

Aurin, ein Dünger aus menschlichem Urin im Praxistest auf Sportrasen

Akert, F., P. Aebischer, K.M. Udert und B. Reidy

Zusammenfassung

Um Nährstoffkreisläufe möglichst zu schließen und Nährstoffe effizient zu nutzen, wurde ein aus menschlichem Urin produzierter Dünger (Aurin) auf einem für Fußball genutzten Sportrasen getestet. Dabei wurde die Rasenfläche in drei Teilflächen unterteilt und von April bis Oktober mit herkömmlichem Handelsdünger (HD), Aurin (A) und Aurin mit Ergänzungsdüngung von Kalium, Phosphor und Magnesium (A+) gedüngt. Die Teilflächen wurden zwischen April und November regelmäßig bonitiert und mittels Multispektralbildanalyse untersucht. Im April, September und Oktober wurden Bodenproben entnommen, um den Nmin Gehalt im Boden zu bestimmen. Aus den Ergebnissen der Untersuchungen zeigten sich nur bei der Rasenfarbe und beim Nmin Gehalt des Bodens geringe Unterschiede. Dabei schien die Nährstoffergänzung von Aurin einen positiven Effekt auf die Stickstoffaufnahme in die Pflanze zu haben. Dies wirkte sich vor allem während Trockenperioden positiv auf die Rasenfarbe aus. Praktische Beobachtungen durch die Pflegeverantwortlichen zeigten, dass ein höheres Ausbringungsintervall mit geringeren Aurin-Mengen sinnvoll war. So konnten die Vernässung der Fläche und die kurzzeitige Verätzung des Rasens verhindert werden. Auch das Stoßwachstum in den Tagen nach der Düngung konnte so gebremst werden. Dieser Praxistest zeigt auf, dass Dünger aus menschlichem Urin eine interessante Option für eine kreislauffähige Bewirtschaftung von Sportrasen oder andere Kulturen mit hohem Stickstoffbedarf darstellen kann. Dies ist allerdings mit einem höheren Arbeitsaufwand in der Bewirtschaftung verbunden.

Summary

In order to close nutrient cycles as far as possible and use nutrients efficiently, a fertilizer produced from human urine (Aurin) was tested on a sports turf used for football. The turf was divided into three sections and fertilized from April to October with conventional commercial fertilizer (HD), Aurin (A) and Aurin with

supplementary fertilization of potassium, phosphorus and magnesium (A+). The subplots were regularly assessed between April and November and examined using multispectral image analysis. Soil samples were taken in April, September and October to determine the Nmin content in the soil. The results of the tests only showed slight differences in the turf color and the Nmin content of the soil. The nutrient supplementation of Aurin appeared to have a positive effect on nitrogen uptake by the plant. This had a positive effect on turf color, especially during dry periods. Practical observations by greenkeepers showed that a higher application interval with lower amounts of Aurin made sense. This prevented the area from becoming waterlogged and the turf from becoming temporarily etched. It was also possible to slow down the growth in the days following fertilization. This practical test shows that fertilizer from human urine can be an interesting option for the circular cultivation of sports turf or other crops with high nitrogen requirements. However, this involves more work in terms of management.

Einleitung

Vor dem Hintergrund, Nährstoffe möglichst effizient zu nutzen und Nährstoffkreisläufe zu schließen, wurde die Anwendung eines aus menschlichem Urin hergestellten Düngers auf einem städtischen Sportrasen getestet. Neu entwickelte Verfahren erlauben es, Nährstoffe aus menschlichen Ausscheidungen zurückzugewinnen. Besonders interessant ist Urin, weil darin die meisten der ausgeschiedenen Nährstoffe enthalten sind (LARSEN et al., 2021). Allerdings müssen im Urin enthaltene chemische Schadstoffe und Krankheitserreger vor der Verwendung entfernt werden und die Nährstoffe sollten im Endprodukt in einer pflanzenverfügbaren Form vorliegen (KRAUSE et al., 2021). Die am weitesten entwickelte Technologie zur Düngerherstellung aus getrennt gesammeltem Urin beruht auf der biologischen Nitrifikation als zentralen Prozessschritt (FUMASOLI et al., 2016). Dazu wird Urin in Separationstoiletten oder wasserlosen Urinalen getrennt aufgefangen

