

Scholieren met dyslexie van het derde graad middelbaar onderwijs ondersteunen bij het lezen van wetenschappelijke papers via tekstsimplificatie.

Optionele ondertitel.

Dylan Cluyse.

Scriptie voorgedragen tot het bekomen van de graad van
Professionele bachelor in de toegepaste informatica

Promotor: Mevr. L. De Mol

Co-promotor: J. Decorte; J. Van Damme; M. Dhondt

Academiejaar: 2022–2023

Eerste examenperiode

Departement IT en Digitale Innovatie .

**HO
GENT**

Woord vooraf

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Samenvatting

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Inhoudsopgave

| | |
|--|------------|
| Lijst van figuren | vii |
| 1 Inleiding | 1 |
| 1.1 Probleemstelling | 1 |
| 1.2 Onderzoeksvraag | 2 |
| 1.3 Onderzoeksdoelstelling | 3 |
| 1.4 Opzet van deze bachelorproef | 3 |
| 2 Stand van zaken | 5 |
| 2.1 Tekstvereenvoudiging | 5 |
| 2.1.1 Natural Language Processing | 5 |
| 2.2 De verschillende soorten tekstvereenvoudiging | 7 |
| 2.2.1 Lexicale vereenvoudiging | 7 |
| 2.2.2 Syntactische vereenvoudiging | 8 |
| 2.2.3 Conceptuele of semantische vereenvoudiging | 9 |
| 2.2.4 Semantische vereenvoudiging | 9 |
| 2.2.5 Tekstvereenvoudiging automatiseren | 9 |
| 2.2.6 Combineren tot het geheel van tekstvereenvoudiging | 9 |
| 2.2.7 Samenvatten | 10 |
| 2.2.8 Conclusie | 12 |
| 2.3 Voordelen van tekstvereenvoudiging | 12 |
| 2.4 Struikelblokken | 12 |
| 2.4.1 Evaluatie van de toepassing | 12 |
| 2.4.2 Datasets | 12 |
| 2.4.3 Meaning distortion | 12 |
| 2.4.4 Word Ambiguity | 12 |
| 2.4.5 Paternalisme | 12 |
| 2.4.6 Problemen bij lexicale vereenvoudiging | 13 |
| 2.4.7 Problemen bij syntactische vereenvoudiging | 13 |
| 2.5 Beschikbare software voor tekstvereenvoudiging | 13 |
| 2.5.1 Toepassingen nu in het onderwijs beschikbaar | 13 |
| 2.5.2 Online toepassingen | 13 |
| 2.6 Prototype voor tekstvereenvoudiging | 13 |
| 2.6.1 Lexicale vereenvoudiging | 13 |
| 2.6.2 Syntactische vereenvoudiging | 13 |
| 2.6.3 Samenvatten | 13 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 2.7 | Evaluatiemetrieken. | 13 |
| 3 | Methodologie | 14 |
| 4 | Conclusie | 16 |
| A | Onderzoeksvoorstel | 18 |
| A.1 | Introductie | 19 |
| A.2 | State-of-the-art | 20 |
| A.2.1 | Tekstvereenvoudiging | 20 |
| A.2.2 | Noden van scholieren met dyslexie. | 21 |
| A.2.3 | Huidige toepassingen. | 22 |
| A.2.4 | Ontwikkelen met AI | 22 |
| A.3 | Methodologie | 23 |
| A.4 | Verwacht resultaat, conclusie | 25 |
| | Bibliografie | 26 |

Lijst van figuren

| | | |
|-----|--|----|
| 2.1 | Voorbeeld van PoS-labeling op de Engelstalige zin "She sells seashells on the seashore". Afbeelding van Bilici (2021) | 7 |
| 2.2 | Voorbeeld van sequence labeling op de Engelstalige zin "She sells seashells on the seashore". Afbeelding van Bilici (2021) | 7 |
| 2.3 | Voorbeeld van manuele tekstvereenvoudiging. Oorspronkelijke tekst uit Historia 5 bron toe te voegen | 8 |
| A.1 | (Readable, 2021) | 24 |

1

Inleiding

Het middelbaar onderwijs staat op springen. Dagelijks sneuvelen leerkrachten en leerlingen van het middelbaar onderwijs onder de te harde werkdruk. Daarnaast is taal vrijwel onmogelijk om aan te ontsnappen. Dagelijks komen mensen in aanraking met taal, van Nederlandse nieuwsartikelen tot de ondertiteling van Koreaanse Netflix-series, ongeacht de doelgroep. Lerarenopleidingen richten zich de afgelopen tien jaar sterk op het gebruik van gevarieerde bronnen in lessen. De moeilijkheidsgraad van deze bronnen verandert echter niet, want de noodzaak aan verscheidenheid brengt ook de noodzaak aan uitdagingen met zich mee. STEM-leerkrachten in een derde graad middelbaar onderwijs moeten volgens het leerplan van zowel het katholiek¹ als het gemeenschapsonderwijs² hun theorielessen op een toegankelijke manier aanbieden, zodat iedereen betrokken is bij het verhaal.

Met een jaarlijks budget van 32 miljoen is België een pionier (Crevits, 2022) in het vakgebied kunstmatige intelligentie (AI) op de werkvloer. Zo stampte de Vlaamse overheid verschillende AI-projecten uit de grond, om Vlaamse AI-ontwikkelingen te ondersteunen en inspireren. Het amai!-project³ brengt AI-softwarebedrijven samen uit verschillende domeinen. Dit project leidt tot het ontstaan van AI-toepassingen die processen automatiseren om de werkdruk te verminderen, zoals binnen het onderwijs *real-time* ondertiteling en een taalassistent voor leerkrachten in meertalige klasgroepen.

1.1. Probleemstelling

Volgens Ghesquière (2018) heeft ongeveer 5 tot 9 % van de Nederlandstalige bevolking⁴ te maken met dyslexie. Verder benadrukt de studie van Lissens, Femke

¹<https://pro.katholiekonderwijs.vlaanderen/basisoptie-stem/ondersteunend-materiaal>

²<https://g-o.be/stem/>

³<https://amai.vlaanderen/>

⁴Deze schatting is gebaseerd op de Vlaamse en Nederlandse bevolking.

and Masarrat Al Asmar, Masarrat and Willems, Daniëlle and Van Damme, Jana and De Coster, Sandrine and Demeestere, Emma and Maes, Romy and Baccarne, Bastiaan and Robaeyst, Ben and Duthoo, Wout and Desoete, Annemie (2020) dat de impact van leerstoornissen niet stopt na het middelbaar onderwijs. Scholieren met dyslexie in het middelbaar onderwijs krijgen te maken met unieke uitdagingen. Gelukkig worden ze niet aan hun lot overgelaten en kunnen ze rekenen op ondersteuning van coaches en beschikbare hulpmiddelen om hun achterstand te beperken. Het leerplan voor STEM-vakken stimuleert het gebruik van wetenschappelijke artikelen, maar houdt niet altijd rekening met de moeilijkheidsgraad ervan. De complexe woordenschat en zinsopbouw in deze artikelen vormen een barrière voor de begrijpelijkheid van een tekst, waardoor de scholieren de kerninhoud moeilijk kunnen doorgronden. Een oplossing hiervoor is om de tekst te vereenvoudigen, waardoor de kerninhoud wordt behouden.

“Ik vind het zeker de moeite waard om te onderzoeken. Leerlingen met dyslexie hebben naast problemen met technisch lezen (maken meer leesfouten en lezen vaak trager) ook problemen met begrijpend lezen. Samengestelde zinnen en complexere zinnen worden niet altijd even makkelijk begrepen (belangrijke signaalwoorden niet herkend, woordbetekenissen worden moeizamer uit de tekstcontext gehaald, enz...) Een toegankelijke tekststructuur kan voor veel doelgroepen soelaas brengen (dat is trouwens wat organisaties zoals 'Wablief' voor ogen hebben.) “

Wetenschappelijke artikelen vereenvoudigen vraagt tijd en energie van docenten in de derde graad middelbaar onderwijs. Het middelbaar onderwijs staat onder druk en docenten hebben moeite om met deze werkdruk boven water te blijven. Daarom is er nood aan software die wetenschappelijke artikelen automatisch kan vereenvoudigen, specifiek gericht op de noden van scholieren met dyslexie. Een dergelijke toepassing vermindert het routinematige werk van STEM-docenten en biedt scholieren met dyslexie in de derde graad middelbare onderwijs de mogelijkheid om de kern van een tekst sneller te begrijpen.

1.2. Onderzoeksvraag

De volgende onderzoeksvraag is opgesteld: "Hoe kan een wetenschappelijke artikel automatisch vereenvoudigd worden, gericht op de unieke noden van scholieren met dyslexie in de derde graad middelbaar onderwijs?". Daarnaast worden de volgende deelvragen beantwoord.

- Welke aanpakken zijn er voor geautomatiseerde tekstvereenvoudiging? Aanluitende vraag: "Hoe worden teksten handmatig vereenvoudigd voor scholieren met dyslexie?"

- Welke specifieke noden hebben scholieren van de derde graad middelbaar onderwijs bij het begrijpen van complexere teksten?
- Wat zijn de specifieke kenmerken van wetenschappelijke artikelen?
- Met welke valkuilen bij taalverwerking met AI moeten ontwikkelaars rekening houden?
- Welke toepassingen, tools en modellen zijn er beschikbaar om Nederlandse geautomatiseerde tekstvereenvoudiging met AI mogelijk te maken?
- Welke functies ontbreken AI-toepassingen om geautomatiseerde tekstvereenvoudiging mogelijk te maken voor scholieren met dyslexie in de derde graad middelbaar onderwijs? Aansluitende vraag: "Welke manuele methoden voor tekstvereenvoudiging komen niet in deze tools voor?"

