

|  |  |
| --- | --- |
| Rust de toekomst van de opleiding? | Abstract  Dit onderzoek gaat over de toepasbaarheid van de taal Rust. Er wordt onderzocht of Rust een goede aanvullende taal is voor de opleiding HBO-ICT met afstudeerrichting Technische Informatica. Eerst zal er gekeken worden naar wat de taal Rust te bieden heeft later wordt er gekeken waar de taal Rust mogelijk een plek zou kunnen hebben binnen de opleiding  Mike Hilhorst  1676029 |

# Voorwoord

Deze scriptie is geschreven voor mijn onderzoeksemester. Deze scriptie bevat een onderzoek naar wat de programeer taal Rust kan betekenen voor de Hogeschool Utrecht. Mijn begeleider Brian van der Bijl heeft mij erg goed geholpen met dit onderzoek. Zijn vele ideeën hebben geholpen dit onderzoek te maken zoals het nu is. Deze scriptie is gemaakt door Mike Hilhorst december 2018.

# Managementsamenvatting

Voor het onderzoek heb ik onderzocht wat de programeer taal Rust kan betekenen voor de Hogeschool Utrecht. Ik heb hier voor 6 deelvragen opgesteld:

* Voor welke platformen is/word Rust ontwikkeld?
* Hoe werkt Rust intern op low- en highlevel?
* Vanuit welke talen leent rust concepten, wat dat zijn deze concepten?
* Wat zijn de voor- en nadelen van Rust tegenover C++ in de scope van de lesstof van de opleiding HBO-ICT met afstudeerrichting Technische Informatica?
* Wat zou een student leren van Rust tegenover C++ scope van de opleiding HBO-ICT met afstudeerrichting Technische Informatica?
* Waar zou de taal Rust een plek hebben in de opleiding HBO-ICT met afstudeerrichting Technische Informatica?

Ik ben hier tot de volgende conclusies gekomen:

* Rust is voornamelijk voor desktopcomputers ontwikkeld, maar kan ook op veel andere platformen.
* XX
* Rust leent veel concepten uit andere talen voornamelijk C++ en SML.
* Rust is veiliger dan c++ maar minder snel en heeft slechter documentatie. Aan de documentatie wordt momenteel hard gewerkt.
* Een student zal voornamelijk bewuster worden van geheugen management.
* De taal Rust zou een plek kunnen hebben in het van Advanced Technical Programming

Ik ben tot deze conclusies gekomen doormiddel van literatuurstudies en interviews.  
Als conclusie op mijn hoofdvraag ben ik gekomen tot: XX

Inhoudsopgave

[Voorwoord 1](#_Toc533166207)

[Managementsamenvatting 1](#_Toc533166208)

[Inleiding 4](#_Toc533166209)

[Aanleiding 4](#_Toc533166210)

[Kwestie 4](#_Toc533166211)

[Over rust 4](#_Toc533166212)

[Beantwoording deelvragen 7](#_Toc533166213)

[Voor welke platformen is/wordt Rust ontwikkeld? 7](#_Toc533166214)

[Niveau 1 7](#_Toc533166215)

[Niveau 2 7](#_Toc533166216)

[Niveau 3 8](#_Toc533166217)

[Niveau 4 9](#_Toc533166218)

[Hoe werkt Rust intern op low- en highlevel? 10](#_Toc533166219)

[Vanuit welke talen leent rust concepten, wat dat zijn deze concepten? 10](#_Toc533166220)

[Wat zijn de voor- en nadelen van Rust tegenover C++ in de scope van de lesstof van de opleiding HBO-ICT met afstudeerrichting Technische Informatica? 11](#_Toc533166221)

[Hoe is dit gemeten? 12](#_Toc533166222)

[Hoe zijn de programma’s getimed? 13](#_Toc533166223)

[Hoe is het geheugen gebruik gemeten? 13](#_Toc533166224)

[Hoe is de source file gemeten? 13](#_Toc533166225)

[Hoe is de CPU lading gemeten? 13](#_Toc533166226)

[Conclusie performance 13](#_Toc533166227)

[Conclusie 15](#_Toc533166228)

[Wat zou een student leren van Rust tegenover C++ scope van de opleiding HBO-ICT met afstudeerrichting Technische Informatica? 16](#_Toc533166229)

[Geheugen 16](#_Toc533166230)

[Concurrentie 16](#_Toc533166231)

[Waar zou de taal Rust een plek hebben in de opleiding HBO-ICT met afstudeerrichting Technische Informatica? 16](#_Toc533166232)

[Conclusie 17](#_Toc533166233)

[Literatuurlijst 18](#_Toc533166234)

# Inleiding

De hogenschool Utrecht geeft momenteel vijf programeer cursussen op de opleiding HBOICT met afstudeerrichting Technische informatica, een hiervan wordt gegeven in python en vier worden gegeven met C++. De hogenschool wilt dit graag uitbreiden, ze willen graag in het derde en/of het vierde jaar de studenten de mogelijkheid geven om te verdiepen. Rust zou hier geschikt voor kunnen zijn omdat het op C++ lijkt maar toch een andere taal is met zijn eigen voor- en nadelen. Rust gaat veel veiliger om met geheugenmanagement en belooft dit niet terug te laten zien in de performance. Dit zou ervoor kunnen zorgen dat er grotere projecten geschreven kunnen worden, omdat er bijvoorbeeld minder tijd zou worden besteed aan memory gerelateerde bug preventie en fixing.

