Fachgebiet Bodenkunde

Fachgebietsleitung Prof. Martin Kaupenjohann

Bachelorarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades Bachelor of Science

Von der Klo- zur Salatschüssel – Eine Installation zur Vermittlung von Zusammenhängen zwischen Nährstoff- und Sanitärwende

Eingereicht von Lea Drimus



Erstprüfer: Prof. Martin Kaupenjohann

Zweitprüferin: Dr. Ariane Krause

Datum der Abgabe: 29.12.2022

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und eigenhändig sowie ohne unerlaubte fremde Hilfe und ausschließlich unter Verwendung der aufgeführten Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe.

Lea Drimus, Berlin, den 29.12.2022

Kurzfassung

Im Rahmen der vorliegenden Bachelorarbeit wurden zwei Demonstrations-Pflanzversuche durchgeführt, die die Funktionsweise der Haupt-Pflanzennährstoffe sowie die Wirkung herkömmlicher und neuartiger Düngemittel zeigen sollten. Zusätzlich zu diesen Demonstrations-Versuchen wurden eine Poster-Ausstellung entworfen und erstellt, in der die wissenschaftlichen Hintergründe der Verwendung der gezeigten Düngemittel laienverständlich aufbereitet wurden. Die Poster sollten das Publikum an die Thematik der Nährstoff- und Sanitärwende heranführen. Die Versuche und die Poster-Ausstellung wurden gemeinsam auf der Messe „re:publica“ in Berlin ausgestellt. Es hat sich gezeigt, dass die Kombination von lebendigen Pflanzen und laienverständlichem Informationsmaterial Publikum anzieht und für die vorgestellte Thematik begeistern kann. Im Rahmen dieser Arbeit wurde deutlich, dass sorgfältige Wissenschaftskommunikation, mit der sich das adressierte Publikum auseinandersetzt, vieler Kapazitäten bedarf und nicht ohne Weiteres den vielfältigen Verpflichtungen von Wissenschaftlerinnen hinzugefügt werden kann.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	VI
Abkürzungsverzeichnis	VIII
1. Einleitung und Zielstellung	1
1.1 Einleitung.....	1
1.2 Zielstellung dieser Arbeit.....	1
2. Hintergrund.....	2
2.1 Sanitär- und Nährstoffwende	2
2.2 Wissenschaftskommunikation.....	5
2.3 Konferenz zur digitalen Gesellschaft „re:publica“	7
3. Material und Methoden	7
3.1 Demonstrations-Pflanzversuch	7
3.1.1 Versuchsteil 1 (große Wurzelkästen).....	8
3.1.2 Versuchsteil 2 (kleine Wurzelkästen).....	11
3.2 Bildungsmaterial.....	12
3.3 Präsentation	13
4. Ergebnisse	14
4.1 Fotografische Dokumentation Demonstrations-Pflanzversuch	14
4.1.1 Dünge-Versuch.....	14
4.1.2 Nährstoff-Versuch	15
4.2 Bildungsmaterial.....	18
4.2.1 Sanitärwende	18
4.2.2 Grundlagen	20
4.2.3 Nährstoffversuch	27
4.2.4 Düngerversuch	30
4.2.4 Düngemittelsicherheit	39
4.2.5 Rechtsrahmen.....	44
4.3 Präsentation und Interaktion mit dem Publikum	47
5. Diskussion	51
6. Schlussfolgerung.....	52
Literaturverzeichnis	53
Anhang	A
A: Quellen Bildungsmaterial	A
B: Demonstrations-Pflanzversuch: Fehlerquellen und Schwierigkeiten	E

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Nährstoffe in der linearen Wertschöpfung, eigene Darstellung.....	2
Abbildung 2: Nährstoffe im Kreislauf, eigene Darstellung	4
Abbildung 3: Zieldimensionen von Wissenschaftskommunikation nach Ziegler & Fischer, 2020, eigene Darstellung.....	6
Abbildung 4: Beispielbild Wurzelkasten, Foto von Margita Hefner, eigene Bearbeitung	8
Abbildung 5: Schematische Darstellung des Wurzelwachstums in Schräglage, eigene Darstellung	11
Abbildung 6: Übersicht Inhalte Bildungsmaterial, eigene Darstellung	12
Abbildung 7: Dünge-Versuch an Tag 22.....	14
Abbildung 8: Dünge-Versuch an Tag 35.....	15
Abbildung 9: Nährstoff-Versuch an Tag 23.....	16
Abbildung 10: Nährstoff-Versuch an Tag 35.....	17
Abbildung 11: Poster Sanitärwende, Format DIN A2	18
Abbildung 12: Darstellung Abwasserbehandlung, Format DIN A4.....	19
Abbildung 13: Zusatz Darstellung Abwasserbehandlung, Format DIN A4.....	19
Abbildung 14: Poster Pflanzenernährung, Format DIN A3.....	20
Abbildung 15: Poster Düngung, Format DIN A3	21
Abbildung 16: Steckbrief Leguminosen, Format DIN A4	22
Abbildung 17: Zusatz Steckbrief Leguminosen, Format DIN A4	22
Abbildung 18: Steckbrief Getreidestroh, Format DIN A4	23
Abbildung 19: Steckbrief Jauche, Format DIN A4	23
Abbildung 20: Steckbrief Stallmist, Format DIN A4	24
Abbildung 21: Steckbrief Gülle, Format DIN A4.....	24
Abbildung 22: Steckbrief Vinasse, Format DIN A4	25
Abbildung 23: Steckbrief Aurin, Format DIN A4.....	25
Abbildung 24: Steckbrief Mineralstoffdünger, Format DIN A4	26
Abbildung 25: Steckbrief Tiermehl, Format DIN A4	26
Abbildung 26: Steckbrief Stickstoff, Format DIN A3	27
Abbildung 27: Steckbrief Phosphor, Format DIN A3	27
Abbildung 28: Steckbrief Kalium, Format DIN A3	28
Abbildung 29: Kurzbeschreibung Nährstoff-Versuch, Format DIN A4	28
Abbildung 30: Übersicht Prozess Nährstoff-Versuch, Format DIN A4	29
Abbildung 31: Poster Aurin, Format DIN A2	30
Abbildung 32: Poster H.I.T., Format DIN A2.....	30
Abbildung 33: Zusatz Poster H.I.T., Format DIN A4.....	31
Abbildung 34: Infotext Terra Preta, Format DIN A3.....	31
Abbildung 35: Plakat Mineraldünger, Format DIN A2.....	32
Abbildung 36: Infotext Phosphor, Format DIN A4.....	33
Abbildung 37: Zusatz Infotext Phosphor, Format DIN A4.....	33
Abbildung 38: Infotext Stickstoff, Format DIN A4.....	34
Abbildung 39: Zusatz Infotext Stickstoff, Format DIN A4.....	34
Abbildung 40: Infotext Kalium, Format DIN A4	35
Abbildung 41: Infotext Dünger und Waffen, Format DIN A4.....	35
Abbildung 42: Infotext Geschichte der mineralischen Düngung, Format DIN A3	36
Abbildung 43: Plakat Schweinegülle, Format DIN A2.....	37
Abbildung 44: Kurzbeschreibung Dünge-Versuch, Format DIN A4.....	37
Abbildung 45: Übersicht Prozess Dünge-Versuch, Format DIN A4	38
Abbildung 46: Infotext PFAS, Format DIN A4.....	39
Abbildung 47: Infotext Arzneimittelrückstände, Format DIN A4	39

Abbildung 48: Zusatz Infotext Arzneimittelrückstände, Format DIN A4	40
Abbildung 49: Infotext Krankheitserreger, Format DIN A4	40
Abbildung 50: Zusatz Infotext Krankheitserreger, Format DIN A4	41
Abbildung 51: Infotext Schwermetalle, Format DIN A4	41
Abbildung 52: Zusatz Infotext Schwermetalle, Format DIN A4	41
Abbildung 53: Infotext PAK, Format DIN A4	42
Abbildung 54: Zusatz Infotext PAK, Format DIN A4	43
Abbildung 55: Poster Übersicht Gesetze, Format DIN A2.....	44
Abbildung 56: Infotext Düngegesetz, Format DIN A4.....	44
Abbildung 57: Infotext Düngeverordnung, Format DIN A4	45
Abbildung 58: Infotext Düngemittelverordnung, Format DIN A4	45
Abbildung 59: Infotext Kreislaufwirtschaftsgesetz, Format DIN A4	46
Abbildung 60: Infotext Abfallverzeichnisverordnung und Abfallverordnungen, Format DIN A4....	46
Abbildung 61: Infotext fehlender Rechtsrahmen Recyclingdünger, Format DIN A4	47
Abbildung 62: Demonstrations-Versuch und Posterwand auf der re:publica, Foto von Loo:topia	48
Abbildung 63: Posterwand auf der re:publica, eigenes Bildmaterial	49
Abbildung 64: Anordnung der Materialien zu Mineraldüngern, eigenes Bildmaterial.....	50
Abbildung 65: Begriffsmatrix Düngemittel, eigenes Bildmaterial	51

Abkürzungsverzeichnis

H	Wasserstoff
H.I.T.	Humusdünger aus Inhalten von Trockentoiletten
K	Kalium
K -	Kalium-Unterversorgung
K +	Kalium-Übersorgung
N	Stickstoff
N -	Stickstoff-Unterversorgung
N +	Stickstoff-Übersorgung
NH ₃	Ammoniak
NPK	mineralische Volldüngung
P	Phosphor
P -	Phosphor-Unterversorgung
P +	Phosphor-Übersorgung

1. Einleitung und Zielstellung

1.1 Einleitung

Die vorliegende Arbeit wird in einer Zeit verfasst, in der der Ruf nach Wandel allgegenwärtig ist. Erkenntnisse aus der Wissenschaft übersetzen sich in die gesellschaftlichen und politischen Forderungen nach einer Energiewende, einer Verkehrswende, einer Wärmewende und vielen mehr. Es scheint, als würden alle Bereiche des Lebens dahingehend überprüft, ob sie die Bedingungen der Nachhaltigkeit erfüllen.

In Demokratien kann gesellschaftlicher Wandel nicht ohne die Zustimmung der Bevölkerung vollzogen werden. Dafür ist es wichtig, dass diese die wissenschaftlichen Hintergründe, die den Wandel erforderlich machen, begreifen kann. Die Wissenschaft hat hier die Aufgabe, ihre Erkenntnisse laienverständlich zu kommunizieren.

Für die oben genannten Bereiche – Energie, Verkehr und Wärme – gibt es bereits viel Material, mit dem sich die Allgemeinheit die Faktenlage aneignen und darauf aufbauend eine gesellschaftspolitische Haltung einnehmen kann.

Für die weniger bekannte Forderung nach einer Sanitär- und Nährstoffwende findet sich hingegen noch wenig laienverständliches Informationsmaterial. Im Rahmen dieser Bachelorarbeit soll begonnen werden, diese wissenschaftskommunikative Lücke zu schließen.

1.2 Zielstellung dieser Arbeit

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit sollte Material erstellt werden, das einem interessierten fachfremden Publikum den Themenkomplex der Sanitär- und Nährstoffwende näherbringt. Hierfür sollten Grundlagen und weiterführende Informationen auf Plakaten derart aufbereitet werden, dass das Publikum sich die Inhalte eigenständig, d.h. ohne begleitenden Vortrag oder Führung, erschließen kann. In einem Demonstrations-Pflanzversuch sollte zudem die Wirkung mehrerer herkömmlicher und neuartiger Düngemittel sowie die Funktion einzelner Nährstoffe visuell erfahrbar gemacht werden. Die Plakat-Installation und der Pflanzversuch sollten gemeinsam eine Basis bilden, um mit dem Publikum der Messe „re:publica“ in einen Dialog über die Sanitär- und Nährstoffwende zu treten.

2. Hintergrund

2.1 Sanitär- und Nährstoffwende

Das weltweit verbreitete System aus Wassertoilette, Schwemmkanalisation und Klärwerken stammt aus dem 19. Jahrhundert und hat einen wichtigen Beitrag zur Herstellung basaler Hygienestandards in Städten geleistet (Weiterbildendes Studium Wasser und Umwelt (Hrsg.), 2015). Ab dem 20. Jahrhundert sicherte die Entwicklung synthetischer Düngemittel und die damit einhergehenden Ertragssteigerungen die Ernährung der sprunghaft wachsenden Weltbevölkerung (Fischer & Kühn, 2019). Heute wird über die Hälfte der Weltbevölkerung durch Produkte ernährt, die mit künstlichem Stickstoff (N) gedüngt wurden (ebd.).

Beide Systeme, die Sanitärversorgung mittels Schwemmkanalisation sowie die auf künstlichen Düngemitteln basierende Landwirtschaft, bilden gemeinsam eine klassische lineare Wertschöpfungskette:

Eine lineare Wertschöpfungskette beginnt mit der Entnahme von Rohstoffen aus der Umwelt, um ein Produkt herzustellen. Nach dem Nutzungsende des Produkts stellt sich die Frage nach der Entsorgung. In linearen Wertschöpfungsketten entsteht Abfall, der deponiert werden muss und somit Platz verbraucht oder verbrannt wird und klimaschädliche Emissionen verursacht. Dieses Prinzip ist der Grundsatz für die sogenannte „Wegwerfgesellschaft“. Da Produktion, Nutzung und Entsorgung häufig räumlich gänzlich entkoppelt sind, ist es leicht, die Konsequenzen zu übersehen oder die Augen davor zu verschließen. Die Devise dieses Wirtschaftssystems lautet „Take, Make, Waste“, zu Deutsch etwa „Nehmen, Machen, Verschenden“ (Walcher & Leube, 2017).¹

Der Weg der Nährstoffe in der gegenwärtigen Wertschöpfungskette ist der eines Einweg-Artikels. Dieser Weg soll in Abbildung 1 schematisch dargestellt und nachfolgend genauer beschrieben werden.

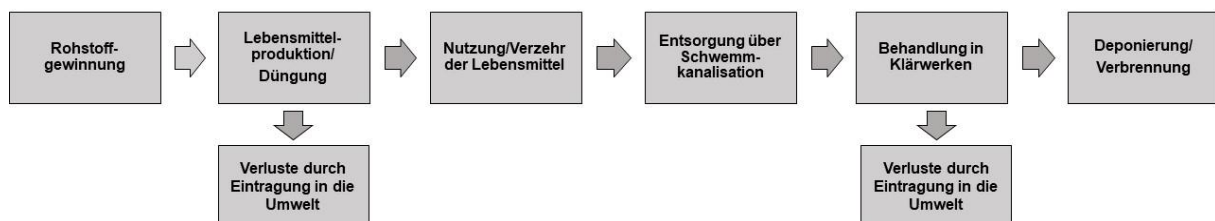


Abbildung 1: Nährstoffe in der linearen Wertschöpfung, eigene Darstellung

Am Beginn dieser Kette steht die Rohstoffgewinnung für künstliche Düngemittel. Bereits die Gewinnung der Haupt-Pflanzennährstoffe N, Phosphor (P) und Kalium (K) geht mit großen Umweltschäden und sozialen Missständen einher.

N kann seit über hundert Jahren mittels des sogenannten Haber-Bosch-Verfahrens aus der Luft gewonnen werden. Die Elemente N und Wasserstoff (H) werden in diesem aufwändigen Verfahren zu Ammoniak (NH_3) synthetisiert. Die Erschließung dieser N-Quelle war ein Meilenstein der konventionellen Landwirtschaft und hat die immensen Ertragssteigerungen nach der industriellen Revolution möglich gemacht (Fischer & Kühn, 2019). Das Haber-Bosch-Verfahren verbraucht jedoch enorme Mengen an Energie. Es ist allein verantwortlich für bis zu drei Prozent des weltweiten Energieverbrauchs. Pro produzierter Tonne NH_3 im Haber-Bosch-Verfahren wird zudem die doppelte Menge Kohlenstoffdioxid (CO_2) freigesetzt (Deutscher Bundestag, 2018).

P lässt sich, anders als N, nicht synthetisch gewinnen und ist ein endlicher Rohstoff. Schätzungen darüber, wie lange die weltweiten P-Reserven ausreichen werden, reichen von mehreren hundert Jahren bis hin zu knapp einer Dekade (Kind, 2020; BMEL, 2011; Gross, 2010). Die Gewinnung von

¹ Auffällig ist, dass die Verwendung der Produkte in diesem Motto nicht vorkommt. Im Hinblick auf unseren Umgang mit Lebensmitteln und unseren Ausscheidungen ist diese Auslassung durchaus passend.

Rohphosphaten im Bergbau ist mit massiven Umweltverschmutzungen verbunden. Auch von den gewonnenen Phosphaten selbst können Gefahren ausgehen: Die Minerale sind häufig mit Uran und Cadmium verunreinigt (Kind, 2020). Darüber hinaus liegt der Großteil der P-Reserven in politisch instabilen Regionen (Umweltbundesamt (Hrsg.), 2018), wobei den beteiligten Unternehmen gleichzeitig Menschenrechtsverletzungen vorgeworfen werden (Brot für alle et al., 2019).

Auch die Gewinnung von K schadet der Umwelt. Kali-Salze werden, ähnlich den Rohphosphaten, im Bergbau gewonnen und die entstehenden Industrieabwässer versalzen Süßwasserkörper und verändern somit nachhaltig die anliegenden Ökosysteme (Bäthe & Coring, 2011).

Aus dem künstlichen gewonnenen N und den Phosphaten und Kali-Salzen aus dem Bergbau werden Mineraldünger für die konventionelle Landwirtschaft hergestellt. Über die Düngung werden fortlaufend Nährstoffe in die landwirtschaftlichen Böden eingegeben. Bereits hier, bei der landwirtschaftlichen Produktion, kommt es zu teils erheblichen Nährstoffeinträgen durch Oberflächenabfluss in die umgebenden Gewässer. Hierbei spielt auch eine falsche Anwendung der Düngemittel (zu viel, zur falschen Zeit oder mit einer ungeeigneten Methode ausgebracht) eine Rolle. Die Folgen (Eutrophierung der Gewässer, dadurch Biodiversitätsverlust, bis hin zu toten Gewässerzonen; Nitratbelastung im Grundwasser, gesundheitliches Risiko über nitratbelastetes Trinkwasser) sind bekannt und werden seit vielen Jahren gesamtgesellschaftlich diskutiert (KMBW, 2016; BUND, 2017). Die Nährstoffe, die von den Pflanzen aufgenommen werden, also nicht direkt in die Umwelt gelangen, sondern die Düngefunktion wie gewünscht erfüllen, können im weiteren Verlauf ebenfalls erhebliche Umweltauswirkungen enthalten. Der Weg dieser Nährstoffe, die von den Pflanzen aufgenommen werden, liegt bisher weniger im Fokus der Öffentlichkeit.

Nach der Nutzung der Nährstoffe – also dem Verzehr der Lebensmittel – folgt, abermals entsprechend der linearen Wertschöpfung, die Entsorgung. Über menschliche Ausscheidungen gelangen die nicht aufgenommenen Nährstoffe in die Schwemmkanalisation, wo sie mit anderen Stoffströmen verdünnt und verunreinigt werden. Das so verunreinigte Trinkwasser wird zwar wieder aufbereitet und durchläuft somit einen Kreislauf. Die im Abwasser enthaltenen Nährstoffe werden jedoch lediglich – so gut es geht – herausgefiltert, und durch mikrobiellen Abbau gasförmig in die Luft abgegeben (N) oder in Form von Klärschlamm, wie für Abfälle in linearen Wertschöpfungsketten üblich, deponiert oder verbrannt (N, P und K). Dabei hat sich die Leistung von Kläranlagen in den letzten Jahrzehnten zwar stetig verbessert, jedoch verbleibt ein Teil der Nährstoffe nach wie vor im behandelten Abwasser und gelangt in Oberflächengewässer und das Grundwasser (Fuchs et al., 2010). Wie die konventionelle Landwirtschaft trägt also auch die Abwasserwirtschaft zu Nährstoffeinträgen in die Umwelt bei. Laut UBA sind Kläranlagen für über ein Fünftel der N- und sogar fast die Hälfte der P-Einträge in Oberflächengewässer verantwortlich (Rohlmann, 2019). Während über den Beginn der Wertschöpfungskette – die Produktion unserer Lebensmittel – öffentlich viel diskutiert wird, bleibt der Entsorgungsweg über Schwemmkanalisation und Kläranlagen weitgehend unhinterfragt.

Das Konzept der linearen Wertschöpfung spielt auch eine entscheidende Rolle im Modell der planetaren Grenzen von Rockström et. al. Bereits vor über zehn Jahren hat die Forschungsgruppe um Rockström neun biophysikalische Systeme ausgemacht, die einen „sicheren Handlungsraum“ für die Menschheit gewährleisten können – wenn gewisse Grenzen nicht überschritten werden. Die von der Forschungsgruppe ausgemachten wichtigen planetaren Prozesse sind der Klimawandel, der Biodiversitätsverlust, die Nährstoffkreisläufe von N und P, der Ozonabbau, die Versauerung der Meere, die Süßwassernutzung, Landnutzungsänderungen, Belastungen durch Chemikalien und die atmosphärische Aerosolbelastung (Rockström et al., 2009). All diese Systemen haben bestimmte Belastungsgrenzen, die sogenannten Kippunkte, deren Überschreitung zu für den Menschen gefährlichen Umweltveränderungen führen (ebd.).

Die lineare Wertschöpfungskette aus Landwirtschaft und Abwasserbehandlung beeinflusst, wie oben dargestellt, gleich mehrere der von Rockström et al. ausgemachten Prozesse: Die Süßwassernutzung, die Nährstoffkreisläufe von N und P sowie den Biodiversitätsverlust. Angesichts der Tatsache, dass die Belastungsgrenzen all dieser Systeme bereits jetzt fast erreicht, wenn nicht schon überschritten sind,

erscheint die aktuelle, auf einer linearen Wertschöpfungskette beruhende Struktur nicht mehr zeitgemäß.

Etwa zeitgleich mit der Veröffentlichung des Modells der planetaren Grenzen hat sich ein Netzwerk aus Praktikerinnen und Forscherinnen entwickelt, die zeigen, wie zukunftsweisende, kreislauforientierte Sanitärsysteme aussehen können. Sie setzen dem Status Quo der linearen Wertschöpfungskette aus konventioneller Landwirtschaft und Schwemmkanalisation ein System aus Kreisläufen entgegen und fordern eine „Sanitär- und Nährstoffwende“ (Krause, et al., 2021).

„Sanitärwende“ bezieht sich dabei auf die Entwicklung neuer und die Anpassung bereits existierender Sanitärsysteme nach dem Prinzip der Stoffstromtrennung. Anstatt, wie in der Schwemmkanalisation, viele verschiedene Stoffströme miteinander zu vermischen und quer zu kontaminieren, sollen die Stoffe bereits an der Quelle getrennt werden, um ihren Eigenschaften entsprechend behandelt und weiterverarbeitet werden zu können. Ein wichtiges Element der kreislauforientierten Sanitärsysteme bilden wasserlose Trenntoiletten, in denen Urin und Fäzes getrennt voneinander aufgefangen werden.

„Nährstoffwende“ bezieht sich auf den daran anschließenden Prozess der Verwertung – anstatt einer Entsorgung – der Nährstoffe. Die getrennt aufgefangenen Fäkalien sollen ihren Eigenschaften entsprechend gezielt behandelt, hygienisiert und zu sicheren Düngemitteln veredelt werden. Somit werden die Nährstoffe im kreislauforientierten System nicht mehr zu Abfall, sondern können als Düngemittel wieder der Lebensmittelproduktion in einer regionalen Landwirtschaft zu(rück)geführt werden (vgl. Abbildung 2) (ebd.).

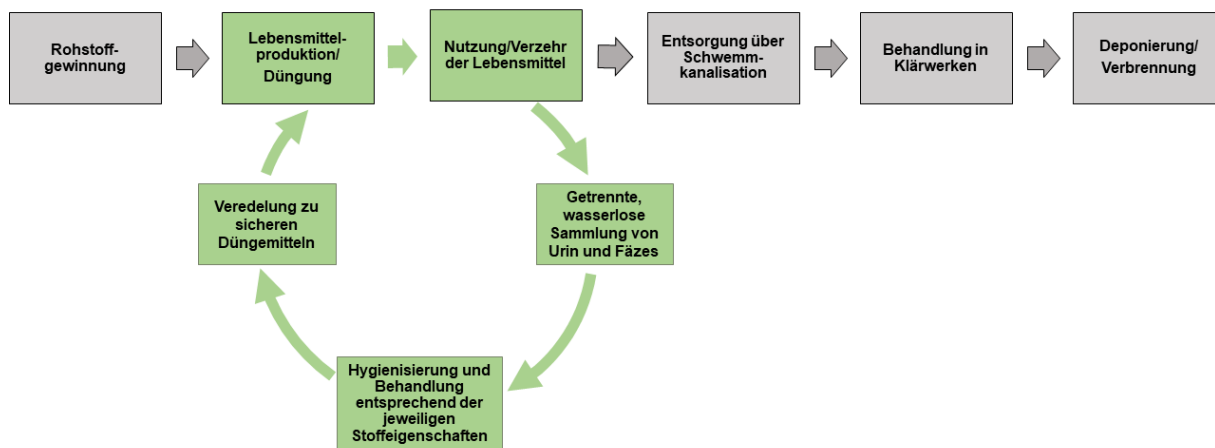


Abbildung 2: Nährstoffe im Kreislauf, eigene Darstellung

Die Sanitär- und Nährstoffwende steht in Deutschland zwar vor einer gesetzgeberischen Hürde, da die Verarbeitung, Vermarktung und Verwendung von trocken gesammelten menschlichen Fäkalien noch keinen gesicherten Rechtsrahmen erhalten haben (Korduan, 2020). Dennoch scheint der Wille zu Veränderungen in den vergangenen Jahren konkrete Gestalt anzunehmen. Toiletten ohne Wasserspülung finden ihren Weg in das öffentliche Stadtbild, auf Festivals und in Bauprojekte, und die Hintergründe der Sanitär- und Nährstoffwende werden im öffentlich-rechtlichen Fernsehen erläutert (Bannert, 2013; Siegfried, 2014; ecovillage hannover eG, o.J.; Heim, 2020).

Es scheint sich ein Möglichkeitsfenster aufzutun, für die Durchsetzung der kreislauforientierten Sanitärsysteme und den nachhaltigen Umgang mit unseren Nährstoffen. Um dieses Fenster zu öffnen, ist es wichtig, ein Bewusstsein für die oben beschriebene Problematik zu schaffen, das über die Pioniere hinaus die breite Gesellschaft erreicht. Dieses Bewusstsein kann durch gezielte Wissenschaftskommunikation geschaffen werden.

2.2 Wissenschaftskommunikation

Forderungen nach der Veränderung des gesellschaftlichen Status Quo, wie die Sanitär- und Nährstoffwende sind darauf angewiesen, dass sie von der sie betreffenden Gesellschaft verstanden und für relevant gehalten werden. Wissenschaftskommunikation spielt hierbei die Rolle der Vermittlung zwischen Wissenschaft und Öffentlichkeit (Weitze & Heckl, 2016). Laut Schäfer, Kristiansen und Bonfadelli (2015) fallen unter diesen Dachbegriff „alle Formen von auf wissenschaftliches Wissen oder wissenschaftliche Arbeit fokussierter Kommunikation, sowohl innerhalb als auch außerhalb der institutionalisierten Wissenschaft, inklusive ihrer Produktion, Inhalte, Nutzung und Wirkungen“.

In den letzten Jahren hat sich der Fokus auf die Kommunikation aus der Wissenschaft heraus, das heißt den Dialog von Wissenschaft und Gesellschaft, gerichtet (Fährlich & Schäfer, 2020). So fordert beispielsweise das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF, 2019) in seinem Grundsatzpapier zur Wissenschaftskommunikation eine „kommunizierende Wissenschaft“, die mit der Bevölkerung in einen Dialog tritt, anstatt sie – wie in der Vergangenheit – lediglich zu informieren. Wissenschaftskommunikation soll die Bevölkerung dazu befähigen, wissenschaftliche Zusammenhänge zu verstehen und auf dieser Basis im öffentlichen Diskurs selbst Stellung zu beziehen. Geglückte Wissenschaftskommunikation soll so die „Wissenschaftsmündigkeit“ und „Demokratiefähigkeit“ einer Gesellschaft stärken (BMBF, 2019).