1.3. Onderzoeksdoelstelling

Het doel van dit onderzoek is om te achterhalen met welke technologische en logopedische aspecten AI ontwikkelaars rekening moeten houden bij het een de ontwikkeling van een adaptieve AI toepassing voor geautomatiseerde tekstvereenvoudiging. Het resultaat van dit onderzoek is een prototype voor een toepassing die de tekstinhoud van een wetenschappelijke paper zal vereenvoudigen, naargelang de specifieke noden van een scholier met dyslexie in de derde graad middelbaar onderwijs. Het prototype houdt rekening met de transformatie van het bronbestand, bijvoorbeeld een PDF of een afbeelding, naar de tekstinhoud. Hiervoor bestaan er kant-en-klare pakketten die het omzettingswerk al voor de ontwikkelaar doen. De invoer van dit prototype is een wetenschappelijk artikel van minstens 500 woorden lang.

1.4. Opzet van deze bachelorproef

De rest van deze bachelorproef is als volgt opgebouwd:

In Hoofdstuk 2 wordt een overzicht gegeven van de stand van zaken binnen het onderzoeksdomein, op basis van een literatuurstudie.

In Hoofdstuk 3 wordt de methodologie toegelicht en worden de gebruikte onderzoekstechnieken besproken om een antwoord te kunnen formuleren op de onderzoeksvragen.

- Wat is geautomatiseerde tekstvereenvoudiging? Allereerst moeten er een definitie worden gevormd wat geautomatiseerde tekstvereenvoudiging is en welke transformaties bijdragen tot een tekstvereenvoudiging. De nodige theoretische concepten om tekstvereenvoudiging mogelijk te maken, worden aangehaald.

- Wat zijn de voordelen van wetenschappelijke artikelen te vereenvoudigen bij scholieren met dyslexie in de derde graad middelbaar onderwijs? Waarom speelt tekstvereenvoudiging een rol bij wetenschappelijke artikelen?
- Wat zijn de struikelblokken bij het vereenvoudigen van wetenschappelijke artikelen?
- Welke fasen heeft een pipeline voor tekstvereenvoudiging bij wetenschappelijke artikelen? Welke modellen zijn er white-box of black-box?
- Aan welke metrieken moet een vereenvoudigd wetenschappelijk artikel voldoen? In welke mate kan de eindgebruiker hiervan op de hoogte gesteld worden?

In Hoofdstuk 4, tenslotte, wordt de conclusie gegeven en een antwoord geformuleerd op de onderzoeksvragen. Daarbij wordt ook een aanzet gegeven voor toekomstig onderzoek binnen dit domein.

2

Stand van zaken

2.1. Tekstvereenvoudiging

Tekstvereenvoudiging is het proces waarin het technisch leesniveau en/of woordgebruik van een geschreven tekst wordt verminderd. Zo mag de vereenvoudiging geen invloed hebben op de betekenis van de kerninhoud. Het langlopende onderzoek van Advait Siddharthan is met meer dan 140 citaties een goed vertrekpunt voor dit onderzoek. Volgens (Siddharthan, 2014) bestaat een complete vereenvoudiging van een tekst uit precies vier transformaties. Binnen machine learning is tekstvereenvoudiging een zijtak van natuurlijke taalverwerking.

2.1.1. Natural Language Processing

Natuurlijke taalverwerking of NLP is een brede term die zich richt op het verwerken en analyseren van menselijke taal door computers en andere technologieën. Het omvat verschillende technieken, zoals tekstanalyse, taalherkenning en -generatie, spraakherkenning en -synthese, en semantische analyse. Computers zijn ertoe in staat om op een menselijke manier te communiceren en begrijpen wat er wordt gezegd. Voordat het onderzoek zich verdiept in hoe teksten worden vereenvoudigd, moeten er eerst begrippen worden aangehaald die noodzakelijk zijn om de volgende fasen te kunnen uitleggen. Sohom (2019) haalt de volgende begrippen aan.

- **Tokenisatie** splitst de stam of basisvorm van woorden in een tekst. Gebruikelijk zetten ontwikkelaars deze stap in om een woordenschat voor een taalmodel op te bouwen. Bij tokenisatie wordt er geen rekening gehouden met de betekenis achter ieder woord.
- **Lemmatiseren** in NLP bouwt verder op *stemming*, maar de betekenis van ieder woord wordt in acht genomen. Voor het lemmatiseren bestaan er Ne-

derlandstalige modellen, waaronder JohnSnow¹. Bij **omgekeerd lemmatiseren** wordt er een afgeleide achterhaald vanuit de stam. Bijvoorbeeld voor het werkwoord 'zijn' zou dit 'is', 'was' of 'ben' zijn. Voor zelfstandige naamwoorden, zoals 'hond', is dit dan enkelvoud of meervoud.

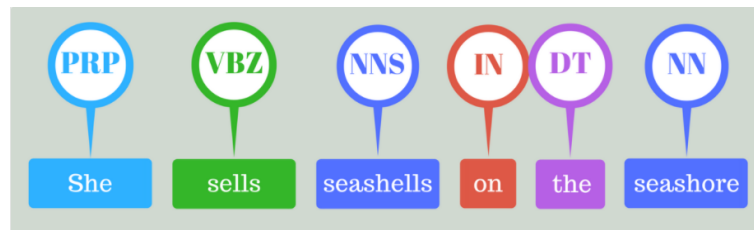
- Bij een **parsing**-fase wordt er een label aan ieder woord of zinsdeel toegekend. Voorbeelden van labels zijn zelfstandig naamwoord, bijwoord, werkwoord, bijzin of stopwoord. Het herkennen van zinsdelen wordt *chunking* genoemd. Parsing heeft een dubbelzinnigheidsprobleem, want een 'plant' staat niet gelijk aan de vervoeging van werkwoord 'planten'.

Sequence Labeling

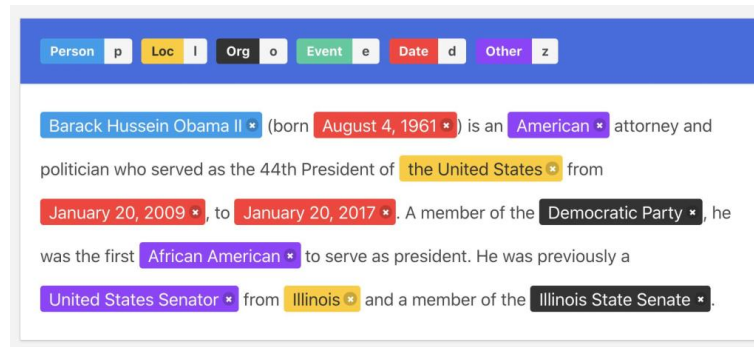
Volgens Eisenstein (2019) is *sequence labeling* essentieel tot het achterhalen van de structuur van een tekst met *supervised learning*. Elk woord in een tekst of zin wordt geclassificeerd met behulp van specifieke labels, zoals bijvoorbeeld een Part of Speech (PoS) label of een Named Entity Recognition (NER) label. De structuur van de tekst wordt achterhaald en informatie en patronen kunnen uit de tekst worden gehaald. Jurafsky e.a. (2014) haalt PoS- en NER-labeling verder aan in hun boek. Terwijl POS-tagging zich richt op grammaticale categorieën van woorden, richt NER-labeling zich op het identificeren van specifieke entiteiten in tekst.

- Bij **POS-tagging** worden de woorden in een zin geanalyseerd en krijgt elk woord een grammaticale categorie of een deel van de rede toegewezen, zoals zelfstandig naamwoord, werkwoord, bijvoeglijk naamwoord of bijwoord. POS-tagging helpt volgens Jurafsky e.a. (2014) bij het identificeren van de syntactische structuur van een zin. Dit is volgens de onderzoeker handig voor taken zoals parsing en machinevertaling. Dit wordt aanschouwelijk gemaakt op 2.1
- Aan de andere kant houdt **NER-labeling** zich bezig met het herkennen en classificeren van *named entities* in een zin, zoals namen van personen, organisaties, locaties, data, enzovoort. NER-labeling wordt volgens Jurafsky e.a. (2014) gebruikt om specifieke informatie uit tekst te halen, zoals het identificeren van de namen van personen, plaatsen of bedrijven die in nieuwsartikelen worden genoemd, of het extraheren van belangrijke data of getallen uit financiële rapporten. Dit wordt aanschouwelijk gemaakt 2.2. Li e.a. (2018) haalt vier technieken aan waarop NER-labeling kan gebeuren:
 - *Dictionary-based* systemen waarbij een dictionary een verzameling van de woordenschat bijhoudt. Hierop wordt *basic string matching* toegepast.
 - *Rule-based* systemen met een vooraf gekregen verzameling van regels voor het ophalen van informatie. Het toewijzen gebeurt met patronen, of met de context van een woord.

