



## טורפים קטנטנים באדמה: מיהם ומה הם עושים?

Stefan Geisen<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>המעבדה לנמטולוגיה, אוניברסיטת ווגנינגן, ווגנינגן, הולנד  
<sup>2</sup>המחלקה לאקולוגיה של הקרקע, המכון האקולוגי של הולנד NIOO-KNAW, ווגנינגן, הולנד

### סוקרים צעירים

AYA  
גיל: 10



באדמה מתקיימים מיליוני זנים של חיים. מרבית המגוון הביולוגי הזה מורכב מחיידקים ומפטריות. אלו הם אורגניזמים זעירים המרכיבים את מה שמכונה 'המיקרוביום של הקרקע'. גודל המיקרוביום של האדמה והרכבו נקבעים בעיקר על ידי שתי קבוצות של טורפים: פרוטיסטים ונמטודות. פרוטיסטים הם אורגניזמים זעירים בעלי תא אחד, בעוד שנמטודות הן תולעים קטנטנות, והן החיות שמספרן הוא הרב ביותר על פני כדור הארץ. משקלם של הפרוטיסטים והנמטודות יחד עולה על זה של כל שאר החיות בעולם! הפרוטיסטים והנמטודות שומרים על המיקרוביום של האדמה באיזון, מה שמסייע לצמחים לגדול, ושומר על תפקוד תקין של הקרקע. ללא הטורפים הזעירים הללו, התפקודים והשירותים שהאדמה מספקת לנו ישתנו עד כדי כך שייתכן ואפילו אקלים כדור הארץ יושפע. לכן, אל נשכח עד כמה האורגניזמים הזעירים הללו באדמה חשובים!

## מגוון ביולוגי באדמה

אולי אתם כבר יודעים כי אדמה אינה רק עפר כהה המכיל חול, חמר וטיט; אדמות מתאפיינות במגוון ביולוגי רחב – מיליוני אורגניזמים מכל הסוגים והגדלים חיים בקרקע. לא זו בלבד שבאדמה יש יותר מגוון ביולוגי מאשר בכל מערכת אקולוגית אחרת על פני כדור הארץ, אלא שמשקלם של כל האורגניזמים החיים באדמה (בכלל זה צמחים, ששורשיהם הופכים אותם לכחצי-אורגניזמים של אדמה), גבוה בהרבה ממשקלם של כל שאר האורגניזמים יחדיו [1]. אורגניזמים החיים באדמה משתנים בגודלם – מנגיפים מזעריים ועד לפטריות ענקיות שיכולות להשתרע על פני מאות מטרים – וכל מה שנמצא בטווח זה! החיים המיקרוסקופיים באדמה מכונים המיקרוביום של האדמה, אשר מורכב בעיקר מחיידקים ומפטריות. ללא המגוון הביולוגי שמאפיין מיקרוביום של אדמה, קרקעות לא היו יכולות למחזר חומרי הזנה ולתמוך בגדילת הצמחים. מאמר זה מתמקד בשתי קבוצות של אורגניזמים החיים באדמה, שכמה קבוצות חוקרים עוסקים בחקירתן: פרוטיסטים ונקטודות. בסיום קריאת המאמר, אני מקווה שתבינו טוב יותר מדוע מחקרים נוספים צריכים להתמקד באורגניזמים הקטנטנים הללו!

## פרוטיסטים ונקטודות: טורפים זעירים

טורפי מיקרוביום הם אורגניזמים הניזונים ממיקרואורגניזמים כמו חיידקים ופטריות [2]. פרוטיסטים ונקטודות הם בין טורפי המיקרוביום החשובים ביותר. נקטודות הן קטנות מאוד – קטנות לפחות פי 100 מרוחב שערה של בן אדם – לכן, לא ניתן לראותן ללא מיקרוסקופ. הנמטודה המוכרת ביותר למדענים היא תולעת נימית שהמדענים מכנים קנונהבדיטיס אֵלֶגַנְס (*Caenorhabditis elegans*), שבה משתמשים לעיתים קרובות לצורך מחקר. רבים מבין חברי קהילות מדענים, רופאים, חקלאים וגננים מכירים את הנמטודות בתור מזיקים, כיוון שחלק מהזנים עשויים להדביק בני אדם, בעוד שמינים אחרים גורמים למחלות בצמחים. בקרקע, נמטודות ניזונות מחיידקים, מפטריות או מנמטודות אחרות, ועלולות להיות טפילות לחיות או לצמחים. בעוד שלמרבית הנמטודות באופן בסיסי אותו מראה, ישנם מאות אלפי זנים שונים שלהן (איור 1A)<sup>1</sup>. שמונה מתוך עשר חיות בעולם הן נמטודות. במילים אחרות, היחס הוא 60 מיליארד נמטודות על כל אדם [3]!