Das Grundsatzpapier des BMBF wurde jedoch nicht nur positiv aufgenommen. Kritische Stimmen lasen in dem Papier eine Forderung nach Kommunikation um der Kommunikation willen und fürchteten die Bindung von Kapazitäten ohne Mehrwert und Effizienz. Wissenschaftlerinnen meldeten sich in Tageszeitungen und Blogbeiträgen zu Wort und merkten an, dass bereits viel kommuniziert werde und das nicht immer dem Vertrauen in die Wissenschaften förderlich sei. Beispielsweise insbesondere dann nicht, wenn die Wissenschaftskommunikation reiner Reklame gleiche, die – wie in der Werbung üblich – ihre Versprechen nicht halte (Zinkant, 2019). Besonders problematisch sei die Kopplung von Fördergeldern an Wissenschaftskommunikation. Diese würde „lebensnahe Forschung, die sich hübsch erklären lässt“ (Zinkant 2019, S.1) gegenüber komplexer, theoretischer Wissenschaft bevorteilen und berge zudem die Gefahr, dass, analog zum „Impact-Denken der britischen Wissenschaft“ (Schmoll 2019, S.1), der volkswirtschaftliche Nutzen von Forschung in den Vordergrund rückt. Durch die Forderungen des Grundsatzpapiers des BMBF würden diejenigen, denen das Feld der Kommunikation nicht liege, unter Druck gesetzt, „auch noch Entertainer“ (Nellen 2020, S.1) zu werden, während die „wenigen »Naturtalente«“ (ebd.) für gelungene Wissenschaftskommunikation weiterhin kaum Anerkennung bekämen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass dem Grundsatzpapier des BMBF vorgeworfen wurde, Wissenschaftskommunikation quantitativ steigern zu wollen, qualitative Aspekte dabei jedoch zu vernachlässigen. Um aber die Qualität, d.h. die Wirksamkeit und Effizienz von Wissenschaftskommunikation zu verbessern, muss sie sich Evaluationsprozessen unterziehen (Spicer, 2017). Die Evaluation eines Projekts zur Wissenschaftskommunikation braucht klar formulierte Ziele, die eine solide Überprüfung ermöglichen (Ziegler & Fischer, 2020).

Die deutsche Organisation für Wissenschaftskommunikation „Wissenschaft im Dialog“ hat in einer „Analyse der strategischen Ziele relevanter Akteure für die institutionelle Wissenschaftskommunikation in Deutschland“ eine Kategorisierung von Zielen vorgeschlagen, die in Abbildung 3 knapp umrissen werden soll.

Gestaltungsdimension ●	Einstellungsdimension ● / ●	Motivdimension ● / ●
Konkrete Umsetzung der Wissenschaftskommunikationsformate: Wie soll kommuniziert werden?	Ziele auf die Einstellungen der Bevölkerung	Warum wird kommuniziert? Zu wessen Nutzen?
• Informierend/vermittelnd: Einseitige Form der reinen Informationsvermittlung • Dialog-/diskursorientiert: Aktiver und beidseitiger Austausch zwischen Wissenschaft und Öffentlichkeit • Partizipativ: Aktive Teilnahme der Bevölkerung an Wissenschaft und Forschung	• Kognitiv: Verständnis von und Wissen über Wissenschaft; „scientific literacy“ - Faktenwissen, Verständnis der Methoden und Funktionsweisen der Wissenschaft, Wissen über wissenschaftliche Institutionen und deren gesellschaftliche Rolle • Evaluativ: Haltung gegenüber Wissenschaft und Technik • Konativ: Verhaltensabsichten und tatsächliches Verhalten	• Nutzen für einzelne Wissenschaftlerinnen: Bekanntheit steigern; Spaß und Freude an der Kommunikation • Nutzen für einzelne Institutionen: Sichtbarkeit steigern; positive Wahrnehmung in der Öffentlichkeit fördern • Nutzen für die Wissenschaft als Ganzes: Legitimierung oder Unterstützung der Öffentlichkeit für öffentliche Förderung • Nutzen für die Gesellschaft als Ganzes: Demokratiefähigkeit steigern; Wissensgesellschaft stärken
Wirkungsebenen nach PHINEO (2018)		
● Output Angebote und Produkte		
● Outcome Wirkungen auf Ebene der Zielgruppe(n)		
● Impact Erwünschte Veränderungen auf gesellschaftlicher Ebene		

Abbildung 3: Zieldimensionen von Wissenschaftskommunikation nach Ziegler & Fischer, 2020, eigene Darstellung

Das Vorhaben „Sanitär- und Nährstoffwende“ hat, wie die Energie- und die Verkehrswende, tiefgreifende gesellschaftliche Veränderungen zum Ziel. Um dieses Vorhaben voranzubringen, ist eine Haltungsänderung der Bevölkerung nötig. Mit Blick auf die Kategorisierung von Ziegler und Fischer sind Ziele in allen drei Dimensionen denkbar, wobei die Überprüfung von Outcome und Impact sich grundsätzlich weit schwieriger gestaltet als die eines Outputs (Ziegler & Fischer, 2020).

Forscherinnen, die sich für die Sanitär- und Nährstoffwende einsetzen, nutzen eine breite Palette an Formaten, um mit der Öffentlichkeit in Austausch zu treten: In Blogartikeln und einem Positionspapier informieren sie über den Stand der Forschung und ihre daraus abgeleiteten Forderungen; in Workshops und Panels treten sie in den Dialog mit der Öffentlichkeit und in Citizen-Science-Projekten können Bürgerinnen sich aktiv an der Forschung beteiligen (Goldeimer gGmbH, o.J.; Future of Festivals, 2020; Urban Cycles, o.J.).

Die vorliegende Arbeit befindet sich, in den Zieldimensionen nach Ziegler & Fischer eingeordnet (s. Abb. 3), in der Gestaltungsdimension auf der Ebene der Informationsvermittlung: Der Themenkomplex „Sanitär- und Nährstoffwende“ soll einem interessierten Publikum nahegebracht werden. Es soll Wissen vermittelt werden, um ein Problembewusstsein zu schaffen. In der Einstellungsdimension zielt die vorliegende Arbeit folglich auf die kognitive Einstellung des Publikums (es wird Faktenwissen vermittelt). Auch die evaluative Einstellung des Publikums ist relevant, wie oben beschrieben. Aus der Vermittlung der Zusammenhänge der Sanitär- und Nährstoffwende soll sich im Idealfall eine Offenheit gegenüber kreislaforientierten Sanitärsystemen und der Düngung mit Recyclingprodukten aus menschlichen Fäkalien ergeben. Auf der Motiv-Ebene lässt sich der Nutzen für die Gesellschaft als Ganzes heranziehen. Den Themenkomplex der Sanitär- und Nährstoffwende einem interessierten Publikum näherzubringen ist die Voraussetzung, um die Hinterfragung unseres gegenwärtigen Umgangs mit Nährstoffen zu ermutigen, und den gesellschaftlichen Wandel hin zu einem Denken und Arbeiten in (Nährstoff-)Kreisläufen anzustoßen.

Auch, wenn die vorliegende Arbeit auf der Ebene der einseitigen Kommunikation angesiedelt ist, braucht sie – wie jede Form der Kommunikation – Zuhörende. Diese fand sie auf der Konferenz „re:publica“, einer Messe, auf der jedes Jahr Wissenschaftskommunikation in großem Maßstab stattfindet.

2.3 Konferenz zur digitalen Gesellschaft „re:publica“

Die „re:publica“ ist eine seit 2007 jährlich stattfindende Konferenz zu den Themenbereichen „Netpolitik, Digitalkultur und digitale Gesellschaft“. Inzwischen ist sie die größte Messe ihrer Art in Europa und deckt durch das Konzept des „Call for Participation“ eine außergewöhnlich breite Palette an Themen ab: Nach diesem Konzept können Interessierte im Vorfeld Themenvorschläge für die Konferenz einreichen oder mit ihrem Projekt selbst die Messe mitgestalten (re:publica GmbH, 2022).

Die Messe zieht tausende Besucherinnen an und ruft jährlich ein großes Medienecho hervor. Durch ihre Vielfalt an Formaten, von Messeständen über Workshops bis hin zu Paneldiskussionen, ist sie ein Ort der Wissenschaftskommunikation. Das spiegelt sich auch im Namen wider, dessen lateinische Herkunft „res publica“ als „die öffentliche Angelegenheit“ übersetzt werden kann (Menge, 2006).

2022 hat das Netzwerk aus Forscherinnen, die sich für die Sanitär- und Nährstoffwende einsetzen, diese Möglichkeit mit einem breit aufgestellten Themenbeitrag unter dem Namen „Loo:topia“² genutzt. Praktikerinnen, Netzwerke, Forschungsprojekte und einzelne Forscherinnen haben gemeinsam mehrere Ausstellungsorte bespielt, vielfältige Vorträge gehalten und Gesprächsrunden geführt, in denen das interessierte Publikum den Stand der Forschung und Praxis der Sanitär- und Nährstoffwende erfahren konnte. Die vorliegende Arbeit ist Teil dieses Themenbeitrages und wurde vom 7. bis zum 10. Juni auf dem Gelände des Veranstaltungsortes „Arena Berlin“ ausgestellt.

3. Material und Methoden

Wissenschaftskommunikation braucht Publikum. Um im Angebot der „re:publica“ neben „10 Bühnen, 400 Sessions und 700 Sprecher*innen“ nicht unterzugehen, wurden in der vorliegenden Arbeit klassische Informations-Poster mit einem Demonstrations-Pflanzversuch verbunden. Während auf den Postern die Hintergründe und Zusammenhänge der Sanitär- und Nährstoffwende dargestellt sind, sollte der Pflanzversuch die Grundlagen der Pflanzenernährung und Düngung begreifbar machen, im konkreten wie im metaphorischen Wortsinn. Die Pflanzen erfüllten zusätzlich die Funktion eines Blickfangs im industriellen Ambiente der „Arena Berlin“. Hierbei wurde sich die positive psychologische Wirkung zunutze gemacht, aufgrund derer sich Menschen zu lebendigen Pflanzen hingezogen fühlen (Jeong & Park, 2021).

Im Folgenden sollen der Aufbau und die Durchführung des Pflanzversuchs sowie das Vorgehen bei der Erarbeitung der Informations-Poster dargestellt werden.

3.1 Demonstrations-Pflanzversuch

Der Pflanzversuch bestand aus zwei Teilen: Einem Versuch in großen Wurzelkästen, in dem die Wirkung verschiedener etablierter und neuartiger Düngemittel dargestellt werden sollte (Versuchsteil 1, Düngeversuch) und einem Versuch in kleinen Wurzelkästen, in dem die jeweilige Funktion der Hauptnährstoffe gezeigt werden sollte (Versuchsteil 2, Nährstoffversuch).

² Wortspiel aus dem englischen Begriff „Loo“, zu Deutsch „Klo“ und „Utopia“, zu Deutsch „Utopie“.

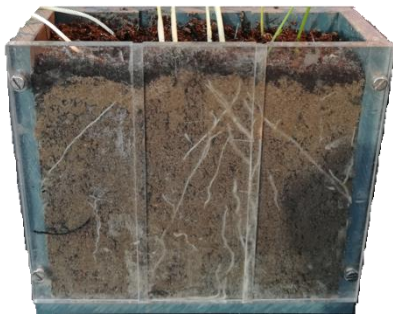


Abbildung 4: Beispielbild Wurzelkasten,
Foto von Margita Hefner, eigene Bearbeitung

Als Versuchspflanze wurde Salat (*Lactuca sativa*) ausgewählt, da er als Lebensmittelpflanze mit allen Sinnen erfahrbar ist.

Die Pflanzen wurden in Wurzelkästen angezogen, um das gesamte Wachstum, ober- wie unterhalb des Bodens, über die offenen Wurzelfenster sichtbar zu machen, wie in Abbildung 4 beispielhaft dargestellt. Auch die Wirkungen der verschiedenen Düngemittel auf das Bodengefüge konnte so betrachtet werden.

3.1.1 Versuchsteil 1 (Düngeversuch, große Wurzelkästen)

Varianten

Im ersten Versuchsteil wurden Salatpflanzen in großen Wurzelkästen mit konventionellen und neuartigen Düngemitteln behandelt. Als konventionelle Düngemittel wurden eine mineralische Volldüngung (NPK, WUXAL Top N, AGLUKON Spezialdünger GmbH & Co. KG, Düsseldorf, Deutschland), Schweinegülle (SG, Fläminger Tiergut GmbH, Bad Belzig, Deutschland) und Vinsasse (V, Provita®, Beckmann & Brehm GmbH, Beckeln, Deutschland) ausgewählt. Als neuartige Düngemittel wurden ein Humusdünger aus Inhalten von Trockentoiletten (H.I.T., Finizio - Future Sanitation GmbH, Eberswalde, Deutschland) sowie ein Recyclingdünger aus Urin (Aurin, Vuna GmbH, Dübendorf, Schweiz) verwendet. Um den Kreislaufgedanken (Fäkalien getrennt auffangen, getrennt behandeln und veredeln, gemeinsam der Landwirtschaft wieder zuführen) zu unterstreichen, wurde eine Variante mit einer Kombination aus beiden Recyclingdüngern menschlicher Herkunft behandelt. Das Mengenverhältnis der Kombinationsvariante bezog sich auf die Ergebnisse von Möbus (2019), die untersucht hat, welches Verhältnis von Recyclingdünger aus Inhalten von Trockentoiletten und Recyclingdünger aus Urin das stärkste Pflanzenwachstum hervorruft. Den gedüngten Pflanzen wurde eine ungedüngte Nullvariante gegenübergestellt. Jede Variante wurde dreimal wiederholt.

Tabelle 1 zeigt die durchgeführten Varianten und die verschiedenen Düngeigenschaften.

Tabelle 1: Übersicht Varianten Versuchsteil 1

Varianten	Nullvariante	NPK	Schweinegülle	Vinsasse	H.I.T.	Aurin	H.I.T. + Aurin
Herstellung	/	Synthetisch	Recycelt	Recycelt	Recycelt	Recycelt	Recycelt
Form	/	Flüssig	Flüssig	Flüssig	Kompost	Flüssig	Kompost und flüssig
Nährstoffform	/	Mineralisch	Organisch	Organisch-mineralisch	Organisch	Mineralisch	Organisch und mineralisch
Marktsituation	/	Konventionell	Konventionell	Konventionell	Neuartig	Neuartig	Neuartig

Wie in der Tabelle zu sehen ist, können die Varianten in verschiedenen Kategorien einander gegenübergestellt werden. Diese Gegenüberstellungen boten die Möglichkeit, dem Publikum Wissen zu vermitteln, das über die erstellten Informations-Poster hinausgeht, beispielsweise über die Unterschiede der Nährstoffverfügbarkeit von organischen und mineralischen Düngemitteln.

Düngemittelanalysen

Die Varianten, die tierische und menschliche Fäkalien als Ausgangsstoff enthalten, wurden im Vorfeld des Versuchs (Juni 2022) auf ihren Nährstoff- und mögliche Schadstoffgehalte untersucht. Die

untersuchten Parameter orientierten sich zum einen an der Düngemittelverordnung, zum anderen an der DIN SPEC „Qualitätssicherung von Recyclingprodukten aus Trockentoiletten zur Anwendung im Gartenbau“ (DIN e.V., 2020). Die Nährstoffgehalte (N, P, K, Mg), die Schwermetallgehalte (Thallium, Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Nickel, Quecksilber) sowie die aerobe Gesamtkeimzahl, Enterokokken, fäkalcoliforme Bakterien (*E.coli*) und Salmonellen wurden von der AGROLAB Agrar und Umwelt GmbH (Sarstedt, Deutschland) untersucht. Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) und Arzneimittelrückstände wurden von der Eurofins Umwelt Ost GmbH (Jena, Deutschland) untersucht. H.I.T. wurde zusätzlich von der LUFA Nord-West (Oldenburg, Deutschland) auf *Clostridium perfringens* untersucht. Alle Düngemittel hielten die vorgeschriebenen Grenzwerte ein. Die Hintergründe sowie die Ergebnisse der Düngemittelanalysen wurden im Bildungsmaterial genauer erläutert, zu finden im Kapitel „4.2.4 Düngemittelsicherheit“.

Substrat

Als Substrat wurde „Großbeerener Sand“, ein nährstoffarmer, sandiger Boden verwendet. Dieses Substrat entstammt dem Gelände des Leibniz-Instituts für Gemüse und Zierpflanzen e.V. (IGZ), an dem der Pflanzversuch durchgeführt wurde, und wird dort regelmäßig für Gefäßversuche verwendet. Durch die Nutzung dieses Substrats wurde an den Gedanken der Nutzung regionaler Ressourcen angeknüpft. Da das Substrat nährstoffarm, jedoch nicht -frei ist, war die Durchführung einer ungedüngten Variante möglich, während gleichzeitig gegeben war, dass die verwendeten Düngemittel ihre Wirkung entfalten konnten.

Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse der Nährstoffanalyse des Substrats. Die Analysen wurden im September 2021 von der AGROLAB Agrar und Umwelt GmbH durchgeführt.

Tabelle 2: Nährstoffgehalte „Großbeerener Sand“

Nährstoffgehalte „Großbeerener Sand“ in mg/100 g			
NO ₃ -N	NH ₄ -N	P	K
0,139	0,040	15,2	6,1

Kalkulation der Düngermengen

Für die Düngerkalkulation wurde sich am N-Bedarf der Pflanzen orientiert. Es wurden mehrere Angaben aus der Literatur (Bergmann 1993; Feller et al. 2011; Tabelle 4, Anlage 4 zu § 4 Abs. 1 und 2 DüV) gemittelt und ein Sollwert von 1 g N pro Pflanze angenommen. Um zu ermitteln, welche Menge der jeweiligen Düngemittel appliziert werden musste, um der Pflanze während der Wachstumszeit von fünf Wochen 1 g N zur Verfügung zu stellen, wurden die N-Werte aus Nährstoffanalysen der Düngemittel mit geschätzten Mineralisierungsraten verrechnet (Sradnick et al., 2017). Die Kalkulation soll beispielhaft für Vinasse erläutert werden:

Laut Sradnick et al. (2017) enthält Vinasse 37,4 g/l Gesamtstickstoff (N_t). Im ersten Wachstumsjahr wird eine Netto-N-Mineralisierung (Mineralisierungsrate, N_{tmax}) von 54,10 % von N_t – also die Umwandlung von 54,10 % des organisch gebundenen N in eine mineralische Form – angenommen. Sradnick et al. (2017) gehen davon aus, dass während der Sommerperiode diese Mineralisierungsrate innerhalb von 15 Tagen bereits zu 95 % erreicht wird. Die Wachstumsphase des Versuchs betrug über 30 Tage, es konnte also davon ausgegangen werden, dass N_{tmax} in diesem Zeitraum erreicht wird. Zur Vereinfachung wurde mit N_{tmax} von 100 % gerechnet, sodass angenommen wurde, dass innerhalb der Wachstumsperiode die Mineralisierungsrate von 54,10 % gänzlich erreicht wird. Während der Wachstumsperiode werden also 54,1 % von 37,4 g N/l, d.h. 20,23 g N aus einem Liter Vinasse pflanzenverfügbar. Um einer Pflanze 1 g N aus Vinasse zur Verfügung zu stellen, mussten also 49,43 ml appliziert werden.

Tabelle 3 zeigt einen Überblick über die Berechnungsgrundlagen und die errechneten Düngermengen je Variante.

Tabelle 3: Berechnungsgrundlagen Düngekalkulation Versuchsteil 1

	Null- variante	NPK	Schweine- gülle	Vinasse	H.I.T.	Aurin	H.I.T. + Aurin
Rohdichte	-	n.a.	1000 g/l	1120 g/l	840 g/l	1120 g/l	-
N _t	-	141,6 g/l	n.a.	37,4 g/l	5,4 g/l	n.a.	-
N _{min}	-	141,6 g/l	1,42 g/l	4,4 g/l	0,545 g/l	56,2 g/l	-
Angenommene Mineralisierungsrate von N _t	-	-	70 %*	54,10 %	10,30 %	54,1 %*	-
Verhältnis der N-Bedarfsdeckung	-	1	1	1	1	1	1:3
applizierte Düngermenge pro Pflanze	-	7,1 ml	700 ml	50 ml	1,8 l	18 ml	0,45 l + 0,014 l

*In den Analysedaten wurde kein N_t angegeben, sodass die Mineralisierungsrate nicht mit einbezogen werden konnte.

**Die angenommene Mineralisierungsrate für H.I.T. wird aus den Angaben der Düngeverordnung für „Sonstige Komposte“ und den Angaben aus Sradnick (2017) für „Kompost Schweinemist“ gemittelt.

Düngergabe und Befüllung der Wurzelkästen

Die kalkulierten Düngermengen wurden vor dem Einsetzen der vorgezogenen Jungpflanzen³ mit 750 ml Wasser gleichmäßig in das Substrat eingearbeitet und anschließend in die Wurzelkästen eingefüllt. Um ein einheitliches Bodengefüge ohne große Hohlräume zu gewährleisten, in dem sich die Wurzeln gleichmäßig entwickeln können und in dem sich das Gießwasser gleichmäßig verteilt, wurde das Substrat beim Befüllen leicht mit einem Andrückbrett bearbeitet. Dieser Schritt war bei den Wurzelkästen von zusätzlicher Bedeutung, da der Wurzelraum nach der Wachstumsphase über die Fensterung sichtbar wurde und sich darüber eine Sorgfältigkeit in der Durchführung ausdrückt, die wiederum Vertrauen in den Versuch schaffen kann. Alle Wurzelkästen wurden mit 8,2 kg Substrat befüllt. Lediglich die Varianten „H.I.T.“ und „H.I.T. + Aurin“ wurden mit weniger Substrat befüllt, um den Humusdünger (1,5 kg bzw. 380 g) einarbeiten zu können. Da die Wurzelkästen nur an zwei Seiten lichtgeschützt sind, wurden sie während der Wachstumsphase in Schwarz-Weiß-Folie gewickelt. So waren die Wurzeln vor Licht geschützt und nicht in der Wachstumsrichtung eingeschränkt. Durch die Verdunkelung der Kästen wurde zudem die Verdunstungsmenge reduziert.

Bewässerung

Zur Bewässerung wurde vollentsalztes Wasser verwendet. Die Bewässerung wurde nach der Verdunstungsmenge berechnet, gemittelt pro Variante. Hierfür wurden die Wurzelkästen direkt nach dem Befüllen und erneut nach einem Tag gewogen. Der Gewichtsunterschied wurde als Verdunstungsmenge angenommen und täglich gegossen. Nach 10-12 Tagen wurden die Kästen erneut nach dem Gießen und am Folgetag gewogen, um die Bewässerungsmenge pro Variante anzupassen.

Anordnung der Wurzelkästen

Die Wurzelkästen standen randomisiert in einer offenen Gefäßversuchsanlage. Zum Ende der Wachstumsperiode wurden die Wurzelkästen mithilfe eines Gestells in Schräglage gebracht. So wurde eine der beiden Fensterungen zum Boden hin positioniert, sodass die Wurzeln zur durchsichtigen Scheibe hin, also nach unten, wachsen, wie in Abbildung 5 schematisch dargestellt.

³ Die Jungpflanzen wurden am IGZ von Mitarbeiterinnen des Versuchsbetriebs vorgezogen.



Abbildung 5: Schematische Darstellung des Wurzelwachstums in Schräglage, eigene Darstellung

3.1.2 Versuchsteil 2 (Nährstoffversuch, kleine Wurzelkästen)

Varianten

Im zweiten Versuchsteil wurden Salatpflanzen in kleinen Wurzelkästen mit Nährstofflösung in unterschiedlicher Zusammensetzung gedüngt. Pro Hauptnährstoff (N, P, K) wurde jeweils eine Über- und eine Unterversorgung provoziert. Die Kontrollvariante (Optimum) wurde optimal mit Nährstoffen versorgt.

Substrat und Kalkulation der Düngemengen

Als Substrat wurde ungedüngte Einheitserde (Einheitserde Typ 0 – Nullerde, H. Nitsch & Sohn GmbH & Co. KG) verwendet, bestehend aus Weißtorf und Ton, pro Wurzelkasten 500 ml.

Im Versuchsteil 2 wurde mit eigens angemischter Nährstofflösung gearbeitet. Die Zielgehalte von *Lactuca sativa* für die Hauptnährstoffe N, P und K wurden auf Grundlage von optimalen Nährstoff-Konzentrationen in der Trockenmasse nach Bergmann (1993) berechnet. Wie in Schröder (2020) wurde ein Zielgewicht von 15 g Trockenmasse bzw. 250 g Frischmasse und ca. 6 % Trockenmasse pro Pflanze angenommen. Tabelle 4 zeigt die angenommenen Zielkonzentrationen der Hauptnährstoffe. Da die Pflanzen in den kleinen Wurzelkästen deutlich weniger Platz zur Verfügung hatten, wurde der niedrigere N-Bedarf von 850 mg angenommen, statt wie in Versuchsteil 1 die Werte aus der Literatur zu mitteln (1 g).

Tabelle 4: Zielkonzentrationen der Nährlösungen Versuchsteil 2

Variante	Zielkonzentration mg/Pflanze						
	Optimum	N+	N-	P+	P-	K+	K-
Nährstoff							
N	850	1700	425	850	850	850	850
P	102	102	102	204	51	102	102
K	850	850	850	850	850	1700	425

Den Nährlösungen wurden außerdem die Hauptnährstoffe Magnesium und Calcium sowie die Nebennährstoffe Mangan, Schwefel, Zink, Bor, Kupfer, Molybdän, Natrium und Eisen in optimaler Konzentration, beigemischt. Die Berechnung und Einwaage der benötigten Mengen der Mikronährstoffe wurden von einer technischen Mitarbeiterin des IGZ durchgeführt.

Zur Herstellung der Nährlösungen wurden alle Nährstoffe in Form von Nährsalzen für jede Variante abgewogen und in 500 ml destilliertem Wasser aufgelöst.

Düngergabe und Bewässerung

Aufgrund der geringen Wasserhaltekapazität des Substrats (150 ml) wurde die Gabe der Düngerlösung auf mehrere Tage aufgeteilt. Die Bewässerungsmenge wurde nach Gewichtsverlust bemessen und im Laufe der Wachstumszeit angepasst. Es wurde mit vollentsalztem Wasser gegossen.

Anordnung der Wurzelkästen

Entsprechend Versuchsteil 1.

3.2 Bildungsmaterial

Inhalte

Die Auswahl der Posterinhalte erfolgte assoziativ und orientierte sich an dem Hintergrundwissen, das für die Planung und Durchführung des Demonstrations-Versuchs nötig war. Erfahrungen der Forscherinnen, die sich für eine Sanitär- und Nährstoffwende einsetzen, darüber, welches Wissen im Diskurs relevant ist, flossen ebenfalls mit in die Themenfindung ein.