und über ein gesondertes Leitungssystem in Lagertanks abgeführt. Während der Lagerung spalten Bakterien Harnstoff zu Ammoniak und Kohlendioxid. Außerdem werden weitere organische Bestandteile fermentiert. Der gelagerte Stickstoff im Urin wird anschließend mittels Nitrifikation zu Ammoniumnitrat umgewandelt. Bei diesem Verfahren wird die Hälfte des Ammoniaks zu Nitrat umgewandelt und der pH-Wert sinkt, so dass eine Ausgasung von Ammoniak verhindert wird. Außerdem werden übelriechende organische Substanzen abgebaut. Die anschließende Behandlung mit granulierter Aktivkohle entfernt Arzneimittlrückstände und andere Mikroverunreinigungen. Zur Abtötung von Krankheitserregern wird die Lösung in einem Destillator erhitzt, dabei werden auch die Nährstoffe aufkonzentriert. So wird auch der Dünger Aurin (VunaNexus GmbH, Schweiz) hergestellt, welcher in der Schweiz seit 2016, in Liechtenstein seit 2019 und in Österreich seit 2022 ein zugelassener Dünger ist. Aurin ist ein Flüssigdünger, der hauptsächlich Stickstoff, aber auch weitere Nährstoffe enthält (Tabelle 1). Ziele der Untersuchungen im Rahmen dieses Praxisversuchs waren, die technische Durchführbarkeit der Ausbringung von Aurin auf Sportrasen zu testen und die Auswirkungen auf den Stickstoffgehalt im Boden von Aurin im Vergleich zu herkömmlichem Handelsdünger zu untersuchen.

Material und Methoden

Versuchsfläche und Düngung

Zwischen März und November 2022 wurden auf einem wenig bis mittelintensiv genutzten Sportrasen (Fußballfeld Buchleren R5, Zürich-Altstetten) in der Stadt Zürich (CH) drei Düngungsverfahren unter Praxisbedingungen getestet. Der Rasen auf dem Sportplatz mit bodennahem Aufbau setzte sich hauptsächlich aus den Gräserarten *Poa pratensis* und *Poa supina* und einem geringen Anteil an *Lolium perenne* und *Poa pratensis* (ca. 20 %) zusammen. Im März 2022 wurde eine Standarddüngung mit 6,1 g N; 1,5 g P₂O₅; 2,3 K₂O und 0,41 g Mg pro m² auf dem Sportrasen ausgebracht. Anschließend

wurde die gesamte Fläche in drei parallele Streifen unterteilt und in fünf bis sieben Teilgaben mit den jeweiligen Düngerverfahren separat gedüngt. Die Breite und Anzahl der Streifen wurden auf die Breite des Düngersprühbalkens und die Bewirtschaftung und Nutzung abgestimmt. Auf einer Fläche von 3.600 m² wurden die Nährstoffe in Form von Rasen Handelsdünger (HD) (Hauert HBG Dünger AG, Schweiz) ausgebracht, während auf 1.200 m² ein Dünger auf Basis von Aurin (A) und auf 1.200 m² ein Dünger auf Basis von Aurin (A+) und Ergänzungsdüngung ausgebracht wurde (Abbildung 1). Die Zusammensetzung der eingesetzten Düngemittel ist in Tabelle 1 und 2 angegeben. Details zur Herstellung von Aurin können der Publikation von FAUST et al. (2022) entnommen werden. Die ausgebrachten Nährstoffmengen je Düngungsverfahren sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Bildaufnahmen mit Drohne

Monatlich wurden Bildaufnahmen mit einer Multispektralkamera (DJI P4 Multispectral RTK) gemacht. Die Datenaufbereitung erfolgte wie bei SUTTER et al. (2021) beschrieben. Nach der Kalibrierung der Reflexion wurden die Einzelbilder zu einem Orthofoto zusammengesetzt. Aus den aufbereiteten Aufnahme-daten wurde der „Normalized Difference Vegetation Index“ (NDVI) mittels Python (Version 3.8.0, (VAN ROSSUM und DRAKE, 2009)) pro Pixel berechnet und anschließend wurden der Mittelwert und die Standardabweichung für den jeweiligen Subplot ermittelt. Die Daten wurden basierend auf einem NDVI-Schwellenwert von 0,7 maskiert. Dabei wurden NDVI-Werte größer oder gleich 0,7 als Rasen klassifiziert und berücksichtigt. NDVI-Werte unter 0,7 wurden nicht in die Auswertungen einbezogen.

Bonitur

Die drei Versuchsflächen auf dem Sportrasen wurden monatlich gemäß der Richtlinie für die Anbauprüfung auf Rasennutzung (BSA, 2017) für die Parameter Farbe, Aspekt, Dichte, Strapazierfähigkeit, Bodenbedeckung, Krankheitstoleranz und Unkrautfreiheit mit Noten von 1 bis 9 bonitiert. Dazu wurde jeweils der Gesamteindruck der Fläche je Düngungsverfahren auf drei definierten Teilstellen mit je 10 m² bonitiert und ausgewertet.

