

„Vorsicht Nährstofflücke! Keine Nährstoffe im Boden, kein Essen am Teller“

am 16. Oktober 2019

Nährstoffversorgung des Bodens als Grundvoraussetzung für unser Leben

Anorganische Nährstoffe bzw. Mengen- und Spurenelemente sind essenziell für das menschliche Leben. Da sie der Körper selbst nicht produzieren kann, müssen sie über die Nahrung aufgenommen werden (Bundesministerium für Arbeit, Soziales, Gesundheit und Konsumentenschutz, 2019). Ob Tiere oder Pflanzen: Auch sie müssen Nährstoffe aufnehmen, um wachsen und uns schließlich in Form von Lebensmittel versorgen zu können. Bei Tieren erfolgt dies letztlich über die Aufnahme von Pflanzen, bei Pflanzen wiederum über den Boden. Der Boden stellt damit für alle Lebewesen – direkt oder indirekt – die Grundlage für die Nährstoffversorgung dar (siehe Abb. 1). Um unsere Ernährung langfristig sicherstellen zu können, muss auch der Boden selbst über ausreichend Nährstoffe verfügen. In Hinblick auf die Prognose, dass sich die Weltbevölkerung in den nächsten 40 Jahren mehr als verdoppeln wird, muss eine nachhaltige Nährstoffversorgung der Böden unbedingt sichergestellt werden (FAO, 2019).

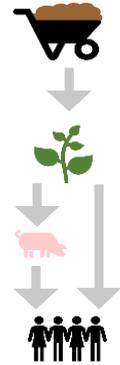


Abbildung 1: Boden als Grundlage der menschl. Nährstoffversorgung, eigene Darstg., 2019.

Nährstoffhaushalt von Boden und Pflanze

Die Mehrzahl der anorganischen Nährstoffe, die eine Pflanze zum Wachsen benötigt, ist ursprünglich im Boden gebunden bzw. in der Bodenlösung verfügbar (K+S, 2019) (chemische Komponente der Bodenfruchtbarkeit; Johns, 2015). Unter den Makronährstoffen – also jenen Nährstoffen wie Phosphor, Kalium, Calcium, Magnesium und Schwefel, die in großen Mengen vorliegen müssen – stellt lediglich der Stickstoff eine Ausnahme dar: Dieser Nährstoff wird überwiegend aus der Atmosphäre in den Boden eingetragen und dort umgewandelt (K+S, 2019). Im Boden sorgen Makro- und Mikroorganismen zudem dafür, dass organische Materialien wie Erntereste zersetzt und darin enthaltene Nährstoffe verfügbar gemacht werden (biologische Komponente der Bodenfruchtbarkeit; Soil quality, s. a.). Doch auch die Umgebung im Boden spielt eine bedeutende Rolle in der Nährstoffversorgung: Erst bei Vorliegen bestimmter Bodenbedingungen wie etwa in Hinblick auf die Wasserhaltefähigkeit oder die Textur (physikalische Komponente der Bodenfruchtbarkeit; Johns, 2015) können die Nährstoffe in ihren pflanzenverfügbaren Verbindungen von den Pflanzen aufgenommen werden (Humboldt Universität Berlin, s. a.). Das erlaubt den Pflanzen, ihre regulären Funktionen aufrechtzuerhalten und zu wachsen (Umweltbundesamt, 2017).

Zufuhr von Nährstoffen zur Aufrechterhaltung der Bodenfruchtbarkeit

Werden die Pflanzen im Rahmen der Ernte von den Feldern abgeführt, gehen den Böden die einst von den Pflanzen aufgenommenen Nährstoffe nachhaltig verloren (Umweltbundesamt, 2017). Dies beeinträchtigt insbesondere die chemische Komponente der Bodenfruchtbarkeit. Um die Bodenfruchtbarkeit – also die Fähigkeit, Pflanzen mit ausreichend Nährstoffen versorgen zu können (FAO, s. a.) – zu erhalten, müssen noch im Boden vorhandene Nährstoffe in Folge besser verfügbar gemacht oder Nährstoffe von außen zugeführt werden: Ersteres kann etwa durch verringertes Pflügen, angepassten Fruchtwechsel und eine entsprechende Bodenbedeckung erreicht werden (FAO, 2019). Zumal durch die Abfuhr der Pflanzen und damit auch der Nährstoffe die bodeneigenen Nährstoffreserven langfristig nicht ausreichen, ist eine Nährstoffzufuhr jedoch unumgänglich

