



מערכות מידע בשירות רגולציה אדפטיבית למשברי אקלים



עידו סיון-סביליה ליאור זלמנסון

ד"ר עידו סיון-סביליה הוא חבר סגל במחלקה ללימודי מידע באוניברסיטת מרילנד (UMD). מחקריו עוסקים בעיצוב ומימוש רגולציה ומדיניות ציבורית בסביבה טכנולוגית משתנה, ומציעים אינדקסים וכלים למדידה והשוואה של מדיניות בנושאי הגנת סייבר ופרטיות על ידי המדינה, המגזר העסקי והחברה האזרחית. עבודותיו התפרסמו בכתבי עת כגון: Journal of European Public Policy, Policy & Internet, Journal of Risk Research, West European Politics, Journal of Public Policy. היה פוסט-דוקטורנט באוניברסיטת קורנל טק (Cornell Tech), כתב דוקטורט במדיניות ציבורית באוניברסיטה העברית, היה מלגאי של תוכנית פולברייט למדיניות ציבורית באוניברסיטת מינסוטה, וסיים תואר ראשון במדעי המחשב בטכניון. שירת כשמונה שנים בתפקידים טכנולוגיים בחיל האוויר ובמשרד ראש הממשלה.

ד"ר ליאור זלמנסון הוא חבר סגל בכיר בפקולטה לניהול ע"ש קולר באוניברסיטת תל אביב, בתחום ניהול הטכנולוגיה ומערכות המידע. מחקריו עוסקים במעורבות ובמחויבות של משתמשים בסביבות דיגיטליות, במודלים עסקיים של אתרי תוכן, באינטראקציית אדם-בינה מלאכותית ובעתיד העבודה. מחקריו זכו למענקים כגון ERC, GIF, מלגת פולברייט, מלגת פרס דן דוד ועוד. קיבל פרסים כגון ה-Early Career Award של אגודת חוקרי מערכות המידע וה-Young Scholar Award מטעם Poets and Quants, ונבחר לאחד מבין 40 המרצים הטובים בעולם מתחת לגיל 40 במנהל עסקים מטעם Poets and Quants. מחקריו צוטטו בהרחבה בתקשורת הבין-לאומית במקומות כגון Wall Street Journal, MIT Technology Review, PBS ועוד.

תקציר

מערכות רגולטוריות מתמודדות עם אתגרים אדירים בהתמודדות עם ההשפעה ההולכת וגוברת של אירועי אקלים קיצוניים. גישות קונבנציונליות מתגלות לעיתים קרובות איטיות ובלתי נמשות, ואינן מציעות תגובות רלוונטיות לתנאי סביבה דינמיים. כדי להתגבר על מגבלות אלו, אנו מציעים תהליך רגולטורי אדפטיבי מונע דיגיטלית, המשלב מערכות מידע ומטפח חוסן ויעילות בתגובה לרגולציה אקלימית.

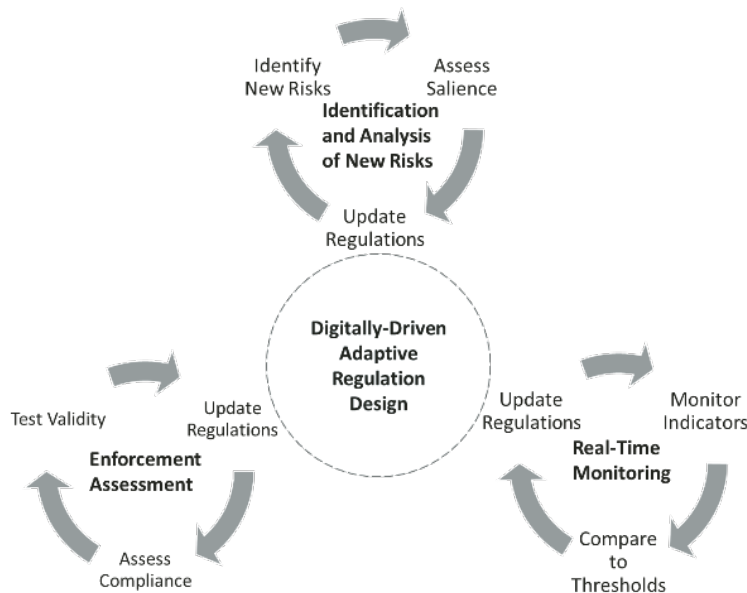
המודל שלנו כולל שלושה מחזורי למידה: (1) זיהוי מתמיד של סיכונים חדשים באמצעות שיתוף פעולה עם מחזיקי עניין מגוונים. (2) ניטור בזמן אמת של אינדיקטורים מרכזיים תוך שימוש באלגוריתמים של למידת מכונה ובינה מלאכותית. (3) הערכת אכיפה בסיוע טכנולוגיה כדי להבטיח תאימות ויעילות. באמצעות טכנולוגיה דיגיטלית עכשווית, מחזורים אלה יכולים לפעול בזמן אמת ולנתח ביעילות נתונים בקנה מידה גדול תוך שמירה על שקיפות באמצעות תיעוד ואחריות. המאמר מסביר את השלבים השונים ומדגיש את חשיבות יישום מודל רגולציית אקלים אדפטיבית באמצעות מחקר בין-תחומי כדי לדאוג להלימה בין אלמנטים אנושיים, ארגוניים, ממשלתיים, טכניים וכלכליים.