# Aanleiding

De Hogenschool Utrecht wilt graag de opleiding HBO-ICT met afstudeerrichting Technische Informatica blijven verbeteren en uitbreiden, zodat de studenten een zo goed als mogelijke opleiding kunnen krijgen. Om dit te kunnen realiseren moet de Hogenschool Utrecht onderzoek doen naar het verbeteren van de opleiding. Daarom wilde de Hogenschool Utrecht graag weten of nieuwe opkomende talen iets kunnen betekenen voor de opleiding, qua nieuwe kennis in beweging zetten en/of nieuwe denkwijze aan leren.

# Kwestie

De Hogenschool Utrecht graag weten wat de (relatieve) nieuwe taal Rust kan betekenen voor de opleiding HBO-ICT met afstudeerrichting Technische Informatica. Hier uit heb ik de volgende hoofdvraag gekomen: “Wat kan de programeer taal Rust taal betekenen voor de opleiding HBO-ICT met afstudeerrichting Technische Informatica?“.

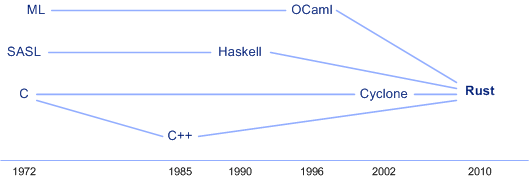
# Methodematrix

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| # | Deelvraag | Type Deelvraag | Methode dataverzameling | Methode analyse | Resultaat |
| 1 | Voor welke platformen is/wordt Rust ontwikkeld? | Beschrijvend | Literatuurstudie | Inhoudsanalyse | Een beschrijving van de platformen waar de taal Rust is voor ontwikkeld |
| 2 | Hoe werkt Rust intern op low- en highlevel? | Beschrijvend | Literatuurstudie | Inhoudsanalyse |  |
| 3 | Vanuit welke talen leent rust concepten, wat dat zijn deze concepten? | Beschrijvend | Literatuurstudie | Inhoudsanalyse | Een lijst van talen waaruit Rust Concepten leent en beschrijvingen van deze concepten |
| 4 | Wat zijn de voor- en nadelen van Rust tegenover C++ in de scope van de lesstof van de opleiding HBO-ICT met afstudeerrichting Technische Informatica? | Vergelijkend | Literatuurstudie en experiment | Vergelijken van data, schrijven en testen van code | Een vergelijking tussen C++ en Rust. In snelheid, geheugen gebruik en het gebruik zelf |
| 5 | Wat zou een student leren van Rust tegenover C++ scope van de opleiding HBO-ICT met afstudeerrichting Technische Informatica? | Vergelijkend en evaluerend | Literatuurstudie | Vergelijken van data | Een uitlegt van wat de eventuele meerwaarde is van Rust. En wat een student leert van code schrijven in Rust i.p.v. C++ |
| 6 | Waar zou de taal Rust een plek hebben in de opleiding HBO-ICT met afstudeerrichting Technische Informatica? | Evaluerend | Semigestructureerd interview | Categoriseren | Een advies over de taal zijn plek in de opleiding |

# Over rust

Uit recente enquête van Stack overflow blijkt dat bijna 80% van de gevraagde Rust met plezier gebruikt of het wil gaan gebruiken[(4.0)](#_Bronnen) Rust is een relatieve nieuwe taal, de taal is pas 8 jaar oud, als u kijkt naar de voorgangers van de taal zoals C ziet u dat deze taal als 46 jaar oud is. Dit is een voordeel en een na deel. Een nadeel is dat er weinig (en of incomplete) documentatie bestaat van de taal mede doordat veel wordt veranderd per update. Het voordeel is dat de taal van andere talen heeft geleerd.

Rust was eerst zwaar beïnvloed door Cyclone (een dialect van C). Sommige aspecten zijn uit C++ geleend bijvoorbeeld smart-pointers. Er is ook geleend van Haskell en Ocmal en nog vele andere.  
  
Dit alle resulteert in een C achtige taal die supports multi-paradigma-programmering ondersteunt.

[(4.1)](#_Bronnen)

Rust herkent de standaard types heel goed, dit is een beetje te vergelijken met het auto type van C++, Rust definieert zelf het type tenzij er een ander type wordt mee gegeven via argumenten. Door deze types leer je wat de daadwerkelijke grootte is van je variabelen.

  
  
Rust heeft 2 aparte types dit zijn: “isize” en “usize”. Deze types kunnen een per architectuur een andere waarde krijgen. Op een 32bit architectuur hebben deze een lengte van 32bit, op een 64bit systeem hebben deze types een lengte van 64bit.



Rust ondersteunt standaard veel types.[(meer over dit)](https://www.codingame.com/playgrounds/365/getting-started-with-rust/primitive-data-types)

# Beantwoording deelvragen

Hier worden de deelvragen beantwoordt

## Voor welke platformen is/wordt Rust ontwikkeld?

Rust ondersteunt vele platformen. Denk aan bijvoorbeeld Windows, MacOS, Linux en embedded microcontrollers. Rust ondersteunt deze platvormen op verschillende niveaus. Er zijn 4 niveaus, deze verschillen per ondersteuning denk hierbij aan ondersteuning voor de standaard bibliotheek, Rustc en cargo.   
Niveau 3 is per ongeluk ontstaan en nieuwe platformen zullen dit niveau nooit krijgen.

### Niveau 1

Dit niveau is goed ondersteunt en kan gezien worden als “Gegarandeerd werkend”.   
Deze platformen hebben de volgende eigenschappen:

Officiële binary’s worden geleverd voor deze platformen.