כעת, תארו לכם שיש באדמה פי אלף יותר פרוטיסטים מאשר נמטודות! פרוטיסטים הם מיקרואורגניזמים שלא ניתן לסווג כחיות או כצמחים. הם איקריוטים, כלומר, יש להם גרעין תא, כמו בכל תאי החיות, הפטריות והצמחים. גם אם לא נתקלתם בעבר במונח 'פרוטיסט', ודאי שמעתם על דוגמאות ידועות של פרוטיסטים: כל האצות האיקריוטיות המבצעות פוטוסינתזה באגמים ובימים הן פרוטיסטים. ישנן מחלות הנגרמות על ידי פרוטיסטים, כמו מלריה שנגרמת על ידי פלזמודיום פלציפארום (*Plasmodium falciparum*). אקמבות וסנדליות הן פרוטיסטים, ויש עוד רבים! סביר להניח שרוב המגוון האיקריוטי בעולם מורכב מפרוטיסטים ועימו נמנים מיליוני זנים, אך אנו מכירים פחות ממאית מזני הפרוטיסטים הקיימים. הפרוטיסטים מבצעים מגוון רחב של תפקידים בקרקעות. מרביתם ניזונים מחיידקים, אבל רבים ניזונים גם מפטריות, או אפילו מחיות גדולות יותר. חלק מהפרוטיסטים עלולים להיות טפילים של צמחים ושל חיות, וחלקם חיים ביחסי גומלין עם פטריות, כחֲזָזִיּוֹת

### מגוון ביולוגי (Biodiversity)

מגוון הזנים במערכת אקולוגית.

### המיקרוביום של האדמה (Soil Microbiome)

כלל המיקרואורגניזמים החיים באדמה.

### טורפי מיקרוביום (Microbiome Predators)

אורגניזמים הניזונים מחיידקים ומפטריות.

### מיקרואורגניזמים (Microorganisms)

אורגניזמים זעירים הכוללים חיידקים, פטריות ופרוטיסטים.

### נקטודות (Nematodes)

תולעים קטנות שחיות בכל סוגי הסביבות ובתוך מארחים. אלו הן החיות שמספרן הוא הרב ביותר על פני כדור הארץ.

לסקירה של מגוון הנמטודות, ראו:

<https://www.wur.nl/en/Research-Results/Chair-groups/Plant-Plant-Sciences/Laboratory-of-Nematology/Nematode-in-the-picture/Nematode-Pictures.htm>

### פרוטיסטים (Protists)

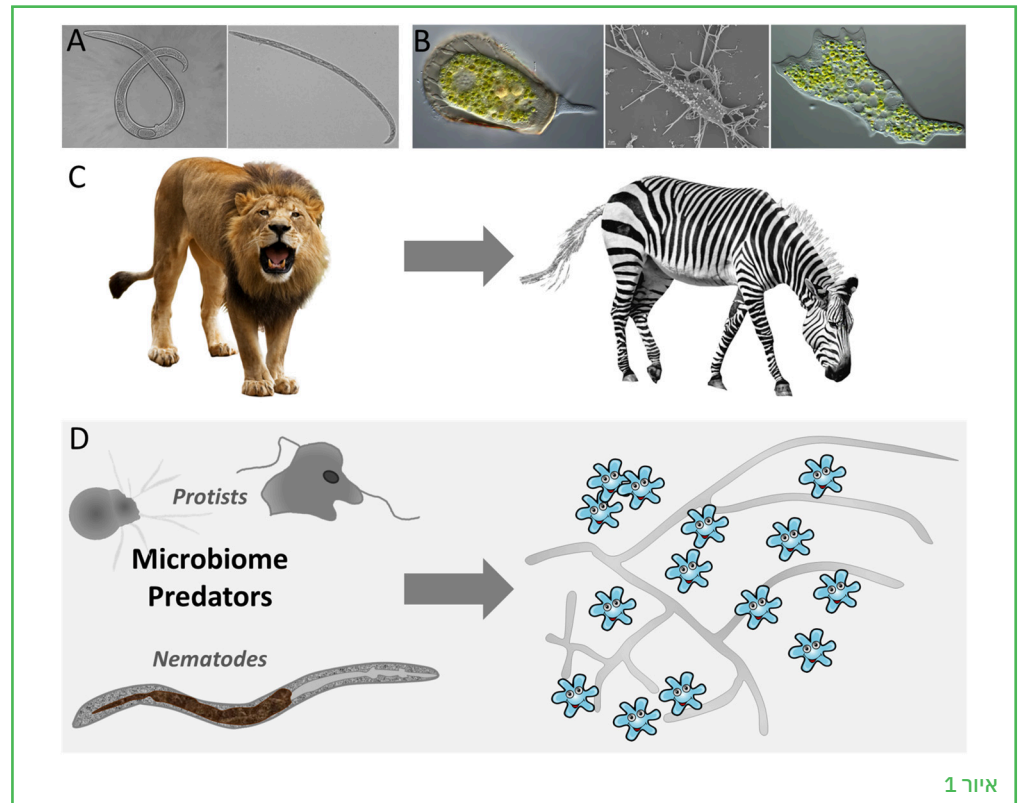
כל האיקריוטים (ראו בהמשך מילון המונחים) פרט לפטריות ולצמחים. רובם בעלי תא יחיד.