(Umweltbundesamt, 2017). Diese kann über die Pflanzung von Leguminosen zur Stickstoffbindung, die Einarbeitung von Pflanzenrückständen nach der Ernte, die Zufuhr von organischem Dünger wie Stallmist und Kompost oder die Zufuhr von anorganischen, fossilen bzw. synthetisch gewonnen Düngemitteln erfolgen (FAO, 2019). Eine Nährstoffzufuhr ist für die beiden für das Pflanzenwachstum wichtigsten Nährstoffe Stickstoff und Phosphor dabei besonders elementar, da diese den Pflanzen in besonders großen Mengen bereitstehen müssen (zusammengefasst nach Vance, 2001). Diese beiden Nährstoffe sollen im Folgenden genauer betrachtet werden.

Einsatz von Düngemitteln zur Aufrechterhaltung der Bodenfruchtbarkeit

Wie wird in Österreich und der EU gedüngt?

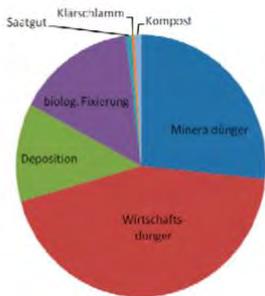


Abbildung 2: Stickstoffquellen in der österreichischen Landwirtschaft, Statistik Austria, 2010 – zit. nach Umweltbundesamt (2009).

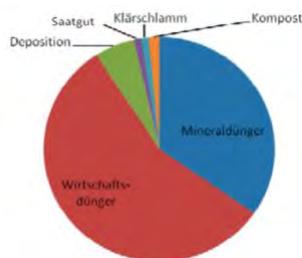


Abbildung 3: Phosphorquellen in der österreichischen Landwirtschaft, Statistik Austria, 2010 – zit. nach Umweltbundesamt (2009).



Abbildung 4: Stickstoffquellen in der EU-Landwirtschaft, RISE Foundation, 2016 – zit. nach Eurostat (2012a).

In Österreich stammt der Großteil der beiden Nährstoffe Stickstoff und Phosphor aus Wirtschaftsdüngemitteln¹ (siehe Abb. 2. und Abb. 3). Den zweitgrößten relativen Anteil nehmen in der Stickstoff- und Phosphorversorgung Mineraldüngemittel² mit rund 25 bzw. 30 % ein (siehe Abb. 2 und Abb. 3). Der Absatz von Mineraldüngemitteln hat sich in Österreich in den letzten Jahren stark verändert. Während 2008/09 nur etwa 86.300 Tonnen Stickstoff (N) bzw. 17.500 Tonnen Phosphor (P₂O₅) abgesetzt wurden, waren es nur sechs Jahre später bereits 130.300 Tonnen Stickstoff bzw. 31.600 Tonnen Phosphor (BMNT, 2019a). Das entspricht einem Anstieg um rund 50 bzw. 80 Prozent. Zuletzt sind die abgesetzten Düngemittel wieder auf etwa 113.100 Tonnen Stickstoff (N) und 28.500 Tonnen Phosphor (P₂O₅) gesunken (BMNT, 2019a). Zum Größenvergleich: Die österreichische Landwirtschaft produzierte im Jahr 2019 etwa 225.000 Tonnen Obst (Statistik Austria, 2019a).