Bodenproben für Nmin-Analysen

Am 5. April, 9. September und 21. Oktober 2022 wurden je Düngungsverfahren drei Sammelproben mittels jeweils 10 Bohrungen der obersten Bodenschicht (0-15 cm) entnommen. Die Proben



Abb. 1: Sportrasen mit drei Düngungsverfahren in Streifen: Düngung mit klassischem Handelsdünger (HD), Düngung mit Aurin (A) und Düngung mit Aurin plus Ergänzungsdüngung mit weiteren Nährstoffen (A+). (Quelle Luftbild: SWISSTOPO, 2022)

Substanz	Anteil (%)
Ammonium-Stickstoff	2,1
Nitrat-Stickstoff	2,1
Phosphor (als P ₂ O ₅)	0,4
Kalium (als K ₂ O)	1,8
Natrium	1,7
Schwefel (als SO ₃)	0,8
Magnesium*	0,0032
Chlorid	3,1
Bor	0,0015
Eisen	0,0001
Zink	0,0012
Gesamt organischer Kohlenstoff	0,1

Tab. 1: Zusammensetzung des urinbasierten Düngers Aurin gemäß Herstellerangaben. *Magnesium ist nicht in den Herstellerangaben deklariert und wurde zusätzlich gemessen.

Dünger	Verfahren	N [%]	Langzeit -N [%]	P ₂ O ₅ [%]	K ₂ O [%]	Mg [%]
GSZ Frühling	HD	21	5,2	5,2	7,9	1,2
GSZ Unterhalt	HD	26	10,4	8	12	1,1
GSZ K	HD	16	6,3	2,9	26	1,4
GSZ Organic	HD	10	10	3,0	5	0
Triple Superphosphat	A+	0	0	46	0	0
Kaliumchlorid 60%	A+	0	0	0	60	0
Kalimagnesia	A+	0	0	0	27	6

Tab. 2: Zusammensetzung der klassischen Dünger im Verfahren HD und der Ergänzungsdünger im Verfahren A+.

Düngung	Fläche HD					Fläche A					Fläche A+				
	Nährstoff [g/m ²]	N	Langzeit-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	N	Langzeit-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	N	Langzeit-N	P ₂ O ₅	K ₂ O
24. März	6,1	1,5	1,5	2,3	0,41	6,1	1,5	1,5	2,3	0,41	6,1	1,5	1,5	2,3	0,41
6. April						6,0	0,0	0,57	2,6	0,005	6,0	0,0	1,8	3,8	0,27
20. April	7,2	2,9	2,2	3,3	0,33										
25. Mai						2,5	0,0	0,23	1,1	0,002	2,5	0,0	0,7	7,1	0,38
15. Juni	5,6	2,2	1,0	9,0	0,38										
22. Juni						2,5	0,0	0,23	1,1	0,002	2,5	0,0	0,2	1,1	0,00
27. Juli						1,9	0,0	0,18	0,8	0,001	1,9	0,0	1,0	1,7	0,19
3. Aug.	3,6	1,4	1,1	1,7	0,17										
24. Aug.						1,9	0,0	0,18	0,8	0,001	1,9	0,0	0,2	0,8	0,00
7. Sept.	2,7	1,1	0,5	4,3	0,18										
21. Sept.						1,6	0,0	0,15	0,7	0,001	1,6	0,0	0,4	4,3	0,18
5. Okt.						1,6	0,0	0,15	0,7	0,001	1,6	0,0	0,2	0,7	0,00
11. Okt.	3,3	3,3	1,0	1,7	0,00										
Gesamt	28,5	12,4	7,3	22,4	1,5	24,0	1,5	3,2	10	0,42	24,0	1,5	6,0	21,7	1,4

Tab. 3: Ausgebrachte Mengen an Nährstoffen der Düngungsverfahren HD, A+ und A-.

wurden bei -20 °C bis zur Analyse im Labor gelagert. Unter Berücksichtigung des Trockensubstanz-, des Skelett- und des Humusanteils des Bodens sowie der Schichtdicke wurden basierend auf den gemessenen Nitrat- und Ammoniumgehalten die Stickstoffgehalte pro kg Trockensubstanz (TS) berechnet. Neben den Bodenproben zum oben genannten Zeitpunkt wurden auch Proben im Mai entnommen, unmittelbar vor der Düngung mit Aurin und sechs Tage nach der Düngung von Aurin. Hierbei wurden die Bodenproben der Flächen A und A+ gepoolt analysiert.

Statistik

Die statistischen Analysen wurden mittels der Software R durchgeführt (R CORE TEAM, 2018). Die bonitierten Parameter wurden mit Hilfe von einem gemischten linearen Modell mit Datum und Düngungsverfahren als fixe Variablen und der bonitierten Teilfläche als Zufallsfaktor modelliert und einer Varianzanalyse (ANOVA) ausgewertet. Mittels post-hoc-Test wurden die Verfahren miteinander verglichen. Dabei wurden Unterschiede mit einem p-Wert von kleiner als 0,05 als signifikant bewertet.

Für die statistische Auswertung der Bodenproben wurde ein lineares Modell mit Düngungsverfahren und Datum als fixe Variablen gewählt. Der Ammoniumgehalt wurde für die Analyse logarithmisch transformiert, da die Daten nicht normalverteilt waren. In einem nachfolgenden T-Test (adjusted Tukey Test)

wurden Unterschiede zwischen den Verfahren und Daten ermittelt.