Automatische testen bestaan voor deze platformen.

Veranderingen in de taal zijn master worden pas doorgelaten na testen geslaagd zijn

Documentatie over gebruik is beschikbaar voor deze platformen

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Target | std | rustc | cargo | notes |
| i686-apple-darwin | ✓ | ✓ | ✓ | 32-bit OSX (10.7+, Lion+) |
| i686-pc-windows-gnu | ✓ | ✓ | ✓ | 32-bit MinGW (Windows 7+) |
| i686-pc-windows-msvc | ✓ | ✓ | ✓ | 32-bit MSVC (Windows 7+) |
| i686-unknown-linux-gnu | ✓ | ✓ | ✓ | 32-bit Linux (2.6.18+) |
| x86\_64-apple-darwin | ✓ | ✓ | ✓ | 64-bit OSX (10.7+, Lion+) |
| x86\_64-pc-windows-gnu | ✓ | ✓ | ✓ | 64-bit MinGW (Windows 7+) |
| x86\_64-pc-windows-msvc | ✓ | ✓ | ✓ | 64-bit MSVC (Windows 7+) |
| x86\_64-unknown-linux-gnu | ✓ | ✓ | ✓ | 64-bit Linux (2.6.18+) |

Niveau 2  
Dit niveau is ondersteunt en kan gezien worden als “Gegarandeerd bouwend”.   
Deze platformen hebben de volgende eigenschappen:

Officiële binarys worden geleverd voor deze platformen.

Automatische testen zijn opgezet voor deze platformen, maar deze kunnen misschien niet gerund worden.

Veranderingen in de taal zijn master worden goedgekeurd door platform bouwen. Voor sommige talen houdt dit in dat alleen de standaard bibliotheek gecompileerd moet worden voor andere Rustc en Cargo ook.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Target | std | rustc | cargo | notes |
| aarch64-apple-ios | ✓ |  |  | ARM64 iOS |
| aarch64-fuchsia | ✓ |  |  | ARM64 Fuchsia |
| aarch64-linux-android | ✓ |  |  | ARM64 Android |
| aarch64-unknown-linux-gnu | ✓ | ✓ | ✓ | ARM64 Linux |
| aarch64-unknown-linux-musl | ✓ |  |  | ARM64 Linux with MUSL |
| arm-linux-androideabi | ✓ |  |  | ARMv7 Android |
| arm-unknown-linux-gnueabi | ✓ | ✓ | ✓ | ARMv6 Linux |
| arm-unknown-linux-gnueabihf | ✓ | ✓ | ✓ | ARMv6 Linux, hardfloat |
| arm-unknown-linux-musleabi | ✓ |  |  | ARMv6 Linux with MUSL |
| arm-unknown-linux-musleabihf | ✓ |  |  | ARMv6 Linux, MUSL, hardfloat |
| armv5te-unknown-linux-gnueabi | ✓ |  |  | ARMv5TE Linux |
| armv7-apple-ios | ✓ |  |  | ARMv7 iOS, Cortex-a8 |
| armv7-linux-androideabi | ✓ |  |  | ARMv7a Android |
| armv7-unknown-linux-gnueabihf | ✓ | ✓ | ✓ | ARMv7 Linux |
| armv7-unknown-linux-musleabihf | ✓ |  |  | ARMv7 Linux with MUSL |
| armv7s-apple-ios | ✓ |  |  | ARMv7 iOS, Cortex-a9 |
| asmjs-unknown-emscripten | ✓ |  |  | asm.js via Emscripten |
| i386-apple-ios | ✓ |  |  | 32-bit x86 iOS |
| i586-pc-windows-msvc | ✓ |  |  | 32-bit Windows w/o SSE |
| i586-unknown-linux-gnu | ✓ |  |  | 32-bit Linux w/o SSE |
| i586-unknown-linux-musl | ✓ |  |  | 32-bit Linux w/o SSE, MUSL |
| i686-linux-android | ✓ |  |  | 32-bit x86 Android |
| i686-unknown-freebsd | ✓ | ✓ | ✓ | 32-bit FreeBSD |
| i686-unknown-linux-musl | ✓ |  |  | 32-bit Linux with MUSL |
| mips-unknown-linux-gnu | ✓ | ✓ | ✓ | MIPS Linux |
| mips-unknown-linux-musl | ✓ |  |  | MIPS Linux with MUSL |
| mips64-unknown-linux-gnuabi64 | ✓ | ✓ | ✓ | MIPS64 Linux, n64 ABI |
| mips64el-unknown-linux-gnuabi64 | ✓ | ✓ | ✓ | MIPS64 (LE) Linux, n64 ABI |
| mipsel-unknown-linux-gnu | ✓ | ✓ | ✓ | MIPS (LE) Linux |
| mipsel-unknown-linux-musl | ✓ |  |  | MIPS (LE) Linux with MUSL |
| powerpc-unknown-linux-gnu | ✓ | ✓ | ✓ | PowerPC Linux |
| powerpc64-unknown-linux-gnu | ✓ | ✓ | ✓ | PPC64 Linux |
| powerpc64le-unknown-linux-gnu | ✓ | ✓ | ✓ | PPC64LE Linux |
| s390x-unknown-linux-gnu | ✓ | ✓ | ✓ | S390x Linux |
| sparc64-unknown-linux-gnu | ✓ |  |  | SPARC Linux |
| sparcv9-sun-solaris | ✓ |  |  | SPARC Solaris 10/11, illumos |
| wasm32-unknown-unknown | ✓ |  |  | WebAssembly |
| wasm32-unknown-emscripten | ✓ |  |  | WebAssembly via Emscripten |
| x86\_64-apple-ios | ✓ |  |  | 64-bit x86 iOS |
| x86\_64-fuchsia | ✓ |  |  | 64-bit Fuchsia |
| x86\_64-linux-android | ✓ |  |  | 64-bit x86 Android |
| x86\_64-rumprun-netbsd | ✓ |  |  | 64-bit NetBSD Rump Kernel |
| x86\_64-sun-solaris | ✓ |  |  | 64-bit Solaris 10/11, illumos |
| x86\_64-unknown-cloudabi | ✓ |  |  | 64-bit CloudABI |
| x86\_64-unknown-freebsd | ✓ | ✓ | ✓ | 64-bit FreeBSD |
| x86\_64-unknown-linux-gnux32 | ✓ |  |  | 64-bit Linux |
| x86\_64-unknown-linux-musl | ✓ |  |  | 64-bit Linux with MUSL |
| x86\_64-unknown-netbsd | ✓ | ✓ | ✓ | NetBSD/amd64 |
| x86\_64-unknown-redox | ✓ |  |  | Redox OS |