Die Poster können sechs Themenbereichen zugeordnet werden:

- Sanitärwende
- Grundlagen
- Nährstoffversuch
- Düngeversuch
- Düngemittelsicherheit
- Rechtsrahmen

Abbildung 6 zeigt einen Überblick über die ausgewählten Inhalte und die Zuordnung zum jeweiligen Themenbereich.⁴

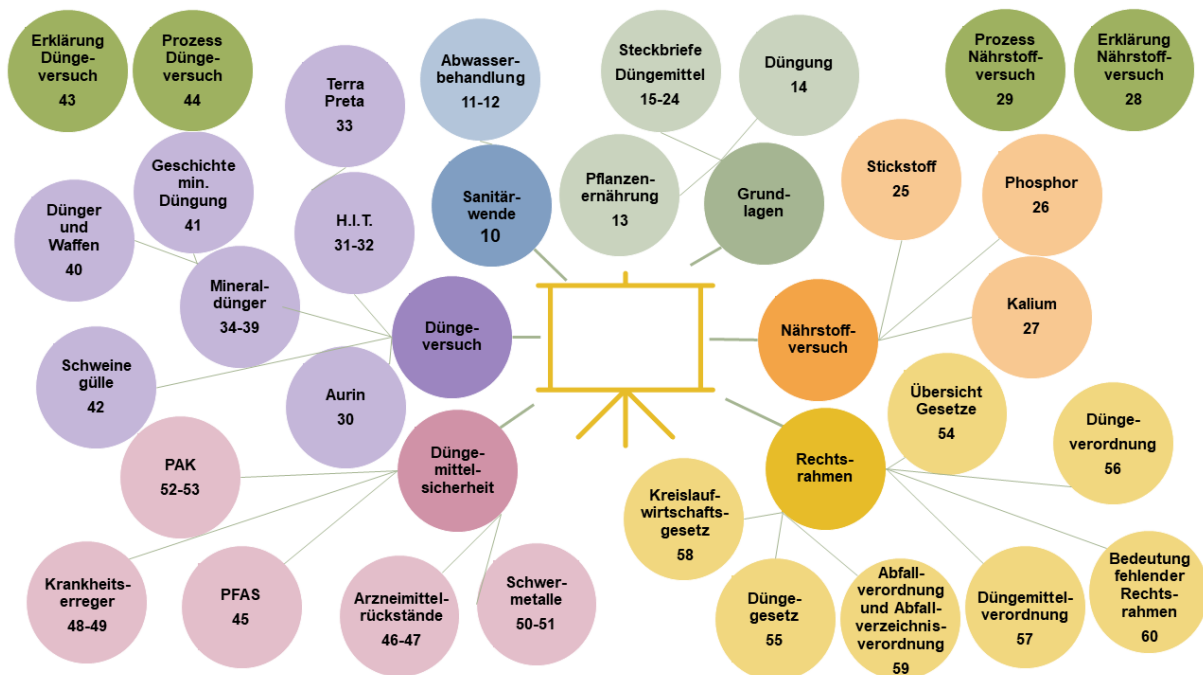


Abbildung 6: Übersicht Inhalte Bildungsmaterial, eigene Darstellung

Die Poster wurden insgesamt derart gestaltet, dass sie auch ohne die Demonstrations-Versuche als Bildungsmaterial genutzt werden können. Lediglich die Poster zum Themenbereich „Nährstoffversuch“

⁴ Die entsprechenden Poster sind im Ergebnisteil unter den angegebenen Abbildungsnummern zu finden.

wurden über ein interaktives Element direkt mit dem entsprechenden Versuch verbunden („Interaktive Elemente“, s.u.).

Die Versuchserklärungen und Einblicke in den Arbeitsprozess (oben links und oben rechts abgebildet) stehen außerhalb, da sie die Installation erklären und kein weitergehendes Wissen vermitteln.

Gestaltung

Bei der farblichen Gestaltung wurde auf ausreichende Kontrastierung geachtet, um die Poster visuell barrierearm zu halten. Das Layout der Poster wurde modular gestaltet und hat keine klare Reihenfolge. Damit wurde dem Publikum zum einen die Freiheit gelassen, selbst den inhaltlichen Einstieg zu wählen. Zum anderen ist durch die Modularität möglich, das Material außerhalb der vorliegenden Arbeit zu erweitern. Auch die Verwendung eines einzelnen Themenbereichs ist so möglich. Der Sprachstil ist informell gehalten.

Recherche und Quellen

Bei der Recherche für das Bildungsmaterial wurde darauf geachtet, möglichst laienverständliche Quellen auszuwählen. So sollte gewährleistet werden, dass sich das Publikum die Quellen bei Interesse selbst aneignen konnte. Auf den Postern wurde mit Fußnoten gearbeitet, um den Lesefluss nicht zu unterbrechen. Es wurde ein Textquellenverzeichnis sowie ein Bildquellenverzeichnis für alle Poster gemeinsam erstellt, das bei Interesse an das Publikum herausgegeben werden kann. Das Quellenverzeichnis ist im [Anhang A](#) zu finden. Die verwendeten Primärquellen (überwiegend Laboranalysen der verwendeten Düngemittel) konnten ebenfalls vom Publikum eingesehen werden.

Interaktive Elemente

Die Poster zum Nährstoff-Versuch wurden interaktiv mit dem Demonstrations-Versuch verknüpft. Sie enthalten Beschreibungen der Symptome, die bei Fehldüngungen auftreten können. Das Publikum sollte ermutigt werden, Fotos der Versuchspflanzen der jeweiligen Variante zuzuordnen. Auf den Postern sind dafür entsprechende Freiflächen vorgesehen, siehe Abbildungen 26 bis 28.

Auch die Kurzsteckbriefe der verschiedenen Düngemittel (siehe Abbildungen 16 bis 25) konnten interaktiv verwendet werden. Sie sollten dem Publikum als Grundlage dienen, um sich die verschiedenen Begriffe zu erarbeiten, mit denen Düngemittel kategorisiert werden können. Die Düngemittel konnten in einer Matrix nach Düngemitteltyp und Ausgangsstoff eingeordnet werden, siehe Abbildung 65.

3.3 Präsentation

Die Demonstrations-Versuche und das Bildungsmaterial wurden gemeinsam als Installation auf dem Messegelände der „re:publica“ in Berlin Kreuzberg ausgestellt. Die Installation war Teil des Themenbeitrags „Loo:topia“, genauer: der Ausstellungsstandort „KloMarkt der Möglichkeiten zur Sanitär- und Nährstoffwende“ und war dem Standort „PeePaPoo-Garden“ zugeordnet. Der Standort befand sich im Außenbereich der Messe und sollte das Publikum zum Verweilen einladen. Neben der vorliegenden Arbeit wurden im „PeePaPoo-Garden“ unter anderem Trocken-Trenn-Toiletten, eine Urin-Aufbereitungsanlage sowie der im Versuch verwendete Humusdünger „H.I.T.“ ausgestellt. Um die thematische Verknüpfung der einzelnen Beiträge zu unterstreichen, wurden die Ausstellungsstücke alle in Hochbeeten präsentiert. Die Hochbeete dienten gleichzeitig als Präsentationsfläche für die Bildungsmaterialien.

Neben den Versuchspflanzen fanden sich im Ausstellungsbereich noch weitere Salate, Tomaten und Zierpflanzen, die teilweise mit den verwendeten Recyclingdüngern behandelt worden waren. Das Publikum sollte dazu ermutigt werden, mit den Pflanzen zu interagieren und sie mit nach Hause zu nehmen und somit das Thema der „Sanitär- und Nährstoffwende“ symbolisch weiterzutragen.

Das Publikum sollte sich die Bildungsmaterialien eigenständig erschließen können. Die interaktiven Elemente sowie der Demonstrations-Versuch sollten jedoch auch dazu dienen, mit dem Publikum ins Gespräch zu kommen.

4. Ergebnisse

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit präsentiert. Zu Beginn findet sich eine fotografische Dokumentation der Pflanzversuche zu zwei Zeitpunkten und eine kurze Beschreibung der Versuchs-Ergebnisse. Im Anschluss sind die erstellten Bildungsmaterialien in der finalen Version aufgelistet. Die Darstellung der Ergebnisse schließt mit einer qualitativen Beschreibung der Interaktionen mit dem Messepublikum und einigen Eindrücken von der Installation.

4.1 Fotografische Dokumentation Demonstrations-Pflanzversuch

4.1.1 Dünge-Versuch

An Tag 22 unterschieden sich alle gedüngten Varianten farblich von der deutlich helleren Nullvariante, wie in Abbildung 7 zu sehen. Die Variante V war ähnlich groß wie die Nullvariante, die Varianten NPK und Aurin nur wenig größer. Die Varianten mit Humusdünger, H.I.T. und H.I.T. + Aurin unterschieden sich sehr deutlich in ihrer Größe und wirkten insgesamt weiter entwickelt.

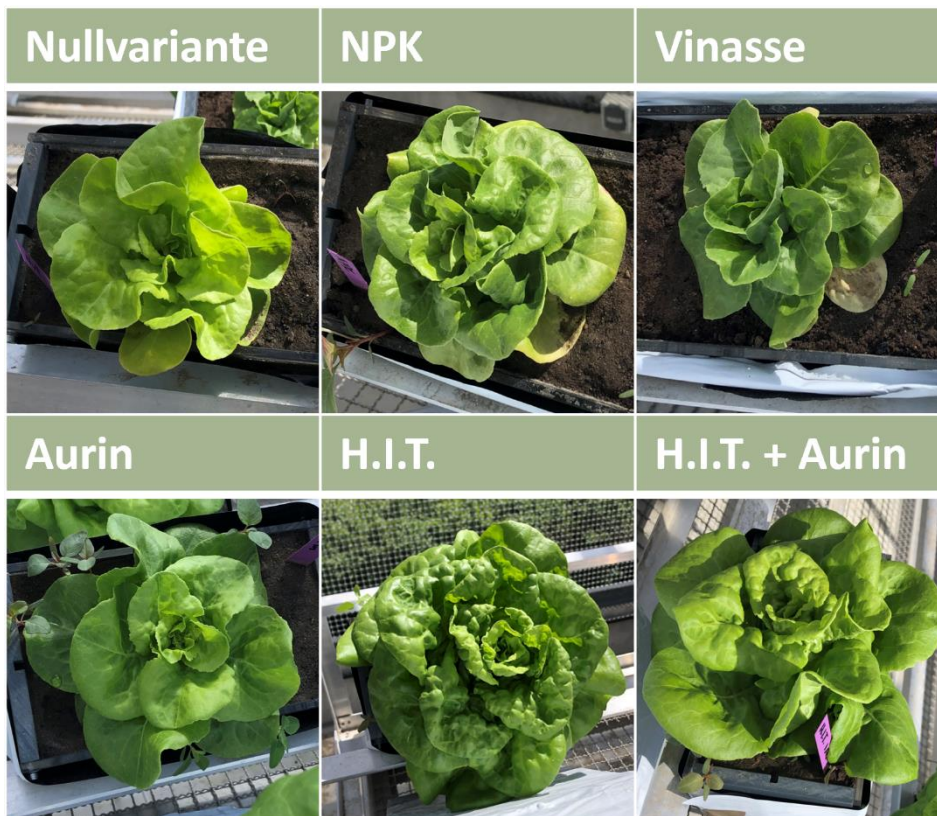


Abbildung 7: Dünge-Versuch an Tag 22

Zum Zeitpunkt der Ausstellung, an Tag 35, traten die Unterschiede noch deutlicher hervor, erkennbar in Abbildung 8. Die Nullvariante unterschied sich weiterhin farblich von den gedüngten Varianten. Die Variante V blieb im Wachstum hinter der Nullvariante zurück, die Varianten NPK und Aurin waren weiterhin nur wenig größer. Die Varianten mit Humusdünger H.I.T. und H.I.T. + Aurin waren deutlich größer und hatten bereits weit entwickelte Blüten.

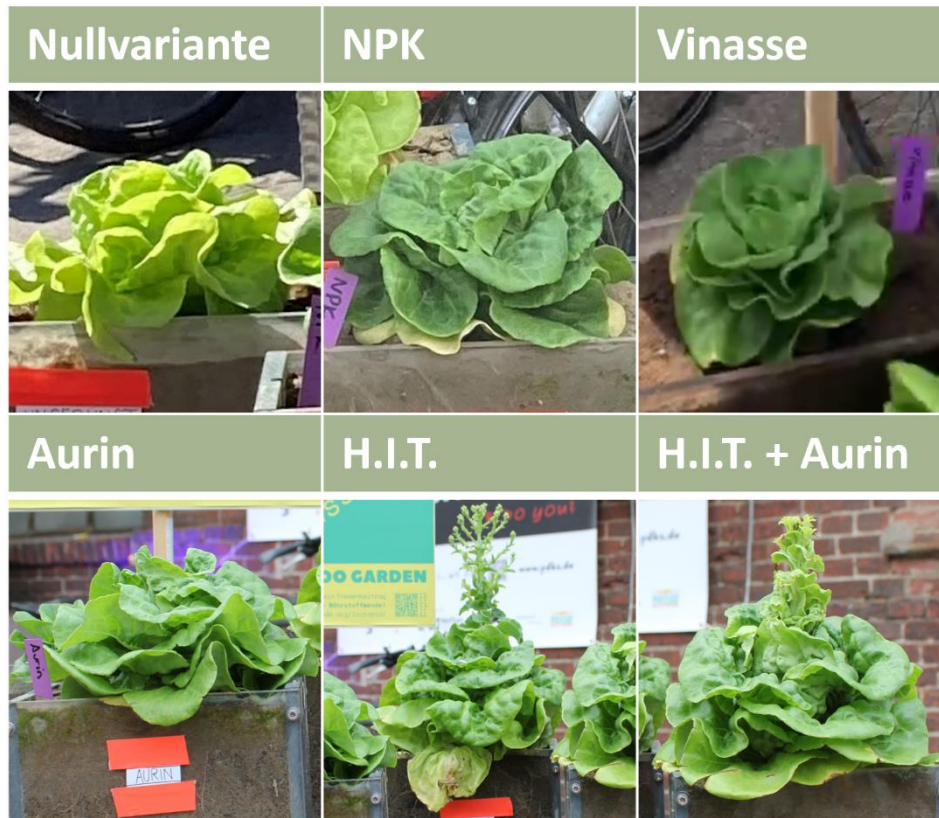


Abbildung 8: Dünge-Versuch an Tag 35

4.1.2 Nährstoff-Versuch

Abbildung 9 zeigt die Varianten des Nährstoff-Versuchs an Tag 23. Es ließen sich keine klaren Unterschiede zwischen den Varianten erkennen. Alle Pflanzen zeigten Blattrandnekrosen an den ältesten Blättern.

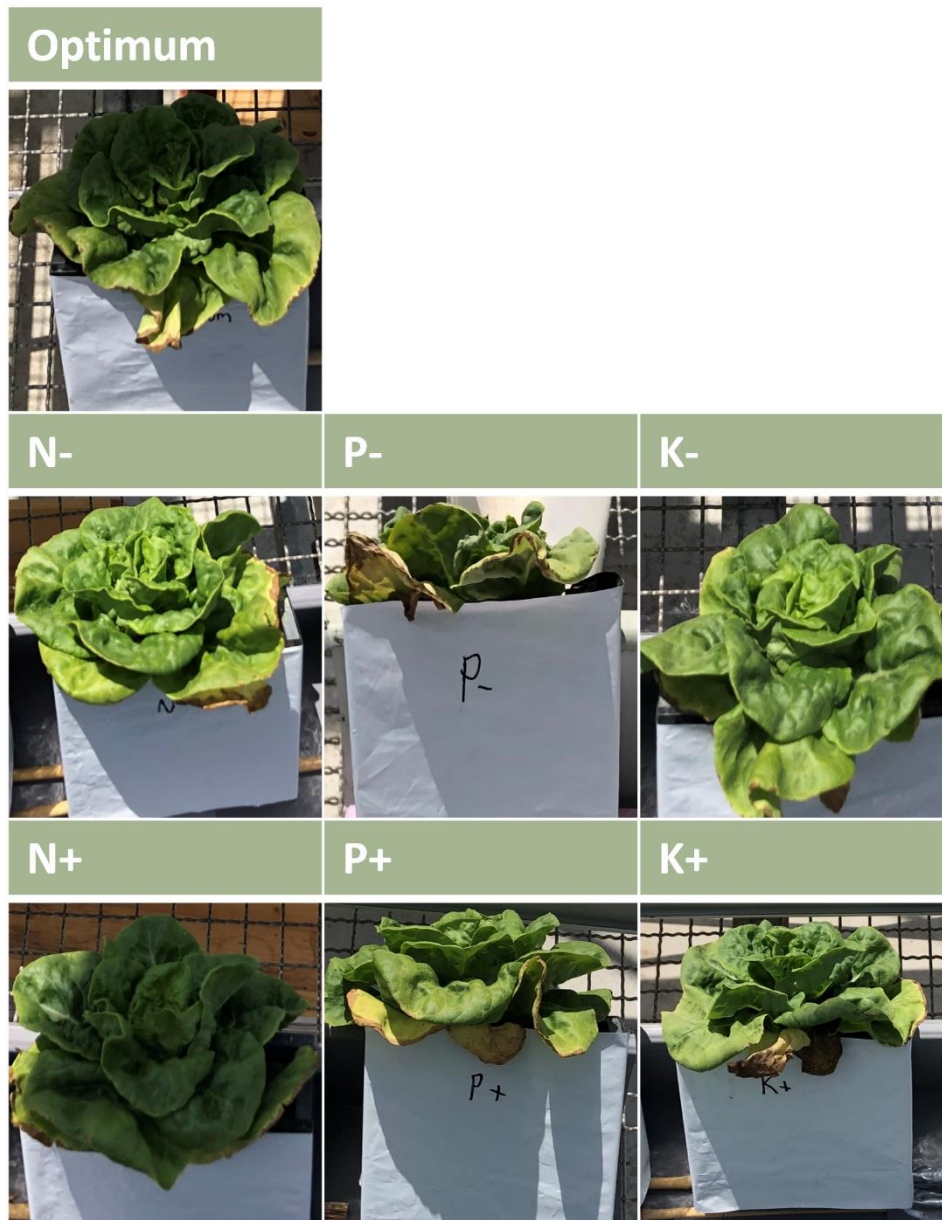


Abbildung 9: Nährstoff-Versuch an Tag 23

Zum Zeitpunkt der Ausstellung, an Tag 35, waren deutlichere Unterschiede zu erkennen, wie in Abbildung 10 zu sehen. Die Blattrandnekrosen hatten sich bei allen Varianten verstärkt. Bei allen Varianten, bis auf N-, hatte die Blüte eingesetzt. Diese war bei den Überschuss-Varianten und bei P- weiter fortgeschritten als bei den Varianten K- und Optimum. K- und Optimum zeigten zudem Nekrosen an den jüngeren Blättern bzw. dem Blütenansatz. Die Variante N- unterschied sich am deutlichsten von den anderen: Der Salatkopf hatte sich vom Stamm gelöst, die Pflanze war abgestorben.

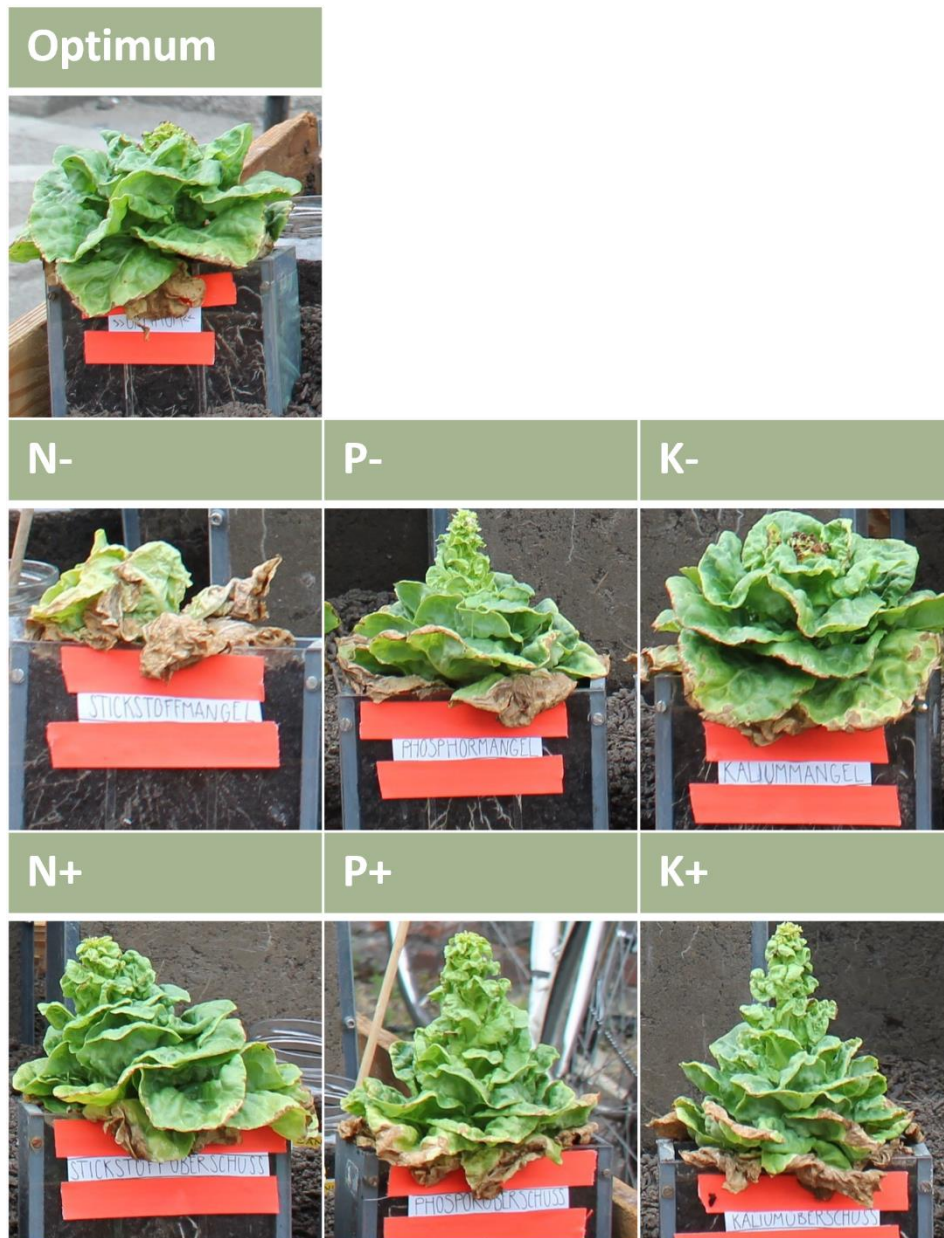


Abbildung 10: Nährstoff-Versuch an Tag 35

4.2 Bildungsmaterial

Im Folgenden findet sich eine Auflistung des erstellten Bildungsmaterials. Thematisch zusammengehörige Poster sind in gemeinsamen Unterkapiteln zusammengefasst. In den Beschriftungen der Abbildungen finden sich Hinweise zum modularen Aufbau: „Poster X“ und „Zusatz X“ sind jeweils als inhaltliche Einheit zu verstehen. Auch das jeweilige Druckformat ist der Beschriftung zu entnehmen.

Auf eine textliche Bezugnahme auf die Abbildungen in den folgenden Unterkapiteln wird verzichtet, da die Abbildungen das Ergebnis der vorliegenden Arbeit darstellen und für sich stehen.

Die Fußnoten im Fließtext beziehen sich auf die Quellenangaben, zu finden im [Anhang A](#) unter „Quellen“. Die Zahlen auf den Abbildungen beziehen sich auf die Bildquellen, ebenfalls in [Anhang A](#) gelistet, unter „Bildquellen“.

4.2.1 Sanitärwende



SANITÄRWENDE



Warum trennen?

Urin und Fäzes, die Grundstoffe der beiden Düngemittel, sind stofflich verschieden. Dementsprechend müssen sie unterschiedlich behandelt werden, um in sichere und wirksame Dünger weiterverarbeitet zu werden. Das gelingt am effizientesten, wenn die beiden Stoffe getrennt voneinander gesammelt werden. Zum einen, damit sie nicht durch andere Abfallstoffe verschmutzt werden, zum anderen damit sie möglichst unverdünnt bleiben.

Stoffstromtrennung in Toiletten bedeutet, dass Urin und Fäzes getrennt voneinander aufgefangen werden. Beispiele für solche Toiletten findet ihr auf unserem Klo.Markt der Möglichkeiten! Schon ausprobiert?

Hierbei werden gleich an mehreren Stellen Ressourcen gespart, denn die wasserlose Stoffstromtrennung macht nicht nur die Behandlung von Urin und Fäzes effizienter. Da kein Trinkwasser zum Spülen benutzt wird, muss im Anschluss auch keine Energie für dessen Reinigung verbraucht werden.¹³

Die Herstellungsprozesse der hier verwendeten Düngemittel **H.I.T.** und **Aurin** zeigen Wege auf, wie eine ressourcenschonendere, zirkuläre und regional wirtschaftende Sanitärversorgung aussehen könnte.

Wie läuft's eigentlich ab?

In einer herkömmlichen Toilette landen Urin und Fäzes gemeinsam in einer Schüssel und werden mit Trinkwasser (whaaaaa?!) in die Kanalisation gespült.

In der Kanalisation fließen viele, stofflich sehr verschiedene Abwasserströme zusammen:

- Regenwasser, das über urbane Flächen geflossen ist und Schwermetalle und andere Schadstoffe mit sich nimmt
- Nutzwasser aus Küche und Bad, das voll ist mit Chemikalien, Mikroplastik und Essensresten
- Industrieabwasser, das mit Schadstoffen belastet sein kann

Und eben

- Menschliche Fäkalien, die Krankheitserreger und Medikamentenrückstände ins Abwasser bringen können

Dieses brisante Gebräu wird dann in einer von Deutschlands über 100.000 Kläranlagen aufwendig aufbereitet und anschließend wieder den natürlichen Gewässern zugeführt.

Vieles, das während der Reinigung aus dem Abwasser entfernt wird, landet am Ende des Prozesses im sogenannten Klärschlamm – auch die wertvollen Nährstoffe aus Urin und Fäzes! Nur sind die in der Kanalisation mit den ganzen anderen, teils sehr heiklen Stoffen vermischt worden.

Früher wurde Klärschlamm auch über die Landwirtschaft als Düngemittel entsorgt. Weil er aber unter anderem sehr hohe Schwermetallgehalte aufweist, wird die landwirtschaftliche Verwendung von Klärschlamm immer weiter eingeschränkt.¹⁴

Wenn es doch nur eine Möglichkeit gäbe, die Nährstoffe herauszufiltern, bevor sie in die Kanalisation gelangen...

Das Antibiotika-Problem

Über unsere Ausscheidungen gelangen auch Krankheitserreger ins Abwasser. Manche Erreger sind gegen Antibiotika resistent. In Kläranlagen können die Keime die idealen Bedingungen finden, um ihre Resistenzen an andere, noch nicht resistente Bakterien weiterzugeben oder ihre Resistenzen mit anderen zu kombinieren. So können Kläranlagen zu Brutstätten für multiresistente Keime werden. Da diese von der Wasseraufbereitung nicht vollständig erfasst werden, gelangen die Keime über den Kläranlagen-Abfall in unsere Gewässer.¹⁵

Von der Einbahnstraße in den Kreisverkehr!

Unser Sanitärsystem ist ein Paradebeispiel für Linearwirtschaft.

Die Nährstoffe wandern die Wertschöpfungskette entlang. Sie kommen z.B. von der Phosphatmine aufs Feld, auf den Teller, ins Abwasser. Um die Nährstoffe da wieder rauszubekommen, muss das Abwasser unter großem Energieaufwand gereinigt werden. Und weil sie auf den Feldern nun fehlen, müssen wir wieder mit synthetischen Düngemitteln aus den verschiedensten Quellen, z.B. aus der Phosphatmine, nachhelfen.

Momentan geben wir immer mehr Nährstoffe von oben in das System, müssen sie unten wieder entsorgen und verunreinigen dabei wertvolles Trinkwasser. Stattdessen könnten wir die Nährstoffe in einem Kreislauf halten. Das würde nicht nur Trinkwasser sparen, sondern auch Umweltprobleme minimieren, die unser aktuelles Dünge- und Abwassersystem mit sich bringt.

Wasserlose Trenntoiletten legen den Grundstein, um aus dieser Einbahnstraße einen Kreisverkehr zu machen.