לאור אופן הפעולה האיטי והקושי בעיבוד מידע מהיר במערכות הרגולציה הנוכחיות, ישנה מגמה גוברת בקרב חוקרי מדיניות ורגולציה לנסות ולפתח מודלים של רגולציה אדפטיבית. מנגנון זה נחוץ מאוד לרגולציה בשדות כגון שינויי אקלים הטומנים בחובם תנאים של אי-ודאות ומורכבות רבה (International Risk Governance Council 2015). כדי להתמודד עם בעיית שינויי האקלים, אנו מציעים לשכלל את רעיון הרגולציה האדפטיבית באמצעות שילוב נרחב של טכנולוגיות מידע כמרכיב בסיסי בתהליך התכנון הרגולטורי. בפרט, על בסיס עקרונות של רגולציה אדפטיבית שמצאו חוקרי רגולציה בתחומי רגולציה שונים (Benneer & Wiener 2019, Brass & Sowell 2021, McCray 2010, Swanson 2010 ואחרים 2010), אנו מתווים מודל של תהליך רגולציה אדפטיבית מבוסס מערכות מידע (Digitally Driven Adaptive Regulation) לשימוש קובעי ומיישמי מדיניות, בפרט בתחומי הסביבה. במודל זה, מערכות טכנולוגיות מסייעות לעדכן את תהליך הרגולציה באמצעות איסוף וניתוח נתונים בזמן אמת, ומתן הנחיות וכללים קונקרטיים ליישום ולאכיפה. המודל כולל שלושה סוגים של מחזורי למידה המיושמים בעזרת כלים דיגיטליים: (1) זיהוי סיכונים חדשים שלא היו ידועים קודם לכן. (2) ניטור בזמן אמת של מדדי סיכון ידועים. (3) וידוא תקפות של הנחיות ואכיפה, כלומר הערכת התקפות המעשית של התקנות ושל הסבירות לאי-ציות והשפעתו. שלושת מחזורי הלמידה מתוארים בהמשך בפירוט ומומחשים בדוגמאות וכן באיור 1 ובטבלה 1.

מערכות רגולטוריות הן כלי חיוני להתמודדות עם אירועי אקלים קיצוניים, כולל שריפות, צונאמי, הוריקנים, גלי חום ובצורת. עם זאת, מערכות רגולטוריות נטות להיות סטטיות ואיטיות ולכן קשות לעדכן בתגובה לתנאי אקלים דינמיים (Esty, 2019). במאמר הזה אנו מבקשים להמשיג ולחדד את תפקידן של מערכות מידע ליצירה ותמיכה בתהליכי רגולציה נמישים ואדפטיביים הלומדים ומתעדכנים בתגובה להשתנות הסביבה. כחלק ממגמה רחבה יותר, העוסקת בשימוש במערכות טכנולוגיות על ידי מערכות רגולטוריות (RegTech), אנו מבקשים לבחון את השימוש של טכנולוגיה במימוש רגולציה אדפטיבית (Adaptive Regulation).