¹https://nlp.johnsnowlabs.com/2020/05/03/lemma_nl.html

**Figuur (2.1)**

Voorbeeld van PoS-labeling op de Engelstalige zin "She sells seashells on the seashore". Afbeelding van Bilici (2021)

**Figuur (2.2)**

Voorbeeld van sequence labeling op de Engelstalige zin "She sells seashells on the seashore". Afbeelding van Bilici (2021)

- *ML-based* modellen trainen eerst op geannoteerde tekstdocumenten, vervolgens gebruikt het getrainede model deze annotaties.
- *Deep-learning* of DL-modellen mappen de invoerdata aan een niet-lineaire representatie. De complexe modellen maken het mogelijk om niet voor de hand liggende relaties uit te pluizen, wat het de sterkste van de vier opties maakt.

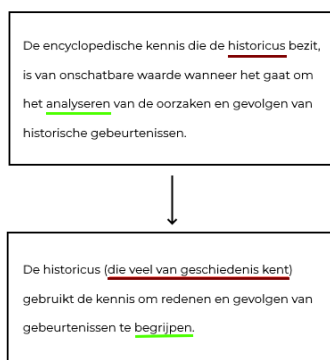
Daarnaast haalt Li e.a. (2018) modellen aan om een pipeline voor NER-labeling mogelijk te maken. Spacy heeft deze functie ingebouwd. Stanford NER tagger is een tool die samen met het NLTK-pakket werkt.

2.2. De verschillende soorten tekstvereenvoudiging

Tekstvereenvoudiging bestaat uit vier soorten transformaties: lexicale, syntactische en semantische vereenvoudiging en samenvatten.

2.2.1. Lexicale vereenvoudiging

Bij lexicale vereenvoudiging worden complexe woorden vervangen door eenvoudigere synoniemen. Bijvoorbeeld, het woord 'adhesief' kan worden vervangen door



Figuur (2.3)

Voorbeeld van manuele tekstvereenvoudiging. Oorspronkelijke tekst uit Historia 5 bron toe te voegen

'klevend'. De zinsstructuur verandert niet en er is garantie dat de kerninhoud en benadrukking hetzelfde blijft. Het doel van lexicale vereenvoudiging is om de moeilijkheidsgraad van de woordenschat in een zin of tekst te verlagen. Dit is, volgens het aantal onderzoeken, de meest gekende vorm van vereenvoudiging en een noodzakelijke stap bij het vereenvoudigen van een tekst. Voor prevalentie domeinen, zoals de onderwijs-, medische en financiële sector, zijn er onderzoeken vrij beschikbaar. In de medische sector haalt Kandula e.a. (2010) twee manieren aan om lexicale vereenvoudiging mogelijk te maken, namelijk het vervangen door een synoniem en het aanmaken of genereren van extra uitleg. Zij bouwden verder op een vorig onderzoek van Zeng e.a. (2005).

2.2.2. Syntactische vereenvoudiging

Syntactische vereenvoudiging transformeert de grammatica en zinsstructuur van een tekst om de complexiteit van een zin te verlagen. Bijvoorbeeld, twee afzonderlijke zinnen kunnen worden samengevoegd tot één eenvoudiger zin. Syntactische vereenvoudiging richt zich op het verminderen van complexe of onduidelijke zinsconstructies, terwijl de inhoud en betekenis van de tekst behouden blijft. Dergelijke transformaties zijn het vereenvoudigen van de syntax of door de zinnen korter te maken. Zinnen worden toegankelijker, zonder de kerninhoud of relevante inhoud te verliezen.

Het vereenvoudigen van medische journalen wordt besproken in het onderzoek van Kandula e.a. (2010). Zij ontwikkelden een toepassing om medische informatie te vereenvoudigen met beschikbare biomedische bronnen, door syntactische vereenvoudiging op zinniveau toe te passen. Zinnen met meer dan 10 woorden worden als complex beschouwd en worden verwerkt door drie modules. Op het einde van deze vereenvoudiging kan de oorspronkelijke zin ongewijzigd worden behouden of vervangen worden door twee of meer kortere zinnen. De architectuur van het model omvat drie onderdelen: een *Part of Speech (PoS) Tagger*, een

Grammar Simplifier en een *Output Validator*.

- Voor de *PoS Tagger*-fase gebruikten Kandula e.a. (2010) beschikbare functies uit het open-source pakket OpenNLP².
- De *Grammar Simplifier* module splitst de lange zin in twee of meer kortere zinnen door POS-patronen te identificeren en een set transformatieregels toe te passen.
- De *Output Validator* module controleert de output van de *Grammar Simplifier* op grammatica en leesbaarheid. Er zijn drie condities:

2.2.3. Conceptuele of semantische vereenvoudiging

Conceptuele vereenvoudiging lost dit probleem op. Theoretische kennis hierover is schaars, maar Siddharthan (2006) bestudeerde dit concept verder. Dit type vereenvoudiging betreft het opdelen van complexe concepten in eenvoudigere delen, het gebruik van duidelijke en bondige taal en het vermijden van technische jargon en abstracte uitdrukkingen. Het doel is om de inhoud begrijpelijker te maken, zonder dat hierbij de betekenis of nauwkeurigheid wordt aangetast. Siddharthan (2006) noemt deze transformatie een vorm van elaboratie of het uiteenzetten van een begrip.

2.2.4. Semantische vereenvoudiging

Semantisch vereenvoudigen is volgens Siddharthan (2006) de inhoud of betekenis van een tekst aanpassen om het begrijpelijker te maken voor een doelgroep. Zo wordt er meer uitleg of voorbeelden gegeven, of dat niet-relevante delen van de tekst worden weggelaten.

2.2.5. Tekstvereenvoudiging automatiseren

Geautomatiseerde tekstvereenvoudiging is geen nieuw concept. Volgens onderzoeken van Canning e.a. (2000) en Siddharthan (2006) waren de eerste aanpakken op geautomatiseerde tekstvereenvoudiging gebouwd op rule-based modellen. Deze modellen bewerken de syntax door zinnen te splitsen, te verwijderen of de volgorde van de zinnen in een tekst aan te passen. Lexicale vereenvoudiging kwam hier niet aan de pas. Enkel bij recentere onderzoeken van Bulté e.a. (2018) en Coster en Kauchak (2011) werd het duidelijk hoe lexicale en syntactische vereenvoudiging gecombineerd kon worden.

2.2.6. Combineren tot het geheel van tekstvereenvoudiging

Het onderzoek van De Belder (2010) richt zich op tekstvereenvoudiging voor kinderen. De doelgroep ligt echter jonger dan deze casus, maar het onderzoek haalt aan

²<https://opennlp.apache.org/>

hoe de onderzoekers een methode opzetten voor lexicale en syntactische vereenvoudiging.

Een onderzoek van Bulté e.a. (2018) ging met dit concept aan de slag. Het resultaat van hun onderzoek was een *pipeline* ontworpen om moeilijke woordenschat naar simpele synoniemen te vervangen. Eerst ging de tekstinhoud door een *pre-processing*-fase, samen met het uitvoeren van WSE. Daarna werd de moeilijkheidsgraad van ieder token overlopen. De moeilijkheidsgraad is gebaseerd op hoe vaak een woord voorkomt in SONAR500³ een corpus met eenvoudige Nederlandstalige woorden. Synoniemen werden teruggevonden met Cornetto⁴, een lexicale databank met Nederlandstalige woorden. Hiervoor gebruikten de onderzoekers een *reverse lemmatization* fase. Lexicale vereenvoudiging is ingewikkeld wanneer er geen eenvoudigere synoniemen zijn. In dat geval blijft een moeilijk woord voor wat het is.

2.2.7. Samenvatten

Teksten vereenvoudigen met lexicale, conceptuele en/of syntactische vereenvoudiging biedt geen garantie dat de tekstinhoud korter zal worden. Bij deze drie soorten wordt er enkel binnen een zin gekeken, zo wordt er geen rekening gehouden met de zinnen die daarop voorafgaan of volgen.

Teksten machinaal samenvatten is geen nieuw concept. Het onderzoek van Hahn en Mani (2000) bevat vele citaties en een uitgangspunt om te vertrekken hoe teksten automatisch kunnen worden samengevat. Zij halen twee aanpakken hoe een machine een tekst kan samenvatten: extractief en abstractief. Verder reikt Hahn en Mani (2000) drie soorten samenvattingen aan:

- Informatieve samenvattingen vervangen de oorspronkelijke tekst. Alles wat de lezer nodig heeft, dus hoofd- en bijzaken, zijn betrokken in de samengevatte tekst.
- Indicatieve samenvattingen behouden enkel een tekst met links die een lezer doorverwijzen naar andere bronnen.
- Kritische samenvattingen of *reviews* bestaan uit de kerninhoud van de oorspronkelijke tekst en een opiniestuk over die specifieke kerninhoud.

Verder haalt Hahn en Mani (2000) ook het onderscheid tussen een generieke en een gebruikersgerichte samenvatting. Een generieke samenvatting staat niet stil bij speciale noden of interesses van de eindgebruiker. Daarnaast houdt een gebruikersgerichte samenvatting wel rekening met sleutelwoorden of thema's in een tekst. Hahn en Mani (2000) haalt aan dat technologieën zoals full-text-search en

³<https://taalmaterialen.ivdnt.org/download/tstc-sonar-corpus/>

⁴<https://github.com/emsrc/pycornetto>

gepersonaliseerd informatiefiltering het belang van gebruikersgerichte samenvatting naar voor duwen.

Hahn en Mani (2000) omschrijft de architectuur van een samenvattingssysteem aan de hand van drie fases. Allereerst wordt de brontekst geanalyseerd. Daarna worden de *salient points* of kernpunten in een tekst aangeduid. Deze punten zijn zinnen of tokens. Ten slotte worden de punten samengevoegd tot één uitvoertekst. De nadruk is verschillend per samenvattingsmethode.