### איקריוטים (Eukaryotes)

אורגניזמים שבתאיהם יש גרעין, שבו ממוקם הדני"א. האיקריוטים כוללים פטריות, פרוטיסטים, צמחים וחיות.

## איור 1

נמטודות ופרוטיסטים. כך הנמטודות (A) והפרוטיסטים (B) נראים תחת המיקרוסקופ. בדומה לאריות (C), שהם טורפים מוכרים במערכות אקולוגיות של הסוואנה (עֶרְבָה), לטורפי המיקרוביום (D) יש תפקידים חיוניים במערכות אקולוגיות תת-קרקעיות. הפרוטיסטים והנמטודות הללו ניזונים מחיידקים ומפטריית, ומשנים את הרכב האורגניזמים החיים באדמה, ואת פעילותם. דבר זה מסייע לשמור על בריאות הקרקע [קרדיט לתמונות: (A): נמטודות (*Anaplectus porosus* ואֶפְלֶקְטוֹיִדִס) מאת Hanny van Megen (B); פרוטיסטים (*Hyalosphenia*, *Heliamoeba sp.*, *papilio* (I- *Mayorella viridis* מהאתר <http://www.penard.de> בהרשאתם של Eckhard Steffen ושל Völcker ושל Clauf; (C) תמונות של אריה ושל זברה מהאתר <https://purepng.com/> (D): (תחת רישיון OCC); איורים של חיידקים תחת רישיון CC0 מוויקיפדיה].



איור 1

(צמחים שמורכבים מפטרייה ומאֶצָה, המקיימות ביניהן חיי שותפות) [4]. לפרוטיסטים צורות מגוונות להפליא, וחלקם יפהפיים (איור 1B)<sup>2</sup>.

בדומה לאריות או לטורפים גדולים אחרים, טורפי המיקרוביום ניזונים מדְבָרים רבים שביכולתם לתפוס (איורים 1C, D). כשהם עושים זאת, הטורפים הקטנים הללו שולטים בגדילת המיקרוביום; משנים את סוגי האורגניזמים הנוכחים במערכת האקולוגית של הקרקע, ומסייעים לאדמה לבצע את תפקידיה החשובים. טורפי מיקרוביום בדרך כלל ניזונים ממיקרואורגניזמים פחות פעילים, ועל ידי כך הם שומרים על המיקרוביום כולו פעיל יותר. זו אסטרטגיית אכילה הדומה לאריות, המקדמת כשירות בקרב טרפם כשהם ניזונים מהפרטים הזקנים, האיטיים והחלשים יותר. הטריפה במיקרוביום מובילה גם לשחרור של חומרי הזנה אל תוך הקרקע, אשר יכולים לשמש מינים אחרים של מיקרואורגניזמים וצמחים, ולסייע להם לגדול.