באופן כללי, כאשר מתרחש שינוי מדיניות הוא נובע בדרך כלל ממשבר בהשראה של "אירועים ממקדים" (Birkland, 1998), הלוכדים בהצלחה את תשומת הלב המוגבלת של קובעי מדיניות ביזרות של רצינוניות מוגבלת (Lindblom, 1959). עם זאת, התרחשות של משבר מעידה בדרך כלל על כך שהשינוי כבר היה צריך להתרחש קודם לכן. יתרה מזאת, בפועל, רגולציות שנוסחו בעיתות משבר, במקרים רבים ללא הכנה או ניתוח מספק, עשויות להיות מוגזמות או מתוכננות באופן שאינו יעיל (Benneer & Wiener 2019). בנוסף, רגולטורים שאינם מחוברים מספיק לנעשה בתעשייה, עשויים ליצור אמצעים רגולטוריים שקשה לעמוד בהם ודורשים תיקונים מתמידים (McCray et al., 2010).

איור 1: תהליכי תכנון של רגולציה אדפטיבית המונעים דיגיטלית



טבלה 1: מחזורי עיצוב רגולטוריים אדפטיביים בקשר למערכות מידע

מחזור אדפטיבי	דוגמאות	אתגרי הרגולציה	תפקידי IT/IS בהתמודדות עם האתגרים	כלים טכנולוגיים דיגיטליים רלוונטיים
זיהוי וניתוח של סיכונים חדשים (ידועים לא ידועים)	איסוף של ביטויי חשש אודות הר געש רדום לכאורה ממומחים ומתושבים מקומיים שמביעים את חששם בפורומים דיגיטליים, והדמיה של הנתיב שבו עשויה לזרום לבה במקרה של התפרצות כדי לקבוע את רמת הסיכון	מיצוי כל הסיכונים החדשים הפוטנציאליים וניתוח נכון של השפעותיהם	יצירת סביבה שוויונית וגלובלית יותר לשיתוף סיכונים ומתן סביבות ניסוי נטולות סיכונים להערכה חכמה	קהילות מקוונות מיקור המונים כלי שיתוף פעולה הדמויות תאומים דיגיטליים בינה מלאכותית לזיהוי אנומליה
ניטור בזמן אמת (ידועים ידועים)	ניטור רציף של פעילות סיסמית באזור וולקני, והוצאת הנחיות בנייה המתאימות לספי פעילות ספציפיים	היכולת להתחקות אחר ספים ואינדיקטורים רגולטוריים באמצעות צק-אין מתמיד, כדי להעריך את הרלוונטיות של הדרישות	איסוף נתונים בזמן אמת ברמה מקומית/גלובלית, ניתוח בינ-דאטה וזיהוי חכם של שינויים ומגמות	מערכות ניטור מתודולוגיות AI/ML
הערכת אכיפה (תקפות התקנות הקיימות והציות להן)	הערכה אם בתים ליד הר הגעש נבנים כנדרש, ועד כמה סביר להניח שתושבי הכפר יכולים לעמוד בהנחיות הרגולטוריות, תוך הבנת ההשפעה של אי-ציות להנחיות וההשפעות הנגררות	זיהוי נכון של העלויות וההשפעות של אי-ציות ותכנון אסטרטגיית אכיפה יעילה	חיזוי תוצאות פוטנציאליות של אי-ציות והפעלת תגובות אוטומטיות לאחר זיהוי של אי-ציות.	מתודולוגיות AI/ML ניהול אלגוריתמי

על מומחי פעילות געשית או על כפריים המבחינים בשינויים ומביעים את חששותיהם בפורומים ייעודיים של מדיה חברתית. השלב הבא, **שלב ההערכה**, נועד לקבוע האם הסיכונים שזוהו בשלב איסוף המידע אכן מחייבים התערבות רגולטורית (Renn, 2008). בשלב הזה טכנולוגיות דיגיטליות יספקו סביבה לניסויים נטולי סיכונים ולבדיקת תרחישים שונים באמצעות סימולציות. בדיקה זו מתאפשרת בזכות יכולות גדולות של כוח עיבוד וגרפיקה ממוחשבת. טכנולוגיות רלוונטיות יכולות לכלול מודלים של "תאומים דיגיטליים", מודלים של תוכנה המשקפים אובייקטים פיזיים ייחודיים, ועוד (Van der Valk ואחרים, 2020). כלי טכנולוגי נוסף הוא מערכות לומדות, המיישמות מודלים של בינה מלאכותית ויכולות לזהות אנומליה ושינויי התנהגות. בדוגמה שלנו, יכולות כאלה עשויות לסייע בניתוח הסבירות של הר הגעש להתפרץ בפועל, ולדמות את הנתיב שבו עשויה הלבה לזרום כדי לקבוע את רמת הסיכון הנשקפת לכפר הסמוך.