Extractief samenvatten

Bij deze vorm worden de belangrijkste zinnen gemarkeerd en vervolgens opnieuw neergeschreven Hahn en Mani (2000). Dit is het equivalent van handmatig zinnen te fluoriseren en vervolgens op een blanco papier neerschrijven. Het nadeel hiervan is dat de uitvoertekst niet samenhangend zal zijn na het samenvatten. Dit maakt de tekst minder aangenaam om te lezen.

McKeown e.a. (1999) onderzochten naar de use case voor het extractief samenvatten van teksten. Zij achterhalen dat deze vorm vatbaar is op vooroordelen. Bij nieuwsartikelen wordt er geen rekening gehouden met vooroordelen van de auteur. De zinnen worden genomen zoals ze zijn. Hahn en Mani (2000) bouwde hierop verder om een mix van *knowledge-rich* en *knowledge-poor* methoden te combineren, met succesvolle resultaten tot gevolg.

De nadruk bij extractief samenvatten ligt in het kiezen van de *salient text units*. Deze punten zijn typisch in de vorm van zinnen. Er is nood aan een manier om de lexicale en statistische relevantie van een zin te kunnen aanduiden. Hiervoor haalt Hahn en Mani (2000) twee manieren aan:

- Met een lineair gewicht model. Iedere teksteenheid wordt gewogen op factoren zoals de *location weight* en het aantal voorkomens.
- Een gewicht model op basis van de statistische opvallendheid van een eenheid. Zo wordt er rekening gehouden met de aanwezigheid van een woord in (sub)titels.

Nallapati e.a. (2017) wilden de nauwkeurigheid van andere modellen overbruggen. Dit doen ze met *SummaRuNNer*⁵, een oplossing voor het extractief samenvatten van teksten met een neurale netwerk. De toepassing werd opgebouwd met PyTorch in Python en bestaat uit een combinatie van drie modellen: een recurrent neurale netwerk, een convolutioneel recurrent neurale netwerk en een *hiërarchische attention network*.

Abstractief samenvatten

Om een abstractieve samenvatting op te bouwen bestaan er verschillende modellen. Het Pegasus-model vloeide voort uit een onderzoek van Zhang e.a. (2020)

⁵<https://github.com/hpzhao/SummaRuNNer>

over het afhandelen van *gap-sentences* met pre-trained models voor samenvatting met NLP. Pegasus haalt kernzinnen uit een invoertekst en zal die zinnen vervolgens als één uitvoerzin uitschrijven. Dit model werd getraind en beoordeeld op samenvattingstaken zoals emails, patenten, rekeningen en ook wetenschappelijke artikelen. Hieronder een code-snipppet van hoe een simpele abstractieve samenvatting kan worden gemaakt met Google Pegasus.

2.2.8. Conclusie

De theoretische concepten om teksten te vereenvoudigen. Teksten kunnen op vier manieren worden vereenvoudigd, namelijk door

2.3. Voordelen van tekstvereenvoudiging

2.4. Struikelblokken

2.4.1. Evaluatie van de toepassing

2.4.2. Datasets

2.4.3. Meaning distortion

2.4.4. Word Ambiguity

Sequence Labeling voorziet labels aan tokens in een tekst. Homoniemen kunnen echter roet in het eten gooien, want .

2.4.5. Paternalisme

De doelstelling van assisterende software is om gelijke kansen te bieden aan iedereen. Zoals eerder vermeld, zorgt tekstvereenvoudiging voor een simpelere syntax en woordenschat in een tekst. Volgens Niemeijer e.a. (2010) zijn de ethische overwegingen die samenhangen met tekstvereenvoudiging via implicaties voor assistieve technologie niet gemakkelijk te scheiden van de technologie die wordt gebruikt om het resultaat te bereiken. Ontwikkelaars moeten, volgens deze auteur, rekening houden met de doelgroep waarvoor ze een toepassing maken.

Het onderzoek van Gooding (2022) richtte zich op dit probleem. Ontwikkelaars moeten zich meer bewust worden van de behoeften en verwachtingen van de eindgebruiker bij het ontwikkelen van een tekstvereenvoudigingstoepassing. Haar onderzoek benadrukt de paternalistische en afhankelijke aard van assisterende toepassingen. Tekstvereenvoudiging omvat drie transformaties, maar de moeilijkheidsgraad is niet statisch. Een adaptieve tekstvereenvoudigingstoepassing moet de eindgebruiker een keuze aanbieden om aan te passen wat vereenvoudigd wordt, afhankelijk van zijn of haar specifieke behoeften.

Volgens Sikka en Mago (2020), maken de meeste AI-toepassingen voor tekstvereenvoudiging gebruik van *black-box* modellen. Een *black-box* model maakt het onmogelijk om transparant te zijn over waarom bepaalde transformaties worden

uitgevoerd, bijvoorbeeld het vervangen van een woord door een eenvoudiger synoniem. Het model kan dus niet aangeven waarom het juist dat woord heeft vervangen door dat specifieke synoniem. Deze AI-toepassingen vallen onder de categorie van *supervised learning* en het model leert handelingen uit de data waarop het is getraind. Dit is echter problematisch, aangezien Xu e.a. (2015) benadrukt dat veel toepassingen voor tekstvereenvoudiging geen rekening houden met de doelgroep waarvoor ze zijn ontwikkeld.

Om dit probleem op te lossen, is het belangrijk om de eindgebruiker, in dit geval scholieren met dyslexie in het derde graad middelbaar onderwijs, de keuze te geven. Zoals beschreven in Gooding (2022), zijn er verschillende mogelijkheden. Bijvoorbeeld, de eindgebruiker moet de mogelijkheid hebben om te kiezen welke synoniemen de tekst lexicaal zullen aanpassen. Een alternatieve aanpak voor syntactische vereenvoudiging is om de scholier zelf zinnen te laten markeren die moeilijk te begrijpen zijn, zodat het systeem alleen de door de eindgebruiker aangegeven zinnen vereenvoudigt.

2.4.6. Problemen bij lexicale vereenvoudiging

- Acroniemen
- Homoniemen

2.4.7. Problemen bij syntactische vereenvoudiging

- Kerninhoud verliezen

2.5. Beschikbare software voor tekstvereenvoudiging

2.5.1. Toepassingen nu in het onderwijs beschikbaar

2.5.2. Online toepassingen

2.6. Prototype voor tekstvereenvoudiging

2.6.1. Lexicale vereenvoudiging

2.6.2. Syntactische vereenvoudiging

2.6.3. Samenvatten

2.7. Evaluatiemetrieën

3

Methodologie

Etiam pede massa, dapibus vitae, rhoncus in, placerat posuere, odio. Vestibulum luctus commodo lacus. Morbi lacus dui, tempor sed, euismod eget, condimentum at, tortor. Phasellus aliquet odio ac lacus tempor faucibus. Praesent sed sem. Praesent iaculis. Cras rhoncus tellus sed justo ullamcorper sagittis. Donec quis orci. Sed ut tortor quis tellus euismod tincidunt. Suspendisse congue nisl eu elit. Aliquam tortor diam, tempus id, tristique eget, sodales vel, nulla. Praesent tellus mi, condimentum sed, viverra at, consectetur quis, lectus. In auctor vehicula orci. Sed pede sapien, euismod in, suscipit in, pharetra placerat, metus. Vivamus commodo dui non odio. Donec et felis.

Etiam suscipit aliquam arcu. Aliquam sit amet est ac purus bibendum congue. Sed in eros. Morbi non orci. Pellentesque mattis lacinia elit. Fusce molestie velit in ligula. Nullam et orci vitae nibh vulputate auctor. Aliquam eget purus. Nulla auctor wisi sed ipsum. Morbi porttitor tellus ac enim. Fusce ornare. Proin ipsum enim, tincidunt in, ornare venenatis, molestie a, augue. Donec vel pede in lacus sagittis porta. Sed hendrerit ipsum quis nisl. Suspendisse quis massa ac nibh pretium cursus. Sed sodales. Nam eu neque quis pede dignissim ornare. Maecenas eu purus ac urna tincidunt congue.

Donec et nisl id sapien blandit mattis. Aenean dictum odio sit amet risus. Morbi purus. Nulla a est sit amet purus venenatis iaculis. Vivamus viverra purus vel magna. Donec in justo sed odio malesuada dapibus. Nunc ultrices aliquam nunc. Vivamus facilisis pellentesque velit. Nulla nunc velit, vulputate dapibus, vulputate id, mattis ac, justo. Nam mattis elit dapibus purus. Quisque enim risus, congue non, elementum ut, mattis quis, sem. Quisque elit.

Maecenas non massa. Vestibulum pharetra nulla at lorem. Duis quis quam id lacus dapibus interdum. Nulla lorem. Donec ut ante quis dolor bibendum condimentum. Etiam egestas tortor vitae lacus. Praesent cursus. Mauris bibendum pede at elit. Morbi et felis a lectus interdum facilisis. Sed suscipit gravida turpis. Nulla at

lectus. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Praesent nonummy luctus nibh. Proin turpis nunc, congue eu, egestas ut, fringilla at, tellus. In hac habitasse platea dictumst.