Die Ergebnisse der Multispektralanalysen wurden analog den Bonituren ausgewertet, mit dem Unterschied, dass jeweils vergleichbare Teilflächen auf dem Sportrasen gebildet wurden, um den weißen Feldmarkierungen und besonders beanspruchten Stellen auf dem Sportrasen gerecht zu werden. Die Versuchflächen HD wurden in vergleichbare Teilstreifen HD1 und HD2 analog den Flächen A und A+ unterteilt und jeweils paarweise verglichen. Ein direkter Vergleich zwischen A und A+ konnte aufgrund der unterschiedlich stark be-

anspruchten Stellen auf dem Fußballfeld nicht durchgeführt werden.

Ergebnisse zur Düngung mit Aurin

Praktische Erfahrungen

Nach der ersten Düngerausbringung auf den Flächen A und A+ stellte sich heraus, dass eine Filtration des Düngers nötig war, um ein Verstopfen der Düsen zu verhindern. Zudem wurden von den Pflegeverantwortlichen kurzzeitige Verbrennungen des Rasens, ein starkes Stoßwachstum in den Tagen nach der Applikation und eine starke Vernässung



Abb. 2: Verbrennungen des Rasens nach Applikation von Aurin (links) und Vernässung (rechts) vor der Anpassung der Konzentration und des Ausbringungsintervalls (6. April 2022).

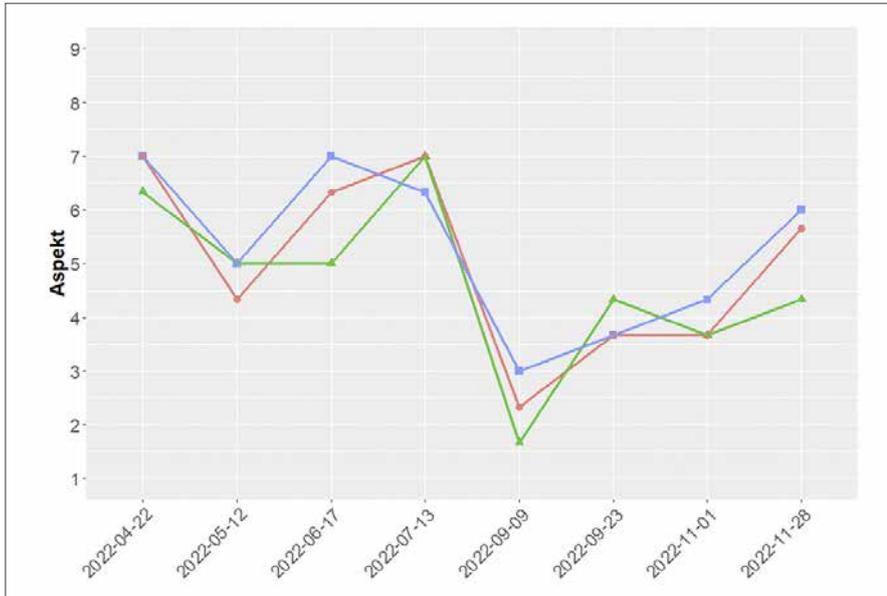


Abb. 3: Entwicklung des Gesamtaspekts des Sportrasens von April bis November 2022, monatliche Bonitur mit Noten 1 bis 9 der Flächen unter den drei Düngungsverfahren HD, A und A+ (rot = HD: Handelsdünger, grün = A: Aurin und blau = A+: Aurin mit Ergänzungsdüngung).