### Niveau 3

Dit niveau is ondersteunt en kan gezien worden als “Gegarandeerd bouwend”, maar dan zonder beschikbare versies via Rustup. Er worden geen automatische testen gerund dus er wordt niet gegarandeerd dat de geproduceerd build werkt, maar meestal werken deze platformen best goed. Deze platformen hebben de volgende eigenschappen:

Automatische testen zijn opgezet voor deze platformen, maar deze kunnen misschien niet gerund worden.

Veranderingen in de taal zijn master worden goedgekeurd door platform bouwen. Voor sommige talen houdt dit in dat alleen de standaard bibliotheek gecompileerd moet worden voor andere Rustc en Cargo ook.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Target | std | rustc | cargo | notes |
| aarch64-unknown-cloudabi | ✓ |  |  | ARM64 CloudABI |
| armv7-unknown-cloudabi-eabihf | ✓ |  |  | ARMv7 CloudABI, hardfloat |
| i686-unknown-cloudabi | ✓ |  |  | 32-bit CloudABI |
| powerpc-unknown-linux-gnuspe | ✓ |  |  | PowerPC SPE Linux |
| sparc-unknown-linux-gnu | ✓ |  |  | 32-bit SPARC Linux |

### Niveau 4

De Rust codebase heft ondersteuning voor deze platformen, maar worden niet gebouwd of getest. Deze platformen kunnen misschien niet werken, verder zijn er geen officiële versies beschikbaar

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Target | std | rustc | cargo | notes |
| i686-pc-windows-msvc (XP) | ✓ |  |  | Windows XP support |
| i686-unknown-haiku | ✓ |  |  | 32-bit Haiku |
| i686-unknown-netbsd | ✓ |  |  | NetBSD/i386 with SSE2 |
| le32-unknown-nacl | ✓ |  |  | PNaCl sandbox |
| mips-unknown-linux-uclibc | ✓ |  |  | MIPS Linux with uClibc |
| mipsel-unknown-linux-uclibc | ✓ |  |  | MIPS (LE) Linux with uClibc |
| msp430-none-elf | \* |  |  | 16-bit MSP430 microcontrollers |
| sparc64-unknown-netbsd | ✓ | ✓ |  | NetBSD/sparc64 |
| thumbv6m-none-eabi | \* |  |  | Bare Cortex-M0, M0+, M1 |
| thumbv7em-none-eabi | \* |  |  | Bare Cortex-M4, M7 |
| thumbv7em-none-eabihf | \* |  |  | Bare Cortex-M4F, M7F, FPU, hardfloat |
| thumbv7m-none-eabi | \* |  |  | Bare Cortex-M3 |
| x86\_64-pc-windows-msvc (XP) | ✓ |  |  | Windows XP support |
| x86\_64-unknown-bitrig | ✓ | ✓ |  | 64-bit Bitrig |
| x86\_64-unknown-dragonfly | ✓ | ✓ |  | 64-bit DragonFlyBSD |
| x86\_64-unknown-haiku | ✓ |  |  | 64-bit Haiku |
| x86\_64-unknown-openbsd | ✓ | ✓ |  | 64-bit OpenBSD |
| [NVPTX](https://github.com/japaric/nvptx#targets) | \*\* |  |  | --emit=asm generates PTX code that runs on NVIDIA GPUs |

\* Dit zijn “bare-metal” microcontrollers doelen, deze hebben alleen toegang tot de kern bibliotheek en niet de standaard bibliotheek.

\*\* Er is back-end ondersteuning voor deze doelen, maar geen doelwit dat (nog) in rustc is ingebouwd. Je moet uw eigen doelspecificatiebestand schrijven. Deze doelen ondersteunen alleen de kernbibliotheek.

Dit zijn niet de enige platforms die Rust kan compileren! Dat zijn degenen met ingebouwde doeldefinities en/of standaard bibliotheekondersteuning. Tijdens het linken van de kernbibliotheek, kan Rust zich richten op “bare metal” in de x86-, ARM-, MIPS- en PowerPC-families, hoewel hiervoor mogelijk aangepaste doelspecificaties moeten worden gedefinieerd. Al dergelijke scenario’s zijn niveau 4.