Vivamus eu tellus sed tellus consequat suscipit. Nam orci orci, malesuada id, gravida nec, ultricies vitae, erat. Donec risus turpis, luctus sit amet, interdum quis, porta sed, ipsum. Suspendisse condimentum, tortor at egestas posuere, neque metus tempor orci, et tincidunt urna nunc a purus. Sed facilisis blandit tellus. Nunc risus sem, suscipit nec, eleifend quis, cursus quis, libero. Curabitur et dolor. Sed vitae sem. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Maecenas ante. Duis ullamcorper enim. Donec tristique enim eu leo. Nullam molestie elit eu dolor. Nullam bibendum, turpis vitae tristique gravida, quam sapien tempor lectus, quis pretium tellus purus ac quam. Nulla facilisi.

4

Conclusie

Curabitur nunc magna, posuere eget, venenatis eu, vehicula ac, velit. Aenean ornare, massa a accumsan pulvinar, quam lorem laoreet purus, eu sodales magna risus molestie lorem. Nunc erat velit, hendrerit quis, malesuada ut, aliquam vitae, wisi. Sed posuere. Suspendisse ipsum arcu, scelerisque nec, aliquam eu, molestie tincidunt, justo. Phasellus iaculis. Sed posuere lorem non ipsum. Pellentesque dapibus. Suspendisse quam libero, laoreet a, tincidunt eget, consequat at, est. Nullam ut lectus non enim consequat facilisis. Mauris leo. Quisque pede ligula, auctor vel, pellentesque vel, posuere id, turpis. Cras ipsum sem, cursus et, facilisis ut, tempus euismod, quam. Suspendisse tristique dolor eu orci. Mauris mattis. Aenean semper. Vivamus tortor magna, facilisis id, varius mattis, hendrerit in, justo. Integer purus.

Vivamus adipiscing. Curabitur imperdiet tempus turpis. Vivamus sapien dolor, congue venenatis, euismod eget, porta rhoncus, magna. Proin condimentum pretium enim. Fusce fringilla, libero et venenatis facilisis, eros enim cursus arcu, vitae facilisis odio augue vitae orci. Aliquam varius nibh ut odio. Sed condimentum condimentum nunc. Pellentesque eget massa. Pellentesque quis mauris. Donec ut ligula ac pede pulvinar lobortis. Pellentesque euismod. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent elit. Ut laoreet ornare est. Phasellus gravida vulputate nulla. Donec sit amet arcu ut sem tempor malesuada. Praesent hendrerit augue in urna. Proin enim ante, ornare vel, consequat ut, blandit in, justo. Donec felis elit, dignissim sed, sagittis ut, ullamcorper a, nulla. Aenean pharetra vulputate odio.

Quisque enim. Proin velit neque, tristique eu, eleifend eget, vestibulum nec, lacus. Vivamus odio. Duis odio urna, vehicula in, elementum aliquam, aliquet laoreet, tellus. Sed velit. Sed vel mi ac elit aliquet interdum. Etiam sapien neque, convallis et, aliquet vel, auctor non, arcu. Aliquam suscipit aliquam lectus. Proin tincidunt magna sed wisi. Integer blandit lacus ut lorem. Sed luctus justo sed enim.

Morbi malesuada hendrerit dui. Nunc mauris leo, dapibus sit amet, vestibulum et, commodo id, est. Pellentesque purus. Pellentesque tristique, nunc ac pulvinar adipiscing, justo eros consequat lectus, sit amet posuere lectus neque vel augue. Cras consectetur libero ac eros. Ut eget massa. Fusce sit amet enim eleifend sem dictum auctor. In eget risus luctus wisi convallis pulvinar. Vivamus sapien risus, tempor in, viverra in, aliquet pellentesque, eros. Aliquam euismod libero a sem. Nunc velit augue, scelerisque dignissim, lobortis et, aliquam in, risus. In eu eros. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Curabitur vulputate elit viverra augue. Mauris fringilla, tortor sit amet malesuada mollis, sapien mi dapibus odio, ac imperdiet ligula enim eget nisl. Quisque vitae pede a pede aliquet suscipit. Phasellus tellus pede, viverra vestibulum, gravida id, laoreet in, justo. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Integer commodo luctus lectus. Mauris justo. Duis varius eros. Sed quam. Cras lacus eros, rutrum eget, varius quis, convallis iaculis, velit. Mauris imperdiet, metus at tristique venenatis, purus neque pellentesque mauris, a ultrices elit lacus nec tortor. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent malesuada. Nam lacus lectus, auctor sit amet, malesuada vel, elementum eget, metus. Duis neque pede, facilisis eget, egestas elementum, nonummy id, neque.



Onderzoeksvoorstel

Samenvatting

Tekstvereenvoudiging helpt scholieren met dyslexie in het derde graad middelbaar onderwijs bij hun lees- en verwerkingssnelheid. Artificiële intelligentie kan dit proces automatiseren. Ingewikkelde woordenschat en een lange zinsopbouw hinderen scholieren met dyslexie van een derde graad middelbaar onderwijs bij het lezen van wetenschappelijke papers. Vlaamse middelbare scholen ontbreken de toepassingen om specifiek scholieren met dyslexie van een derde graad middelbaar onderwijs te ondersteunen bij het lezen van wetenschappelijke papers, ondanks de steun en initiatief van de Vlaamse Overheid. Dit onderzoek wijst aan hoe de inhoud van wetenschappelijke artikelen automatisch met kunstmatige intelligentie kan worden vereenvoudigd, specifiek gericht op de noden van een scholier met dyslexie in het derde graad middelbaar onderwijs. Een technische analyse van relevante vakgebieden wordt uitgevoerd, gevolgd door een veldonderzoek bij Belgische informaticabedrijven en de ontwikkeling van een AI-gestuurde pipeline voor tekstvereenvoudiging. De huidige toepassingen voor tekstvereenvoudiging in het onderwijs zijn niet verzorgd voor scholieren met dyslexie in het derde graad middelbaar onderwijs. Ze zijn bedoeld om door een breed publiek in het lager en middelbaar onderwijs gebruikt te worden. Internationale AI-toepassingen omvatten een vertaalfase, maar afwijkingen van de kerninhoud moeten in acht worden genomen door software-ontwikkelaars. De ontwikkeling van een pipeline voor tekstvereenvoudiging met standaard modellen staat nog in de beginfase. Software-ontwikkelaars moeten aangepaste transformers ontwikkelen om te voldoen aan deze noden.

A.1. Introductie

Het Vlaams middelbaar onderwijs staat op barsten. Leraren en scholieren worden overspoeld door werkdruk en stress. Bovendien is de derde graad van het middelbaar onderwijs een belangrijke mijlpaal voor de verdere loopbaan van scholieren, al hebben zij volgens Dapaah en Maenhout (2022) dan moeite om grip te krijgen op de vakliteratuur bij STEM-vakken. Het STEM-agenda¹ van de Vlaamse Overheid moet het STEM-onderwijs tegen 2030 aantrekkelijker te maken, door de ondersteuning voor zowel leerkrachten als scholieren te verbeteren. Toch wordt het aanpakken van de steeds complexere wetenschappelijke taal, zoals beschreven in Barnett en Doubleday (2020), niet opgenomen in het STEM-agenda. Wetenschappelijke artikelen vereenvoudigen, op maat van de noden voor een scholier met dyslexie in het middelbaar onderwijs, is tijds- en energie-intensief voor leerkrachten en scholieren. Automatische en adaptieve tekstvereenvoudiging biedt hier een baanbrekende oplossing om de werkdruk in het middelbaar onderwijs te verminderen.

Het doel van dit onderzoek is om te achterhalen met welke technologische en logopedische aspecten AI-ontwikkelaars rekening moeten houden bij de ontwikkeling van een adaptieve AI-toepassing voor geautomatiseerde tekstvereenvoudiging. De volgende onderzoeksvraag is opgesteld: "Hoe kan een wetenschappelijke artikel automatisch vereenvoudigd worden, gericht op de verschillende behoeften van scholieren met dyslexie in de derde graad middelbaar onderwijs?". Het doel wordt bereikt door een antwoord op de volgende deelvragen te formuleren. Eerst geeft de literatuurstudie een antwoord op de eerste vier deelvragen. Daarna vormt het veldonderzoek een antwoord op de vijfde deelvraag. Ten slotte beantwoordt de vergelijkende studie de zesde en laatste deelvraag. De resultaten van dit onderzoek zetten AI-ontwikkelaars aan om een toepassing te maken om scholieren met dyslexie te kunnen ondersteunen in de derde graad middelbaar onderwijs.

1. Welke aanpakken zijn er voor geautomatiseerde tekstvereenvoudiging? Aan-sluitende vraag: "Hoe worden teksten handmatig vereenvoudigd voor scho-lieren met dyslexie?"
2. Welke specifieke noden hebben scholieren van de derde graad middelbaar onderwijs bij het begrijpen van complexere teksten?
3. Wat zijn de specifieke kenmerken van wetenschappelijke artikelen?
4. Met welke valkuilen bij taalverwerking met AI moeten ontwikkelaars rekening houden?
5. Welke toepassingen, tools en modellen zijn er beschikbaar om Nederlandsta-lige geautomatiseerde tekstvereenvoudiging met AI mogelijk te maken?

¹<https://www.vlaanderen.be/publicaties/stem-agenda-2030-stem-competenties-voor-een-toekomst-en-missiegericht-beleid>

6. Welke functies ontbreken AI-toepassingen om geautomatiseerde én adaptieve tekstvereenvoudiging mogelijk te maken voor scholieren met dyslexie in de derde graad middelbaar onderwijs? Aansluitende vraag: "Welke manuele methoden voor tekstvereenvoudiging komen niet in deze tools voor?"