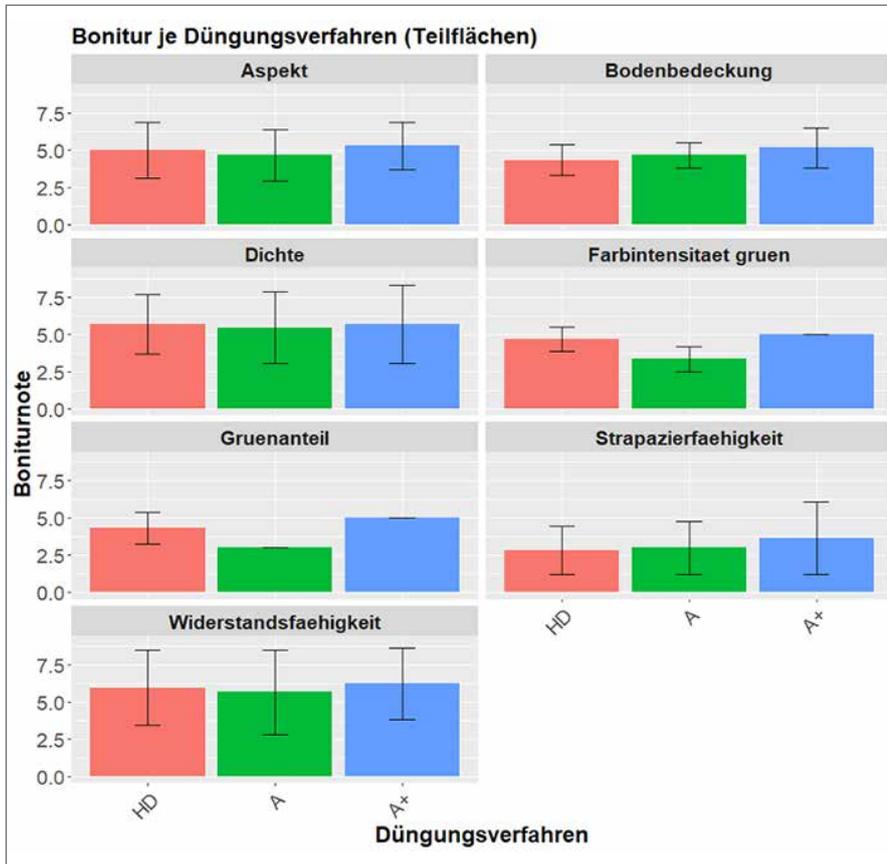


Abb. 4: Ausgewählte Parameter, die gemäß der Rasenrichtlinie vom Deutschen Bundessortenamt bonitiert wurden für die drei Düngungsverfahren HD, A und A+ (rot = HD: Handelsdünger, grün = A: Aurin und blau = A+: Aurin mit Ergänzungsdüngung).

gemeldet (Abbildung 2). Um dem entgegenzuwirken, wurden ab Mai das Ausbringungsintervall für die Flächen A und A+ von zwei Monaten auf einen Monat gekürzt und die Nährstoffe in den Verfahren A und A+ somit gesplittet ausgebracht. Den kurzzeitigen Verbrennungen

und der Vernässung konnte so entgegengewirkt werden. Auch das Stoßwachstum wurde so etwas gebremst.

Bonitur

Gemäß der Richtlinie des Deutschen Bundessortenamtes wurden verschiede

ne Kriterien in unterschiedlichen Intervallen während der gesamten Versuchsdauer beurteilt (BSA, 2022). In Abbildung 4 sind die Ergebnisse von ausgewählten Kriterien wie Aspekt, Bodenbedeckung, Dichte, Grünanteil, Farbintensität (grün), Krankheit und Widerstandsfähigkeit aufgeführt. Es zeigten sich keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Düngungsverfahren für die oben genannten Kriterien, einzig in der Narbenfarbe wurden geringe Unterschiede festgestellt. Die Farbintensität im Verfahren A wurde mit $3,0 \pm 0,00$ (im Juni 2022) und $3,7 \pm 1,15$ (im November 2022) schlechter beurteilt als die beiden Verfahren HD (Juni $5,0 \pm 0,00$ und November $4,33 \pm 1,15$) und A+ (Juni $5,0 \pm 0,00$ und November $5,0 \pm 0,00$). Die Ergänzung von Aurin im Verfahren A+ mit Kalium und Kaliummagnesium schien sich positiv auf die Rasenfarbe auszuwirken, insbesondere während der längeren Hitze- und Trockenperiode im Juni. Der Gesamtaspekt zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den Verfahren, was sich jedoch deutlich zeigte, war die Trockenheit im August.

Multispektralkamera

Der NDVI-Index, welcher als Maß für die Vitalität (Grünheit, Dichte und Gesundheitszustand) von Pflanzen verwendet werden kann, zeigte zu den monatlichen Messzeitpunkten Werte über 0,8, was auf eine hohe Vitalität hinweist (Abbildung 5). Die tiefsten Werte wurden während der sehr trockenen Periode im August erreicht.

Statistisch hatte das Düngungsverfahren zwar einen Effekt auf den NDVI-Wert (ANOVA, $p = 0,028$), allerdings zeigten die NDVI-Werte keine signifikanten Unterschiede zwischen den aufgrund der Nutzung vergleichbaren Teilflächen HD1 und A+ (Paarweise Vergleich, $p = 0,217$) bzw. HD2 und A (Paarweise Vergleich, $p = 0,998$).

Nmin Gehalte im Boden

Der Nmin-Gehalt in der obersten Bodenschicht (0-15 cm) unterschied sich zwischen den drei Düngungsverfahren zu den jeweiligen Probezeitpunkten. Der Gehalt an Nitrat in der untersuchten Bodenschicht zeigte signifikante Unterschiede zwischen allen Verfahren, wobei im Verfahren HD die höchsten Gehalte gemessen wurden und im Verfahren A+ die geringsten. In Bezug auf den Ammoniumgehalt unterschieden sich nur die Verfahren A und HD voneinander ($HD > A$), A+ zeigte keine Unterschiede zu den beiden anderen Verfahren.