Europaweit spielt die Zufuhr von Stickstoff und Phosphor über Mineraldüngemittel eine wesentlich bedeutendere Rolle als in

¹ Unter Wirtschaftsdüngemittel versteht man jene organische Substanzen, die in Land- oder Forstwirtschaft als Reststoffe anfallen (Pflanzenforschung.de, s. a.a). Beispiele dafür sind Gülle und Stallmist. Im Gegensatz zu Mineraldüngern enthalten Wirtschaftsdünger eine Vielzahl unterschiedlicher Nährstoffe und werden daher als Mehrnährstoffdüngemittel bezeichnet (Pflanzenforschung.de., s. a.a).

² Unter mineralischen Düngemitteln versteht man Düngemittel, die wichtige Nährstoffe mineralischen oder synthetischen Ursprungs enthalten (Pflanzenforschung.de, s. a.b), also etwa aus Bergwerken abgebaut oder über chemische Verfahren gebunden werden.

Österreich: Betrachtet man den Durchschnitt aller EU-Staaten, werden diese Nährstoffe zu rund 45 % mittels Mineraldüngemitteln zugeführt (siehe Abb. 4 und Abb. 5). Das ist ein Unterschied von rund 15 Prozentpunkten.

Die in der EU verwendeten Mineraldüngemittel werden überwiegend aus Drittländern zugekauft (Europäische Kommission, 2019). Deshalb ist die EU stark von der Exportbereitschaft gewisser Nicht-EU-Staaten – wie etwa Ägypten, Algerien und Russland für Stickstoff bzw. Marokko und Russland für Phosphor – abhängig (Europäische Kommission, 2019). Aufgrund der großen Mengen, in denen insbesondere stickstoffbasierte

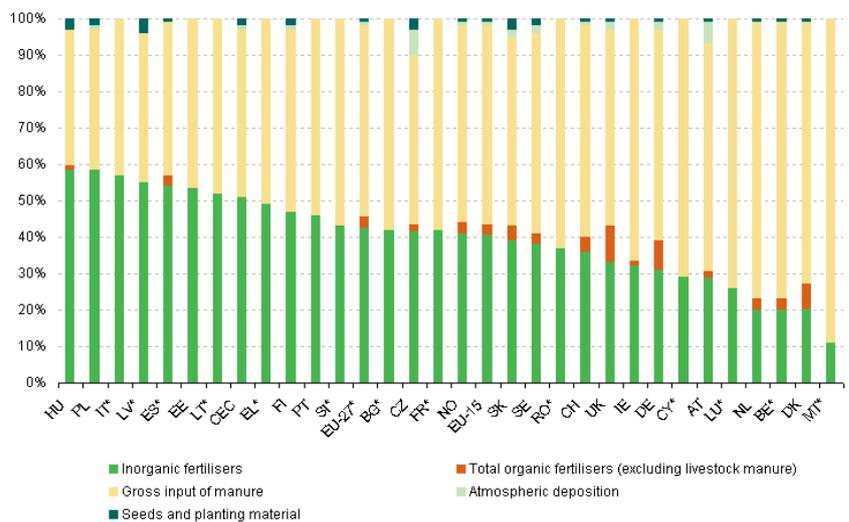


Abbildung 5: Phosphorquellen in der EU-Landwirtschaft, Eurostat, 2012b.

Düngemittel gehandelt werden, zählen diese mittlerweile zu den zwischen der EU und den Drittstaaten meistgehandelten Produkten (Europäische Kommission, 2019). In Summe wurden in der EU 2011 rund 10,4 Millionen Tonnen an stickstoffbasierten Düngemitteln verkauft, 2017 waren es rund 11,3 Millionen Tonnen (Eurostat, 2019). Bei Phosphor-Düngemitteln verhält es sich sehr ähnlich: 2011 wurden rund 1 Million Tonnen verkauft, 2017 waren es schon rund 1,6 Millionen Tonnen (Eurostat, 2019). Zum Größenvergleich: Dies entspricht zusammen etwa der Menge an Hühnerfleisch, die in der gesamten Europäischen Union produziert wird (13 Millionen Tonnen; Stand: 2014; Eurostat, 2015)

Wie hat sich der Einsatz von Düngemitteln verändert?