Abbildung 11: Poster Sanitärwende, Format DIN A2

ABWASSERBEHANDLUNG*

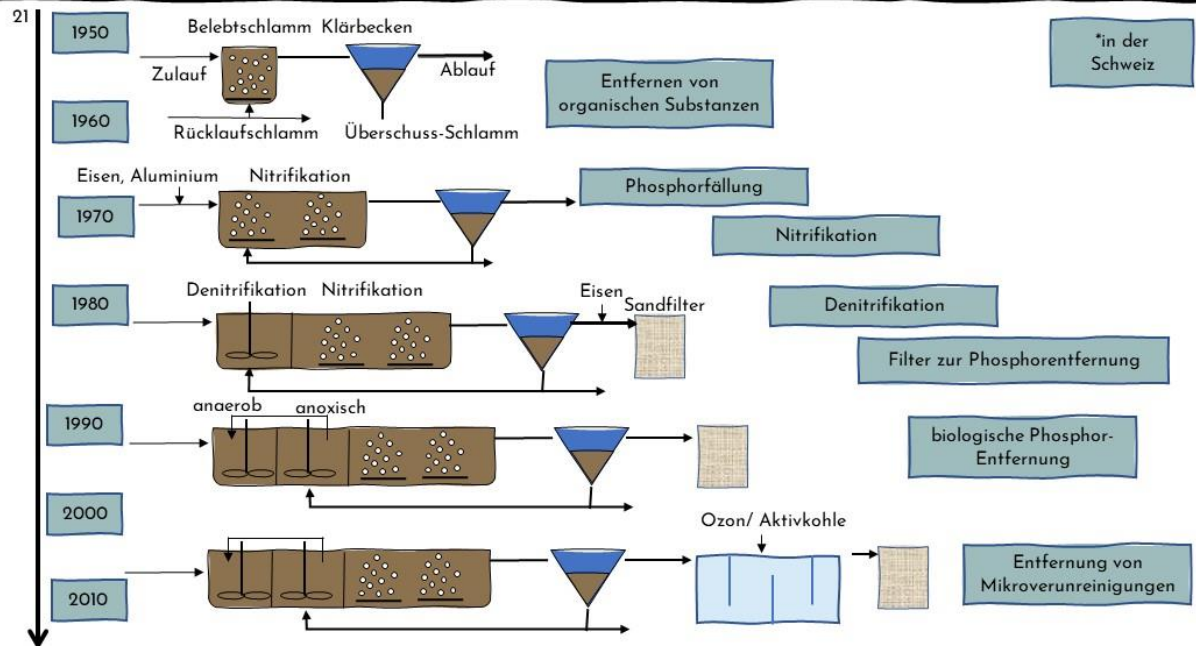


Abbildung 12: Darstellung Abwasserbehandlung, Format DIN A4



Abbildung 13: Zusatz Darstellung Abwasserbehandlung, Format DIN A4

4.2.2 Grundlagen

WIE ERNÄHREN SICH PFLANZEN?

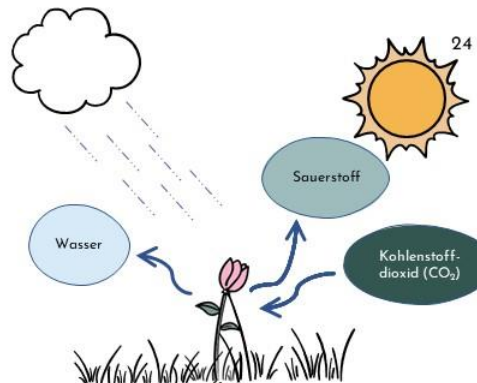


Zwar können Pflanzen sich, anders als wir, von Sonnenlicht und Luft ernähren- für ein gesundes Wachstum benötigen sie aber noch jede Menge Nährstoffe. Diese nehmen sie über ihre Wurzeln auf. Verschiedene Pflanzen bilden unterschiedliche Wurzelsysteme aus. Manche strecken ihre Wurzeln tief in die Erde, sogenannte Tiefwurzler. Andere wachsen eher in die Breite, die nennt man Flachwurzler. Die Wurzeln wachsen zu den Nährstoffen hin, was man Interzeption nennt. Den größten Teil der Nährstoffe nehmen die Wurzeln aber über das Bodenwasser auf. Überirdisch geben Pflanzen Wasser an die Luft ab, sie schwitzen oder transpirieren. Dadurch entsteht ein Sog im Pflanzenkörper, der das Bodenwasser in die Wurzeln zieht. Alle Nährstoffe, die im Wasser gelöst sind, gelangen so in die Pflanze. Manche Nährstoffe wandern auch von alleine in die Wurzeln, durch die sogenannte Diffusion.⁵

Wie bei einer Tonne, bei der die kürzeste Daube den Füllstand vorgibt, gibt der Nährstoff, von der die Pflanze verhältnismäßig am wenigsten zur Verfügung hat vor, wie gut sie wachsen kann. Wenn der Pflanze ein bestimmter Nährstoff fehlt, kann sie auch die übrigen nicht so gut verwerten.¹

25





Pflanzen können den Boden um sich herum beeinflussen, um an Nährstoffe zu gelangen, die fester mit den Bodenteilchen verbunden und nicht schon im Bodenwasser gelöst sind. Dafür geben sie bestimmte Stoffe ab, die den pH-Wert um die Wurzeln herum verändern und Nährstoffe dadurch verfügbar machen. Manche Pflanzen gehen auch Lebensgemeinschaften mit bestimmten Bakterien oder Pilzen ein, die Nährstoffe für sie einfangen.³

Hauptnährstoffe

- Magnesium
- Kalium
- Kalzium
- Schwefel
- Stickstoff (Ammonium und Nitrat)
- Phosphor

Nebennährstoffe

- Zink
- Mangan
- Eisen
- Bor
- Chlor
- Molybdän
- Kupfer

Wo kommen die ganzen Nährstoffe her?

Anders als Tiere und Menschen können Pflanzen Nährstoffe aufnehmen, die aus Mineralen, also aus Gesteinen stammen. Durch physikalische und chemische Prozesse werden die Nährstoffe mit der Zeit aus den Gesteinen gelöst. Das nennt man Verwitterung. Der mineralische Anteil ist auch wichtig für die Durchlüftung und die Wasserversorgung eines Bodens: Je kleiner die Gesteinsteilchen, desto kompakter der Boden. Hier kommen Wurzeln nur schwer durch. Sind die Teilchen alle sehr groß, kann Wasser nicht mehr gut gehalten werden. Eine Mischung von großen und kleinen Körnern ist für viele Pflanzen am besten. Die großen sorgen für eine gute Durchlüftung und geben den Wurzeln Platz zum hindurchwachsen. An den kleinen Körnern, die sich in die Hohlräume zwischen den großen setzen können, kann Wasser haften bleiben, das die Pflanzen aufnehmen können. Böden haben auch einen organischen Anteil. Der besteht aus abgestorbenen Pflanzenteilen und den Bodenlebewesen. Die im Boden lebenden großen und kleinen Tierchen zersetzen das organische Material und machen dadurch die darin enthaltenen Nährstoffe wieder für Pflanzen verfügbar. Bei manchen Nährstoffen, beispielsweise bei Stickstoff, ist das ein ziemlich komplexer Prozess. Die organische Substanz im Boden wird auch Humus genannt. Wenn die Nährstoffe schwer abzubauen sind, spricht man von Dauerhumus. Wenn die Nährstoffe leichter freizusetzen sind, heißt das Nährhumus. Meistens liegt eine Mischung aus beidem vor. Die organische Substanz im Boden ist für die Pflanzen sehr wichtig: Zum einen als Nährstoffspeicher, zum anderen auch als Wasserspeicher- sie kann sich besser mit Wasser vollsaugen als die Gesteinsteilchen.³

Abbildung 14: Poster Pflanzenernährung, Format DIN A3

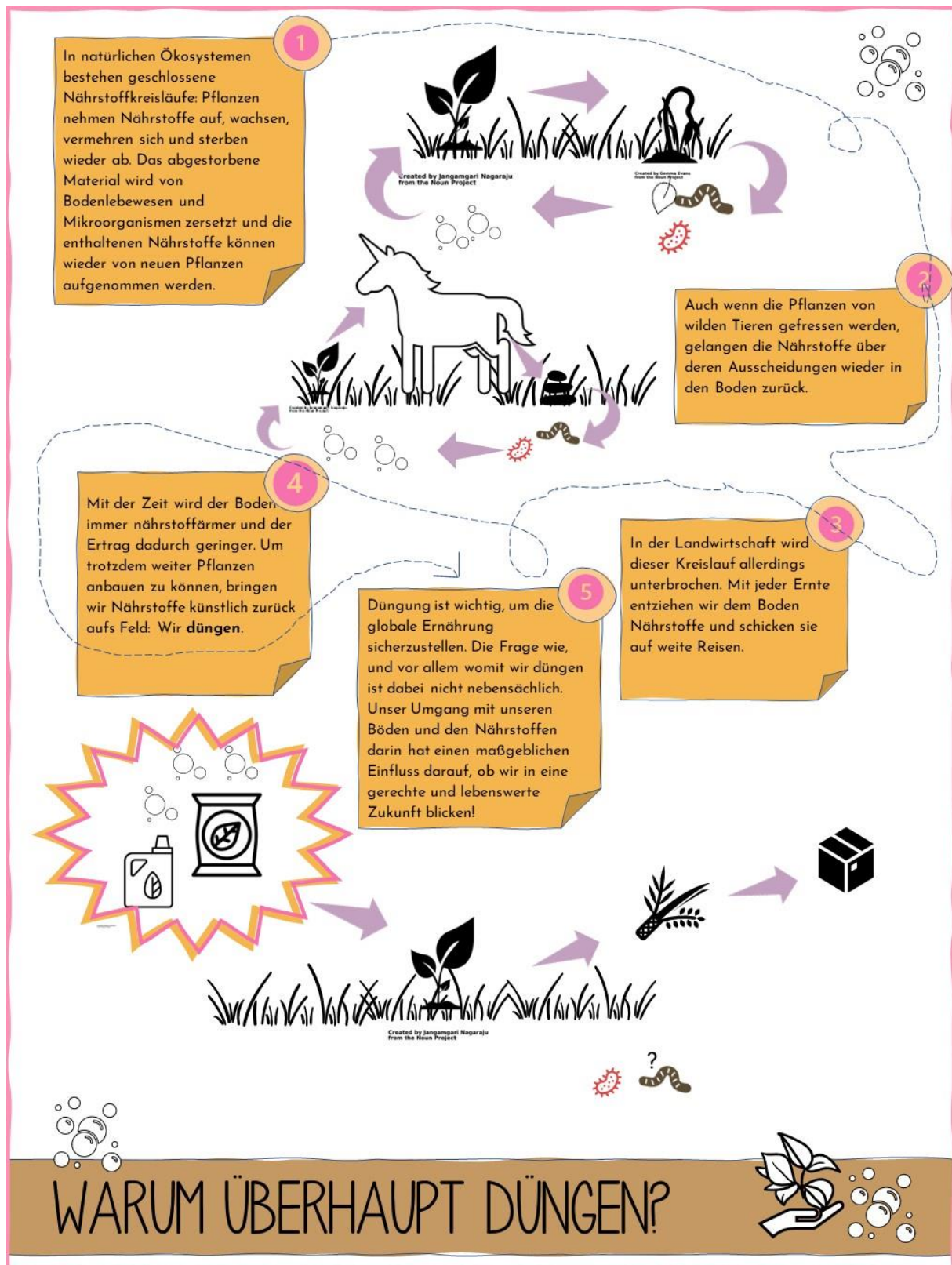


Abbildung 15: Poster Düngung, Format DIN A3

LEGUMINOSEN

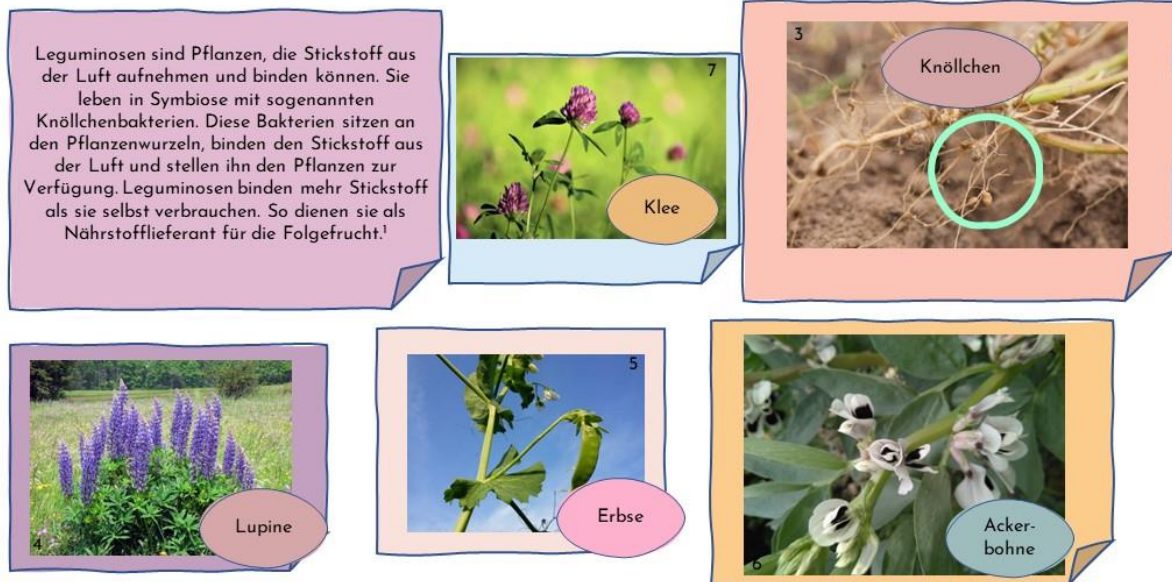


Abbildung 16: Steckbrief Leguminosen, Format DIN A4

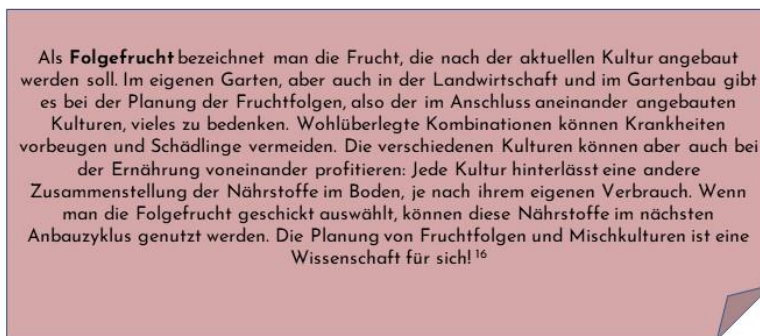


Abbildung 17: Zusatz Steckbrief Leguminosen, Format DIN A4



Abbildung 18: Steckbrief Getreidestroh, Format DIN A4

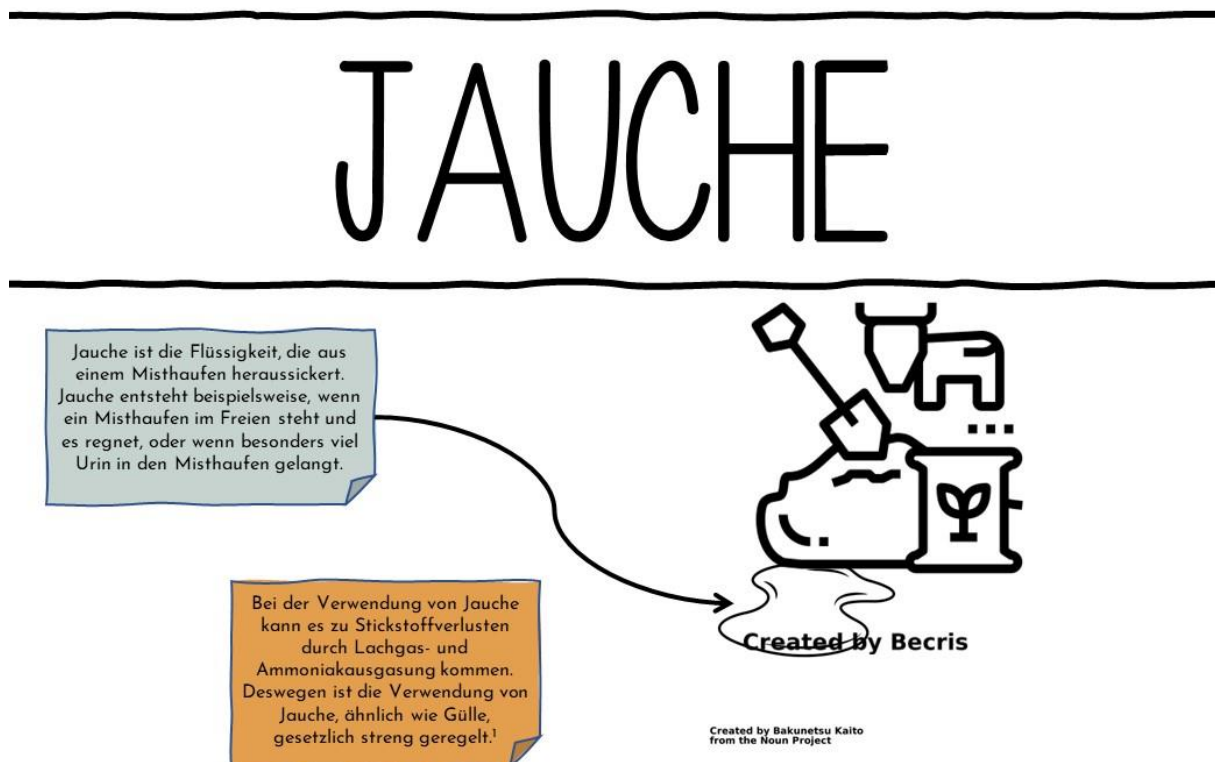


Abbildung 19: Steckbrief Jauche, Format DIN A4



Abbildung 20: Steckbrief Stallmist, Format DIN A4



Abbildung 21: Steckbrief Gülle, Format DIN A4

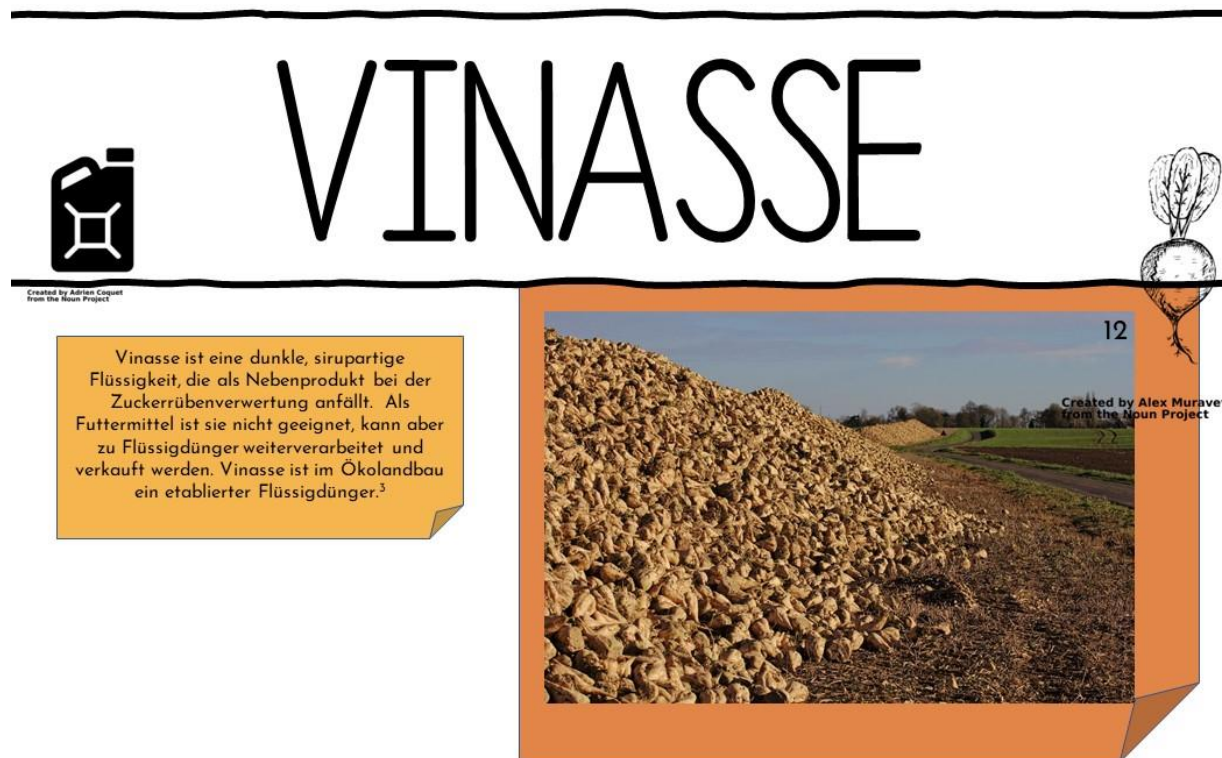


Abbildung 22: Steckbrief Vinasse, Format DIN A4



Abbildung 23: Steckbrief Aurin, Format DIN A4

MINERALSTOFFDÜNGER

Mineralstoffdünger sind synthetische Dünger aus anorganischen, also mineralischen Quellen. Die Nährstoffe werden entweder technisch aufwendig und mit viel Energie aus der Luft gebunden – wie bei Stickstoff. Oder sie stammen aus dem Bergbau – wie bei Phosphor oder Kalium. Die Entwicklung dieser künstlichen Dünger hat zu immensen Ertragssteigerungen in der Landwirtschaft geführt, bekannt als „Grüne Revolution“. Die Endlichkeit der abgebauten Rohstoff-Vorräte und die teilweise massiven Umweltschäden sowohl durch den Bergbau als auch durch die künstliche Nährstoffzufuhr in unsere Ökosysteme stellen inzwischen aber ein drängendes Problem dar.

Mineraldünger werden häufig nach den Hauptnährelementen benannt, die sie enthalten. Stickstoff-Kunstdünger nennt man N-Dünger. Enthalten sie auch Kalium, spricht man von NK-Düngern. NPK-, also Stickstoff-Phosphor-Kalium-Dünger nennt man auch Volldünger, weil sie die drei wichtigsten Nährelemente, und häufig auch noch mehr, enthalten.

Düngerfabrik in Kirowo-Tschepezk (Russland)

13



14

Phosphat-Tagebau in Togo



Abbildung 24: Steckbrief Mineralstoffdünger, Format DIN A4

TIERMEHL



Knochen, Hörner, Blut, Federn, Fleisch- und Fischabfälle aus der Tiermast werden verschiedentlich behandelt (bspw. zerkleinert und entfettet) und zu Düngemitteln weiterverarbeitet.

Die Abfälle aus der Fleischindustrie werden in den Düngegesetzen „tierische Nebenprodukte“ genannt.¹



15

16

Die Verwendung von Blut- und Fleischmehl als Düngemittel ist seit der BSE-Krise umstritten, in Deutschland aber nicht verboten.¹⁶



Abbildung 25: Steckbrief Tiermehl, Format DIN A4

4.2.3 Nährstoffversuch

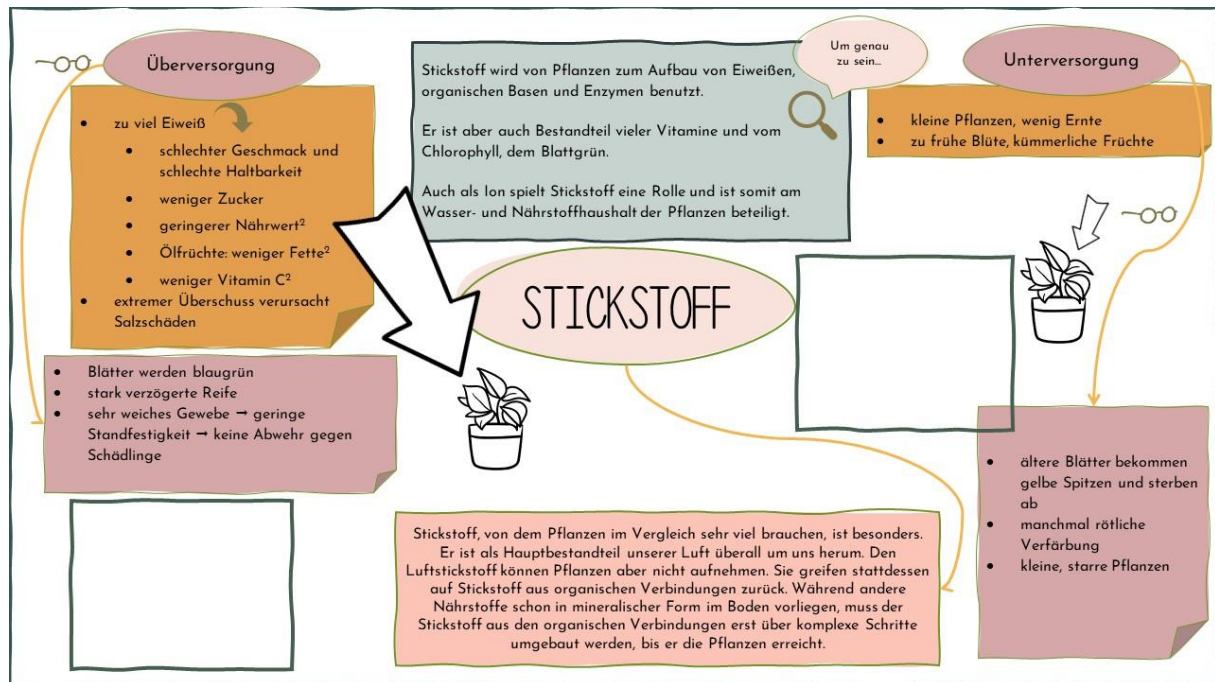


Abbildung 26: Steckbrief Stickstoff, Format DIN A3

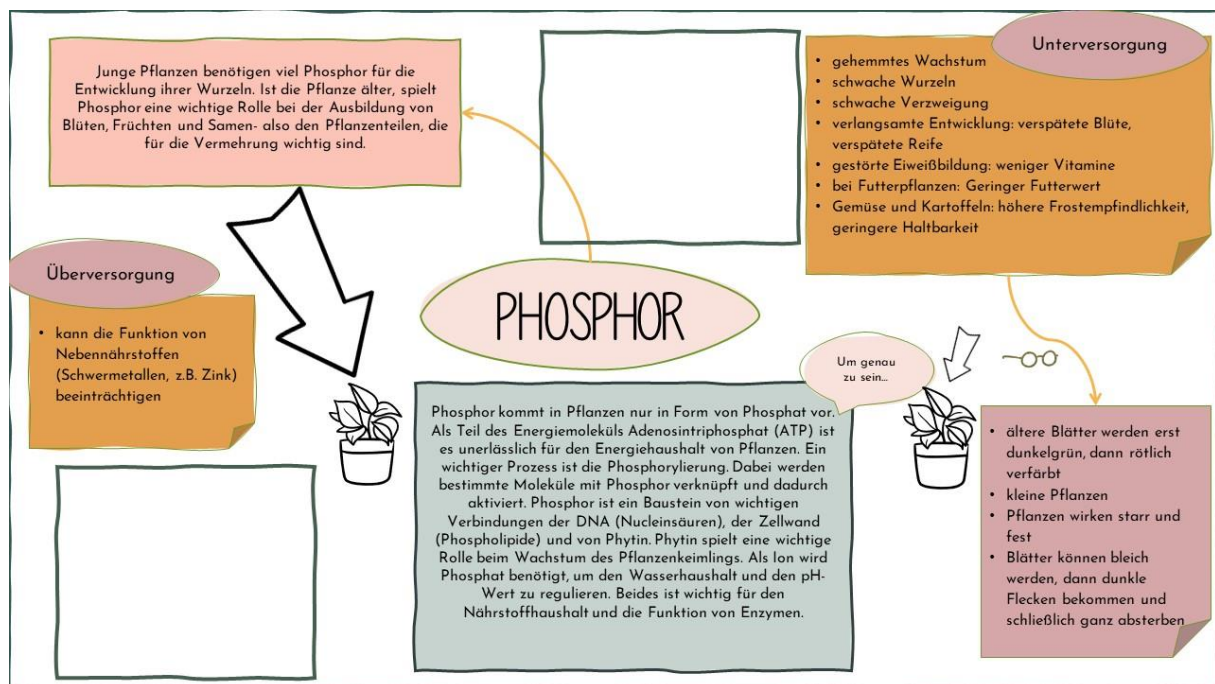


Abbildung 27: Steckbrief Phosphor, Format DIN A3

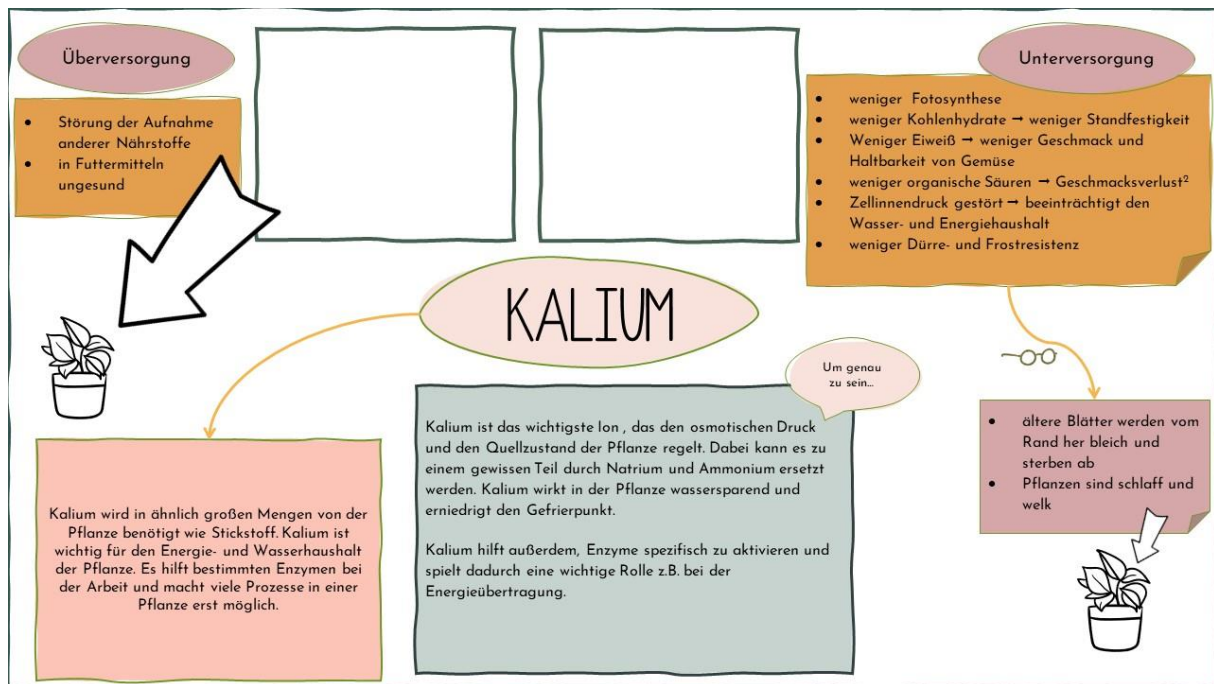


Abbildung 28: Steckbrief Kalium, Format DIN A3

WAS WÄCHST DENN HIER?!