Die mit herkömmlichen Handelsdüngern gedüngte Fläche wies zu allen drei Messzeitpunkten den höchsten Nmin Gehalt auf. Die Fläche HD hatte im Unterschied zu den Flächen A und A+ anfangs Oktober eine zusätzliche Düngung mit Langzeit-N erhalten (Tabelle 3). Das Düngungsverfahren A+ zeigte im April und September jeweils den tiefsten Wert. Im Unterschied zum Verfahren A, wurde im Verfahren A+ mehr P und K ausgebracht. Dies könnte die Aufnahme von pflanzenverfügbarem N begünstigt haben und somit zu weniger Nmin im Boden geführt haben im Vergleich zum Verfahren mit Aurin ohne Ergänzungsdüngung (Abbildung 5). Der höhere Nmin Gehalt von A im Verhältnis zu A+ im April und September (Abbildung 5) könnte auf limitierende Elemente zurückzuführen sein, welche die Aufnahme des pflanzenverfügbaren N in die Pflanze verringern, so dass mehr Nmin im Boden zurückbleibt. Im Mittel betrug der Nmin Gehalt im Boden $29 \pm 11,0$; $24 \pm 10,1$ und $19 \pm 5,9$ mg N pro kg TS für die Verfahren HD, A und A+.

Der Nmin Gehalt der gepoolten Bodenproben aus den beiden mit Aurin gedüngten Verfahren (A und A+) zeigte im Boden kurz nach der Düngung mit Aurin im Mai einen starken Anstieg von $8,1$ mg Nmin pro kg TS im Gegensatz zum Anstieg von $2,5$ mg Nmin pro kg TS im Verfahren HD (Abbildung 6). Dies verdeutlicht den hohen Anteil an pflanzenverfügbarem N im Boden, das entweder von den Pflanzen aufgenommen zum beobachteten Stoßwachstum geführt haben könnte oder andererseits, je nach Witterung, auch ein erhöhtes Auswaschungspotenzial darstellen könnte.

Diskussion und Schlussfolgerungen

Im Düngemittel Aurin liegt Stickstoff hauptsächlich in Form von Nitrat und Ammonium vor, die Konzentration an N-Verbindungen mit Langzeitdüngewirkung sind vernachlässigbar gering. Die Resultate der Bodenproben stützen die Beobachtungen in der Praxis, wonach ein starkes Stoßwachstum in den Tagen nach der Düngung mit Aurin beobachtet wurde. Zu Beginn traten sogar Verbrennungen des Rasens auf. Aufgrund der Nutzung und Pflege des Sportrasens konnte das Stoßwachstum nicht über Wachstumsmessungen verifiziert werden. Das Splitten der Nährstoffmenge auf die doppelte Anzahl Gaben konnte das Stoßwachstum etwas dämpfen sowie die Probleme der Vernässung und Verbrennung lösen. Dies führt allerdings

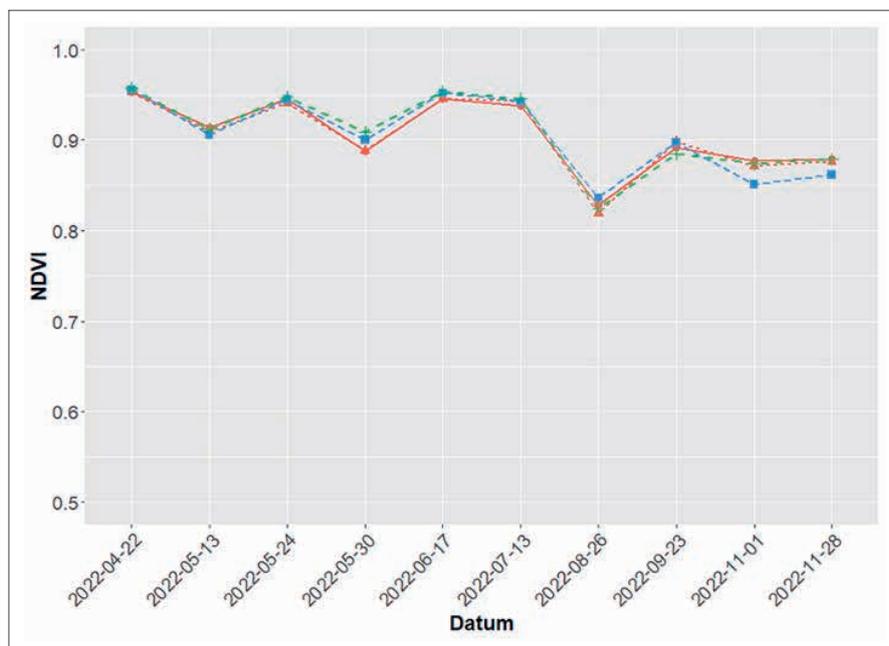


Abb. 5: Zeitlicher Verlauf der gemittelten NDVI-Werte nach Düngungsverfahren (rot durchgezogen: HD1, rot gestrichelt: HD2, blau: A, grün: A+).