Wenngleich der Einsatz von mineralischen Düngemitteln heute bereits erhebliche Ausmaße aufweist, liegen die Anfänge der mineralischen Düngung sowohl welt-, als auch österreichweit nicht lange zurück. Auf Abb. 6 wird deutlich, dass bedeutende Mengen an mineralischen Düngemitteln hierzulande erst zu Beginn des 20. Jahrhunderts aufgebracht wurden. Trotz eines massiven Verlustes von Arbeitskräften ermöglichte eine Intensivierung der Landwirtschaft mitsamt verstärkter Nährstoffzufuhr damals, die rasch wachsende Bevölkerung zu ernähren (RISE Foundation, 2016). Zur Veranschaulichung: Während 1870 etwa noch 4,5 Millionen Menschen in Österreich gelebt haben, waren es 30 Jahre später bereits rund 6 Millionen (Statistik Austria, 2019b).

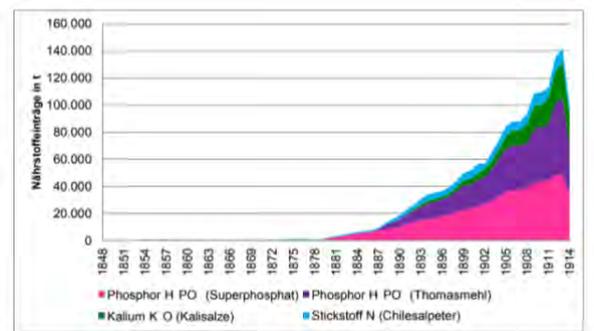


Abbildung 6: Nährstoffeinträge durch Mineraldüngemitteln in Österreich-Ungarn, Mayrhofer, 2014.

Bereits 1840 wurde im Vereinigten Königreich versucht, Gestein mit – allerdings geringen – Phosphorgehalten zu Mineraldünger aufzubereiten (RISE Foundation, 2016). Doch erst die Entdeckung phosphorreicher Gesteine in Florida in den 1870ern, in Marokko in den 1910ern und in Russland in den 1930ern (RISE Foundation, 2016) ermöglichte weithin eine mineralische Phosphordüngung – wie auch in Österreich (siehe Abb. 6). Auch der mineralischen Stickstoffdüngung

stand eine Entdeckung zu Beginn des 20. Jahrhunderts zu Grunde. 1913 wurde von den Forschern Haber und Bosch ein nach ihnen benanntes Verfahren etabliert, das ermöglichte, atmosphärischen Stickstoff effizient zu binden (RISE Foundation, 2016). Eine gleichzeitig verstärkt mechanisierte Landwirtschaft ermöglichte darüber hinaus, die importierten bzw. synthetisierten Düngemittel auf den Feldern aufzubringen (RISE Foundation, 2016).

Zumal die Nährstoffgehalte von Wirtschaftsdüngemitteln teils sehr schwankten und diese in der Handhabung folglich komplizierter waren, wurde in den folgenden Jahrzehnten insbesondere auf Mineraldüngemittel zurückgegriffen (RISE Foundation, 2016). Diese Entwicklungen verstärkten sich noch nach Ende des zweiten Weltkriegs (siehe Abb. 7). Aufgrund des Niedergangs der Sowjetregierungen und der einhergehenden Störung des landwirtschaftlichen Systems ist der Absatz mineralischer Düngemittel allerdings wieder stark zurückgegangen (RISE Foundation, 2016; siehe auch Abb. 7). Nicht zuletzt dadurch sank der Absatz drastisch – bei Phosphordüngemitteln ging dieser etwa wieder um rund 70 % zurück (RISE Foundation, 2016). Wenngleich die Industriestaaten im Absatz von Phosphordüngemitteln seither einen Rückgang aufweisen, wird aufgrund des wachsenden Bedarfs seitens der entwickelnden Länder global dennoch in Summe von einem Anstieg ausgegangen (zusammengefasst nach Cordell and White, 2011).