A.2. State-of-the-art

A.2.1. Tekstvereenvoudiging

De voorbije tien jaar is artificiële intelligentie (AI) sterk verder ontwikkeld. Vasista (2022) benadrukt dat de toename in kennis voor nieuwe toepassingen zorgde. Tekstvereenvoudiging vloeide hier uit voort. Momenteel bestaan er al robuuste toepassingen die teksten kunnen vereenvoudigen, zoals Resoomer², Paraphraser³ en Prepostseo⁴. Binnen het kader van tekstvereenvoudiging is er bestaande documentatie beschikbaar waar onderzoekers het voordeel van toegankelijkheid aanhalen, maar volgens Gooding (2022) ontbreken deze toepassingen de extra noden die scholieren met dyslexie in de derde graad middelbaar onderwijs vereisen.

Shardlow (2014) haalt aan dat het algemene doel van tekstvereenvoudiging is om ingewikkelde bronnen toegankelijker te maken. Het zorgt voor verkorte teksten zonder de kernboodschap te verliezen. Siddharthan (2014) haalt verder aan dat tekstvereenvoudiging op één van drie manieren gebeurt. Er is conceptuele vereenvoudiging waarbij documenten naar een compacter formaat worden getransformeerd. Daarnaast is er uitgebreide modificatie die kernwoorden aanduidt door gebruik van redundantie. Als laatste is er samenvatting die documenten verandert in kortere teksten met alleen de topische zinnen. Met deze concepten zijn ontwikkelaars volgens Siddharthan (2014) in staat om ingewikkelde woorden te vervangen door eenvoudiger synoniemen of zinnen te verkorten zodat ze sneller leesbaar zijn.

Tekstvereenvoudiging behoort tot de zijtak van *Natural Language Processing* (NLP) in AI. NLP omvat methodes om menselijke teksten om te zetten in tekst voor machines. Documenten vereenvoudigen met NLP kan volgens Chowdhary (2020) op twee manieren: extract of abstract. Bij extractieve vereenvoudiging worden zinnen gelezen zoals ze zijn neergeschreven. Vervolgens bewaart een document de belangrijkste taalelementen om de tekst te kunnen hervormen. Deze vorm van tekstvereenvoudiging komt volgens (Sciforce, 2020) het meeste voor. Daarnaast is er abstracte vereenvoudiging waarbij de kernboodschap wordt bewaard. Met de kernboodschap wordt er een nieuwe zin opgebouwd. Volgens het onderzoek van Chowdhary (2020) heeft deze vorm potentieel, maar het zit nog in de kinderschoenen.

²<https://resoomer.com/nl/>

³<https://www.paraphraser.io/nl/tekst-samenvatting>

⁴<https://www.prepostseo.com/tool/nl/text-summarizer>

A.2.2. Noden van scholieren met dyslexie

Het experiment van Franse wetenschappers

Gala en Ziegler (2016) illustreert dat manuele tekstvereenvoudiging schoolteksten toegankelijker

maakt voor kinderen met dyslexie. Dit deden ze door simpelere synoniemen en zinsstructuren te gebruiken. Tien kinderen werden opgenomen in het experiment, variërend van 8 tot 12 jaar oud. Verwijswoorden werden vermeden en woorden kort gehouden. De resultaten waren veelbelovend. Het leestempo lag hoger en de kinderen maakten minder leesfouten. Ook bleek er geen verlies van begrip in de tekst bij geteste kinderen. Resultaten van de studie werden gebundeld voor de mogelijke ontwikkeling van een AI-tool.

De visuele weergave van tekst beïnvloedt de leessnelheid bij scholieren met dyslexie. Zo haalt het onderzoek van Rello e.a. (2012) tips aan waarmee teksten en documenten rekening moeten houden bij scholieren met dyslexie in de derde graad middelbaar onderwijs. Het gaat over speciale lettertypes, spreiding tussen woorden en het gebruik van inzoomen op aparte zinnen. Het onderzoek haalt verder aan dat teksten voor deze unieke noden aanpassen tijdrovend is, dus tekstvereenvoudiging door AI kan een revolutionaire oplossing bieden. De Universiteit van Kopenhagen is met bovenstaande idee aan de slag gegaan. Onderzoekers Bingel e.a. (2018) hebben gratis software ontwikkeld, genaamd Hero⁵, om tekstvereenvoudiging voor scholieren in het middelbaar onderwijs met dyslexie te automatiseren. De software bestudeert met welke woorden de gebruiker moeite heeft, en vervangt die door simpelere alternatieven. Hero bevindt zich nu in beta-vorm en wordt enkel in het Engels en Deens ondersteund. Als alternatief is er Readable⁶. Dit is een Engelstalige AI-toepassing dat zinnen beoordeeld met leesbaarheidsformules.

Roldós (2020) haalt aan dat NLP in de laatste decennia volop in ontwikkeling is, maar ontwikkelaars botsen nog op uitdagingen. Het gaat om zowel interpretatie- als dataproblemen bij AI-modellen. Het onderzoek haalt twee punten aan. Allereerst is het voor een machine moeilijk om de context van homoniemen te achterhalen. Bijvoorbeeld bij het woord 'bank' is het niet duidelijk voor de machine of het gaat over de geldinstelling of het meubel. Daarnaast zijn synoniemen een probleem voor tekstverwerking.

Het onderzoek van Sciforce (2020) haalt aan dat het merendeel van NLP-toepassingen Engelstalige invoer gebruikt. Niet-Engelstalige toepassingen zijn zeldzaam. De opkomst van AI technologieën die twee datasets gebruiken, biedt een oplossing voor dit probleem. De software vertaalt eerst de oorspronkelijke tekst naar de gewenste taal, voordat de tekst wordt herwerkt. Hetzelfde onderzoek bewijst dat het vertalen van gelijkaardige talen, zoals Duits en Nederlands, een minimaal verschil opleverd. Volgens Plavén-Sigray e.a. (2017) houden onderzoekers zich vaak in hun eigen taal-

⁵<https://beta.heroapp.ai/>

⁶<https://readable.com/>

bubbel, wat negatieve gevolgen heeft voor de leesbaarheid van een wetenschappelijk artikel. Bovendien vormt de stijgende trend van het gebruik aan acroniemen Barnett en Doubleday (2020) een extra hindernis. Donato e.a. (2022) haalt aan dat onbegrijpelijke literatuur, waaronder studiemateriaal geschreven door de docent en online wetenschappelijke artikelen, één van de redenen is waarom scholieren met dyslexie in het middelbaar onderwijs van richting veranderen.

A.2.3. Huidige toepassingen

Vlaanderen heeft weinig zicht op de geïmplementeerde AI software in scholen. Dit werd vastgesteld door (Martens e.a., 2021a), een samenwerking tussen de Vlaamse universiteiten en overheid voor AI. Vergeleken met andere Europese landen, maakt België het minst gebruik van leerling-georiënteerde hulpmiddelen. Degenen die wel gebruikt worden, zijn vooral online leerplatformen voor zelfstandig werken. Ook maakt België amper gebruik van beschikbare software die de leermethoden en -noden van leerlingen evalueert (Martens e.a., 2021b).

Verhoeven (2023) haalt aan dat AI-toepassingen zoals ChatGPT, Google Bard en Bing AI kunnen helpen om routinematig werk te verminderen in het onderwijs. Echter haalt Deckmyn (2021) aan dat GPT-3, het model van ChatGPT, sterker staat in het maken van Engelstalige teksten vergeleken met Nederlandstalige teksten. De databank waar het GPT-3 model mee is getraind, bestaat uit 92% Engelstalige woorden, terwijl er 0,35% Nederlandse woorden aanwezig zijn in dezelfde databank. Ontwikkelaars moeten de evolutie van deze modellen opvolgen, voordat er Nederlandstalige toepassingen mee worden gemaakt.

A.2.4. Ontwikkelen met AI

Python staat bovenaan de lijst van programmeertalen voor NLP-toepassingen. Volgens het onderzoek van Thangarajah (2019) is dit te wijten aan de eenvoudige syntax, kleine leercurve en grote beschikbaarheid van kant-en-klare bibliotheken. Wetenschappelijke berekeningen of statistische analyses kunnen worden uitgevoerd met één lijn code. Malik (2022) haalt de twee meest voorkomende aan, namelijk NLTK⁷ en Spacy⁸. Deep Martin⁹ bouwt verder op het onderzoek van Shardlow (2014) naar een pipeline voor lexicale vereenvoudiging. Deep Martin maakt gebruik van *custom transformers* om invoertekst te converteren naar een vereenvoudigde versie van de tekstinhoud.

Voor Germaanse talen zijn er enkele datasets en word embeddings beschikbaar die de complexiteit van woorden bijhouden. Zo zijn er in de Duitse taal Klexikon¹⁰ en TextComplexityDE¹¹. Een onderzoek van Suter e.a. (2016) bouwde een rule-based

⁷<https://www.nltk.org/>

⁸<https://spacy.io/>

⁹<https://github.com/chrislemke/deep-martin>

¹⁰<https://github.com/dennlinger/klexikon>

¹¹<https://github.com/babaknaderi/TextComplexityDE>

NLP-model met 'Leichte Sprache', wat een dataset is met eenvoudige Duitstalige zinsconstructies. Nederlandstalige datasets zijn in schaarse hoeveelheden beschikbaar, dus het vertalen uit een Germaanse taal is hier een optie.