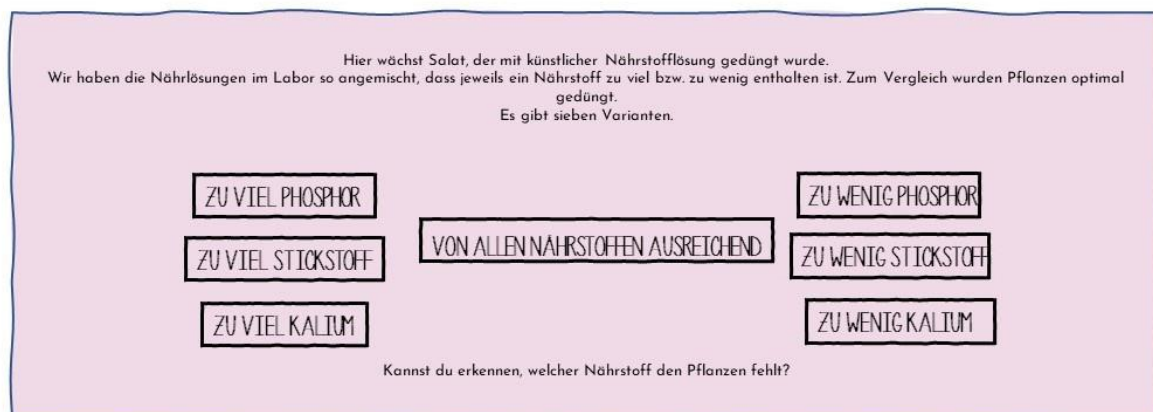


Abbildung 29: Kurzbeschreibung Nährstoff-Versuch, Format DIN A4

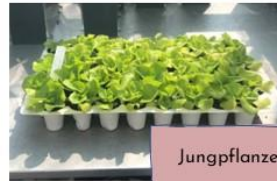
HINTER DEN KULISSEN



Im Labor:
Nährlösung anmischen



Nährstofffreie Erde
einfüllen



Jungpflanzen anziehen



Wurzeln gegen Licht
schützen



Kästen schrägstellen, damit
die Wurzeln gegen das
Fenster wachsen

Abbildung 30: Übersicht Prozess Nährstoff-Versuch, Format DIN A4

4.2.4 Düngeversuch

AURIN

Herstellung

Aurin ist ein flüssiger Recycling-Mineraldünger aus menschlichem Urin und wird in der Schweiz von der Firma Vuna hergestellt. Der Urin für diesen Dünger wird getrennt von Fäzes und wasserlos in Urinalen und Trenntoiletten gesammelt.

Lagert man unbehandelten Urin, verwandelt sich der darin enthaltene Stickstoff in flüchtiges Ammoniak – das riecht nicht nur übel sondern führt auch zu erheblichen Nährstoffverlusten. Um das zu verhindern, hat VunaNexus einen Prozess entwickelt, mit dem der **Stickstoff** im Urin **stabilisiert** wird.

Hierfür wird die sogenannte Nitrifikation genutzt, bei der das flüchtige Ammoniak in stabileres Nitrat umgewandelt wird. Die Nitrifikation stellt sicher, dass der gesamte Stickstoff verwertet werden kann und keine unangenehmen Gerüche entstehen.

Im gleichen Schritt werden organische Schadstoffe abgebaut.

Im Anschluss folgt die **Reinigung** des Urins. In diesem Schritt werden durch einen Aktivkohlefilter Hormone und Medikamentenrückstände entfernt.

Im letzten Schritt wird der Urin **verdampft**. Die hohen Temperaturen töten zum einen mögliche Krankheitserreger ab, das nennt man Pasteurisierung. Zum anderen wird durch das Verdampfen das Volumen erheblich reduziert, das nennt man Destillation. So entsteht ein konzentrierter Mineraldünger. Ein Nebenprodukt dieses letzten Herstellungsschrittes ist destilliertes Wasser.¹⁰

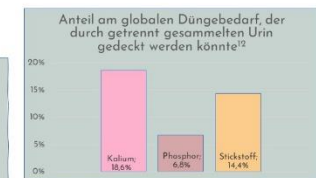


Was steckt drin?*

%	Zusammensetzung
4,2	N Gesamtnitrostoff
2,1	NA Ammoniak-Stickstoff
2,1	NS Nitrat-Stickstoff
0,4	P ₂ O ₅ Phosphat
1,8	K ₂ O Kaliumoxid
1,7	Na Natrium
0,8	SO ₂ Schwefeltrioxid
3,1	Cl Chlorid
0,0015	B Bor
0,0001	Fe Eisen
0,0012	Zn Zink

§

Auch in der Schweiz müssen neuartige Düngemittel ein Zulassungsverfahren durchlaufen. Wie in Deutschland muss die Sicherheit und die Wirksamkeit des Düngers nachgewiesen werden. Sobald garantiert ist, dass von dem Dünger kein Schaden ausgehen kann, steht der Zulassung nichts mehr im Wege. In Deutschland gibt es allerdings zusätzlich eine abschließende Liste mit Ausgangsstoffen, aus denen Recyclingdüngemittel bestehen dürfen. Um Düngemittel aus menschlichen Fäkalien für den deutschen Markt zuzulassen, müsste diese Liste erweitert werden. Hierfür können Anträge beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft gestellt werden, die dann vom Beirat für Düngemittelfragen beurteilt werden. In Deutschland ist die Zulassung neuer Recyclingdüngemittel also eine politische Entscheidung.¹¹



*in einem Liter laut Hersteller

Abbildung 31: Poster Aurin, Format DIN A2

H.I.T.

Hergestellt in Eberswalde auf deutschlandweit einzigartiger Verwertungsanlage

Humusdünger aus den Inhalten von Trockentoiletten von finizio

Herstellung

Im H.I.T. stecken vor allem die Feststoffe, also Fäzes und Einstreu- der Urin wird getrennt gesammelt und auch getrennt weiterverarbeitet (vgl. Aurin).

Am Anfang des Prozesses steht die **Hygienisierung** der Toiletteninhalte. Hierbei helfen Mikroorganismen. Die Stoffe werden in einen großen Container gefüllt, der durch einen Lüfter mit Sauerstoff versorgt wird. Bei der Arbeit der Mikroorganismen entsteht Wärme, wodurch die Stoffe im Container auf über 70°C erhitzt werden. Durch diese hohen Temperaturen sterben Krankheitserreger ab. Nach etwa einer Woche Erhitzen ist das Material hygienisiert, also von Krankheitserregern befreit und kann weiterverarbeitet werden.

wasserlos?!

Auf Festivals, in Gemeinschaftsgärten oder auch im öffentlichen Raum, Trockentrenntoiletten werden immer beliebter. Das Prinzip ist denkbar einfach. Wie der Name schon verrät, werden Urin und Fäzes (so nennt man Scheiße in der Wissenschaft) getrennt voneinander und trocken, also ohne Wasser, gesammelt. Nach dem Toilettengang wird ein wenig Streu in den Auffangbehälter geworfen und wer es schonmal ausprobiert hat, weiß: Das muss nicht stinken! Je trockener die Scheiße, desto weniger Geruch.

Trockentrenntoiletten sind eine wasser-, chemie- und stinkfreie Alternative zu herkömmlichen Sanitärsystemen. Und wenn du Glück hast, gibst du mit deinem Toilettengang sogar noch etwas Wertvolles zurück!

Im nächsten Schritt folgt die **Humifizierung**. Das hygienisierte Material wird zu länglichen Haufen, den sogenannten „Mieten“ aufgeschüttet. An diesem Punkt werden wertvolle Zuschlagstoffe in das Material eingearbeitet: Tonminerale, Grünschnitt und Pflanzenkohle. Nun soll das organische Material in den Mieten zu Humus verwandelt werden. An diesem Punkt besteht ein Unterschied zur herkömmlichen Kompostierung: Das organische Material soll nicht einfach nur zersetzt, also auseinandergenommen werden, sondern zu stabilen Ton-Humus-Komplexen zusammengesetzt werden. Hierfür ist ausreichend viel Sauerstoff und Feuchtigkeit nötig, die Mieten werden also bewässert und regelmäßig gewendet, damit das Material belüftet werden kann. Auch hier spielt wieder die Temperatur eine wichtige Rolle: In diesem Schritt darf es nicht zu heiß werden, damit die Mikroorganismen, die die Ton-Humus-Komplexe bauen, ihre Arbeit tun können.

Wenn der Umwandlungsprozess in den Mieten abgeschlossen ist, wird das Material noch gründlich **gesiebt**. Zum einen wird der fertige Dünger dadurch einheitlicher und leichter anwendbar, zum anderen werden so mögliche Fremdstoffe entfernt.

Als **Folgefrucht** bezeichnet man die Frucht, die nach der aktuellen Kultur angebaut werden soll. Im eigenen Garten, aber auch in der Landwirtschaft und im Gartenbau gibt es bei der Planung der Fruchtfolgen, also der im Anschluss aneinander angebauten Kulturen, vieles zu bedenken. Durch wohlüberlegte Kombinationen können Krankheiten vorgebeugt und Schädlinge vermieden werden. Die verschiedenen Kulturen können aber auch bei der Ernährung voneinander profitieren: Jede Kultur hinterlässt eine andere Zusammenstellung der Nährstoffe im Boden, je nach ihrem eigenen Verbrauch. Wenn man die Folgefrucht geschickt auswählt, können diese Nährstoffe im nächsten Anbauzyklus ausgenutzt werden. Die Planung von Fruchtfolgen und Mischkulturen sind eine Wissenschaft für sich!

*in einem Liter unserer Probe

Was steckt drin?*

	organisch gebunden	direkt pflanzenverfügbar
Stickstoff	4,9 g	0,5 g
Phosphat	1,9 g	2,2 g
Magnesium	3,7 g	0,3 g
Kalium	1,2 g	4 g

Ein großer Teil der Nährstoffe muss erst von Mikroorganismen zersetzt werden, bevor die Pflanzen darauf zugreifen können. Dadurch hat H.I.T. eine langfristige Düngewirkung, von der auch die sogenannte Folgefrucht profitieren kann.

H.I.T. gehört zu den organischen Düngern, die Nährstoffe kommen also vor allem aus der belebten Umwelt und nur zu geringen Teilen aus der unbelebten (also aus Mineralen und Gesteinen). Dadurch hat dieser Dünger neben der Nährstofflieferung noch weitere Funktionen, die die Pflanzen in ihrem Wachstum unterstützen können. Das organische Material im Humusdünger wirkt sich positiv auf das Bodengefüge aus. Durch seine lockere Struktur belüftet er den Boden, während gleichzeitig im organischen Material große Mengen Wasser gespeichert werden können. Beides wirkt sich positiv auf die Pflanzen aus. In einem gut durchlüfteten Boden fühlen sich außerdem auch Bodenlebewesen wohl.

Abbildung 32: Poster H.I.T., Format DIN A2



Abbildung 33: Zusatz Poster H.I.T., Format DIN A4



TERRA PRETA

Große Zivilisationen brauchen fruchtbare Böden, um sich ernähren zu können. Aus diesem Grund dachte man lange Zeit, dass in den Regenwäldern am Amazonas niemals große Kulturen existiert haben könnten. Dort ist der Boden nämlich sehr nährstoffarm und die Humusschicht sehr klein, da unter tropischen Bedingungen die organischen Stoffe sehr viel schneller zersetzt werden als in anderen Teilen der Welt. Durch die immer wiederkehrenden starken Regenfälle werden Nährstoffe zudem fortlaufend ausgewaschen. Als Forschende in den 1960er Jahren in Kolumbien auf Relikte uralter Hochkulturen trafen, stellte sie das zunächst vor ein großes Rätsel: Wie sollten all diese Menschen ernährt worden sein?

Bodenuntersuchungen förderten schließlich eine große (Wieder-) Entdeckung zutage: Terra Preta do Indio.



Vieles deutet zudem darauf hin, dass die Indigenen bereits wussten, dass menschliche Fäkalien getrennt voneinander gesammelt werden sollten und dass Urin einen wertvollen Flüssigdünger darstellt. Dieses alte Wissen hat seinen Weg zurück in die westliche Welt gefunden und stellt nun unser moderne Nährstoff- und Sanitärsystem infrage.

Terra Preta zeichnet sich durch mächtige, schwarze, humusreiche Oberböden aus und unterscheidet sich damit deutlich von den tropentypischen roten, nährstoffarmen Böden. Die Schwarzböden sind über 2000 Jahre alt und immer noch fruchtbar. Inzwischen steht fest: Diese Böden sind menschengemacht, es handelt sich also um Kulturböden. Tonscherben, Überreste von Knochen und Gräten sowie menschlichen Fäkalien, aber auch Holzkohle und Asche geben Hinweise darauf, dass hier ganz bewusst Humusaufbau durch die Rückführung von organischem Material betrieben wurde. Wie genau der Prozess abgelaufen ist, ist noch Gegenstand der Forschung. Sicher ist jedoch, dass Küchenabfälle und menschliche Fäkalien gemeinsam mit Pflanzenkohle in den Boden eingebracht wurden, wo sie über Jahrhunderte hinweg die Bodenfruchtbarkeit erhöhten. Die Pflanzenkohle wurde vermutlich zunächst zum Kochen benutzt und anschließend als Einstreu in Tongefäße weiterverwendet, die als Trockentoiletten dienten. Wurden diese anschließend luftdicht verschlossen und beispielsweise vergraben, konnten unangenehme Gerüche, aber auch die Ausbreitung von Krankheitserregern unterbunden werden. Auch Küchenabfälle wurden wahrscheinlich auf ähnliche Weise in den Boden eingebracht. Die Holzkohle spielt dabei eine wichtige Rolle, da sie durch ihre vielen Poren eine riesige Oberfläche hat, auf der wichtige Mikroorganismen ihre Arbeit tun können. Die Poren können außerdem eine große Menge Wasser speichern, was ebenfalls zu einer Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit führt.⁴¹

Abbildung 34: Infotext Terra Preta, Format DIN A3

MINERALDÜNGER

Die Menschheit bringt den Planeten Erde, so wie wir ihn kennen, an seine Belastungsgrenze. Was genau das bedeutet, wurde vor über zehn Jahren von einem Team aus 29 Forschenden rund um Johan Rockström in einer Studie untersucht. In einem Artikel stellten sie das Konzept der „planetaren Grenzen“ vor, mit dem sie zehn Prozesse ausmachen, die das Überleben der Menschheit auf der Erde bestimmen. Werden bei diesen Prozessen bestimmte Grenzen überschritten, verlässt die Menschheit den sicheren Bereich und setzt ihre Zukunft aufs Spiel.

Bei Veröffentlichung der Studie waren bereits drei Grenzen sicher überschritten. Zwei davon sind seither in aller Munde: Der Klimawandel und das Artensterben. Die dritte Grenze, der Stickstoffkreislauf, findet weniger Beachtung, obwohl die Situation auch hier höchst alarmierend ist.

Um die moderne Landwirtschaft am Laufen zu halten, werden große Mengen Stickstoff und Phosphor den natürlichen Kreisläufen zugeführt. Diese zusätzlichen Nährstoffe übersättigen die Umwelt, was verheerende Folgen hat.⁸



Was steckt drin?*

Stickstoff (Harnstoff)	1416 g
Phosphat	20,5 g
Kalium	58,8 g
Bor	0,02 g
Kupfer	0,05 g
Eisen	0,24 g
Mangan	0,14 g
Molybdän	0,01 g
Zink	0,76 g

*in einem Liter laut Hersteller

Abbildung 35: Plakat Mineraldünger, Format DIN A2

PHOSPHOR

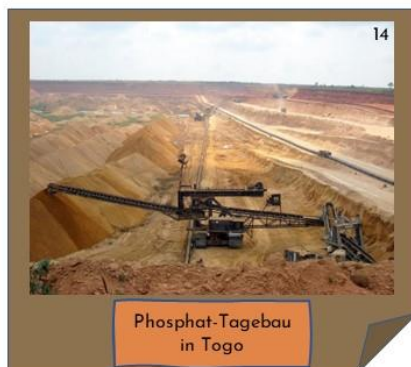
Phosphor wird, anders als Stickstoff, nur in sehr geringen Mengen aus Böden ausgewaschen. Zu einer Umweltbelastung wird Phosphor aber immer dann, wenn Boden durch Erosion abgetragen wird und in umliegende Gewässer gelangt. Auch durch geklärtes Abwasser gelangt Phosphor in Gewässer.

Besonders phosphorhaltiges Tierfutter ist ein Problem. Durch den Import des Futters kommt mehr Phosphor in eine Region, als über die Ernte und die Fleischproduktion wieder entzogen wird. Oft ist im Futter mehr Phosphor enthalten als die Tiere brauchen. Der Phosphor sammelt sich dann im Wirtschaftsdünger und gelangt so in die Umwelt.¹⁹

Rohphosphate, die für die Herstellung von künstlichen Phosphor-Mineraldüngern gebraucht werden, sind ein endlicher Rohstoff. Da Phosphat, anders als andere endliche Rohstoffe, in der Landwirtschaft durch nichts zu ersetzen ist, steht die Menschheit hier vor einem drängenden Problem. Die abbaubaren Mengen werden mit der Zeit immer schwerer zu erreichen sein und zunehmend durch Schwermetalle und radioaktive Stoffe verunreinigt. Über die Düngemittel gelangen diese Stoffe in unsere Nahrungsmittel. Hinzu kommt, dass die heute bekannten Vorräte zum überwiegenden Teil in Gebieten liegen, die politisch äußerst konfliktbeladen sind.¹⁴

Ein Beispiel für einen politischen Konflikt, der direkt mit der Phosphorversorgung unserer Pflanzen zusammenhängt, liegt im Nordwesten Afrikas. Seit seiner Unabhängigkeit 1957 erhebt das Königreich Marokko Anspruch auf die benachbarte Westsahara mit ihren großen Phosphatvorkommen. Mehrere Kriege, Annexionen und die Intervention von Frankreich und den USA bestimmen die Geschichte der Westsahara. Bis heute ist der rechtliche Status des Gebiets unzureichend geklärt. Da Marokko weiterhin Anspruch auf die Westsahara erhebt, hat das Königreich damit gewissermaßen das weltweit größte Monopol auf natürliche Rohphosphate – dort befinden sich etwa 80% der heute bekannten Vorkommen des wichtigen Minerals. Durch die Bedeutung der Phosphate für die moderne Landwirtschaft befindet sich Europa in einem sensiblen Abhängigkeitsverhältnis, was eine eindeutige Positionierung in dem Konflikt erschwert.¹⁸

Abbildung 36: Infotext Phosphor, Format DIN A4



Wenn wir nichts ändern, reichen die natürlichen Phosphatvorkommen laut Schätzungen noch für die nächsten fünfzig bis hundert Jahre. Doch bereits in der Vergangenheit kam es zu empfindlichen Preissteigerungen bei Düngemitteln, die sich aktuell und in Zukunft noch weiter zuspitzen werden.¹⁹ Gemeinsam mit den negativen Umweltauswirkungen durch den Eintrag von überschüssigen Nährstoffen zeichnet sich ein eindeutiges Bild:

Wir müssen unseren Umgang mit Nährstoffen ändern!

Wir müssen nicht nur die Nährstoffeinträge in die Umwelt drastisch reduzieren, sondern auch Kreisläufe schließen, indem wir so viele Nährstoffe rückgewinnen, wie möglich. Neuartige Düngemittel wie Aurin und H.I.T. zeigen, dass wir auch uns selbst, den Menschen, wieder mit in die Gleichung einbeziehen können. Wenn wir die planetaren Grenzen in Zukunft nicht weiter überschreiten wollen, muss die Abhängigkeit von künstlichen Mineraldüngern der Vergangenheit angehören.



Abbildung 37: Zusatz Infotext Phosphor, Format DIN A4

STICKSTOFF

Von dem in der Landwirtschaft ausgebrachten **Stickstoff** wird nur gut ein Drittel von den angebauten Pflanzen aufgenommen. Da Stickstoff nur schlecht im Boden gespeichert wird, landen die restlichen zwei Drittel als „Verlust“ in der Umwelt.

Ein Teil des Stickstoffs löst sich praktisch wieder in Luft auf und kehrt in seiner molekularen Form in die Atmosphäre zurück. Problematisch ist der Teil des Stickstoffs, der im Boden in klimaschädliche Treibhausgase umgewandelt wird. Besonders heikel ist dabei das Lachgas. Lachgas ist nicht nur etwa 300 mal so klimaschädlich wie CO₂, sondern führt zusätzlich dazu, dass die Ozonschicht in unserer Atmosphäre abgebaut wird.

Ein Teil des Stickstoffs wird, oft gemeinsam mit Phosphor und anderen Nährstoffen, mit dem Regen aus dem Boden ausgewaschen und landet im Grundwasser oder in Flüssen. Diese „Düngung der Gewässer treibt dort das Pflanzen-, insbesondere das Algenwachstum stark an“. Wenn die vielen Pflanzen wieder absterben, bildet sich Faulschlamm und beim Abbau der Pflanzenreste im Wasser durch Mikroorganismen wird sehr viel Sauerstoff verbraucht. Dieser Sauerstoff fehlt dann anderen Lebewesen, das Gewässer „kippt“. Stickstoffausträge aus der Landwirtschaft führen über diesen Weg zu Fischsterben in Gewässern und sogenannten „toten Zonen“.

Diese menschengemachte Nährstoffanreicherung in Gewässern sowie die Folgen werden als „Eutrophierung“ bezeichnet. Verursacht wird Eutrophierung durch Einträge aus intensiv gedüngten Landwirtschaftsflächen, aber auch durch den Zufluss von geklärten Abwässern.²

Gelangt Stickstoff in Form von Nitrat in das Grundwasser, kann er auch für Menschen und Tiere zu einem Gesundheitsrisiko werden. Nitrat selbst ist für Säugetiere ungefährlich, kann aber im Körper durch bestimmte Bakterien zu Nitrit umgewandelt werden. Nitrit beeinträchtigt den Sauerstofftransport im Blut. Die roten Blutkörperchen werden so verändert, dass sie nicht mehr ausreichend Sauerstoff transportieren können, was zu gefährlichen Atemstörungen führen kann, vor allem bei Säuglingen. Langfristig kann Nitrat zudem krebserregend wirken.

In Deutschland und Europa gibt es Grenzwerte für Nitrat im Trinkwasser, um den gesundheitlichen Risiken vorzubeugen. Bisher sind Überschreitungen in Deutschland sehr selten, da das Trinkwasser vorbehandelt wird. Sollten diese Maßnahmen in Zukunft nicht mehr ausreichen, wird die Aufbereitung aufwendiger und teurer.¹⁷

Abbildung 38: Infotext Stickstoff, Format DIN A4

„Eutroph“ kommt aus dem Griechischen und bedeutet so viel wie „gut ernährt“. Damit ist „Eutrophierung“ eigentlich eine Verharmlosung. Gemeint ist vielmehr eine „Hypertrophierung“, also ein Überangebot an Nährstoffen.²



Für Säuglinge ist eine hohe Nitratbelastung von Trinkwasser gefährlich. Ihre Blutkörperchen haben noch keine Schutzreaktion auf eine Umwandlung der Blutkörperchen durch Nitrit entwickelt. Zudem können sich bei Säuglingen und Kindern mit bestimmten Magen-Darm-Infektionen im Darm mehr Bakterien ansiedeln, die das aufgenommene Nitrat in Nitrit umwandeln. Das ist möglich, da die Magensäure erst mit dem Alter ihre volle Schutzwirkung ausgebildet. Bei hoher Nitrataufnahme laufen sie Gefahr, eine sogenannte Blausucht oder Zyanose zu entwickeln.¹⁷



Abbildung 39: Zusatz Infotext Stickstoff, Format DIN A4

KALIUM

Anders als bei Stickstoff und Phosphor sind die Umweltschäden durch überschüssiges **Kalium** oft nicht im Fokus. Auch sind die erschließbaren Vorkommen, vor allem in Kanada, den USA und in Deutschland gelegen, noch lange nicht erschöpft. Kalium wird aus Rohsalzen gewonnen, die sich beim Eintrocknen prähistorischer Meere abgelagert haben. Die Salze werden untertage bergmännisch abgebaut.¹



Der Kalium-Bergbau im Werragebiet führt zur Versalzung der umgebenden Gewässer. Das führt zu Artensterben in den Süßwasserflüssen und zur Belastung des Trinkwassers. Die negativen Umweltauswirkungen sind lange bekannt.²¹ 2021 hat der BUND Klage erhoben: Die Schäden sollen saniert werden.²²

Der Kalium-Bergbau ist in Deutschland landschaftsprägend. Wer schonmal durch Nordhessen gefahren ist, hat vielleicht den imposanten „Monte Kali“ in Werra gesehen. Dort wird seit über hundert Jahren Kali-Rohsalz gewonnen. Der Berg bedeckt über hundert Hektar, ist bis zu 250 Meter hoch und kann besichtigt werden.²⁰

Abbildung 40: Infotext Kalium, Format DIN A4

DÜNGER UND WAFFEN - WIE HÄNGT DAS ZUSAMMEN?