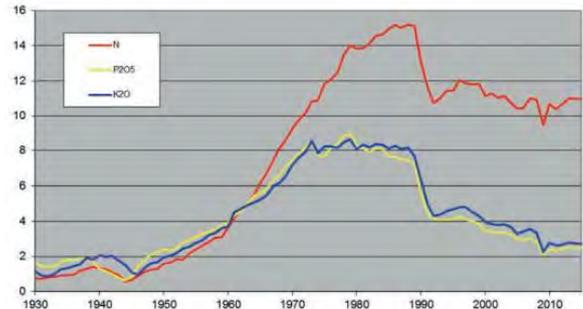


Abbildung 7: Entwicklung des Absatzes von Mineraldüngemitteln in der EU, RISE Foundation, 2016 – zit. nach Fertilizers Europe, 2015.

Notwendigkeit eines Umdenkens rund um die mineralische Phosphor- & Stickstoffdüngung

Phosphor

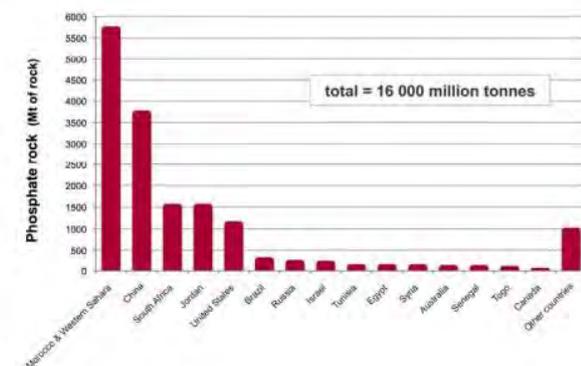


Abbildung 8: Die größten Phosphorgesteinsreserven weltweit, Schröder et al., 2010 – basierend auf Daten der USGS.

Dem Nährstoff Phosphor kommt aufgrund seines geographisch begrenzten Vorkommens eine Sonderrolle zu. In nur vier Staaten befinden sich 85 % aller Phosphorgesteine (RISE Foundation, 2016) – in Europa hingegen werden keine wirtschaftlich relevanten Phosphorreserven verortet (siehe Abb. 8). Zwar ist der Bedarf mineralischer Phosphordüngemittel in der EU und auch in Österreich bereits rückläufig (siehe oben). Durch den Anstieg des Bedarfes in den Entwicklungsländern ist aber einerseits fraglich, wie lange diese die in ihren Gebieten vorkommenden Phosphorgesteine

exportieren. Andererseits besteht in der Wissenschaft die Gewissheit, dass die abbauwürdigen Phosphorreserven weltweit ohnedies in 50, spätestens in 200 Jahren erschöpft sein werden (BMEL, 2019). Dass auch Österreich von einem Phosphormangel betroffen sein kann, zeigen Erhebungen der Österreichischen Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit (AGES, s. a.): Für eines der wichtigsten heimischen Agrargebiete – das Marchfeld – wurde bereits festgestellt, dass hochversorgte Standorte erheblich ab-, niedrig versorgte Standorte allerdings erheblich zunehmen (AGES, s. a.). In den letzten zwanzig Jahren haben sich letztere etwa vervierfacht (AGES, s. a.).