## Hoe werkt Rust intern op low- en highlevel?

Nutteloos niet van belang voor dit onderzoek, mss memory menagment

## Vanuit welke talen leent rust concepten, wat dat zijn deze concepten?

Rust is een relatieve nieuwe taal en leent concepten uit al bestaande talen.   
Waarom leent Rust concepten uit andere talen? Omdat alles van de grond af zelf te maken is tijdsintensief en garandeert geen succes. De geleende concepten zijn bewezen goed te werken omdat ze al jaren in andere talen gebruikt worden.  
  
De eerste release van Rust gebruikte meer concepten dan nu. Deze concepten zijn weggevallen daarom staan dus niet in de onderstaande lijst. In de onderstaande lijst staan de huidige nog gebruikte concepten die geleend worden. Links staat de taal waarvan een of meerder concept(en) van geleend wordt. Rechts staan de concepten die geleend worden.

|  |  |
| --- | --- |
| Taal | Concepten |
| [SML](http://www.macs.hw.ac.uk/ultra/skalpel/html/sml.html), [Ocaml](https://ocaml.org/) | algebraic data types,  pattern matching,  type inference,  semicolon statement separation |
| [C++](http://www.cplusplus.com/info/) | references,  Resource Acquisition Is Initialization (RAII),  smart pointers,  move semantics,  monomorphization,  memory model |
| [ML Kit](http://wiki.c2.com/?MlKit), [Cyclone](https://cyclone.thelanguage.org/) | region based memory management |
| [Haskell (GHC)](https://www.haskell.org/) | typeclasses, type families |
| [Newsqueak](http://dbpedia.org/page/Newsqueak), [Alef](https://en.wikipedia.org/wiki/Alef_(programming_language)), [Limbo](https://en.wikipedia.org/wiki/Limbo_(programming_language)) | channels, concurrency |
| [Erlang](https://www.erlang.org/) | message passing, thread failure |
| [Swift](https://developer.apple.com/swift/) | optional bindings |
| [Scheme](https://www.scheme.com/tspl4/) | hygienic macros |
| [C#](https://en.wikipedia.org/wiki/C_Sharp_(programming_language)) | attributes |
| [Unicode Annex #31](http://www.unicode.org/reports/tr31/) | identifier and pattern syntax |

[(2)](#_Bronnen)

## Wat zijn de voor- en nadelen van Rust tegenover C++ in de scope van de lesstof van de opleiding HBO-ICT met afstudeerrichting Technische Informatica?

Een van de voordelen kan performance zijn. Hierdoor zouden grotere programma’s uitgevoerd kunnen worden op bestaande hardware (Denk hierbij aan [ARM Cortex M3](https://store.arduino.cc/arduino-due) chips die de Hogeschool Utrecht gebruikt.) of bestaande programma’s kunnen worden uitgevoerd op kleinere (minder snelle) hardware (denk hieraan de Atmega328 van de [Arduino Nano](https://store.arduino.cc/arduino-nano)). Dit zou geld kunnen besparen want de Arduino Due kost €35 [(3.0)](#_Bronnen) en de Arduino Nano kost €20. [(3.1)](#_Bronnen).

Korte uitleg over de data hier onder

* Source: in welke taal de code is uit gevoerd.
* Seconde: uitvoer tijd van de code.
* Geheugen: geheugen gebruikt tijdens de uitvoer (in bytes).
* Grootte: grootte van de source files (in bytes).
* CPU lading: hoeveel elke kern beladen werd tijdens de uitvoer, deze code is uitgevoerd op een quad core en daarom ook 4 percentages.

Er zijn 10 verschillende algoritmes geschreven voor 4 verschillende talen namelijk: C++, Rust, Python en Haskell.   
  