Mineralische Düngemittel und Sprengstoffe sind sich sehr ähnlich. Eine falsche Handhabung von bestimmten Düngern kann verheerende Folgen haben.

Im Jahr 1921 kam es im Oppauer Stickstoffwerk der BASF zu einer Explosion von mehreren Tonnen Ammoniumnitrat, einem Stoff, der sowohl als Düngemittel als auch als Sprengstoff dienen kann. Bei dieser folgenschweren Explosion starben 561 Menschen, über 2000 wurden verletzt und 7500 Menschen verloren ihr Obdach.



Ernährungssicherheit war nicht der einzige Grund, warum Anfang des 20. Jahrhunderts so intensiv an der Nutzbarmachung des Luftstickstoffs geforscht wurde. Ein weiteres Motiv war die Herstellung von Waffen. Bereits der natürlich vorkommende Salpeter konnte zur Herstellung von Düngemitteln verwendet, oder zu Sprengsalpeter, bekannt als Schwarzpulver weiterverarbeitet werden. Auch das künstlich hergestellte Ammoniak war ein wichtiger Ausgangsstoff für Sprengstoffe. Die technische Ammoniaksynthese (das Haber-Bosch-Verfahren) löste bald die natürlichen Salpetervorkommen als Basis der Sprengstoffherstellung ab und hatte damit einen großen Einfluss auf beide Weltkriege und viele weitere bewaffnete Konflikte.

Fast genau hundert Jahre später, im Jahr 2020, wiederholte sich die Geschichte auf grausame Weise: Im Hafen von Beirut explodierte ein riesiges Ammoniumnitratlager und zerstörte große Teile der Stadt. Bei der Explosion kamen 200 Menschen ums Leben, mehrere Tausend wurden verletzt und etwa 300.000 Menschen verloren ihr Zuhause.²



Ammonium-Nitrat

Abbildung 41: Infotext Dünger und Waffen, Format DIN A4

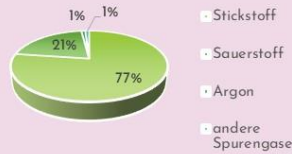
KURZE GESCHICHTE DER MINERALISCHEN DÜNGUNG

Seit jeher haben Menschen versucht, das Wachstum von Pflanzen zu verstehen: So vermutete der griechische Universalgelehrte Aristoteles vor rund 2500 Jahren, dass sich Pflanzen von Humus, der dunklen, organischen Bodensubstanz ernährten.



Den Grundstein für die industrielle Düngung legte schließlich Justus von Liebig im Jahr 1840 mit seiner Mineralstofftheorie. Er erkannte anhand von chemischen Analysen, dass die Pflanze die Mineralstoffe, die an kleinsten Bodenteilchen sitzen, über ihre Wurzeln als Nahrung aufnimmt. Zuvor unbedeutende Rohstoffe wurden nun als Dünger erkannt und somit zu wertvoller Handelsware. Es entwickelte sich ein riesiges Importgeschäft, das zu neuen Handelsrouten, Handelspartnern, aber auch Handelskriegen um Rohstoffmonopole führte.

Anfang des 20. Jahrhunderts konnte schließlich die weltweit größte natürliche Stickstoffquelle erschlossen werden: unsere Luft.



Nach der industriellen Revolution machte das Bevölkerungswachstum einen großen Sprung. Die Landwirtschaft konnte den plötzlich gestiegenen Bedarf mit natürlich vorkommenden Düngemitteln nicht mehr decken. Um Hungerkatastrophen zu vermeiden, wurde intensiv nach Möglichkeiten geforscht, den Stickstoff aus der Luft einzufangen und in eine landwirtschaftlich nutzbare Form umzuwandeln.

1908 gelang Fritz Haber der Durchbruch: Ihm gelang es, unter immensen Druck und extrem hohen Temperaturen den Luftstickstoff gemeinsam mit Wasserstoff in Ammoniak zu verwandeln. Gemeinsam mit Carl Bosch und Paul Alwin Mittasch setzte er das Verfahren bei dem damals noch jungen Unternehmen BASF großtechnisch um. Die Erfindung des sogenannten Haber-Bosch-Verfahrens ist ein Meilenstein der modernen Landwirtschaft und hat die Welt verändert.

Fast die Hälfte der heute produzierten Nahrungsmittel wird mit Stickstoff aus dem Haber-Bosch-Verfahren gedüngt. Das bedeutet einen jährlichen Eintrag von ca. 120 Millionen Tonnen Stickstoff aus der Luft in unser Ökosystem. Die übermäßige Zufuhr von Stickstoff in das Ökosystem wird mehr und mehr zu einem Problem. Auch beim Phosphor stoßen wir an Grenzen: Als endlicher Rohstoff wird es immer teurer und gefährlicher, die natürlichen Vorkommen zu erschließen.

Carl Bosch



Fritz Haber

Abbildung 42: Infotext Geschichte der mineralischen Düngung, Format DIN A3

SCHWEINEGÜLLE

Herstellung

Stallmist, also das Gemisch aus Einstreu und tierischen Fäkalien, ist die Urform der landwirtschaftlichen Düngemittel. Mit dem Mist, den die Tiere produzierten, wurden die anliegenden Felder gedüngt, auf denen ihr Futter angebaut wurde – ein regionaler Nährstoffkreislauf! Auf dem gleichen Hof hergestellt und verwendet, gilt dieser sogenannte „Wirtschaftsdünger“ oder „Hofdünger“ als relativ umweltverträglich.

In der modernen Tierindustrie fällt aber kein Stallmist mehr an, sondern Gülle. In der Massentierhaltung wird aus Kostengründen in der Regel kein Einstreu mehr in den Ställen verwendet. Die Fäkalien landen direkt auf dem Boden und damit sie abfließen können, ist der Stallboden vergittert oder mit Löchern versehen. Das Gemisch aus Urin, Fäzes und anderen Körperflüssigkeiten wird unter dem Boden aufgefangen und in großen Becken und Silos gelagert.

Die meisten Tierbetriebe sind heute sehr groß und regional konzentriert. Durch das viele Import-Futter – und die damit importierten Nährstoffe – fällt regional viel mehr Gülle an, als in der eigenen Futtermittelherstellung gebraucht wird.

Der natürliche Nährstoff-Kreislaufansatz kann nicht mehr verfolgt werden, ohne die Felder zu überdüngen und damit die Umwelt zu belasten. Die Verwendung von Gülle als Dünger kann daher heutzutage eher als abfallwirtschaftliches Problem betrachtet werden.¹

In Gülle sind zwar viele Nährstoffe enthalten, die von Pflanzen verwendet werden können. Aber durch ihre speziellen chemischen Eigenschaften kommt es bei der Ausbringung von Gülle zu Nährstoffverlusten.

Gülle hat einen sehr hohen pH-Wert. Dieser führt dazu, dass der Stickstoff in der Gülle überwiegend in Form von Ammoniak vorliegt, einer sehr flüchtigen Stickstoffverbindung. Wird die Gülle nicht vorbehandelt, um den pH-Wert zu senken, oder bei Ausbringung direkt in den Boden eingearbeitet, kommt es zu Stickstoffverlusten bei der Düngung mit Gülle. Die Ausgasung von Ammoniak ist auch der Grund, warum Gülle so übel riecht.

Auch wenn die Gülle fachgerecht in den Boden eingebracht wird, kann es zu Umweltschäden durch Nitratauswaschung kommen. Nitrat ist eine Stickstoff-Form, die Pflanzen gut aufnehmen können, die im Boden aber schlecht gehalten wird. Wird mehr gedüngt, als von den Pflanzen benötigt, versickert das Nitrat ins Grundwasser. Diese Nährstoff-Verschmutzung belastet die Lebensräume in umliegenden Gewässern und unsere Gesundheit.¹

Deswegen gelten für die Verwendung von Gülle als Dünger zunehmend striktere Regularien.

siehe „Stickstoff“ und „im Paragraphenschungel“

Gülle ist auch für das Klima ein Problem. In den Tierställen, aber auch bei der Lagerung und Ausbringung von Gülle entstehen Lachgas und Methan, zwei Gase, die die Klimawirkung von CO₂ um ein vielfaches übersteigen.⁵

In Deutschland werden 60 % aller Schweine in nur zwei Bundesländern, Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen, gezüchtet. Die großen Betriebe können die viele Gülle, die bei ihnen anfällt, nicht mehr auf den eigenen Feldern verwerten. Deswegen kommt es zu sogenanntem Gülletourismus. Die überschüssige Gülle wird aus den Regionen mit vielen Tierbetrieben viele hundert Kilometer weit in Regionen transportiert, in denen weniger Viehwirtschaft betrieben wird.

Allein im Jahr 2019 kam es zu 157 Unfällen bei Gülletransporten. Dadurch sind rund 28 Millionen Liter Gülle (und vergleichbare Stoffe) unkontrolliert in die Umwelt gelangt.

Wird die Gülle nicht behandelt, wird vor allem Wasser transportiert. Mit einer Entwässerung könnten die Transportkosten gesenkt werden.⁶ Eine zusätzliche Ansäuerung würden die Ammoniakverluste verhindern. So könnte man die Gülle umweltverträglicher machen.

Das entspricht allerdings aktuell noch nicht der gängigen Praxis.⁷

Stickstoff	1,4 g
davon Ammonium	13,9 g
davon Nitrat	0,03 g
Phosphat	1,6 g
Kalium	2 g
Magnesium	0,2 g

Was steckt drin?*

direkt pflanzenverfügbar

*in einem Liter unserer Probe

Abbildung 43: Plakat Schweinegülle, Format DIN A2

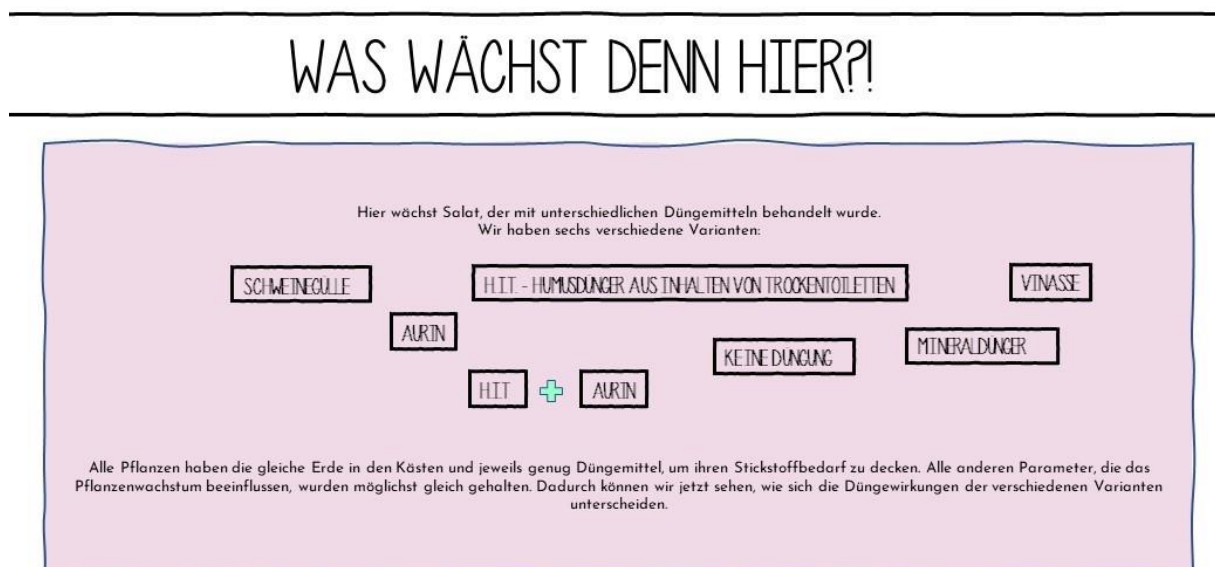


Abbildung 44: Kurzbeschreibung Dünge-Versuch, Format DIN A4

HINTER DEN KULISSEN



Abbildung 45: Übersicht Prozess Dünge-Versuch, Format DIN A4

4.2.4 Düngemittelsicherheit

PER- UND POLYFLUORIERTER ALKYLSTOFFE - PFAS

Unter der Bezeichnung PFAS sammeln sich über 4.700 verschiedene Stoffe die wasser-, schmutz- und fettabweisend sind. Diese Eigenschaften machen sie interessant für eine riesige Produktpalette. Weil sie in so vielen Produkten und Prozessen zum Einsatz kommen, landen sie auch immer wieder in der Umwelt. Ähnlich wie die PAK erfüllen auch sie die besorgniserregende Trias: Sie sind schlecht abbaubar, können gesundheitsschädlich sein und reichern sich in Pflanzen, Tieren und Menschen an.

Die Stoffe sind über Luft und Wasser bereits überall auf der Erde verteilt- auf jedem Berg und an jedem Pol.

PFAS werden künstlich hergestellt und können nur unter langer Einwirkung sehr hoher Temperaturen wieder zerstört werden. In der Natur, also durch die Einwirkung von Bakterien, Sonnenlicht oder Wasser können die Verbindungen nicht gelöst werden. Gelangen sie einmal in die Umwelt bleiben sie dort für sehr, sehr lange Zeit. Über die Nahrungsnetze und das Grundwasser reichern sich die Stoffe in verschiedenen Organismen an und können uns Menschen durchaus gefährlich werden. Sie können an Proteine in unserem Blut, in der Leber oder der Niere binden und unter anderem Impfwirkungen beeinträchtigen und das Immunsystem schwächen. Besonders gefährlich ist es, wenn Babys die Stoffe in der Gebärmutter oder beim Stillen aufnehmen.³²

Der Grenzwert für PFAS in Recyclingdüngemitteln liegt bei 0,1 Milligramm in einem Kilo Trockenmasse.³¹

Wir haben H.I.T. auf PFAS untersuchen lassen.

Parameter	Lab.	Akk.	Methode	BG	Einheit	
PFAS aus der gefriergetrockneten Probe						
Perfluorooctansäure (PFOA)	ANIT	RE000	DIN 38414-14 (S14): 2011-08	2,0	µg/kg TS	< 2,0
Perfluorooctansulfonsäure (PFOS)	ANIT	RE000	DIN 38414-14 (S14): 2011-08	2,0	µg/kg TS	< 2,0
Summe PFOS / PFOA exkl. BG	ANIT	RE000	DIN 38414-14 (S14): 2011-08		µg/kg TS	(n. b.) ³¹

39



Abbildung 46: Infotext PFAS, Format DIN A4

ARZNEIMITTELRÜCKSTÄNDE

Arzneimittel sind ohne Frage unerlässlich für die Gesundheit von Menschen und Tieren. Gelangen sie aber in unsere Umwelt, können sie dort Schaden anrichten. Menschliche Arzneimittelrückstände gelangen vor allem über das Abwasser und den Klärschlamm in die Umwelt, da sie in Kläranlagen noch nicht ausreichend herausgefiltert werden können. Tierische Medikamente finden ihren Weg über die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern in den Boden.³³

Besonders in Gewässern lebende Tiere reagieren empfindlich auf Medikamentenrückstände. Bei Fischen kann es beispielsweise zu Organschädigungen, Entwicklungsverzögerungen und Problemen bei der Fortpflanzung kommen.³⁴

Für Medikamentenrückstände gibt es aktuell noch keine gesetzlichen Grenzwerte. Wir haben die Fäkaldüngemittel H.I.T., Aurin und Schweinegülle auf sechs Medikamente untersuchen lassen, die laut Studien das größte Risiko für die Umwelt darstellen.³¹

Untersuchung auf Arzneimittel-Rückstände					
1	Carbamazepin	PA JB-316; HPLC-MS/MS	mg/kg	< 0,01	< 0,01
2	Ciprofloxacin	PA JB-316; HPLC-MS/MS	mg/kg	< 0,01	< 0,01
3	Clarithromycin	PA JB-316; HPLC-MS/MS	mg/kg	< 0,01	< 0,01
4	Diclofenac	PA JB-316; HPLC-MS/MS	mg/kg	< 0,003	< 0,003
5	17-beta-Estradiol	GC-MS/MS nach Derivatisierung (N)	mg/kg	< 0,01	< 0,01
6	17-alpha-Ethinylestradiol	GC-MS/MS nach Derivatisierung (N)	mg/kg	< 0,01	< 0,01

39

- | | | | | | | |
|---|---|-----------------|---|--------------------------------------|---|----------------------------|
| 1 | 2 | Antibiotika | 4 | Schmerzmittel | 6 | Verhütungsmittel, Östrogen |
| | 3 | Antiepileptikum | 5 | Verhütungsmittel, künstliches Hormon | | |



Abbildung 47: Infotext Arzneimittelrückstände, Format DIN A4

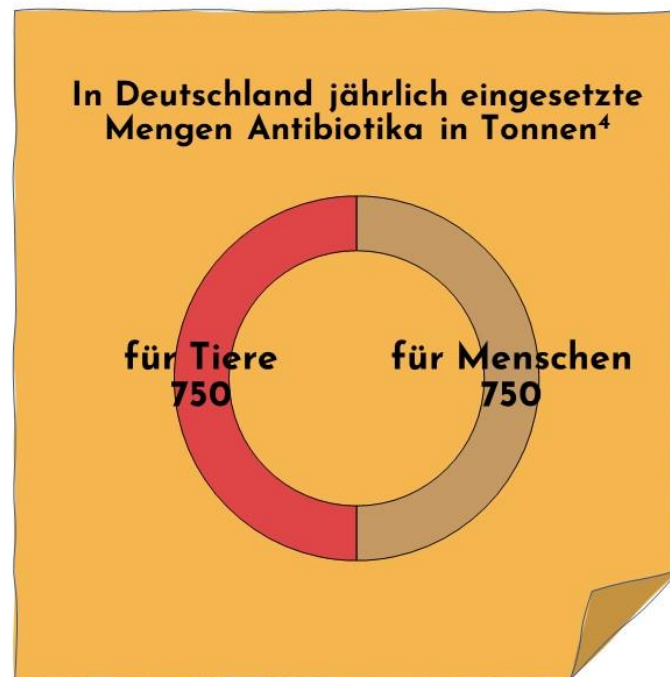


Abbildung 48: Zusatz Infotext Arzneimittelrückstände, Format DIN A4

KRANKHEITSERREGER

Wenn sie nicht richtig behandelt werden, können Fäkalien krank machen. Um sicherzustellen, dass die Hygienisierung funktioniert und in Recyclingdüngern keine Krankheitserreger mehr zu finden sind, müssen sie im Labor untersucht werden. Das schreibt die Düngemittelverordnung vor. Wichtig sind hier vor allem drei Erreger:

Enterokokken Das sind körpereigene Bakterien die über Kontakt- oder Schmierinfektionen krankmachen können. Sie können Harnwegsinfektionen auslösen, aber auch Herzklappenentzündungen.	Salmonellen Das sind Bakterien, die Typhus und Gastroenteritis auslösen. Typhus kann sich durch bis zu drei Wochen anhaltendes, hohes Fieber auszeichnen. Gastroenteritis ist eine akute, heftige Durchfallerkrankung.	Escherichia coli E. coli sind die häufigsten Erreger von Harnwegsinfektionen, können aber auch zu einer Sepsis führen. Bestimmte E. coli-Stämme produzieren Gifte, die Durchfallerkrankungen hervorrufen. EHEC ist ein E. coli-Stamm.
Clostridium perfringens Werden diese Bakterien über den Mund aufgenommen, bilden sie Sporen, die ein Gift absondern. Das führt zu plötzlichen Bauchkrämpfen und Durchfall. Das Bakterium findet sich vor allem in Böden, aber auch im Darm von Menschen und Tieren. Clostridium perfringens ist ein häufiger Auslöser von Lebensmittelvergiftungen. ³⁵ Dieses Bakterium wurde als zusätzlicher Hygieneparameter für Recyclingdünger aus menschlichen Fäkalien gewählt. Unter guter Sauerstoffversorgung kann es nicht überleben. Damit ist es ein guter Indikator für die Sauerstoffversorgung während der Kompostierung. Clostridium perfringens wird auch bei Gewässeruntersuchungen als Indikator für fäkale Verschmutzungen herangezogen. ³⁶		

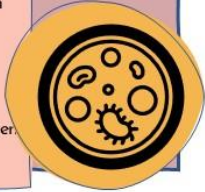


Abbildung 49: Infotext Krankheitserreger, Format DIN A4

Erreger	Grenzwert	Im H.I.T. gefunden	In Aurin gefunden	In Schweinegülle gefunden ³⁷
Salmonellen	Dürfen nicht gefunden werden	keine	keine	keine
E. coli	1000 lebende Bakterien in einem Gramm	Weniger als drei lebende Bakterien in einem Gramm	Weniger als drei lebende Bakterien in einem Gramm	Über 110000 lebende Bakterien in einem Gramm
Enterokokken	1000 lebende Bakterien in einem Gramm	Neun lebende Bakterien in einem Gramm	Weniger als drei lebende Bakterien in einem Gramm	Über 110000 lebende Bakterien in einem Gramm

Abbildung 50: Zusatz Infotext Krankheitserreger, Format DIN A4

SCHWERMETALLE

Alle Düngemittel müssen laut Düngemittelverordnung auf ihren Gehalt an Schwermetallen untersucht werden, da sich diese wegen ihrer schädlichen Wirkung nicht in der Umwelt ansammeln dürfen. Wir haben die Düngemittel Schweinegülle, Aurin und H.I.T. auf Schwermetalle untersuchen lassen. Die Grenzwerte sind aus dem DIN-Dokument „Qualitätssicherung von Recyclingprodukten aus Trockentoiletten zur Anwendung im Gartenbau“ entnommen.

Schadstoff	Grenzwert	mg/kg TM H.I.T. gefunden	mg/kg TM Aurin gefunden	mg/kg TM Schweinegülle gefunden ³⁷
Thallium	1,0 mg/kg TM	0,12	weniger als 0,1	0,12
Arsen	40 mg/kg TM	5	weniger als 0,5	weniger als 0,5
Blei	100 mg/kg TM	23,9	weniger als 3	weniger als 3
Cadmium	1,0 mg/kg TM bzw. 20 Milligramm pro Kilo Phosphat	0,31	weniger als 0,1	0,18
Chrom	300 mg/kg TM	16	weniger als 1	3,62
Nickel	40 mg/kg TM	16	weniger als 1	3,31
Quecksilber	0,5 mg/kg TM	0,08	weniger als 0,02	0,05

mg/kg TM = Milligramm in einem Kilogramm Trockenmasse



Abbildung 51: Infotext Schwermetalle, Format DIN A4

zum Vergleich:

mg/kg TM
Klärschlamm
gefunden³⁸

keine Angabe

keine Angabe

27

0,8

28

20

keine Angabe

Abbildung 52: Zusatz Infotext Schwermetalle, Format DIN A4

POLYZYKLISCHE AROMATISCHE KOHLENWASSERSTOFFE

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) sind Chemikalien, die entstehen, wenn organische Materialien wie Holz, Kohle oder Öl nicht vollständig verbrennen. PAK können natürlich entstehen, etwa bei Waldbränden oder Vulkanausbrüchen. Doch auch industrielle Verbrennungsprozesse können zur Entstehung von PAK führen. Diese Verbindungen sind auch natürlicherweise in Produkten aus Kohle und Erdöl enthalten. Werden sie nicht im Verarbeitungsprozess entfernt, können sie beispielsweise über Weichmacher die Verbraucherinnen erreichen.

Das ist problematisch, da viele PAK giftig für Menschen und andere Lebewesen sind. Sie gelten als krebserregend, können das Erbgut verändern und die Fruchtbarkeit beeinträchtigen. Hinzu kommt, dass sie sich sehr lange in der Umwelt halten und nur sehr schwer abzubauen sind. Um das Übel zu komplettieren, können sich diese Stoffe in Organismen ansammeln. Durch diese drei Eigenschaften (giftig, schwer abzubauen, reichern sich in Organismen an) sind diese Stoffe besonders bedenklich: Landen sie einmal in der Umwelt, sind sie nicht mehr aus ihr zu entfernen und werden auf Dauer Pflanzen, Tieren und Menschen schaden.

PAK verteilen sich in der Atmosphäre über weite Strecken und sind schon in den entlegensten Winkeln der Erde gefunden worden: In schwer erreichbaren Bergseen, in der Arktis und in der Antarktis.