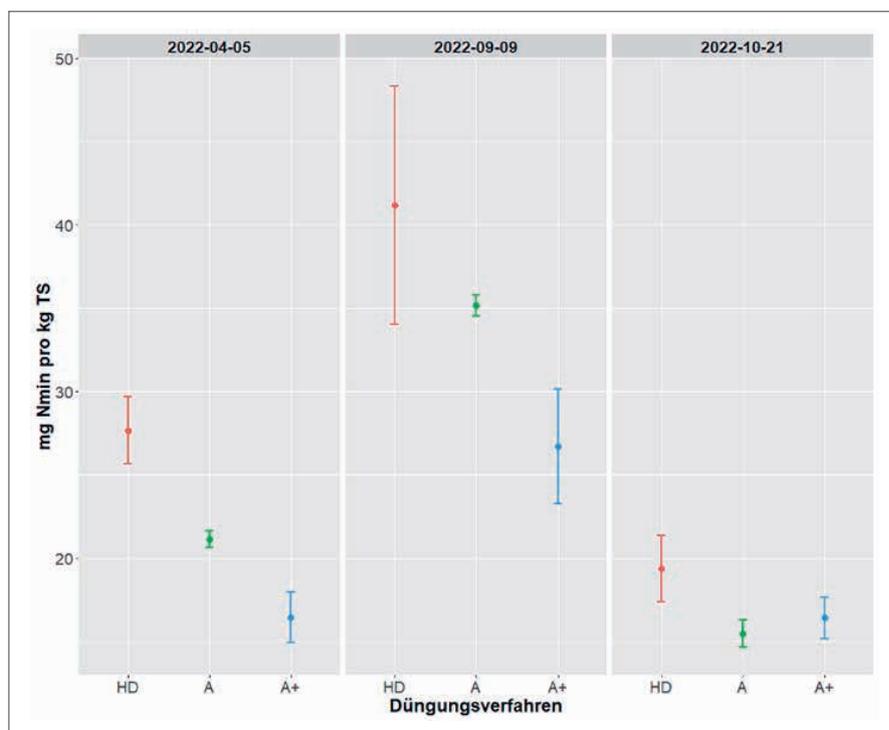


Abb. 6: Mittlerer Nmin Gehalt (mg Nmin pro kg TS Boden) und Standardabweichung im Boden (Schicht 0-15cm) der drei Düngungsverfahren HD, A und A+ (rot = HD: Handelsdünger, grün = A: Aurin und blau = A+: Aurin mit Ergänzungsdüngung).

zu einem höheren Aufwand. Eine Ergänzungsdüngung zu Aurin mit den Nährstoffen Phosphor, Kalium und Magnesium schien die Stickstoffaufnahme in die Pflanze zu steigern. Die tieferen Nmin Werte im Boden und die höhere Farbtintensität bei A+ weisen darauf hin. Eine erhöhte Aufnahme von Stickstoff durch Ergänzungsdüngung beim Einsatz von Aurin könnte somit der potenziellen Auswaschung der Nährstoffe in die Umwelt entgegenwirken. Die übrigen

gemessenen Parameter zeigten geringe bis keine Unterschiede, die allein dem Düngungsverfahren zugeschrieben werden können. Aus den Resultaten dieser Studie lässt sich ableiten, dass für weniger wachstumssensible Kulturen oder Kulturen, die keinen gleichmäßigen Stickstoffbedarf haben, die Düngung mit Aurin und gegebenenfalls mit Ergänzungsdüngung eine interessante Option für eine kreislauffähige Bewirtschaftung darstellen könnten.