Deze zijn uitgevoerd dit zijn de resultaten.   
De source code van deze programma’s is te vinden in de appendix.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| [Reverse-complement](https://benchmarksgame-team.pages.debian.net/benchmarksgame/description/revcomp.html#revcomp) | | | | [(1.0)](#_Bronnen) | | | |
| Source | Seconde | Geheugen | Grootte | CPU lading | | | |
| C++ | 2,94 | 980.524 | 2.280 | 15% | 50% | 52% | 40% |
| Rust | 1,60 | 995.212 | 1.376 | 24% | 25% | 96% | 30% |
| Python 3 | 16,76 | 1.005.252 | 814 | 65% | 21% | 44% | 17% |
| Haskell | 5,67 | 501.336 | 1.020 | 26% | 12% | 12% | 40% |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| [N-body](https://benchmarksgame-team.pages.debian.net/benchmarksgame/description/nbody.html#nbody) | | | | [(1.1)](#_Bronnen) | | | |
| Source | Seconde | Geheugen | Grootte | CPU lading | | | |
| C++ | 9,42 | 1.712 | 1.763 | 100% | 1% | 2% | 0% |
| Rust | 13,25 | 1.808 | 1.805 | 0% | 0% | 1% | 100% |
| Python 3 | 14min | 8.212 | 1.196 | 91% | 0% | 1% | 9% |
| Haskell | 22,01 | 3.936 | 1.883 | 99% | 99% | 100% | 99% |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| [K-nucleotide](https://benchmarksgame-team.pages.debian.net/benchmarksgame/description/knucleotide.html#knucleotide) | | | | [(1.2)](#_Bronnen) | | | |
| Source | Seconde | Geheugen | Grootte | CPU lading | | | |
| C++ | 3,83 | 156.104 | 1.624 | 72% | 73% | 98% | 72% |
| Rust | 5,98 | 137.956 | 1.648 | 78% | 49% | 90% | 85% |
| Python 3 | 79,79 | 250.948 | 1.967 | 98% | 96% | 96% | 99% |
| Haskell | 35,51 | 604.996 | 1.486 | 89% | 93% | 90% | 87% |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| [Regex-redux](https://benchmarksgame-team.pages.debian.net/benchmarksgame/description/regexredux.html#regexredux) | | | | [(1.3)](#_Bronnen) | | | |
| Source | Seconde | Geheugen | Grootte | CPU lading | | | |
| C++ | 1,83 | 203.680 | 1.315 | 49% | 87% | 57% | 51% |
| Rust | 2,44 | 194.804 | 765 | 85% | 41% | 20% | 16% |
| Python 3 | 15,56 | 439.964 | 512 | 25% | 92% | 32% | 32% |
| Haskell | Bad output |  |  |  |  |  |  |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Binary-trees | | | | [(1.4)](#_Bronnen) | | | |
| Source | Seconde | Geheugen | Grootte | CPU lading | | | |
| C++ | 3,67 | 118.620 | 809 | 75% | 78% | 99% | 76% |
| Rust | 4,14 | 175.692 | 721 | 90% | 90% | 91% | 100% |
| Python 3 | 92,72 | 448.844 | 589 | 87% | 90% | 96% | 87% |
| Haskell | 12,59 | 478.012 | 592 | 95% | 90% | 88% | 94% |
| [Fasta](https://benchmarksgame-team.pages.debian.net/benchmarksgame/description/fasta.html#fasta) | | | | [**(1.5)**](#_Bronnen) | | | |
| Source | Seconde | Geheugen | Grootte | CPU lading | | | |
| C++ | 1,33 | 1.744 | 2.711 | 82% | 82% | 81% | 81% |
| Rust | 1,46 | 3.112 | 1.906 | 84% | 83% | 84% | 89% |
| Python 3 | 62,88 | 680.736 | 1.947 | 60% | 56% | 48% | 62% |
| Haskell | 9,46 | 4.980 | 969 | 100% | 2% | 2% | 3% |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| [Spectral-norm](https://benchmarksgame-team.pages.debian.net/benchmarksgame/description/spectralnorm.html#spectralnorm) | | | | [(1.6)](#_Bronnen) | | | |
| Source | Seconde | Geheugen | Grootte | CPU lading | | | |
| C++ | 1,98 | 1.168 | 1.044 | 100% | 99% | 99% | 99% |
| Rust | 1,97 | 2.600 | 1.126 | 100% | 100% | 100% | 99% |
| Python 3 | 193,86 | 50.556 | 443 | 98% | 98% | 99% | 99% |
| Haskell | 4,17 | 3.812 | 987 | 99% | 97% | 99% | 98% |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| [Fannkuch-redux](https://benchmarksgame-team.pages.debian.net/benchmarksgame/description/fannkuchredux.html#fannkuchredux) | | | | [(1.7)](#_Bronnen) | | | |
| Source | Seconde | Geheugen | Grootte | CPU lading | | | |
| C++ | 10,07 | 1.856 | 980 | 99% | 100% | 100% | 95% |
| Rust | 9,87 | 1.848 | 1.020 | 100% | 95% | 100% | 100% |
| Python 3 | 9 min | 48.052 | 950 | 99% | 100% | 97% | 100% |
| Haskell | 18,20 | 4.024 | 842 | 99% | 100% | 95% | 100% |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| [Mandelbrot](https://benchmarksgame-team.pages.debian.net/benchmarksgame/description/mandelbrot.html#mandelbrot) | | | | [(1.8)](#_Bronnen) | | | |
| Source | Seconde | Geheugen | Grootte | CPU lading | | | |
| C++ | 1,82 | 29.092 | 1.002 | 98% | 97% | 97% | 100% |
| Rust | 1,74 | 33.712 | 1.332 | 98% | 100% | 98% | 98% |
| Python 3 | 279,86 | 49.334 | 688 | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Haskell | 11,60 | 38,744 | 782 | 100% | 100% | 100% | 100% |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| [Pidigits](https://benchmarksgame-team.pages.debian.net/benchmarksgame/description/pidigits.html#pidigits) | | | | [(1.9)](#_Bronnen) | | | |
| Source | Seconde | Geheugen | Grootte | CPU lading | | | |
| C++ | 1,89 | 4,312 | 513 | 1% | 1% | 99% | 1% |
| Rust | 1,74 | 4.520 | 1.366 | 1% | 3% | 0% | 99% |
| Python 3 | 3,51 | 10.500 | 385 | 1% | 1% | 0% | 100% |
| Haskell | 4,20 | 9.724 | 585 | 27% | 8% | 8% | 81% |

### Hoe is dit gemeten?

Deze testen zijn uitgevoerd op een computer met:

* Processor: Intel Q6600 quad-core op 2,4Ghz
* RAM: 4GB ram.
* OS: Ubuntu™ 18.10 Linux x64 4.18.0-10-generic.

Elk programma is uitgevoerd en gemeten bij de kleinste input waarde, de output werd opgeslagen in een bestand om vergeleken te worden met de verwachte output. Zolang de output overeen blijft komen met de verwachte output werd het programma getest met een grotere input. Totdat alle inputs waren doorlopen. Als het programma de verwachte output bleef geven tijdens het testen (binnen een redelijke tijd) dan werd er nog 5 keer gemeten. Tijdens deze testen werd de output geledigd (/dev/null).