In Untersuchungen konzentriert man sich vor allem auf 16 sogenannte prioritäre Schadstoffe, die besonders giftig und dabei leicht nachzuweisen sind. Da die Stoffe meist gemeinsam auftreten, kann man davon ausgehen, dass noch mehr PAK vorhanden sind, wenn die Indikatorverbindungen nachgewiesen werden.⁴⁰

Weil H.I.T. vor der Kompostierung Pflanzenkohle beigemischt wird, muss er auf PAK untersucht werden. Der Grenzwert für PAK in Recyclingdüngemitteln liegt bei sechs Milligramm in einem Kilo Trockenmasse. Das bedeutet, dass die Summe der 16 untersuchten prioritären Schadstoffe in einem Kilo Trockenmasse weniger als 6 Gramm betragen darf.³¹

Summe 16 EPA-PAK exkl. BG	FR	RE000 FY	DIN CEN/TS 16181 (DIN SPEC 91243); 2013-12		mg/kg TS	2,4 ³⁹
------------------------------	----	-------------	---	--	----------	-------------------



Abbildung 53: Infotext PAK, Format DIN A4

Einige ausgewählte PAK und ihre Eigenschaften

Gesundheitsgefährdend  Umweltgefährdend  Achtung 

Name (CAS-Nr.)	Schmelz- punkt in °C	Siedepunkt in °C	Chemische Summen- formel	Gefahrenkennzeichnung	Gefahrensymbol
Benz[a] anthracen (56-55-3)	160	435	$C_{18}H_{12}$	Gefahr: Kann Krebs erzeugen, Sehr giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung	 
Benzo[b] fluoranthren (205-99-2)	168	481	$C_{20}H_{12}$	Gefahr: Kann Krebs erzeugen, Sehr giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung	 
Benzo[i] fluoranthren (205-82-3)	166	480	$C_{20}H_{12}$	Gefahr: Kann Krebs erzeugen, Sehr giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung	 
Benzo[k] fluoranthren (207-08-9)	217	481	$C_{20}H_{12}$	Gefahr: Kann Krebs erzeugen, Sehr giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung	 
Benzo[a] pyren (50-32-8)	175	495	$C_{20}H_{12}$	Gefahr: Kann Krebs erzeugen, genetische Defekte verursachen, die Fruchtbarkeit beeinträchtigen, und das Kind im Mutterleib schädigen, sehr giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung	  
Benzo[e] pyren (192-97-2)	178	493	$C_{20}H_{12}$	Gefahr: Kann Krebs erzeugen, Sehr giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung	 
Chrysen (218-01-9)	255	448	$C_{18}H_{12}$	Gefahr: Kann Krebs erzeugen, vermutlich genetische Defekte verursachen, Sehr giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung	 
Dibenz[a,h] anthracen (53-70-3)	267	524	$C_{22}H_{14}$	Gefahr: Kann Krebs erzeugen, Sehr giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung	 
Naphthalin (91-20-3)	80.5	218	$C_{10}H_8$	Achtung: Kann vermutlich Krebs erzeugen, Gesundheitsschädlich bei Verschlucken, Sehr giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung	  

Abbildung 54: Zusatz Infotext PAK, Format DIN A4

4.2.5 Rechtsrahmen

§ IM PARAGRAPHENDSCHUNDEL

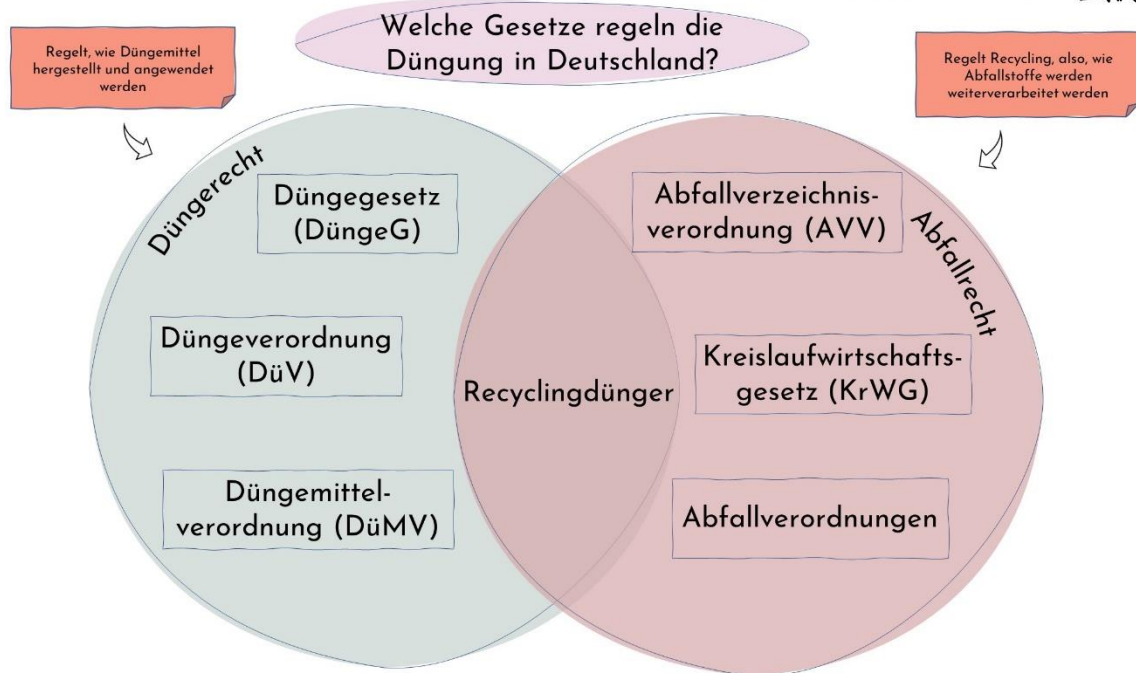


Abbildung 55: Poster Übersicht Gesetze, Format DIN A2



Abbildung 56: Infotext Düngegesetz, Format DIN A4

DÜNGEVERORDNUNG

Konkretisiert die Anforderungen an die Anwendung dieser Düngemittel, legt die „gute fachliche Praxis“ fest

Enthält Vorgaben dazu,

- wie die Düngemengen berechnet werden:
 - Was braucht die Pflanze?
 - Was ist schon im Boden?
- wann gedüngt werden darf und wann nicht
- wie gedüngt werden darf
- wo gedüngt werden darf
- mit welchen Geräten gedüngt werden darf

...und Vieles, Vieles mehr.²⁴

Mit der Erneuerung der Düngeverordnung 2017 wurden unter anderem die Vorgaben zur Verwendung von Gülle als Recyclingdünger verschärft. Seit dem Inkrafttreten der Erneuerungen im Jahr 2020 stehen Tiermastbetriebe zunehmend vor der Frage, wie sie die anfallende Gülle noch entsorgen können.⁶

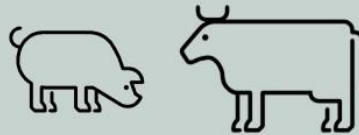


Abbildung 57: Infotext Düngeverordnung, Format DIN A4

DÜNGEMITTELVERORDNUNG

Konkretisiert die Anforderungen an Herstellung und Beschaffenheit der Düngemittel, die verkauft werden

Enthält Vorgaben zu

- Infektionsschutz und Hygiene
- Pflanzenschutz
- Schadstoffen
- Möglichen Ausgangsstoffen²⁵

Abbildung 58: Infotext Düngemittelverordnung, Format DIN A4

KREISLAUFWIRTSCHAFTSGESETZ

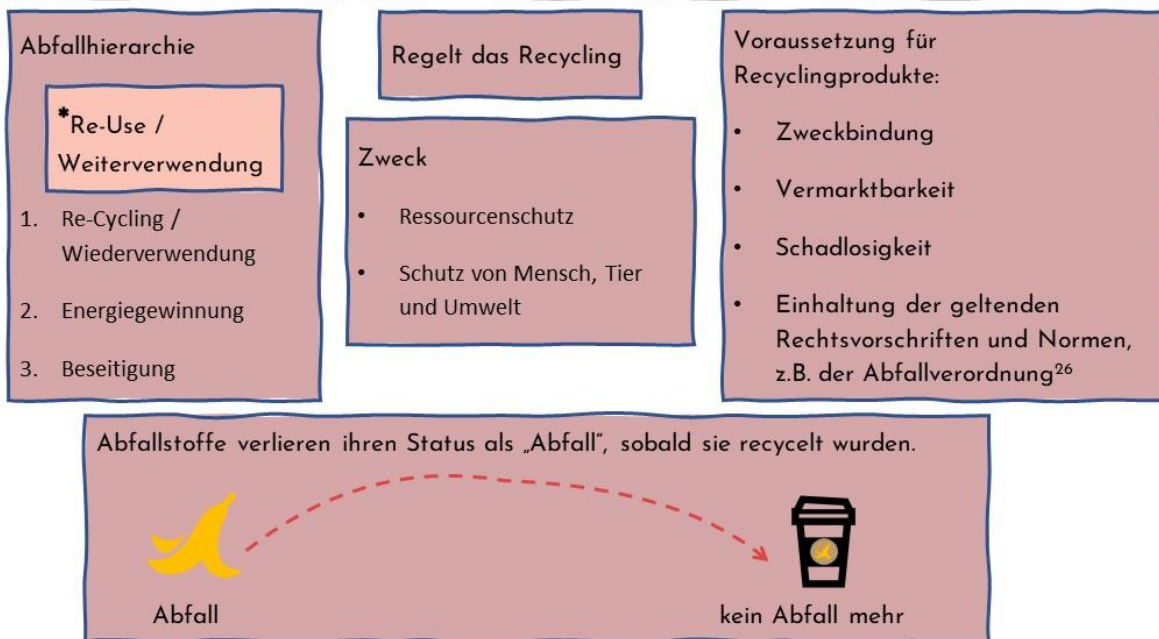


Abbildung 59: Infotext Kreislaufwirtschaftsgesetz, Format DIN A4

ABFALLVERZEICHNISVERORDNUNG



ABFALLVERORDNUNGEN

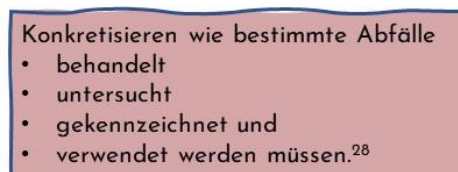


Abbildung 60: Infotext Abfallverzeichnisverordnung und Abfallverordnungen, Format DIN A4

LEGAL, ILLEGAL, SCHEIßEGAL?

§§

Leider
nicht!

Was in Deutschland nicht gesetzlich geregelt ist, ist grundsätzlich erstmal verboten. Vor diesem Problem steht z. B. die Nahrungsmittelindustrie häufiger, wenn sogenannte „Novel Foods“, wie das Süßungsmittel Stevia²⁹ oder die mexikanischen Chiasamen³⁰, in den deutschen Markt eingeführt werden sollen.

Auch die Herstellung und Verwendung von Düngemitteln findet in Deutschland in einem engen rechtlichen Rahmen statt. Es ist genau geregelt, woraus Düngemittel bestehen dürfen, wie sie hergestellt werden müssen und wie genau sie anzuwenden sind. Ähnlich wie bei den „Novel Foods“ stehen neuartige Recyclingdünger aus Inhalten von Trockentoiletten (bspw. „H.I.T.“) vor dem Problem des fehlenden Rechtsrahmens – ihre Markteinführung ist noch nicht legal, weil das Gesetz die Ausgangsstoffe „menschliche Fäkalien“ schlicht noch nicht kennt. Menschliche Fäkalien tauchen nur als Klärschlamm auf – also immer in Verbindung mit Wasser.

Zu beweisen, dass Recyclingdünger aus den Inhalten von Trockentoiletten den Ansprüchen der deutschen Düngergesetze entsprechen kann, liegt inzwischen vielen Menschen am Herzen. 2020 wurde zu diesem Zweck gemeinsam mit dem Deutschen Institut für Normung e.V. (DIN) ein Dokument erstellt, das der Qualitätssicherung bei der Anwendung dieser neuen Recyclingdünger dient. Die DIN SPEC 91421 nennt Kriterien für die Qualitätskontrolle der Recyclingdünger und orientiert sich dabei am geltenden Recht für Düngeprodukte.

Das Dokument trägt den eingängigen Titel „Qualitätssicherung von Recyclingprodukten aus Trockentoiletten zur Anwendung im Gartenbau“.³¹

Abbildung 61: Infotext fehlender Rechtsrahmen Recyclingdünger, Format DIN A4

4.3 Präsentation und Interaktion mit dem Publikum

Im Rahmen der dreitägigen Ausstellung haben viele interessierte Besucherinnen das Bildungsmaterial gelesen und sich mit dem Demonstrations-Versuch auseinandergesetzt. Die Bachelorandin hat viele Gespräche mit Interessierten geführt. Zu diesen Interaktionen wurden keine Daten erhoben, jedoch ist der Eindruck entstanden, dass die lebendigen Pflanzen tatsächlich die Funktion eines Blickfangs übernommen haben. Die meisten Interaktionen begannen mit der Frage, was das Besondere an den ausgestellten Salatpflanzen sei. Einzelne Personen haben sich eigenständig mit den Bildungsmaterialien befasst. Zumeist war der Verlauf jedoch so, dass im Gespräch über die Pflanzen auf die Inhalte der Poster verwiesen wurde, die die Besucherinnen sich daraufhin durchgelesen haben.

Die Pflanzen haben auch die Grenzen der Ausstellung überschritten. Nicht nur haben viele Besucherinnen Salatpflanzen mit nach Hause genommen und den Vorsatz mitgeteilt, von der Ausstellung und den Inhalten im Privaten berichten zu wollen. Im Rahmen eines Beitrags in einem lokalen Radiosender wurde auch eine Variante verköstigt, während über den Themenbeitrag Loo:topia berichtet wurde (Vismann, 2022).

Abbildungen 62 bis 65 zeigen die Installation auf der re:publica.



Abbildung 62: Demonstrations-Versuch und Posterwand auf der re:publica, Foto von Loo:topia

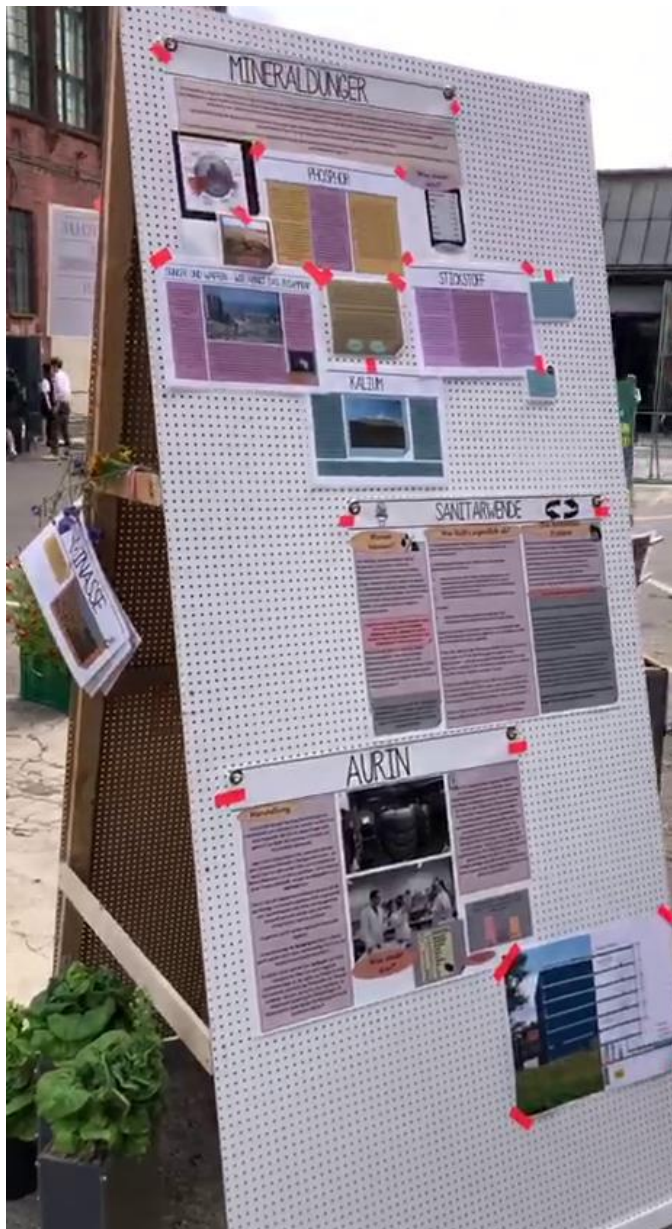
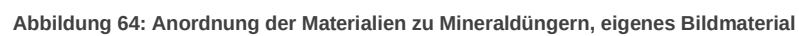


Abbildung 63: Posterwand auf der re:publica, eigenes Bildmaterial



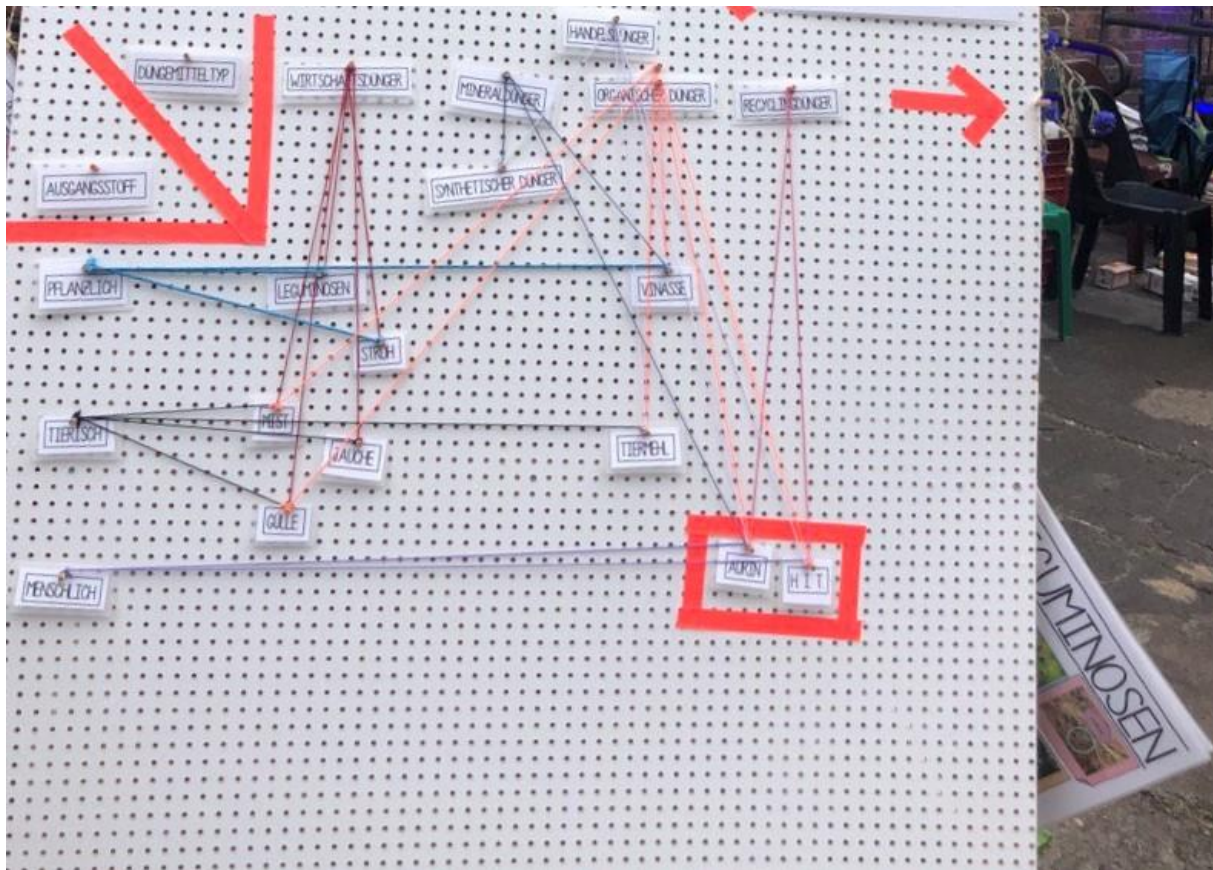


Abbildung 65: Begriffsmatrix Düngemittel, eigenes Bildmaterial

5. Diskussion

Das Ziel dieser Bachelorarbeit war es, einem interessierten Laienpublikum den Themenkomplex der Sanitär- und Nährstoffwende näherzubringen. Hierfür sollte Bildungsmaterial erstellt werden, das sich das Publikum eigenständig erschließen kann. Zwei Demonstrations-Pflanzversuche sollten dem Publikum zudem die Funktion einzelner Nährstoffe sowie die Wirkung verschiedener herkömmlicher sowie neuartiger Düngemittel zeigen.

Im Ergebnis wird deutlich, dass die lebendigen Pflanzen das Interesse beim Publikum geweckt haben und einen Einstieg in das Material ermöglichten. Die Kombination von Poster-Ausstellung und Demonstrations-Pflanzversuch hat das Publikum angesprochen.

Da im Rahmen dieser Arbeit keine Daten erhoben wurden, die das Wissen und die Einstellungen des Publikums bezüglich der dargestellten Inhalte untersuchen, können zum kognitiven Eindruck des Materials keine Aussagen getroffen werden. Die Wirkung des Materials kann somit nur auf der Output-Ebene bewertet werden: Das Material wurde erstellt und von interessierten Laien gelesen. Zwar kann die Bachelorandin qualitative Beobachtungen über mögliche Wirkungen (Wissensvermittlung, Einstellungsänderungen) machen. Eine weitergehende Evaluation der Wirkung ist jedoch nicht möglich.

Qualitativ lässt sich festhalten: Mehrere Personen schienen sich das Material selbst anzueignen. Einige sind im Anschluss mit der Bachelorandin in Austausch getreten und haben ihr Interesse für das Thema ausgedrückt. Rückfragen gingen zumeist über das Dargestellte hinaus, sodass davon ausgegangen

werden kann, dass das Material keine Verständnisfragen offengelassen hat. Lediglich für die Kategorisierung der Düngemittel (Abbildung 65) wurde mehrfach um Erklärung gebeten. Hier scheint das eigenständige Erschließen schwierig gewesen zu sein. Eine Überarbeitung mit dem Ziel, die Matrix mit dem Publikum gemeinsam zu erarbeiten, scheint hier sinnvoll.

Die Absicht, das Bildungsmaterial möglichst barrierearm zu gestalten, wurde nur in der Farbgestaltung erfüllt. Das Bildungsmaterial ist zwar laienverständlich formuliert, jedoch nicht barrierefrei. Im Laufe der Erarbeitung hat sich gezeigt, dass eine Übersetzung des Materials in leichte Sprache den Rahmen einer Bachelorarbeit überschreitet. Um auch Menschen mit eingeschränktem Sprachverständnis einen Zugang zu dem Material zu ermöglichen, sollte eine Übersetzung in leichte Sprache erfolgen.

In zukünftigen Arbeiten könnte die Wirkung des Materials auf der Einstellungsebene des Publikums untersucht werden. Denkbar sind hier beispielsweise Untersuchungen bezüglich der Akzeptanz der neuartigen Düngemittel vor und nach einer Beschäftigung mit dem Bildungsmaterial. Interessant wäre auch eine Überarbeitung der Methode der Pflanzversuche, um sie auch für Laien (unter Anleitung) reproduzierbar zu machen; etwa im schulischen Kontext oder in Gemeinschaftsgärten. Um eine solche Überarbeitung zu erleichtern, findet sich im [Anhang](#) eine ausführliche Auseinandersetzung mit Fehlern und Schwierigkeiten bei der Umsetzung des Versuchs.

Am IGZ hat sich parallel zu der vorliegenden Arbeit ein weiterer Demonstrations-Versuch etabliert, bei dem *Tagetes erecta*, die aufrechte Studentenblume verwendet wird. Auch dieser Versuch könnte mit entsprechendem Bildungsmaterial verknüpft werden, mit dem thematischen Fokus auf Zier- statt auf Nahrungspflanzen. Eine mögliche Frage könnte hierbei sein, wie die neuartigen Recyclingdünger bei einer nachhaltigen Stadtbegrünung eingesetzt werden können. Wenn beide Versuche miteinander verknüpft werden, ist auch hier eine Einstellungs- bzw. Akzeptanz-Untersuchung beim Publikum denkbar, mit dem Fokus auf den Unterschied zwischen Zier- und Nahrungspflanzen, die mit neuartigen Recycling-Düngemitteln behandelt wurden.

6. Schlussfolgerung

Die Sanitär- und Nährstoffwende ist für den Wandel hin zu einer nachhaltigen und lebenswerten Gesellschaft unverzichtbar. Die Forderung nach kreislaforientiertem Umgang mit Nährstoffen und die zugrundeliegenden wissenschaftlichen Zusammenhänge schienen bei dem Messepublikum auf großes Interesse zu stoßen. Die Kombination einer Posterausstellung mit einem Demonstrationspflanzversuch nimmt zwar erhebliche Kapazitäten in Anspruch. Die Wirkung der lebendigen Pflanzen als Blickfang und Anknüpfungspunkt, um mit dem Publikum in den Austausch zu treten, ist jedoch maßgeblich, sodass der hohe Arbeitsaufwand die Mühe wert ist. Sobald Wissenschaftskommunikation über die reine Wissensvermittlung hinausgeht, zeigt sich, dass die Vorstellung einer unpolitischen Wissenschaft ein Irrtum ist. Eine solche Wissenschaftskommunikation, die über eine reine Wissensvermittlung hinausgeht und konsequenterweise auf Einstellungsänderungen in der Bevölkerung zielt, bedeutet viel Arbeit und kann nicht ohne Weiteres dem Aufgabenbereich von Wissenschaftlerinnen hinzugefügt werden. Vielmehr bedarf es, insbesondere in Bereichen, die gesellschaftliche Transformationsprozesse betreffen, zusätzliche Kapazitäten für qualitativ hochwertige, zielorientierte Wissenschaftskommunikation.

Literaturverzeichnis

Brot für alle, Swissaid, & Fastenopfer. (2019). *Gefährlicher Dünger: Schweizer Rohstoffhändler und Menschenrechtsverletzungen in Marokko*.

https://sehen-und-handeln.ch/content/uploads/2018/12/zusammenfassung_marokko.pdf

Bannert, L. (12. November 2013). *Who gives a sh*t ?! Berlins erste ökologische Mobil-Toilette*.

Green in Berlin: <https://www.green-in-berlin.de/who-gives-a-sht-berlins-erste-oekologische-mobile-toilette/>

Bäthe, J., & Coring, E. (2011). Biological effects of anthropogenic salt-load on the aquatic Fauna: A synthesis of 17 years of biological survey on the rivers Werra and Weser. *Limnologica*, 41 (2), S. 125-133.

<https://doi.org/10.1016/j.limno.2010.07.005>

Bergmann, W. (Hrsg.) (1993). *Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen: Entstehung, visuelle und analytische Diagnose; mit 128 Tabellen*. (3., erw. Auflage). Fischer: Jena

Bergmann, H. (11. Januar 2022). *Nachhaltige Innovationen für die Nährstoffwende*.

IAO Fraunhofer: <https://www.iao.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/aktuelles/nachhaltige-innovationen-fuer-die-naehrstoffwende.html>

BMBF; Bundesministerium für Bildung und Forschung. (2019). *Grundsatzpapier des Bundesministeriums für Bildung und Forschung zur Wissenschaftskommunikation*.

https://www.bmbf.de/SharedDocs/Publikationen/de/bmbf/1/24784_Grundsatzpapier_zur_Wissenschaftskommunikation.pdf

BUND. (7. Februar 2017). *Trübe Sicht für die Nordsee - hohe Nährstoffbelastung mit schwerwiegenden Folgen für das Ökosystem Meer*.

BUND: <https://www.bund.net/service/presse/pressemitteilungen/detail/news/truebe-sicht-fuer-die-nordsee-hohe-naehrstoffbelastung-mit-schwerwiegenden-folgen-fuer-das-oekosystem-im-meer/>

BMEL; Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. (2011). *Nachhaltiger Umgang mit der begrenzten Ressource Phosphor durch Recycling und Erhöhung der Phosphoreffizienz der Düngung*.

https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Ministerium/Beiraete/duengung/Phosphor.pdf

Carrington, D. (17. Mai 2019). *Why the Guardian is changing the language it uses about the environment*.

The Guardian: <https://www.theguardian.com/environment/2019/may/17/why-the-guardian-is-changing-the-language-it-uses-about-the-environment>

Deutscher Bundestag (2018). *Energieverbrauch bei der Produktion von mineralischem Stickstoffdünger*.

<https://www.bundestag.de/resource/blob/567976/bb4895f14291074b0a342d4c714b47f8/wd-8-088-18-pdf-data.pdf>

DIN e.V.; Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.) (2020): DIN SPEC 91421, *Qualitätssicherung*

von Recyclingprodukten aus Trockentoiletten zur Anwendung im Gartenbau. Beuth-Verlag, Berlin.

<https://dx.doi.org/10.31030/3213808>

ecovillage hannover eG (o.J.). *(Ab-) Wasserkonzept*.

Ecovillage Hannover: <https://www.ecovillage-hannover.de/standort-kronsberg/ab-wasserkonzept>

Fährnrich, B., & Schäfer, M. S. (2020). *Wissenschaftskommunikation zwischen Gesellschafts- und Medienwandel*. Publizistik(65), S. 515-522.

<https://doi.org/10.1007/s11616-020-00623-2>

Feller, C.; Fink M.; Laber, H.; Maync, A.; Paschold, P.; Scharpf, H.C.; Schlaghecken, J.; Strohmeyer, K.; Weier, U.; Ziegler, J. (2011). *Düngung im Freilandgemüsebau*. In: Fink, M. (Hrsg.): Schriftenreihe des Leibniz-Instituts für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ), 3. Auflage, Heft 4, Großbeeren

Finizio GmbH. (o.J.). *Von der Linear- zur Kreislaufwirtschaft*.

Finizio: <https://finizio.de/von-der-linear-zur-kreislaufwirtschaft/>

Fischer, P. J., & Kühn, F. E. (2019). "Brot aus der Luft" und andere chemische Beiträge zur Welternährung. *Chemie in unserer Zeit*(53), S. 112-124.

<https://doi.org/10.1002/ciuz.201800848>

Fuchs, S.; Scherer, U.; Wander, R.; Behrendt, H.; Venohr, M.; Opitz, D.; Hillenbrand, T.; Marscheider-Weidemann, F.; Götz, T. (2010). *Berechnung von Stoffeinträgen in die Fließgewässer Deutschlands mit dem Modell MONERIS - Nährstoffe, Schwermetalle und Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/berechnung-von-stoffeintragen-in-fluessgewaesser>

Future of Festivals (2020). Shiet Kram - Festivals und Nachhaltigkeit - FOF Digital 2020. [Video].

Youtube.. https://www.youtube.com/watch?v=97WVQTI_vL8&t=1s

Goldeimer gGmbH. (o.J.). *"Klopro" Bildungsworkshop*.

Goldeimer: <https://goldeimer.de/pages/bildung>

Gross, M. (2010). *Fears over phosphorus supplies*. Current Biology, 20(9), S. R386-R387.

<https://doi.org/10.1016/j.cub.2010.04.031>

Heim, K. (2020). *Bodenlose Zukunft? Wenn der Acker verschwindet*. [Vide]

ZDF: <https://www.zdf.de/wissen/leschs-kosmos/bodenlose-zukunft-wenn-der-acker-verschwindet-102.html>

Jeong, J.-E., & Park, S.-A. (2021). *Physiological and Psychological Effects of Visual Stimulation with Green Plant Types*. International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(24), S. 12932.

<https://doi.org/10.3390/ijerph182412932>

Kind, S. (2020). *Nachhaltige Phosphorversorgung*. Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB).