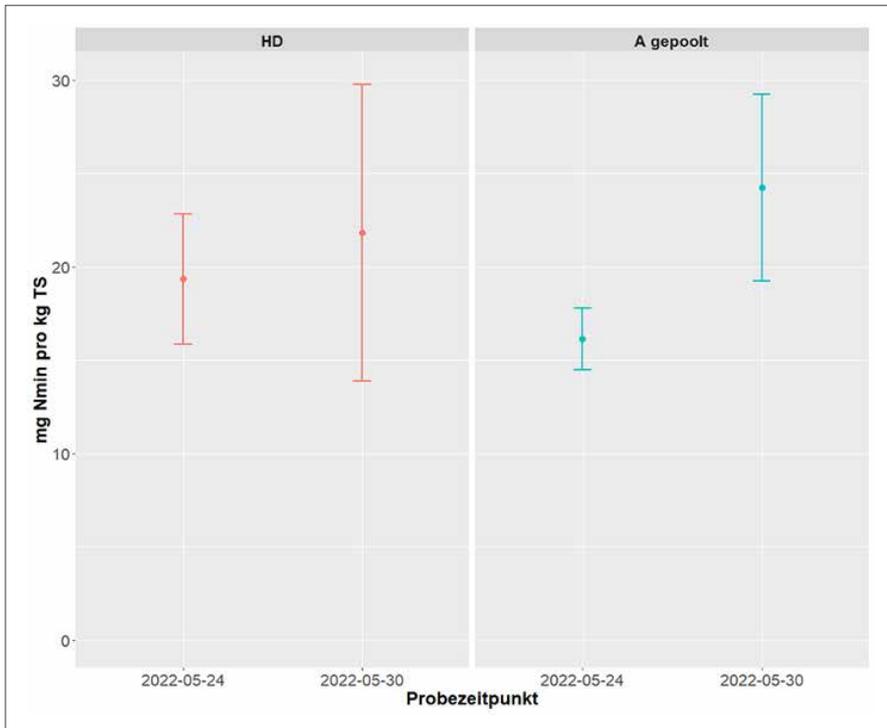


Abb. 7: Mittlerer Nmin Gehalt (mg Nmin pro kg TS) und Standardabweichung im Boden (Schicht 0-15cm) vor und nach der Aurin Düngung. Dargestellt sind die Ergebnisse der Bodenproben der Flächen HD (rot) und gepoolten Aurin-Flächen A und A+ (grün).

Danksagung

Die Autorinnen und Autoren bedanken sich bei VunaNexus AG und Vuna GmbH für die tatkräftige Unterstützung bei der Planung und der Durchführung der Experimente. Ebenso bedanken sie sich bei Grün Stadt Zürich für die Zurverfügungstellung und Bewirtschaftung des Sportrasens und die gute Zusammenarbeit während der Versuche und bei Dimitri Stucki von der HAFL für die Unterstützung in der statistischen Auswertung.

Literatur

BSA, 2017: Richtlinie für die Anbauprüfung auf Rasennutzung. https://www.bundessortenamt.de/bsa/media/Files/Rasen/Richtlinie_Rasen.pdf (aufgerufen am 10.5.2022).

FAUST, V., W. GRUBER, R. GANIGUÉ, S.E. VLAEMINCK, and K.M. UDERT, 2022: Nitrous Oxide Emissions and Carbon Footprint of Decentralized Urine Fertilizer Production by Nitrification and Distillation. *ACS ES&T Engineering* 2(9), 1.745-1.755.

FUMASOLI, A., B. ETTER, B. STERKELE, E. MORGENROTH and K.M. UDERT, 2016: Operating a pilot-scale nitrification/distillation plant for complete nutrient recovery from urine. *Water Science and Technology* 73(1), 215-222.

KRAUSE, A., F. HÄFNER, F. AUGUSTIN and K.M. UDERT, 2021: Qualitative Risk Analysis for Contents of Dry Toilets Used to Produce Novel Recycling Fertilizers. *Circular Economy and Sustainability* 1, 1.107-1.146.

LARSEN, T.A., M.E. RIECHMANN and K.M. UDERT, 2021: State of the art of urine treatment technologies: A critical review. *Water Research X* 13, 100114.

R CORE TEAM, 2018: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

SUTTER, M., P. AEBISCHER and B. REIDY, 2021: Estimating grassland biomass using multispectral UAV imagery, DTM and a random forest algorithm in: *Sensing – New Insights into Grassland Science and Practice: Proceedings of the 21st Symposium of the European Grassland Federation*. Grassland Science in Europe: Vol. 26 (S. 71-73). European Grassland Federation (EGF).

SWISSTOPO, 2024: Bundesamt für Landestopografie swisstopo, <https://cms.geo.admin.ch/fmc/ibm.html> (aufgerufen am 20.2.2024).

UN ENVIRONMENT PROGRAMME, GRID-ARENDA, 2023: Wastewater – Turning Problem to Solution. A UNEP Rapid Response Assessment. <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/43142>, aufgerufen 22.12.2023.

VAN ROSSUM, G. and F.L. DRAKE, 2009: Python 3 Reference Manual. Scotts Valley, CA: CreateSpace.

WANG, H., A. KROGH MORTENSEN, P. MAO, B. BOELT and R. GISLUM, 2019: Estimating the nitrogen nutrition index in grass seed crops using a UAV-mounted multispectral camera. *International Journal of Remote Sensing* 40 (7), 2.467-2.482.

Autoren:

Dr. Franziska Akert
BFH Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften
Länggasse 85,
3052 Zollikofen
franziska.akert@bfh.ch

Philippe Aebischer
BFH Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften
Länggasse 85
3052 Zollikofen
philippe.aebischer@bfh.ch

Prof. Dr. Kai M. Udert
ETH Zürich, Institut für Umweltingenieurwissenschaften
8093 Zürich, Schweiz und Eawag: Das Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs
8600 Dübendorf
kai.udert@eawag.ch

Prof. Dr. Beat Reidy
BFH Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften
Länggasse 85
3052 Zollikofen
reidy.beat@bfh.ch