Als het programma niet de verwachte output leverde binnen een redelijke tijd dan werd het programma geforceerd gestopt. Als de metingen met kleinere input wel de verwachte uitvoer leverde dan werd deze 5 keer gemeten. Ook tijdens deze testen werd de output geledigd /dev/null). [(1.10)](#_Bronnen)

### Hoe zijn de programma’s getimed?

Elk programma is uitgevoerd als een “Child-process” van een Python script.  
Er werd gebruik gemaakt van “time.time()” voordat het proces werd gestart en na dat deze gesloten was. [(1.10)](#_Bronnen)

### Hoe is het geheugen gebruik gemeten?

Door “GLIBTOP\_PROC\_MEM\_RESIDENT” te samplen voor het hoofd proces en zijn “Child-process” elke 0,2 seconde. [(1.10)](#_Bronnen)

### Hoe is de source file gemeten?

De code werd in een bestand gezet zonder commentaar, extra spaties en extra witregels. Op dit bestand werd een lichte GZip compressie uitgevoerd. De grootte van dit bestand werd gemeten. [(1.10)](#_Bronnen)

### Hoe is de CPU lading gemeten?

De GTop CPU inactief en de GTop CPU totaal werden gemeten voor de opstarten van het “Child-process” en na het afsluiten hiervan. De percentages zijn het totaal min de inactieve waardes. [(1.10)](#_Bronnen)

### Conclusie performance

##### Uitvoer snelheid in seconde

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Taal | RC | NB | KN | RR | BT | FA | SN | FR | MB | PD |
| Rust | 1,60 | 13,25 | 5,98 | 2,44 | 4,14 | 1,46 | 1,97 | 9,87 | 1,74 | 1,74 |
| C++ | 2,94 | 9,42 | 3,83 | 1,83 | 3,67 | 1,33 | 1,98 | 10,07 | 1,82 | 1,89 |

Uit dit tabel is te halen dat rust en c++ soms veel en soms weinig van elkaar afzitten met snelheid en dat beide talen 5 keer de snelste waren. Maar als we wat gaan rekenen dan blijkt dat als C++ sneller is dat het dan gemiddeld is met ongeveer 22% en als Rust sneller is dan is dat gemiddeld ongeveer 12%.

##### Geheugen gebruik in bytes

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Taal | RC | NB | KN | RR | BT | FA | SN | FR | MB | PD |
| Rust | 995.212 | 1.808 | 137.956 | 194.804 | 175.692 | 3.112 | 2.600 | 1.848 | 33.712 | 4.520 |
| C++ | 980.524 | 1.712 | 156.104 | 203.680 | 118.620 | 1.744 | 1.168 | 1.856 | 29.092 | 3.212 |

Als we kijken naar de tabel van geheugengebruik dan blijkt dat het gebruik hoger light dan die van C++, met ongeveer 15%. Dat is een vors verschil zeker voor microcontrollers. Bijvoorbeeld de Arduino Due die de hogenschool gebruikt, deze microcontroller heeft maar 96 KB SRAM (twee banken van 64KB en 32KB) [(3.0)](#_Bronnen). Dit is al weinig geheugen, dus elke byte telt hier.

De source file grootte van Rust ligt gemiddeld ook boven die van C++

C++ heeft een gemiddelde grootte van 1044 bytes en Rust heeft een gemiddelde grootte 1319 bytes[(1.10)](#_Bronnen). Rust geeft ongeveer 26% grotere bestande.

In het kort: Rust is gemiddeld 10% langzamer dan C++, gebruikt gemiddeld 15% meer geheugen en geeft gemiddeld 26% grotere source files.

#### Voordelen Rust:

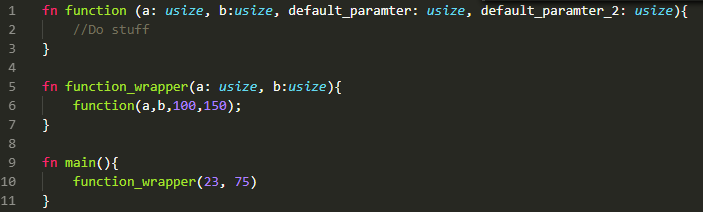
* Rust is veiliger met geheugen. Rust heeft standaard veilige code, om rust onveilig te gebruiken dan moet je een speciaal code block aan maken met de tag ”unsafe”. C++ kan ook veilig werken, dit is optioneel, maar de gebruiker moet dit zelf toepassen. Hierdoor is het gevoelig voor fouten en fouten in geheugen management kan leiden tot onbereikbaar geheugen of “undivided behaviour” dit houdt in dat **alles** kan gebeuren. Het is niet te bepalen wat er gebeurt, omdat je niet weet wat het stuk geheugen, dat aan gesproken wordt, bevat.
* Concurrentie en threads brengen problemen met zich mee zoals: data races en deadlocks.  
  Rust heeft ingeduwde mechanismes om dit te voorkomen. Bijvoorbeeld standaard Mutex locking tijdens communicatie tussen threads. Rust geeft threads de mogelijkheid om geheugen te lenen, dit zorgt er voor dat bezit en de scope hiervan makkelijk en veilig door kan worden gegeven aan een andere thread.[(4.1)](#_Bronnen)
* Rust is jong de taal heeft veel geleerd van zijn voorgangers en leent ook concepten. Verder ontwikkeld Rust zich snel. Het is een van de meest gelieve talen[(4.0)](#_Bronnen) dus er is veel interesse in de taal, wat weer goed is voor de ontwikkeling van de taal.
* Rust zijn compiler geeft aan wanneer er een fout wordt gemaakt, “rustc” kan met 1 simpel commando een kleine uitleg geven over wat er is ging. De compiler geeft ook waarschuwingen zoals *“help: remove this ‘mut’ ”,* en waarschuwt ook bij codestijl zoals hier *”variable `Example` should have a snake case name such as `example`”* dit helpt veel omdat je snel weet wat er mis gaat.
* Variabelen zijn standaard niet bewerkbaar in Rust als je een variabel wilt aanpassen dan moet bij de declaratie “mut” voor de variabelen naar gezet worden zoals hier:



Dit is een bewerkbaar variabel “counter”. Dit zorgt er voor dat je zeer bewust ben van welke variabelen je wilt bewerken en welke niet.