Volgens Garbacea e.a. (2021) is het belangrijk dat AI-ontwikkelaars niet alleen aandacht besteden aan het aanpassen van woorden en zinnen, maar ook aan de gebruiker meegeven waarom iets is aangepast. De onderzoekers wijzen op twee ethische aspecten. Eerst moet de toepassing duidelijk aangeven waarom een woord of zin is aangepast. Het model moet de moeilijkheidsgraad van de woorden of zinnen bewijzen. Iavarone e.a. (2021) beschrijft een methode met regressiemodellen om de moeilijkheidsgraad te bepalen door een gemiddeld moeilijkheidspercentage per zin te berekenen. Daarnaast benadrukt Garbacea e.a. (2021) het belang van het markeren van de complexere delen van een tekst. Hiervoor haalt hetzelfde onderzoek methoden aan zoals *lexical* of *deep learning*.

Er is een tactvolle aanpak nodig om een vereenvoudigde tekst met AI te beoordelen. De studie van Swayamdipta (2019) haalt aan dat er extra nood is aan NLP-modellen waarbij de tekst zijn kernboodschap behoudt. Samen met Microsoft Research bouwden ze NLP-modellen die gericht waren op de bewaring van zinsstructuur en -context door *scaffolded learning*. Hiervoor maakten de onderzoekers gebruik van een voorspellingsmethode die de positie van woorden en zinnen in een document beoordeelde. De Flesch-Kincaid leesbaarheidstest is volgens Readable (2021) een alternatieve manier om vereenvoudigde tekstinhoud te beoordelen, zonder de nood aan *pre-trained* modellen. Deze score kan eenvoudig worden berekend met de *Python-library textstat*¹².

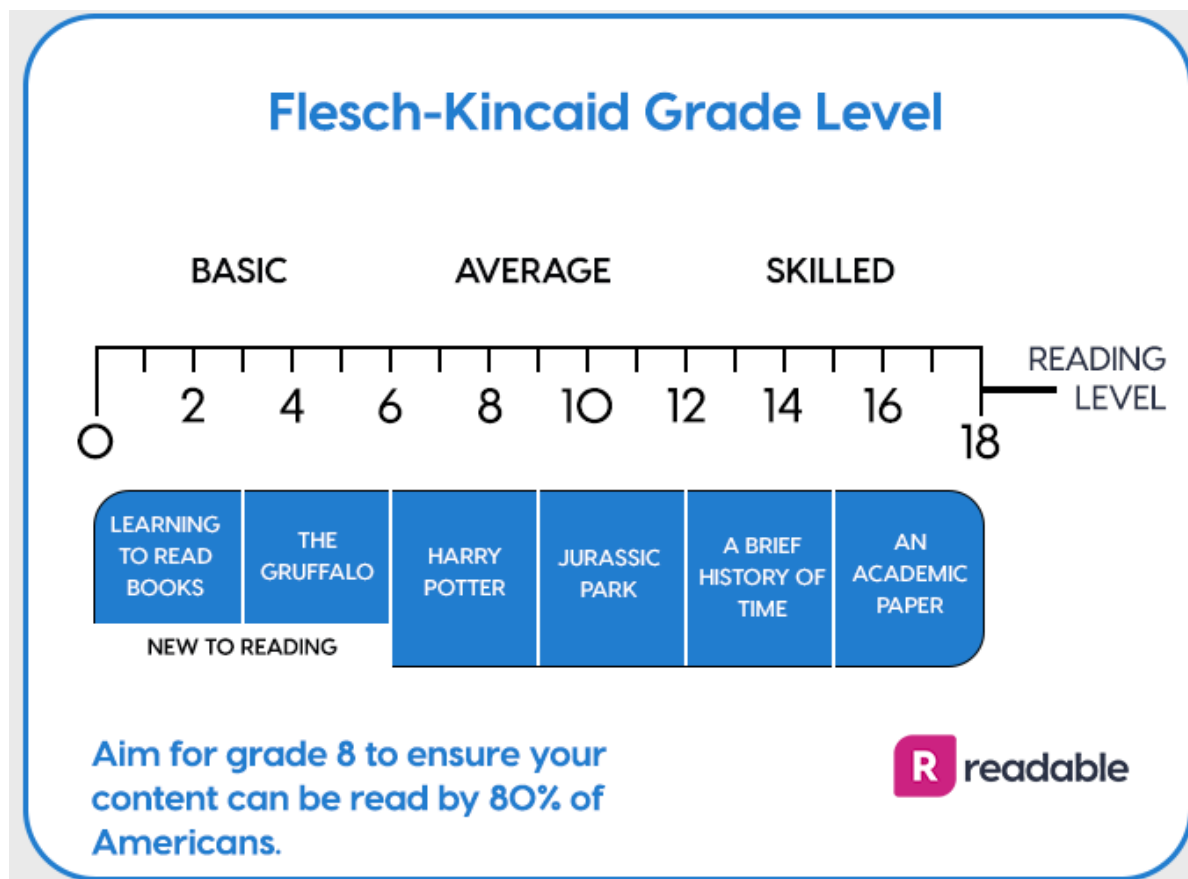
A.3. Methodologie

Een *mixed-methods* onderzoek toont aan hoe toepassingen automatisch een wetenschappelijke artikel kunnen vereenvoudigen, gericht op scholieren met dyslexie in de derde graad middelbaar onderwijs. Het onderzoek houdt vijf grote fases in. De eerste fase is het proces van geautomatiseerde tekstvereenvoudiging beschrijven. Dit gebeurt via een grondige studie van vakliteratuur en wetenschappelijke teksten. Ook blogs van experts komen hier aan bod. Na het verwerven van de nodige inzichten wordt er een verklarende tekst opgesteld.

De tweede fase bestaat uit het analyseren van wetenschappelijke werken over de bewezen voordelen van tekstvereenvoudiging bij scholieren met dyslexie van de derde graad middelbaar onderwijs. Hiervoor zijn geringe thesissen beschikbaar, die zorgvuldigheid vragen tijdens interpretatie. De resulterende tekst bevat de voordelen samen met hun wetenschappelijke onderbouwing.

De derde fase is opnieuw een beschrijving. Hier worden de valkuilen bij taalverwerking met AI-software nagegaan. Deze fase van het onderzoek brengt mogelijke nadelen en tekortkomingen van AI-software bij tekstvereenvoudiging aan het licht.

¹²<https://pypi.org/project/textstat/>



Figuur (A.1)
(Readable, 2021)

Dit gebeurt aan de hand van een technische uitleg.

De vierde fase omvat een toelichting over beschikbare AI toepassingen voor tekstvereenvoudiging. Aan de hand van een veldonderzoek op het internet en bij bedrijven wordt een longlist opgesteld van beschikbare toepassingen voor tekstvereenvoudiging in het middelbaar onderwijs. Met een requirementsanalyse wordt er een shortlist opgesteld van software. Het toetsen van verschillende tools wordt ook betrokken in deze fase. De shortlist vormt de basis voor de ontwikkeling van een prototype voor geautomatiseerde en adaptieve tekstvereenvoudiging.

De vijfde en laatste fase van het onderzoek bestaat uit het testen en beoordelen van gekozen AI-toepassingen voor tekstvereenvoudiging. In dit experiment proberen scholieren met dyslexie in de derde graad middelbaar onderwijs de shortlisted AI toepassingen en het prototype uit. Het doel van het experiment is om de effectiviteit en gebruikersvriendelijkheid van deze toepassingen te beoordelen. Na een grondige analyse wordt er met de resultaten bepaalt of de toepassingen aan de unieke noden van een scholier met dyslexie in de derde graad middelbaar onderwijs voldoen om wetenschappelijke artikelen te vereenvoudigen voor scholieren in het middelbaar onderwijs.

A.4. Verwacht resultaat, conclusie

Er wordt verwacht dat de huidige softwareoplossingen voor tekstvereenvoudiging onvoldoende aansluiten bij de noden van scholieren met dyslexie in de derde graad middelbaar onderwijs. Het prototype is moeilijk af te stemmen op de specifieke noden van deze doelgroep. Ontwikkelaars die werken met bestaande modellen moeten *custom transformers* inzetten om bevredigende resultaten te krijgen. Bovendien ontbreken er Nederlandstalige word embeddings die de complexiteit van elk woord bijhouden en aan kant-en-klare modellen die de inhoud van wetenschappelijke artikelen kunnen vereenvoudigen. Word embeddings uit een Germaanse taal gebruiken, gevolgd door vertaling naar het Nederlands is wel een aanvaardbaar alternatief.