Stickstoff

Die Situation rund um den Nährstoff Stickstoff gestaltet sich aufgrund seines häufigen Vorkommens in der Atmosphäre vollkommen anders. Bei diesem Nährstoff steht nicht die Ressourcenknappheit im Fokus, sondern die intensive Synthese von stickstoffbasierten Mineraldüngern: Stickstoff kann – wie bereits erwähnt – im Haber-Bosch-Verfahren gebunden werden – in Form von Ammoniak (Deutscher Bundestag, 2018). Die Ammoniaksynthese ist aufgrund der hohen Temperaturen und des hohen Drucks allerdings ein äußerst energieaufwändiger Prozess, was sie mit einem Anteil von ein bis drei Prozent am weltweiten Energiebedarf zu einem der größten industriellen Energieverbraucher macht (Deutscher Bundestag, 2018). Gleichzeitig werden durch die Produktion einer Tonne Ammoniak zwei Tonnen an Kohlenstoffdioxid freigesetzt (Deutscher Bundestag, 2018). Zum Größenvergleich: Ein durchschnittlicher Neuwagen produziert pro Jahr rund 1,5 Tonnen CO₂ (eigene Berechnung nach VCÖ, 2016; BMNT, 2019b). Zumal jährlich rund 450 Millionen Tonnen an Düngemitteln über das Haber-Bosch-Verfahren (RISE Foundation, 2016) mit folglich erheblichen Umweltkonsequenzen gewonnen werden, ist auch hierbei ein Umdenken erforderlich.

Gleichzeitig führt die kontinuierliche Verabreichung bestimmter Mineraldüngermittel – etwa mit niedrigen pH-Werten oder hohen Salzanteilen – zu einem Ungleichgewicht der biologischen, chemischen und physikalischen Komponenten der Bodenfruchtbarkeit (FAO, 2019). Dies führt nicht zuletzt zu einer langfristigen Bodenunfruchtbarkeit, die nur unter großem Aufwand wiederaufgebaut werden kann (FAO, 2019).

Lösungsansatz Kreislaufwirtschaft

Das Ziel einer Kreislaufwirtschaft ist es, Reststoffe aus Land- und Ernährungswirtschaft als erneuerbare Ressourcen im System zu belassen (WUR, 2018). Durch eine erhöhte Nutzungseffizienz von Biomasse, die sich bereits im System befindet, kann auch der Einsatz von Mineraldüngern verringert (WUR, 2018) und damit der Einsatz bereits besonders knapper Ressourcen vermieden werden (siehe oben). Dies erfordert nicht zuletzt ein konsequentes Schließen von Nährstoffkreisläufen: Die Hauptprodukte der pflanzlichen Kulturen sollen der menschlichen Ernährung dienen – Reststoffe und Abfälle aus Landwirtschaft, Gartenbau oder der Nahrungsindustrie wie etwa besonders eiweißreiche Rote Rüben-Blätter werden hingegen für die Fütterung der landwirtschaftlichen Nutztiere eingesetzt (WUR, 2018). Die Reststoffe aus der Tierhaltung wiederum – der Wirtschaftsdünger – werden gezielt zur Düngung der pflanzlichen Kulturen für die menschliche Ernährung eingesetzt (WUR, 2018).

Ein derartiges Kreislaufsystem wird zwar häufig mit dem oftmals verklärten Bild der Landwirtschaft vor Zeiten von Mechanisierung und Intensivierung verwechselt (WUR, 2018). Doch das Schließen der Kreisläufe im Sinne einer Kreislaufwirtschaft basiert häufig auf dem Einsatz hochentwickelter Umwelttechnologien – wie etwa chemischer Verfahren und einer ausgeprägten Sensorik und Robotik (WUR, 2018). Ein Beispiel: Zumal Nährstoffe durch den Verkauf von Lebensmitteln an die Bevölkerung den betrieblichen Kreislauf verlassen, muss auch hierbei versucht werden, eine Kreislaufschließung zu erreichen (WUR, 2018). Eine mögliche Lösung ist, Nährstoffe aus den Ausscheidungen der Menschen zurückzugewinnen, hygienisch aufzubereiten und folglich wieder an die Landwirtschaft zurückzuführen: Eine gezielte Aufbereitung von Abwässern – besonders in Ballungsräumen mit einer entsprechend hohen Nährstoffkonzentration – vermag etwa 80 % des österreichweit eingesetzten Mineraldüngers zu ersetzen (Egle, 2019). Derzeit werden die Nährstoffe in derartigen Abfällen hingegen meist auf Deponien gelagert, sodass eine Rückgewinnung technisch und wirtschaftlich meist nicht mehr durchführbar ist (Egle, 2019).