ניטור בזמן אמת. לאחר שזוהו סיכונים קונקרטיים, השלב הבא הוא מעקב אחר ספים ספציפיים (thresholds) ומדדי ביצוע מרכזיים הקשורים לסיכונים ידועים, והתאמה

זיהוי וניתוח של סיכונים חדשים. במחזור זה שני שלבים מתמשכים: (א) איסוף מתמיד של מידע המאפשר זיהוי סיכונים פוטנציאליים חדשים. (ב) הערכת הסיכונים. **שלב הזיהוי** הצופה את פני העתיד של סיכונים חדשים צריך לכלול תשומות מתמידות מאקדמאים, מומחי אקלים, אנשי מקצוע בתחום הסיכונים, ארגוני חברה אזרחיים, מנהיגים וחברי קהילה המייצגים פלחים סוציו-דמוגרפיים ואזורים גיאוגרפיים שונים היוצרים קהילות של ידע רלוונטי בנושאי האקלים. כדי להבטיח התייחסות לכל המידע הרלוונטי, חשוב שכלל השחקנים החשופים לסיכון ירגישו שייכים ויוכלו להביע את חששותיהם (Olbrich ואחרים, 2015). מערכות מידע יכולות לתמוך בשלב איסוף המידע באמצעות יצירת קהילות ידע מקוונות וסיפוק דרכים נוספות של גישה למידע של מיקור המונים. פלטפורמות דיגיטליות וכלים חישוביים למטרות אלו עשויים להעניק מרחב שוויוני מכיל שיעודד השתתפות שווה של בעלי העניין השונים, בפרט אלו המגיעים מקהילות של ילידים או חסרי זכויות, וההשלכות של אירועי אקלים עלולות להיות הרסניות במיוחד עבורם (Di Porto, 2022). שלב איסוף המידע עשוי לחשוף, למשל, כי הר געש שנמצא בקרבת כפר ונחשב לרדום עומד להתפרץ. המידע יכול להתבסס

עם האפשרויות הזמינות של טכנולוגיה דיגיטלית עכשווית ומערכות מידע, יכולים שלושת המחוזים המרכיבים את המודל (איור 1) לפעול בזמן אמת ולנתח נתונים רלוונטיים בהתאם לדרישה. אפשר להגדיר חלקים שונים של התהליך שיפעלו באופן אוטומטי, וכך להניע ליעילות גבוהה תוך מזעור הטיית שיכולות לנבוע מהתערבות אנושית. ההסתמכות על מערכות מידע מאפשרת גם תיעוד אוטומטי של כל השלבים בתהליך התכנון הרגולטורי, ומבטיחה שקיפות ויכולת הסבר לתעשיות ולקהילות המושפעות וכן לציבור הרחב.

על מנת להעריך את השפעות המודל האדפטיבי המוצע והאפקטיביות שלו, ניתן להעריך כל מחזור למידה בנפרד. במחזור זיהוי והערכת סיכונים חדשים, נבדוק האם הצלחנו לזהות סיכונים חדשים לאורך זמן ולשנות את סדרי העדיפויות של רגולטורים בתחומי הגנת הסיבה. במחזור ניטור רגולציה בזמן אמת, נבדוק האם וכמה מהר זוהו חריגות רגולטוריות, והאם רגולטורים השכילו להניב בזמן לפני שנוצר משבר שדרש התערבות רגולטורית מסיבית. במחזור הערכת אכיפה, נבדוק באיזו תכיפות הצלחנו לעדכן תקנות רגולציה ולהתאים אותן לשטח. ניתן להעריך את השפעת כל אחד ממעגלי הלמידה הללו בטווח הקצר, הבינוני והארוך, אם כי השפעתם תיבחן בצורה מיטבית לאורך זמן.