<https://doi.org/10.5445/IR/1000133950>

KMBW; Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg. (2016). *Bildungsplan des Gymnasiums. Biologie*. Villingen-Schwenningen: Neckar-Verlag GmbH.

http://www.bildungsplaene-bw.de/site/bildungsplan/get/documents/lbw/export-pdf/depot-pdf/ALLG/BP2016BW_ALLG_GYM_BIO.pdf

Korduan, J. (2020). *Rechtliche Rahmenbedingungen für die Anwendung von Recyclingprodukten aus menschlichen Fäkalien für Gartenbau und Landwirtschaft in Deutschland*. Masterarbeit, TU Berlin.

Krause, A.; von Hirschhausen, C.; Schröder, E.; Augustin, F.; Häfner, F.; Bornemann, G.; Sundermann, G.; Korduan, J.; Udert, K.; Deutsch, L.; Reinhardt, M. L.; Götzenberger, R.; Hoffmann, S.; Becker-Sonnenschein, S. (2021). *Ressourcen aus der Schüssel sind der Schlüssel - Wertstoffe zirkulieren, Wasser sparen und Schadstoffe eliminieren. Diskussionspapier zur Sanitär- und Nährstoffwende*.

naehrstoffwende.de: <https://www.naehrstoffwende.org/diskussionspapier-naehrstoff-und-sanitaerwende/> abgerufen

Krum, R. (2022). *re:publica Berlin 2022: Das Programm*.

re-publica: [https://re-publica.com/sites/default/files/2022-05/220524_republica - Das Programm.pdf](https://re-publica.com/sites/default/files/2022-05/220524_republica_-_Das_Programm.pdf)

Menge, H. (2006). *Langenscheidt Taschenwörterbuch Latein: Lateinisch - Deutsch, Deutsch - Lateinisch*. Berlin, München, u.a.: Langenscheidt.

Möbus, A. (2021). *Bewertung und Demonstration des Recyclingpotentials anthropogener Fäkalien für die Quartiersbegrünung am Beispiel eines Modellhauses des Ecovillage Hannover*. (unveröffentlichte) Masterarbeit. Technische Universität Berlin.

Nellen, W. (11. Februar 2020). *Große Worte - jenseits der Realität?*

Labour Journal: <https://www.laborjournal.de/editorials/1937.php?consent=1>

re:publica GmbH. (2022). *Über uns: re:publica*.

re:publica: https://re-publica.com/de/ueber_uns

Rockström, J.; Steffen, W.; Noone, K.; Persson, Å.; Chapin, F. S.; Lambin, E. F.; Lenton, T. M.; Scheffer, M.; Folke, C.; Schellnhuber, H. J.; Nykvist, B.; de Wit, C. A.; Hughes, T.; van der Leeuw, S.; Rodhe, S.; Sörlin, S.; Snyder, P. K.; Constanza, R.; Svedin, U.; Falkenmark, M.; Karlberg, L.; Corell, R. W.; Fabry, V. J.; Hansen, J.; Walker, B.; Liverman, D.; Richardson, K.; Crutzen, P. & Foley, J.A. (2009). *A safe operating space for humanity*. NATURE(461), S. 472-475.

<https://doi.org/10.1038/461472a>

Rohlmann, A. K. (2019). *Soviel Stickstoff und Phosphor gelangt aus Kläranlagen in Oberflächengewässer*.

top agrar: <https://www.topagrar.com/acker/news/wie-hoch-sind-die-stickstoff-und-phosphoreintraege-durch-klaeranlagen-in-oberflaechengewaesser-11894177.html?upgrade=true>

Schäfer, M. S., Kristiansen, S., & Bonfadelli, H. (2015). *Wissenschaftskommunikation im Wandel*. Köln: Herbert von Halem Verlag.

Schmoll, H. (14. November 2019). *Karliczek will Wissenschaftler zur Kommunikation zwingen*. Frankfurter Allgemeine: <https://www.faz.net/aktuell/politik/inland/karliczek-will-wissenschaftler-zur-kommunikation-zwingen-16485541.html>

Schröder, C. (2020). *Comparison of vermicomposts and thermophilic composts regarding fertilizing potential and mycorrhization in a pot experiment with lettuce*. (Masterarbeit). Technische Universität Berlin.

Siegfried, S. (6. September 2014). *Klug scheißen - Öko-WCs in Deutschland*.

taz: <https://taz.de/Oeko-WCs-in-Deutschland!/5033869/>

Spicer, S. (2017). *The nuts and bolts of evaluating science communication activities*. Seminars in Cell & Developmental Biology, 70, S. 17-25.

<https://doi.org/10.1016/j.semcd.2017.08.026>

Sradnik, A.; Feller, C.; Fink, M. (2017): *Nährstoffgehalte und N-Mineralisierung organischer Düngemittel*.

https://moden.igzev.de/wp-content/uploads/2017/05/IGZ_Organische_Duenger-MF-2017-05-03.pdf

Umweltbundesamt (Hrsg.). (2018). *Klärschlamm Entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland*.

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/2018_10_08_uba_fb_klaerschamm_bf_low.pdf

Urban Cycles (o.J.): *Urban Cycles - Ein Citizen Science Projekt zu nachhaltiger Düngung*.

<https://urban-cycles.de/>

Vismann, J. (08.06.2022): *Loo:topia* [Radiobeitrag]. RadioEinsRBB.

<https://www.radioeins.de/programm/sendungen/sondersendung/republica/loo-topia.html>

Walcher, D., & Leube, M. (2017). *Kreislaufwirtschaft in Design und Produktmanagement. Co-Creation im Zentrum der zirkulären Wertschöpfung*. Wiesbaden: Springer Gabler.

Weiterbildendes Studium Wasser und Umwelt (Hrsg.). (2015). *Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung*. Kromsdorf: Bauhaus Universitätsverlag.

Weitze, M.-D., & Heckl, W. M. (2016). *Wissenschaftskommunikation - Schlüsselideen, Akteure, Fallbeispiele*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. doi:10.1007/978-3-662-47843-1

Ziegler, R., & Fischer, L. (2020). *Ziele von Wissenschaftskommunikation - Eine Analyse der strategischen Ziele relevanter Akteure für die institutionelle Wissenschaftskommunikation in Deutschland 2014-2020*. Berlin: Wissenschaft im Dialog.

https://www.wissenschaft-im-dialog.de/fileadmin/user_upload/Projekte/Impact_Unit/Dokumente/201123_ImpactUnit_Ergebnisbericht_ZieleWisskomm.pdf

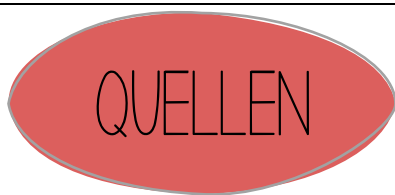
Zinkant, K. (16. November 2019). *Die Forschung ist zu viel auf Sendung*.

Süddeutsche Zeitung: <https://www.sueddeutsche.de/wissen/wissenschaft-die-forschung-ist-zu-viel-auf-sendung-1.4683337>

Anhang

A: Quellen Bildungsmaterial

Nachfolgend sind die Textquellen und die Bildquellen des Bildungsmaterials aufgelistet. Auf den Postern sind nummerierte Quellenverweise im Fließtext zu finden (1-41). Die zugehörige Literaturangabe ist in der Liste „QUELLEN“, Abbildung I, zu finden. Auf den Abbildungen der Poster sind ebenfalls nummerierte Verweise zu finden (1-30). Die Nummern auf den Bildern entsprechend den Nachweisen in der Liste „BILDQUELLEN“, Abbildung II. Beide Listen waren im DIN A 4 Format vor Ort einsehbar.



- 1: Fink, Arnold: **Pflanzenernährung und Düngung in Stichworten**. 6. Aufl., Stuttgart: Gebrüder Borntraeger, 2007
- 2: Fischer, Pauline J.; Kühn, Fritz E., 2019: „**Brot aus der Luft**“ und andere chemische Beiträge zur **Welternährung**. Chemie in unserer Zeit 53: 112-124.
- 3: Schubert, Sven: **Pflanzenernährung – Grundwissen Bachelor**. 2. Aufl., Stuttgart: Ulmer Verlag, 2011.
- 4: Friedrich Ebert Stiftung (Hrsg.): **Agrar- und Nährstoffwende – Vergessene Transformationen**. [<https://library.fes.de/pdf-files/a-p-b/18838.pdf>], Zugriff: 03.06.2011
- 5: Umweltbundesamt: **Lachgas und Methan**. [<https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/umweltbelastungen-der-landwirtschaft/lachgas-methan>], Zugriff: 03.06.2022.
- 6: Bundesinformationszentrum Landwirtschaft: **Viel Vieh, (zu) viel Gülle**. [<https://www.landwirtschaft.de/diskussion-und-dialog/umwelt/viel-vieh-zu-viel-guelle>], Zugriff: 01.06.2022
- 7: Umweltbundesamt: **Gutachten zur Anwendung von Minderungstechniken für Ammoniak durch „Ansäuerung von Gülle“ und deren Wirkungen auf den Boden – Abschlussbericht**. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/texte_148-2019_gutachten_anwendung_minderungstechniken_ammoniak_0.pdf], Zugriff: 03.06.2022
- 8: Rockström, Johan; Steffen, Will; Noone, Kevin; Persson, Åsa; Chapin, F. Stuart III; Lambin, Eric F.; Lenton, Timothy M.; Scheffer, Marten; Folke, Carl; Schellnhuber, Hans Joachim; Nykvist, Björn; de Wit, Cynthia A.; Hughes, Terry; van der Leeuw, Sander; Rodhe, Henning; Sörlin, Sverker; Snyder, Peter K.; Costanza, Robert; Svedin, Uno; Falkenmark, Malin; Karlberg, Louise; Corell, Robert W.; Fabry, Victoria J.; Hansen, James; Walker, Brian; Liverman, Diana; Richardson, Katherine; Crutzen, Paul; Foley, Jonathan A., 2009: **A safe operating space for humanity**. Nature 461: 472-475.
- 9: Finizio – Future Sanitation: **Die Verwertung der Feststoffe**. [https://finizio.de/pilotanlage/#verwertung_feststoffe], Zugriff: 03.06.2022
- 10: Vuna GmbH: **Aurin Recycling-Dünger**. [<https://vuna.ch/aurin/>], Zugriff: 03.06.2022

- 11: Emma Harlow: **Rechtliche Rahmenbedingungen für die Verwendung von Ausgangssubstraten menschlichen Ursprungs in der Düngung: Eine Literaturrecherche und ein Vergleich der Länder Deutschland, Österreich und Schweiz.** [<https://www.igzev.de/wp-content/uploads/2018/05/Bachelorarbeit-Emma-Harlow-2019-1.pdf>], Zugriff: 03.06.2022
- 12: Wald Chelsea, 2022: **The urine revolution: how recycling pee could help to save the world.** Nature, 602, 202–206.
- 13: Krause, Ariane; von Hirschhausen, Christian; Schröder, Enno; Augustin, Florian; Häfner, Franziska; Bornemann, Gerhild; Sundermann, Greta; Korduan, Janine; Udert, Kai; Deutsch, Lisa; Reinhardt, Maximilian Luz; Götzenberger, Renate; Hoffmann, Sabine; Becker-Sonnenschein, Stephan: **Ressourcen aus der Schüssel sind der Schlüssel: Diskussionspapier zur Sanitär- und Nährstoffwende: Wertstoffe zirkulieren, Wasser sparen und Schadstoffe eliminieren.** [<https://www.naehrstoffwende.org/wp-content/uploads/2021/04/Ressourcen-aus-der-Schu%CC%88ssel-sind-der-Schu%CC%88ssel-Diskussionspapier-zur-Sanita%CC%88r-und-Na%CC%88hrstoffwende-2.pdf>], Zugriff: 03.06.2022
- 14: Umweltbundesamt: **Klärschlamm Entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland.** [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/2018_10_08_uba_fb_klaerschamm_bf_low.pdf], Zugriff: 06.06.2022
- 15: eawag: **Fact Sheet «Antibiotikaresistenzen im Wasser».** [https://www.eawag.ch/fileadmin/user_upload/fb_antibiotikaresistenzen_juli15.pdf], Zugriff: 06.06.2022
- 16: George, Eckhard; Reyhaneh Eghbal (Hrsg.): **Ökologischer Gemüsebau - Handbuch für Beratung und Praxis.** 2. Auflage, Mainz: Bioland Verlags GmbH, 2009
- 17: Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND): **Nitrat im Trinkwasser – Problemlage, aktuelle Forschungsergebnisse und Analyse bisher eingeschlagener Lösungswege.** [https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/fluesse/fluesse_trinkwasser_nitrat_studie.pdf], Zugriff: 06.06.2022
- 18: Hauke Waskewitz: Westsahara – Der vergessene Konflikt. [<https://www.disorient.de/magazin/westsahara-der-vergessene-konflikt>], Zugriff: 06.06.2022
- 19: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz: **Nachhaltiger Umgang mit der begrenzten Ressource Phosphor durch Recycling und Erhöhung der Phosphoreffizienz der Düngung.** [https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Ministerium/Beiraete/duengung/Phosphor.pdf?__blob=publicationFile&v=3], Zugriff: 06.06.2022
- 20: Werra-Kalibergbau-Museum: **Ungewöhnliche Bergtour mit Weitblick.** [https://www.kalimuseum.de/upload/files/flyer/220207_PR_Monte_Kali_144.pdf], Zugriff: 06.06.2022
- 21: Buhse, Günter, 1975: **Fischereibiologische Störungsfaktoren, hervorgerufen durch industrielle Versalzung am Beispiel der Werra und Ober-Weser.** SIL Proceedings 17, Ausgabe 4: Seite 2563-2567.
- 22: BUND Hessen: **Kalibergbau durch K+S – BUND Hessen klagt auf Sanierung der Salzschaeden.** [<https://www.bund-hessen.de/pm/news/kalibergbau-durch-k-s-bund-hessen-klagt-auf-sanierung-der-salzschaeden/>], Zugriff: 06.06.2022
- 23: **Düngegesetz.** (2009). Zuletzt geändert am 10.08.2021.
- 24: **Düngeverordnung.** (2017). Zuletzt geändert am 10.08.2021.
- 25: **Düngemittelverordnung.** (2012). Zuletzt geändert am 02.10.2019.
- 26: **Kreislaufwirtschaftsgesetz.** (2012). Zuletzt geändert am 10.08.2021.
- 27: **Abfallverzeichnisverordnung.** (2001). Zuletzt geändert am 30.06.2020.

28: bspw. **Gewerbeabfallverordnung**. (2017). Zuletzt geändert am 28.04.2022.

29: **Bundeszentrum für Ernährung: Steviakraut und Stevia-Extrakte – Zuckerersatz mit Grenzen**. [<https://www.bzfe.de/lebensmittel/einkauf-und-kennzeichnung/novel-food/steviakraut-und-stevia-extrakte/>], Zugriff: 06.06.2022

30: **Durchführungsverordnung (EU) 2020/24 der Kommission vom 13. Januar 2020 zur Genehmigung einer Erweiterung der Verwendungszwecke von Chiasamen (Salvia hispanica) als neuartiges Lebensmittel sowie der Änderung der Verwendungsbedingungen und der spezifischen Kennzeichnungsvorschriften für Chiasamen (Salvia hispanica) gemäß der Verordnung (EU) 2015/2283 des Europäischen Parlaments und des Rates und zur Änderung der Durchführungsverordnung (EU) 2017/2470 der Kommission**. [<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R0024&from=ES>], Zugriff: 06.06.2022

31: DIN SPEC 91421:2020-12 – **Qualitätssicherung von Recyclingprodukten aus Trockentoiletten zur Anwendung im Gartenbau**

32: Umweltbundesamt: **PFAS – Gekommen, um zu bleiben**. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2546/publikationen/uba_sp_pfas_web_0.pdf], Zugriff: 06.06.2022

33: Umweltbundesamt: **Arzneimittelrückstände in der Umwelt**. [<https://www.umweltbundesamt.de/daten/chemikalien/arzneimittelrueckstaende-in-der-umwelt#arzneimittelwirkstoffe-in-der-umwelt>], Zugriff: 06.06.2022

34: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz: **Welche Auswirkungen haben Medikamente auf die Umwelt?** [<https://www.bmuv.de/richtig-entsorgen-wirkt/welche-auswirkungen-haben-medikamente-auf-die-umwelt>], Zugriff: 06.06.2022

35: Darai, Gholamreza; Handermann, Michaela; Sonntag, Hans-Günther; Zöller, Lothar (Hrsg.): **Lexikon der Infektionskrankheiten des Menschen – Erreger, Symptome, Diagnose, Therapie und Prophylaxe**. 4. Auflage, Berlin: Springer Verlag, 2012

36: Schriftliche Mitteilung der DIN SPEC 91421 Autorenschaft

37: Prüfbericht der AGROLAB Agrar und Umwelt GmbH vom 20.04.2022

38: Krause, Ariane; Häfner, Franziska; Augustin, Florian; Harlow, Emma; Boness, Jan-Ole; Udert, Kai M.: **Risikoanalyse – Zur Anwendung von Recyclingdüngern aus menschlichen Fäkalien im Gartenbau**. [https://www.igzev.de/wp-content/uploads/2019/04/Krause_Risikoanalyse_DE.pdf], Zugriff: 06.06.2022

39: Prüfbericht der Eurofins Umwelt Ost GmbH vom 20.05.2022

40: Umweltbundesamt: **Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe – Umweltschädlich! Giftig! Unvermeidbar?** [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/polyzyklische_aromatische_kohlenwasserstoffe.pdf], Zugriff: 06.06.2022

41: Scheub, Ute; Pieplow, Haiko; Schmidt, Hans-Peter: **Terra Preta. Die schwarze Revolution aus dem Regenwald. Mit Klimagärtnern die Welt retten und gesunde Lebensmittel produzieren**. 1. Auflage, München: Oekom Verlag, 2017.

Abbildung I: Quellenverzeichnis Bildmaterial



BILDQUELLEN

1: Ökologische Belastungsgrenzen. Felix Müller, 2014. Online unter: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Oekologische_Belastungsgrenzen_planetary_boundaries.png?uselang=de

2: Herstellungsprozess Aurin. VunaNexus, 2020.

3: Knöllchenbakterien. Terraprima, 2013. Online unter: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nitrogen-fixing_nodules_in_the_roots_of_legumes..JPG

4: Lupine. Rainer Lippert, 2012. Online unter: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Blaue_Lupine,_Rh%C3%B6n.jpg

5: Erbse. Stefan Iefnaer, 2020. Online unter: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pisum_sativum_var._sativum_sl15.jpg

6: Ackerbohne. Mentxuwiki, 2020. Online unter: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Flor_de_Vicia_faba_\(haba\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Flor_de_Vicia_faba_(haba).jpg)

7: Klee. Oksana Sak, 2020. Online unter: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:%D0%9A%D0%B2%D1%96%D1%82%D0%B8_%D0%BB%D1%96%D1%82%D0%B0.jpg

8: Mops im Stroh. Katrin Bechtel, 2020. Online unter: <https://pixabay.com/de/photos/hund-mops-natur-stroh-sonne-tiere-4871005/>

9: Kornfeld. Arne Hückelheim, 2011. Online unter: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kornfeld.JPG>

10: Misthaufen. Asumipal, 2020. Online unter: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bezau-Sammerealpe-03ASD.jpg>

11: Gülle im Silo. Moehre1992, 2006. Online unter: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:G%C3%BClle_in_einem_G%C3%BCllesilo.jpg

12: Zuckerrüben. Stanzilla, 2015. Online unter: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Zuckerr%C3%BCben_Berthouville.jpg

13: Düngefabrik. Stif Komar, 2006. Online unter: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mineral_fertilizer_plant_\(Kirovo-Chepetsk\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mineral_fertilizer_plant_(Kirovo-Chepetsk).jpg),

14: Phosphatmine. Alexandra Pugachevsky, 2007. Online unter: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Togo_phosphates_mining.jpg

15: Knochenmehl. Arnoldius, 2017. Online unter: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Knochenm%C3%BChle_\(M%C3%BChlhofe\)_Knochenmehl.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Knochenm%C3%BChle_(M%C3%BChlhofe)_Knochenmehl.jpg)

16: Hornmehl. Dr. Eugen Lehle, 2008 Online unter: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hornmehl.jpg>

17: Zerstörtes Beirut. Mahdi Shojaeian, 2020. Online unter: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Damages_after_2020_Beirut_explosions_1.jpg

18: Ammoniumnitrat. Firsthuman, 2009. Online unter: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ammonium_nitrate-fuel_oil_\(ANFO\)_explosive.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ammonium_nitrate-fuel_oil_(ANFO)_explosive.jpg)

19: Verwertungsanlage. Finizio – Future Sanitation, 2019.

20: Monte Kali. Sven Schulz, 2007. Online unter: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Monte_Kali_in_Nordhessen.jpg

21: Entwicklung der Abwasserbehandlung. Eigene Darstellung nach Hansruedi Siegrist (Eawag)

22: PAK und ihre Eigenschaften. Umweltbundesamt, 2016. Online unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/polyzyklische_aromatische_kohlenwasserstoffe.pdf

23: Pflanzenernährung. Eigene Darstellung nach Chemie in unserer Zeit, 2019.

24: Minimum-Tonne. DooFi, 2009. Online unter: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Minimum-Tonne.svg>

25: Terra Preta. Bruno Glaser, 2012. Online unter: <https://doi.org/10.1016/j.gca.2010.11.029>

26: Aristoteles. Jastrow, 2006. Online unter: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aristotle_AI-temps_Inv8575.jpg

27: Justus von Liebig. Unbekannter Autor, ca. 1866. Online unter: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Justus_von_Liebig_NIH.jpg

28: Carl Bosch. BASF Corporate History, 1927. Online unter: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:1908_Carl_Bosch_\(1874-1940\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:1908_Carl_Bosch_(1874-1940).jpg)

29: Fritz Haber. Unbekannter Autor, ca. 1914. Online unter: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fritz_Haber_-_basf.jpg

30: Zusammensetzung der Luft. Eigene Darstellung nach Brönnimann, 2018.

Abbildung II: Bildquellenverzeichnis Bildungsmaterial

B: Demonstrations-Pflanzversuch: Fehlerquellen und Schwierigkeiten

Der **Nährstoffversuch** sollte dem Publikum die Funktionen der einzelnen Hauptnährstoffe näherbringen. Da die in der Literatur beschriebenen Symptome an den Versuchs-Pflanzen jedoch kaum zu erkennen oder gar zu unterscheiden waren, konnte die geplante Zuordnung der Pflanzen zur jeweiligen Variante nicht durchgeführt werden. Das Bildungsmaterial weckt die Erwartung, dass die Fehldüngungen an den Pflanzen sichtbar sind. Der Versuch konnte dieser Erwartung jedoch nicht entsprechen. Das Bildungsmaterial könnte entsprechend überarbeitet werden und die Diskrepanz zwischen den Angaben aus der Literatur und der Erfahrung aus dem Demonstrations-Versuch aufzeigen.

Es ist zudem anzunehmen, dass die geringe Größe der Wurzelkästen und die entsprechend geringe Wasserhaltekapazität das Wachstum der Pflanzen so begrenzt hat, dass sich die Symptome der Fehldüngungen nicht sichtbar ausprägen konnten. Bei einer Wiederholung des Versuchs könnten die Wurzelkästen durch größere Gefäße ersetzt werden, um Wasser und Wurzelraum als limitierende Faktoren auszuschließen.

Die großen Wurzelkästen, die im **Düngeversuch** verwendet wurden, erlaubten ein ausreichendes Wachstum, um klare Unterschiede zwischen den Varianten zu erkennen. Im Laufe der Wachstumsphase wurden die Kästen jedoch sehr schwer. Das regelmäßige Wiegen zur Ermittlung der Gießmenge war kaum von einer einzelnen Person zu bewerkstelligen. Im Zuge dieses Vorgangs sind mehrere Wurzelkästen zu Boden gefallen, wodurch die geplante dreimalige Wiederholung der Varianten nicht mehr durchführbar war. Bei einer Wiederholung des Versuchs empfiehlt es sich, die Wurzelkästen durch kleinere Gefäße zu ersetzen, um eine leichtere Handhabung ohne Verluste zu gewährleisten. Die großen Wurzelkästen haben sich im Rahmen der Ausstellung als Blickfang für das Publikum erwiesen. Um diesen Effekt weiterhin zu nutzen, ist denkbar, eine zusätzliche Wiederholung jeder Variante im Wurzelkasten anzusetzen und für diese Variante eine andere Methode zur Kalkulation der Bewässerungsmenge zu nutzen, bei der der Kasten nicht bewegt werden muss. Auch die Verwendung eines leichteren, weniger dichten Substrats, wie herkömmliche Topferde ist denkbar.

Alle Wurzelkästen (bis auf die Varianten H.I.T. und H.I.T. + Aurin) wurden mit derselben Menge Substrat befüllt. Durch die Heterogenität des Substrats entstanden jedoch unterschiedliche Füllhöhen, da sich das Substrat in den Kästen unterschiedlich verdichtet hat, sodass die Pflanzen teilweise sehr tief in den Kästen saßen. Um diesen Unterschied auszugleichen, ohne das Substrat weiter zu verdichten,

wurde der Boden der Kästen geöffnet und das Substrat mithilfe eines Andrückbretts nach oben geschoben. Die so entstandene Lücke wurde mit Nullerde gefüllt. Bei einer Wiederholung des Versuchs sollte dieser Arbeitsschritt vor dem Einsetzen der Jungpflanzen durchgeführt werden.

Durch einen Fehler beim Befüllen der Wurzelkästen musste die Versuchsvorbereitung wiederholt werden. Die Schweinegülle wurde jedoch bereits im ersten Durchlauf aufgebraucht und für die Besorgung und Analyse der Nähr- und insb. Schadstoffgehalte blieb keine Zeit mehr. Dadurch musste diese Variante vollständig gestrichen werden. Das Bildungsmaterial zu Schweinegülle wurde trotzdem ausgestellt und stieß beim Publikum auf reges Interesse. Bei einer Wiederholung des Versuches sollte also gewährleistet sein, dass genügend Material zur Verfügung steht, um die Variante durchzuführen.

Die Varianten, die Humusdünger enthielten (H.I.T. und H.I.T. + Aurin) zeigten deutlich mehr Wachstum als die anderen Varianten, während die Flüssigdünger-Varianten NPK, Vinasse und Aurin kaum größere Pflanzen hervorbrachten als die Nullvariante. Mutmaßlich hat die Methode der Düngerapplikation den Humusdünger bevorteilt. Alle Düngemittel wurden mit 750 ml vollentsalztem Wasser gleichmäßig in das Substrat eingearbeitet. Diese Anwendung entspricht jedoch nicht dem üblichen Vorgehen bei konzentrierten Flüssigdüngern. Das Verhältnis von Düngemittel zu Substrat ist bei den Varianten mit Flüssigdüngern ein viel Geringeres als beim Humusdünger, sodass die Verteilung im Wurzelkasten eine größere Rolle spielt. Es ist denkbar, dass die Jungpflanzen der Flüssigdünger-Varianten nicht genügend Nährstoffe erreichen konnten. Dieser Effekt kann durch die Wasserhaltekapazität des Humusdüngers noch verstärkt worden sein. Während die leicht verfügbaren Nährstoffe (wie NO_3) bei den Varianten ohne Humusdünger mit dem Gießwasser in den unteren Teil des Wurzelkastens ausgewaschen wurden, wurden sie in den Varianten mit Humusdünger vermutlich im Wurzelraum der Pflanzen gehalten. Die langsamere Freigabe der Nährstoffe aus dem organischen Material könnte diesen Effekt noch verstärkt haben. Um die volle Wirkung der Flüssigdünger zeigen zu können, sollte bei einer Wiederholung darauf geachtet werden, die verschiedenen Wirkmechanismen der Düngemittel zu berücksichtigen: Der Humusdünger sollte weiterhin in das Substrat eingearbeitet, oder als oberste Bodenschicht appliziert werden, während die Flüssigdünger mit dem Gießwasser gegeben werden.