Vorteile von Kreislaufwirtschaft für das Klima

Die Landwirtschaft spielt rund um den Klimawandel eine ambivalente Rolle: So ist sie Betroffene der Auswirkungen, wirkt ihm über die Produktion von Biomasse und die Bindung von CO₂ entgegen und ist gleichzeitig auch Mitverursacherin. Durch eine Forcierung der Kreislaufwirtschaft kann ihre Rolle in der Mitigation des Klimawandels aber weiter ausgebaut, jene in der Verursachung minimiert werden (WUR, 2018). Wird die Ressourcennutzungseffizienz durch die Vermeidung von Abfällen – also die mehrmalige Nutzung eingesetzter Rohstoffe – erhöht, kann auch die mit dem Einsatz „neuer“ Ressourcen einhergehende Emission von CO₂, Stickoxiden, Methan und anderen klimaschädlichen Gasen reduziert werden. Gerade am Beispiel der Ammoniakproduktion für die Landwirtschaft wird zudem deutlich: Setzt man statt der Mineraldüngemittel Reststoffe wie Wirtschaftsdüngemittel ein, können erhebliche Mengen an CO₂-Emissionen vermieden werden (siehe oben). Durch den Fokus auf den Einsatz von Biomasse und die Einarbeitung von Reststoffen in die Böden wird zudem CO₂ gebunden (WUR, 2018), das nicht zuletzt durch andere Sektoren erzeugt wird.

Quellen:

AGES – Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit (2019): Mind the Gap! Wie groß ist die österreichische Nährstofflücke? Präsentation im Rahmen der Veranstaltung des Ökosozialen Forums am 16. Oktober 2019.

BMEL – Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2019): Phosphor, alles nur eine Frage der Verfügbarkeit.

https://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Pflanzenbau/Boden/_Texte/TdMSeptemberSchnug-Phosphor.html (07.11.2019).

BMNT – Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (2019a): Grüner Bericht [Onlineversion]. Wien: Selbstverlag.

BMNT – Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (2019b): Statusbericht zu den CO₂-Emissionen neu zugelassener Pkw in Österreich. <https://www.bmnt.gv.at/umwelt/luft-laerm-verkehr/co2-monitoringPKW1.html> (07.11.2019).

Bundesministerium für Arbeit, Soziales, Gesundheit und Konsumentenschutz (2019): Vitamine & Mineralstoffe. <https://www.gesundheit.gv.at/leben/ernaehrung/info/vitamine-mineralstoffe/inhalt> (07.11.2019).

Cordell, D. and White, S. B. (2011): Peak Phosphorus: Clarifying the Key Issues of a Vigorous Debate about Long-Term Phosphorus Security [Onlineversion]. Sustainability 2011 (3), 2027-2049.

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> (07.11.2019).

Egle, L. (2019): Vorsicht, Nährstofflücke! Nährstoffrecycling in urbanen Zentren: Wenn die Nährstoffe aus der Stadt kommen. Präsentation im Rahmen der Veranstaltung des Ökosozialen Forums am 16.10.2019.

Europäische Kommission (2019): Fertilisers in the EU – Prices, trade and use [Onlineversion]. S. I.: Selbstverlag.

Eurostat (2012a): Zugriff derzeit nicht möglich.

Eurostat (2012b): Gross Phosphorus Balance – share in P inputs, average 2005-2008. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Gross_Phosphorus_Balance_-_share_in_P_inputs,_average_2005-2008.png (03.12.2019).

Eurostat (2015): Statistics on slaughtering, all species, by country. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Statistics_on_slaughtering,_all_species,_by_country,_2014.png (07.11.2019).

Eurostat (2019): Sales of fertilisers by type of nutrient. <https://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-datasets/-/TAI01> (07.11.2019).