### כיצד ביכולתנו לחקור טורפי מיקרוביום?

כיוון שהנמטודות והפרוטיסטים הם זעירים ולא ניתן לראותם באדמה, ניצבת בפני המדענים בעיה גדולה, משום שאינם יכולים לחקור אותם ישירות בבית הגידול הטבעי שלהם. אחת הדרכים לחקור את האורגניזמים הללו היא לבדוד אותם מהאדמה. זה מעט קל יותר כשמדובר בנמטודות – תוכלו לנסות זאת בבית. לָשֵׁם כך תצטרכו נייר טישו או פילטרים של קפה, מים וקערה (איור – (איור 2)<sup>3</sup>.

<sup>2</sup>לסקירה של צורות הפרוטיסטים, ראו: <http://www.penard.de/>

<sup>3</sup>כאן תוכלו למצוא מדריך מקוון: <https://www.ars.usda.gov/northeast-area/beltsville-md-beltsville-agricultural-research-center/mycology-and-nematology-genetic-diversity-and-biology-laboratory/people/zafar-handoo/extracting-nematodes-from-soil-samples/>

## איור 2

### מיצוי נמטודות

**מאדמה בבית.** הניחו שני קפנים של אדמה זה על גבי זה בשני פילטרים של קפה. סגרו אותם עם אטבים כמו באיור, והניחו את הפילטרים בקערה מלאה במים (המים צריכים לכסות את האדמה שנמצאת בפילטר). למוחרת, הוציאו את הפילטרים, ערבבו את התמיסה והעבירו אותה לכוס זכוכית דקה. המתינו שעה, ואז שפכו בזהירות את רוב הנוזל. השאירו רק מעט ממנו בתחתית הכוס. כעת תוכלו להתבונן בנמטודות בתמיסה שנשארה בעזרת זכוכית מגדלת או מיקרוסקופ.



איור 2

### ריצוף דנ"א (DNA Sequencing)

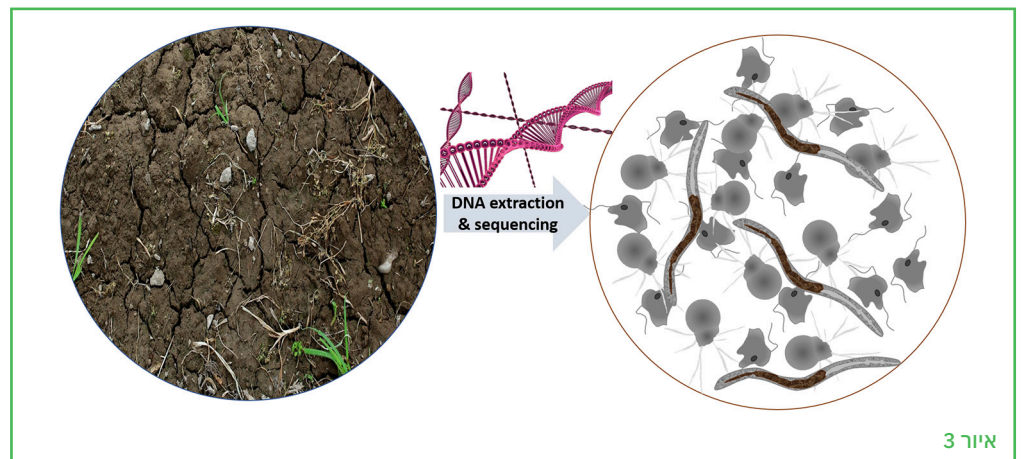
שיטה לקביעת רצף הדנ"א של אורגניזמים. ניתן להשתמש בה כדי לזהות אורגניזמים.

קשה יותר לחקור פרוטיסטים. כיוון שרוב הפרוטיסטים בקרקע נדבקים בחוזקה לחלקיקי אדמה, בָּעֶבֶר, הדרך הטובה ביותר לחקור אותם הייתה להציב כמויות מזעריות של אדמה עם חיידקים, כדי שאפשר יהיה לחלץ את הפרוטיסטים אוכלי-החיידקים. אולם ניתן לגדל כך רק מעט סוגים של פרוטיסטים, ולכן ישנם זני פרוטיסטים רבים שעדיין אינם מוכרים. כיום, רוב החוקרים משתמשים בכלים מולקולריים במטרה לזהות אורגניזמים החיים בקרקע. כמו חוקרים פליליים, ביכולתנו להשתמש בדנ"א שחילצנו מהקרקע כדי לזהות את האורגניזמים הקטנים הללו. כיוון שלכל אורגניזם יש רֶצֶף דנ"א ייחודי, אנו יכולים להשתמש בטכנולוגיות ריצוף דנ"א כדי להבחין בין זנים שונים בהתבסס על הדנ"א הייחודי שלהם. אמצעי זה מאפשר לנו לדעת אילו אורגניזמים נמצאים באדמה, למרות שאיננו מסוגלים לראותם בעין או לגדלם במעבדה (איור 3).