כדי ליישם את תהליכי הרגולציה האדפטיבית לאקלים המתוארים במודל שלנו, ולהבטיח את האיתנות שלהם (Robustness) על פני מגוון סיטואציות עתידיות אפשריות, יש צורך במחקר של מערכות מידע שיבחן כיצד למקם את המרכיבים האנושיים, הארגוניים, הממשלתיים, הטכניים והכלכליים המעורבים. בפרט, יש צורך לחקור דרכים לתמרץ בעלי עניין שונים כדי שיאמצו כלים טכנולוגיים לתמיכה ברגולציה אדפטיבית של אקלים. בנוסף יש לבדוק כיצד ניתן להניע ליכולת פעולה הדדית של מערכות אלו על פני ממשלות, תרבויות ואזורים שונים. לבסוף, יש צורך בפיתוח של מדדים מתאימים לכימות ההשפעה של מערכות מידע על היעילות של תהליכי הרגולציה האדפטיבית. כיווני מחקר עתידיים אלו דורשים שיתופי פועלה ארוכי טווח בין חוקרי מערכות מידע לבין חוקרי רגולציה ומדיניות ציבורית, שיבטיחו את הרלוונטיות של המחקרים העתידיים ויישום התובנות שלהם במסגרות של ממשל וממשל תאגידי.

zalmanson@gmail.com

ד"ר ליאור זלמנסון

של ההנחיות בהתאם. בדוגמה של הר הנעש, ניטור בזמן אמת עשוי לכלול ניטור רציף של פעילות סיסמית באזור, והוצאת הנחיות בנייה המתאימות לספי פעילות ספציפיים. במחזור הזה מערכות המידע ממלאות את התפקיד החשוב של לכידת הנתונים בזמן אמת מחיישנים מרובים וניתוח נתונים אלו, למשל באמצעות אלגוריתמים של למידת מכונה (ML). התגובה למגפת הקורונה מספקת דוגמאות רבות ליישומים כאלו, לרבות שימוש ברחפנים למעקב אחר מגע באמצעות מיפוי חום (Jahmunah, 2021), ניטור שפכים למעקב אחר פתוגנים (Jacobs ואחרים, 2021), ושימוש באלגוריתמים לעיבוד שפה בנתוני מדיה חברתית כדי לאתר התפרצויות של קוביץ-19 באמצעות ניתוח שיחות (McKendry ואחרים, 2020). גישות דומות אפשר ליישם בתחום שינויי האקלים.

הערכת אכיפה. במחזור הלמידה השלישי של המודל שלנו, הטכנולוגיה מסייעת לרגולטורים לבדוק את תקפות התקנות הרגולטוריות ולהעריך את הציות לרגולציה של הצדדים השונים הנמצאים תחת פיקוח. בדוגמת הר הנעש שלנו, המחזור הזה עשוי לכלול את הבדיקות הבאות: (א) האם הבתים בכפר נבנו בהתאם להנחיות הבנייה שנקבעו? (ב) עד כמה תושבי הכפר יכולים לציית להנחיות אלו בקלות ומהי הסבירות לאי-ציות? (ג) ההשפעה של אי-ציות להנחיות וההשפעות הנגררות. במקרים שבהם קשה לעקוב בפועל אחר הדרישות הרגולטוריות, הנוק הפוטנציאלי עשוי להיות גבוה ולגרם לתכנון מחדש של הרגולציה. במחזור הזה כלים טכנולוגיים (בינה מלאכותית ולמידת מכונה) יכולים לשמש במגוון תפקידים. אפשר להשתמש בהם ככלי מניעה ולסמן כל מקרה של אי-ציות להנחיות להמשך חקירה. הם יכולים לשמש גם למטרות חיזוי ולדיווח מתי צפויה להתרחש הפרת הנחיות רגולציה. כמו כן הם יכולים להשתמש בנתוני ציות לרגולציה כדי לזהות פרצות פוטנציאליות שעלולות להיות מנוצלות בידי עסקים או אנשים פרטיים ולהפעיל התאמות רגולטוריות. לבסוף, הם יכולים להפוך חלק מפעולות האכיפה לאוטומטיות, להטיל קנסות ואף להשבית עסקים שהפרו את התקנות. התפקיד האחרון עשוי להיראות ספקולטיבי, אך כלים דומים נמצאים כיום בשימוש של עסקי פלטפורמה, כגון אובר-ו-Doordash, כדי לאכוף כללים ותקנות על עובדים מרחוק ולמנוע אי-ציות. רעיון זה, המכונה ניהול אלגוריתמי, זכה לתשומת לב רבה במחקרי עסקים (Berente et al., 2021; Möhlmann et al., 2021), ועשוי להועיל גם בתחום הרגולציה של שינויי אקלים באמצעות מניעה דומה של השפעות אי-ציות.