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nation (2019): Nutrients and soil fertility. <http://www.fao.org/tc/exact/sustainable-agriculture-platform-pilot-website/nutrients-and-soil-fertility-management/en/> (07.11.2019).

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nation (s. a.): Soil Fertility. <http://www.fao.org/3/AC172E/AC172E06.htm> (07.11.2019).

Fertilizers Europe (2015): Zugriff derzeit nicht möglich.

Humboldt Universität Berlin (s. a.): Eigenschaften von Böden in Abhängigkeit von Bodenarten (sowie untergeordnete Beiträge). https://www.bodenkunde-projekte.hu-berlin.de/boku_online/pcboku10.agrar.hu-berlin.de/cocoon/boku/sco_2_substrate_82e17c.html?section=N100BW (07.11.2019).

Johns, C. (2015): The Chemical Fertility of Soils: Soil Nutrients and Plant Nutrition [Onlineversion]. Dalkeith: Selbstverlag.

K+S (s. a.): Nährstoffe und nützliche Elemente (sowie untergeordnete Beiträge). http://www.ks-minerals-and-agriculture.com/dede/fertiliser/advisory_service/nutrients/ (07.11.2019).

Mayrhofer, I. (2014): Die Anfänge der mineralischen Düngung in Österreich-Ungarn (1848-1914) [Onlineversion]. Wien: Selbstverlag der Faculty for Interdisciplinary Studies – Institute of Social Ecology.

Pflanzenforschung.de (s. a.a): Wirtschaftsdünger. <https://www.pflanzenforschung.de/de/themen/lexikon/wirtschaftsduenger-827> (07.11.2019).

Pflanzenforschung.de (s. a.b): Mineraldünger. <https://www.pflanzenforschung.de/de/themen/lexikon/mineralduenger-828> (07.11.2019).

RISE Foundation (2016): Nutrient Recovery and Reuse (NRR) in European agriculture – A review of the issues, opportunities, and actions [Selbstverlag]. Brüssel: Selbstverlag.

Schröder, J. J., Cordell, D., Smit, A. L. and Rosemarin, A. (2010): Sustainable Use of Phosphorus [Onlineversion]. Wageningen: Selbstverlag von Plant Research International.

Soil Quality (s. a.): Soil Biological Fertility [Onlineversion]. S. I.: Selbstverlag.

Statistik Austria (2010): Regionale Nährstoffbilanzen in Österreich für NUTS 3-Gebiete [Onlineversion]. Wien: Selbstverlag.

Statistik Austria (2019a): Obst. https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrarstruktur_flaechen_ertrage/obst/index.html (04.12.2019).

Statistik Austria (2019b): Jahresdurchschnittsbevölkerung 1870-2018. https://statistik.gv.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/bevoelkerung/bevoelkerungsstand_und_veraenderung/bevoelkerung_im_jahresdurchschnitt/022311.html (07.11.2019).

Umweltbundesamt (2009): UNFCCC Austrian National Inventory Report [Onlineversion]. Wien: Selbstverlag.

Umweltbundesamt (2017). Düngemittel. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/umweltbelastungen-der-landwirtschaft/duengemittel> (07.11.2019).

USGS – U. S. Geological Survey: <https://www.usgs.gov>.

Vance, C. P. (2001): Symbiotic Nitrogen Fixation and Phosphorus Acquisition. Plant Nutrition in a World of Declining Renewable Resources. <http://www.plantphysiol.org/content/127/2/390> (07.11.2019).

VCÖ – Verkehrsclub Österreich (2016): VCÖ: Österreichs Autofahrer [sic] fahren im Schnitt 34 Kilometer pro Tag. <https://www.vcoe.at/news/details/vcoe-oesterreichs-autofahrer-fahren-im-schnitt-34-kilometer-pro-tag> (07.11.2019).

WUR – Wageningen University and Research (2018): Circular agriculture: a new perspective for Dutch Agriculture. <https://www.wur.nl/en/newsarticle/Circular-agriculture-a-new-perspective-for-Dutch-agriculture-1.htm> (07.11.2019).