## איור 3

### מיצוי דנ"א וריצופו (DNA extraction & sequencing)

נוסף על כך שהם מתחבאים היטב בקרקע, טורפי המיקרוביום קטנים מכדי שנוכל לראותם ללא מיקרוסקופ. לרוב, מדענים חוקרים את האורגניזמים הללו על ידי מיצוי דנ"א מהאדמה וריצופו, במטרה לזהות את כל זני הפרוטיסטים ו/או הנמטודות המצויים בקרקע [קרדיט לתמונות: <https://www.bioanalysis-zone.com/>]. וללא זכויות יוצרים (CCO).



איור 3

גישות המיצוי, הגידול והריצוף הללו מראות לנו אילו זנים נמצאים בדגימת אדמה, אך לא מה הזנים הללו עושים. ישנן דרכים להבין את תפקודי הפרוטיסטים והנמטודות בקרקע, הכוללות שילוב טורפים עם מיקרואורגניזמים שונים שהם אוכלים, כדי לצפות ביחסים ביניהם. גישות מדעיות נוספות מאפשרות לגלות מה אורגניזמים אוכלים באדמה.



ניתן לעשות זאת על ידי מעקב אחר רכיבי אדמה מסוימים, כאשר משתמשים בשיטות המתוארות במקור [5].

## מדוע טורפי מיקרוביום צריכים לעניין אותנו?

ללא טורפי מיקרוביום, הקרקעות שלנו תהיינה בבעיה גדולה, ובעיה בקרקע תגרום לבעיות עבורנו! כמעט כל חומרי ההזנה שנכנסים לתוך האדמה נספגים על ידי חיידקים ופטריית. אם החיידקים בקרקעות לא יהיו תחת שליטה, החיידקים המהווים את הרוב ישתלטו על חומרי ההזנה ויחזיקו בהם למשך תקופות ארוכות. מיקרואורגניזמים יכולים לחיות בקרקעות במשך חודשים ללא טורפים, ומסוגלים אפילו להיכנס לתקופת הישרדות ארוכת-טווח, שבה ביכולתם לשרוד במשך עשורים. כתוצאה מכך, שרשרת המזון תיפסק, ואורגניזמים גדולים יותר לא יוכלו לשרוד. גם צמחים יספגו הרבה פחות חומרי הזנה ויצמחו לאט, אם בכלל. טורפי המיקרוביום מוודאים שמצב זה אינו מתרחש. בכך שהם טורפים מיקרואורגניזמים קטנים ומשחררים חלק מחומרי ההזנה המצויים אצל המיקרואורגניזמים הללו, טורפים אלה מבטיחים כי לצמחים תהיה גישה לחומרי ההזנה. טורפי המיקרוביום עצמם גם יכולים לשמש טָרֵף עבור אורגניזמים גדולים יותר. לפיכך, טורפי מיקרוביום מצילים את אספקת המזון שלנו בסופו של דבר, בכך שהם מאפשרים את תפקודיה החיוניים של הקרקע.

## מסקנות

פרוטיסטים ונמטודות הם בין האורגניזמים המגוונים והמרובים ביותר בכדור הארץ. הן פרוטיסטים והן נמטודות הם טורפי מיקרוביום חשובים, המבטיחים את תפקודה התקין של האדמה. במילים פשוטות, לולא קיומם, החיים על פני האדמה ובתוכה לא היו מתאפשרים! לטורפי המיקרוביום חשיבות מרכזית בגדילת צמחים, והם גם ממלאים תפקידי מְפָתֵחַ בתהליכים אחרים של מיקרואורגניזמים המתרחשים בקרקעות בריאות. כשאנו מרחיבים את ידיעותינו על אודות הפרוטיסטים והנמטודות במיקרוביום, אנו גם מבינים טוב יותר כיצד קרקעות מתפקדות. אם נוכל ללמוד כיצד לכוון את מספריהם וסוגיהם של טורפי המיקרוביום בקרקעות, נוכל לסייע לשמור על בריאות המיקרוביום של האדמה ולהגן על תפקודי הקרקע. התפקיד המכריע של טורפי המיקרוביום בקרקעות ממחיש בבירור שאסור לנו לשכוח אף קבוצת חיים על פני כדור הארץ. אפילו לאורגניזמים הקטנים ביותר עשויה להיות חשיבות תפקודית ייחודית שעוזרת לשמור בחיים על אורגניזמים רבים אחרים, בכללם בני האדם!