Bibliografie

- Barnett, A. & Doubleday, Z. (2020). Meta-Research: The growth of acronyms in the scientific literature (P. Rodgers, Red.). *eLife*, 9, e60080.
- Bilici, Ş. (2021). Sequence labeling.
- Bingel, J., Paetzold, G. & Søgaard, A. (2018). Lexi: A tool for adaptive, personalized text simplification. *Proceedings of the 27th International Conference on Computational Linguistics*, 245–258.
- Bulté, B., Sevens, L. & Vandeghinste, V. (2018). Automating lexical simplification in Dutch. *Computational Linguistics in the Netherlands Journal*, 8, 24–48. <https://clinjournal.org/clinj/article/view/78>
- Canning, Y., Tait, J., Archibald, J. & Crawley, R. (2000). Cohesive Generation of Syntactically Simplified Newspaper Text. In P. Sojka, I. Kopeček & K. Pala (Red.), *Text, Speech and Dialogue* (pp. 145–150). Springer Berlin Heidelberg.
- Chowdhary, K. (2020). *Fundamentals of Artificial Intelligence*. Springer, New Delhi.
- Coster, W. & Kauchak, D. (2011). Learning to Simplify Sentences Using Wikipedia. *Proceedings of the Workshop on Monolingual Text-To-Text Generation*, 1–9. <https://aclanthology.org/W11-1601>
- Crevits, H. (2022, maart 13). *Kwart van bedrijven gebruikt artificiële intelligentie: Vlaanderen bij beste leerlingen van de klas* (Persbericht). Vlaamse Overheid Departement Economie, Wetenschap en Innovatie.
- Dapaah, J. & Maenhout, K. (2022, juli 8). *Iedereen heeft boter op zijn hoofd* (D. Standaard, Red.). https://www.standaard.be/cnt/dmf20220607_97763592
- De Belder, M.-F., Jan; Moens. Text simplification for children. eng. In: ACM; New York, 2010.
- Deckmyn, D. (2021, maart 19). *Robot schrijft mee De Standaard* (D. Standaard, Red.). https://www.standaard.be/cnt/dmf20210319_05008561
- Donato, A., Muscolo, M., Arias Romero, M., Caprì, T., Calarese, T. & Olmedo Moreno, E. M. (2022). Students with dyslexia between school and university: Post-diploma choices and the reasons that determine them. An Italian study. *Dyslexia*, 28(1), 110–127.
- Eisenstein, J. (2019). *Introduction to Natural Language Processing*. MIT Press. <https://books.google.be/books?id=72yuDwAAQBAJ>
- Gala, N. & Ziegler, J. (2016). Reducing lexical complexity as a tool to increase text accessibility for children with dyslexia. *Proceedings of the Workshop on Computational Linguistics for Linguistic Complexity (CL4LC)*, 59–66.

- Garbacea, C., Guo, M., Carton, S. & Mei, Q. (2021). Explainable Prediction of Text Complexity: The Missing Preliminaries for Text Simplification. *Proceedings of the 59th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics and the 11th International Joint Conference on Natural Language Processing (Volume 1: Long Papers)*, 1086–1097. <https://doi.org/10.18653/v1/2021.acl-long.88>
- Ghesquière, P. (2018). *Als leren pijn doet: Kinderen met een leerstoornis opvoeden en begeleiden*. Acco.
- Gooding, S. (2022). On the Ethical Considerations of Text Simplification. *Ninth Workshop on Speech and Language Processing for Assistive Technologies (SLPAT-2022)*, 50–57. <https://doi.org/10.18653/v1/2022.slpac-1.7>
- Hahn, U. & Mani, I. (2000). The Challenges of Automatic Summarization. *Computer*, 33, 29–36. <https://doi.org/10.1109/2.881692>
- Iavarone, B., Brunato, D. & Dell’Orletta, F. (2021). Sentence Complexity in Context. *Proceedings of the Workshop on Cognitive Modeling and Computational Linguistics*, 186–199. <https://doi.org/10.18653/v1/2021.cmcl-1.23>
- Jurafsky, D., Martin, J., Norvig, P. & Russell, S. (2014). *Speech and Language Processing*. Pearson Education. <https://books.google.be/books?id=Cq2gBwAAQBAJ>
- Kandula, S., Curtis, D. & Zeng-Treitler, Q. (2010). A semantic and syntactic text simplification tool for health content. *AMIA annual symposium proceedings, 2010*, 366.
- Li, J., Sun, A., Han, J. & Li, C. (2018). A Survey on Deep Learning for Named Entity Recognition.
- Lissens, Femke and Masarrat Al Asmar, Masarrat and Willems, Daniëlle and Van Damme, Jana and De Coster, Sandrine and Demeestere, Emma and Maes, Romy and Baccarne, Bastiaan and Robaeyst, Ben and Duthoo, Wout and Desoete, Annemie. (2020). Het stopt nooit... : de impact van dyslexie en/of dyscalculie op het welbevinden en studeren van (jong)volwassenen en op de transitie naar de arbeidsmarkt : een bundeling van Vlaamse pilootstudies. *LOGOPEDIE (HERENTALS)*, 2020(6), 10–28.
- Malik, R. S. (2022, juli 4). *Top 5 NLP Libraries To Use in Your Projects* (T. Al, Red.). <https://towardsai.net/p/l/top-5-nlp-libraries-to-use-in-your-projects>
- Martens, M., De Wolf, R. & Evens, T. (2021a). *Algoritmes en AI in de onderwijscontext: Een studie naar de perceptie, mening en houding van leerlingen en ouders in Vlaanderen*. Kenniscentrum Data en Maatschappij. Verkregen 30 maart 2022, van <https://data-en-maatschappij.ai/publicaties/survey-onderwijs-2021>
- Martens, M., De Wolf, R. & Evens, T. (2021b, juni 28). *School innovation forum 2021*. Kenniscentrum Data en Maatschappij. Verkregen 1 april 2022, van <https://data-en-maatschappij.ai/nieuws/school-innovation-forum-2021>

- McKeown, K., Klavans, J. L., Hatzivassiloglou, V., Barzilay, R. & Eskin, E. (1999). Towards multidocument summarization by reformulation: Progress and prospects.
- Nallapati, R., Zhai, F. & Zhou, B. (2017). SummaRuNNer: A Recurrent Neural Network Based Sequence Model for Extractive Summarization of Documents. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 31(1). <https://doi.org/10.1609/aaai.v31i1.10958>
- Niemeijer, A., Frederiks, B., Riphagen, I., Legemaate, J., Eefsting, J. & Hertogh, C. (2010). Ethical and practical concerns of surveillance technologies in residential care for people with dementia or intellectual disabilities: an overview of the literature. *Psychogeriatrics*, 22(7), 1129–1142. <https://doi.org/10.1017/S1041610210000037>
- Plavén-Sigray, P., Matheson, G. J., Schiffler, B. C. & Thompson, W. H. (2017). Research: The readability of scientific texts is decreasing over time (S. King, Red.). *eLife*, 6, e27725.
- Readable. (2021). *Flesch Reading Ease and the Flesch Kincaid Grade Level*. <https://readable.com/readability/flesch-reading-ease-flesch-kincaid-grade-level/>
- Rello, L., Kanvinde, G. & Baeza-Yates, R. (2012). Layout Guidelines for Web Text and a Web Service to Improve Accessibility for Dyslexics. *Proceedings of the International Cross-Disciplinary Conference on Web Accessibility*.
- Roldós, I. (2020, december 22). *Major Challenges of Natural Language Processing (NLP)*. MonkeyLearn. Verkregen 1 april 2022, van <https://monkeylearn.com/blog/natural-language-processing-challenges/>
- Sciforce. (2020, februari 4). *Biggest Open Problems in Natural Language Processing*. Verkregen 1 april 2022, van <https://medium.com/sciforce/biggest-open-problems-in-natural-language-processing-7eb101ccfc9>
- Shardlow, M. (2014). A Survey of Automated Text Simplification. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications(IJACSA), Special Issue on Natural Language Processing 2014*, 4(1). <https://doi.org/10.14569/SpecialIssue.2014.040109>
- Siddharthan, A. (2006). Syntactic Simplification and Text Cohesion. *Research on Language and Computation*, 4(1), 77–109. <http://oro.open.ac.uk/58888/>
- Siddharthan, A. (2014). A survey of research on text simplification. *ITL - International Journal of Applied Linguistics*, 165, 259–298.
- Sikka, P. & Mago, V. (2020). A Survey on Text Simplification. *CoRR*, abs/2008.08612. <https://arxiv.org/abs/2008.08612>
- Sohom, G., Ghosh; Dwight. (2019). *Natural Language Processing Fundamentals*. Packt Publishing. <https://medium.com/analytics-vidhya/natural-language-processing-basic-concepts-a3c7f50bf5d3>
- Suter, J., Ebling, S. & Volk, M. (2016). Rule-based Automatic Text Simplification for German.

- Swayamdipta, S. (2019, januari 22). *Learning Challenges in Natural Language Processing*. Verkregen 1 april 2022, van <https://www.microsoft.com/en-us/research/video/learning-challenges-in-natural-language-processing/>
- Thangarajah, V. (2019). Python current trend applications-an overview.
- Vasista, K. (2022). Evolution of AI Design Models. *Central Asian Journal of Theoretical and Applied Science*, 3(3), 1–4.
- Verhoeven, W. (2023, februari 8). *Applaus voor de studenten die ChatGPT gebruiken* (Trends, Red.). https://trends.knack.be/economie/bedrijven/applaus-voor-de-studenten-die-chatgpt-gebruiken/article-opinion-1934277.html?cookie_check=1676034368
- Xu, W., Callison-Burch, C. & Napoles, C. (2015). Problems in current text simplification research: New data can help. *Transactions of the Association for Computational Linguistics*, 3, 283–297.
- Zeng, Q., Kim, E., Crowell, J. & Tse, T. (2005). A Text Corpora-Based Estimation of the Familiarity of Health Terminology. In J. L. "Oliveira, V. Maojo, F. Martín-Sánchez & A. S. Pereira (Red.), *Biological and Medical Data Analysis* (pp. 184–192). Springer Berlin Heidelberg.
- Zhang, J., Zhao, Y., Saleh, M. & Liu, P. (2020). Pegasus: Pre-training with extracted gap-sentences for abstractive summarization. *International Conference on Machine Learning*, 11328–11339.