- Benneer, L. S., & Wiener, J. B. (2019). *Adaptive Regulation: Instrument Choice for Policy Learning over Time*. 37.
- Berente, N., Gu, B., Recker, J., & Santhanam, R. (2021). Managing artificial intelligence. *MIS Quarterly*, 45(3), 1433-1450.
- Birkland, T. A. (1998). Focusing Events, Mobilization, and Agenda Setting. *Journal of Public Policy*, 18(1), 53-74.
- Boh, W.F., Constantinides, P., Padmanabhan, B., and Viswanathan, S. (2020). "Call for Papers, MISQ Special Issue on Digital Resilience".
- Brass, I., & Sowell, J. H. (2021). Adaptive governance for the Internet of Things: Coping with emerging security risks. *Regulation & Governance*, 15(4), 1092-1110.
- Di Porto, Fabiana. (2022). Analyzing Language to Identify Stakeholders. *The Regulatory Review*. Sept 12, 2022.
- Esty, D. C. (2019). *A Better Planet: Forty Big Ideas for a Sustainable Future*. Yale University Press.
- International Risk Governance Council. (2015). *A short introduction to 'Planned Adaptive Regulation'*.
- Jacobs, D., McDaniel, T., Varsani, A., Halden, R. U., Forrest, S., & Lee, H. (2021). Wastewater monitoring raises privacy and ethical considerations. *IEEE Transactions on Technology and Society*, 2(3), 116-121.
- Jahmunah, V., Sudarshan, V. K., Oh, S. L., Gururajan, R., Gururajan, R., Zhou, X., ... & Acharya, U. R. (2021). Future IoT tools for COVID-19 contact tracing and prediction: a review of the state-of-the-science. *International Journal of Imaging Systems and Technology*, 31(2), 455-471.
- Keohane, Robert O. and Victor, David. (2011). The Regime Complex for Climate Change. *Perspectives on Politics* Vol. 9(1): 7-23.
- Lindblom, C. E. (1959). The Science of "Muddling Through." *Public Administration Review*, 19(2), 79-88.
- Marchau, V. A. W. J., Walker, W. E., Bloemen, P. J. T. M., & Popper, S. W. (Eds.). (2019). *Decision Making under Deep Uncertainty: From Theory to Practice*. Springer International Publishing.
- McCray, L. E., Oye, K. A., & Petersen, A. C. (2010). Planned adaptation in risk regulation: An initial survey of US environmental, health, and safety regulation. *Technological Forecasting and Social Change*, 77(6), 951-959.
- McKendry, R. A., Rees, G., Cox, I. J., Johnson, A., Edelstein, M., Eland, A., & Stevens, M. M. (2020). Share mobile and social-media data to curb COVID-19. *Nature*, 580(7801), 29-30.
- Möhlmann, M., Zalmanson, L., Henfridsson, O., & Gregory, R. W. (2021). Algorithmic Management Of Work On Online Labor Platforms: When Matching Meets Control. *MIS Quarterly*, 45(4).
- Olbrich, S., Trauth, E. M., Niedermann, F., & Gregor, S. (2015). Inclusive Design in IS: Why Diversity Matters. *Communications of the Association for Information Systems*, 37, 37.

Rai, A. (2020). Editor's comments: The COVID-19 pandemic: Building resilience with IS research. *Management Information Systems Quarterly*, 44(2), iii-vii.

Renn, O. (2008). *Risk Governance: Coping with Uncertainty in a Complex World*. Routledge.

Swanson, D., Barg, S., Tyler, S., Venema, H., Tomar, S., Bhadwal, S., Nair, S., Roy, D., & Drexhage, J. (2010). Seven tools for creating adaptive policies. *Technological Forecasting and Social Change*, 77(6), 924-939.

Wiener, Jonathan B. (2002). Designing Global Climate Regulation. In Schneider Stephen H, Rosencranz A., and Niles John O. (eds.) *Climate Change Policy: A Survey*. pp. 151-187.

Van der Valk, H., Haße, H., Möller, F., Arbter, M., Henning, J. L., & Otto, B. (2020, August). A Taxonomy of Digital Twins. In *AMCIS*.