## מקורות

1. Bar-On, Y. M., Phillips, R., and Milo, R. 2018. The biomass distribution on Earth. *Proc. Natl. Acad. U.S.A.* 115:6506–11. doi: 10.1073/pnas.1711842115
2. Thakur, M. P., and Geisen, S. 2019. Trophic regulations of the soil microbiome. *Trends Microbiol.* 27:771–80. doi: 10.1016/j.tim.2019.04.008
3. van den Hoogen, J., Geisen, S., Routh, D., Ferris, H., Traunspurger, W., Wardle, D. A., et al. 2019. Soil nematode abundance and functional group composition at a global scale.

*Nature* 572:194–98. doi: 10.1038/s41586-019-1418-6

4. Geisen, S., Mitchell, E. A. D., Adl, S., Bonkowski, M., Dunthorn, M., Ekelund, F., et al. 2018. Soil protists: a fertile frontier in soil biology research. *FEMS Microbiol. Rev.* 42:293–323. doi: 10.1093/femsre/fuy006
5. Erktan, A., Pollierer, M., and Scheu, S. 2020. Soil ecologists as detectives discovering who eats whom or what in the soil. *Front. Young Minds* 8:544803. doi: 10.3389/frym.2020.544803

פורסם אונליין: 23 באפריל 2025

נערך על ידי: Rémy Beugnon

מנחים מדעיים: Joyce Sakamoto

ציטוט: Geisen S (2025) טורפים קטנטנים באדמה: מיהם ומה הם עושים? *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2021.597620-he

תורגם והותאם מ: Geisen S (2021) Super-Small Predators in Soils: Who Are They and What Do They Do? *Front. Young Minds* 9:597620. doi: 10.3389/frym.2021.597620

הצהרת ניגוד אינטרסים: המחברים מצהירים כל המחקר נערך בהעדר כי קשר מסחרי או פיננסי שיכול להתפרש כניגוד אינטרסים פוטנציאלי.

זכויות יוצרים © 2021 Geisen. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון [Creative Commons Attribution License \(CC BY\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). השימוש, ההפצה או ההעתקה מותרים לשימוש בפורומים אחרים ובלבד שיינתן קרדיט למחברים המקוריים ולבעל זכויות היוצרים, ושהפרסום המקורי בעיתון זה מצוטט בהתאם למקובל באקדמיה. השימוש, ההפצה או ההעתקה אינם מותרים אם הם אינם עומדים בתנאים אלה.

## סוקרים צעירים

AYA, גיל: 10

Aya רוצה ללמוד ביולוגיה ימית, ומעוניינת להתמחות בכרישים ובתריסקניות (זן של דג סחוס). המקצועות האהובים עליה בבית הספר הם קריאה; כתיבה; מתמטיקה ומוזיקה. בזמנה הפנוי היא אוהבת לקרוא ספרים; להתמודד עם פאזלים מאתגרים; להתאמן בריצה באצטדיון ובריצת שדה, ולנגן בכינור.

## הכותבים

STEFAN GEISEN

Stefan הוא עוזר פרופסור במעבדה לנמטולוגיה באוניברסיטת ווגנינגן שבהולנד. מנסה להבין את כל האורגניזמים החיים באדמה, כלומר, מעוניין לחקור את מה שחי בקרקע, ואת הדברים שהאורגניזמים הללו עושים עבור המערכת האקולוגית ועבורנו, על ידי תמיכה בגדילת הצמחים. בעבודתו, Stefan מתמקד בעיקר בפרוטיסטים ובנמטודות – אורגניזמים קטנים שהם החשובים ביותר מבין טורפי



המיקרואורגניזמים בקרקע. הוא אב לשלושה בנים, ובזמנו הפנוי אוהב לפגוש חברים ולעסוק בספורט.  
\*stefan.geisen@wur.nl

מוזיאון המדע ע"ש בלומפילד ירושלים  
متحف العلوم على اسم بلومفيلد القدس  
Bloomfield Science Museum Jerusalem



הוצאת פרונטירז מדע לצעירים ישראל  
Hebrew version provided by



THE SAGOL NETWORK



קרן משפחת  
שעשוע  
Shashua Family Foundation