#### Nadelen Rust:

* Door de snelle ontwikkelingen in Rust verandert er veel in een relatieve korte periode,  
  hierdoor is documentatie matig en soms afwezig over sommigen onderwerpen. C++ is redelijk goed gedocumenteerd en heeft een grotere community, dus ontbrekende, slechte of incomplete stukken documentatie worden snel bij gewerkt.
* Embedded wordt momenteel aan gewerkt zoals te zien is in de roadmap[(5.0)](#_Bronnen), maar tot op heden zijn Cortex-M chips op niveau 4 ondersteunt. (De Cortex m0 en m3 chips worden gebruikt in Arduinos). Zoals eerder vermeld bij het kopje platform ondersteuning: “Deze platformen kunnen misschien niet werken, verder zijn er geen officiële versies beschikbaar.” In andere woorden er is nog niks officieels uitgebracht voor de Cortex-M chips. Embedded wordt beter ondersteunt in C++.
* De taal is relatief jong hierdoor zitten er vaker foutjes in dan in oudere, veder ontwikkelde, talen. Hierdoor kan je problemen tegen komen die je in andere talen niet zou hebben zoals C++. Bij C++ moet elke toevoeging eerst door de C++ commissie goedgekeurd worden. Hierdoor is het wel langzamer ontwikkeling, maar wel een veiligere.
* Ik heb op Indeed gekeken naar de openstaande vacatures die naar C++ vragen en deze vergeleken met de op en staande vacatures voor Rust. Er zijn momenteel 124 openstaande vacatures voor C++ ervaren programmeurs. [(6.0)](#_Bronnen) Er staan maar 11 open voor Rust en deze zijn meer gefocust op web development. [(6.1)](#_Bronnen)   
  Op dit moment is er nog niet veel vraag, naar rust maar uit recente enquête van Stack overflow blijkt dat bijna 80% van de gevraagde Rust met plezier gebruikt of het wil gaan gebruiken[(4.0)](#_Bronnen)
* Een apart punt: Rust heeft veel andere betekenissen. Tijdens het onderzoek ben ik er nogal snel achter gekomen toen ik informatie zocht. Rust heeft de Nederlandse betekenis (uit)rusten, de Engelse variant rust betekent roest en er is ook en populair spel genaamd “Rust”, dit maakt informatie zoeken best tijd intensief, omdat er veel gefilterd moet worden.
* Rust heft geen default parameters. Hier is een om weg voor, je kan een laag over deze functie heel doen. Bijvoorbeeld:



Dit gaat goed totdat de “default\_parameter” wel veranderd moet worden. Dan moet er een tweede wrapper geschreven worden of moet de originele functie aan geroepen worden met de parameters in gevuld. Dit kost allemaal extra tijd.

Als je Rust en C++ vergelijkt dan valt op dat beide talen [kosteloze abstractie](https://blog.rust-lang.org/2015/05/11/traits.html) en [verplaats semantiek](https://www.cprogramming.com/c++11/rvalue-references-and-move-semantics-in-c++11.html) gebruiken. De talen hebben beide [smartpointers](https://docs.microsoft.com/nl-nl/cpp/cpp/smart-pointers-modern-cpp?view=vs-2017), geen [afval opruiming](https://thesocietea.org/2017/01/programming-concepts-garbage-collection/) en veel andere overeenkomsten.

De talen verschillen wel rust heeft bijvoorbeeld ingebouwde [statische programma-analyse](https://www.perforce.com/blog/qac/what-static-code-analysis) maar geen [onbegonnen variabelen](https://www.viva64.com/en/t/0078/) die c++ weer wel heeft.

### Conclusie

In de huidige staat heeft Rust een paar voordelen over C++. Rust heeft als grootste voordeel ingebouwde veiligheid. Dit zorgt voor veiliger code. Concurrentie is best belangrijk in de huidige markt, als gewerkd wordt met gevoelige gegevens dan is het best fijn als een taal zoals Rust veiligheid afdwingt. Rust zijn automatische type herkenning is prettig omdat dit tijd scheelt. Aan de andere kant heeft C++ het auto type. C++ is beter gedocumenteerd dit geeft de taal een groot voordeel over.

Als ik de talen vergelijk dan heeft Rust de volgende voordelen over C++:

* De taal is standaard veiliger.
* Tijdens het compileren wordt er aan gegeven wat je fout doet.
* De taal is opgebouwd uit goede concepten uit andere talen.
* De taal is jong, dus wordt snel ontwikkeld.
* De taal heeft automatische type herkenning.

C++ over Rust:

* De taal heeft betere documentatie.
* Momenteel is embedded beter ondersteunt.
* De taal heeft minder fouten en wordt na goedkeuring van een comité aan gepast.
* De markt gebruikt momenteel meer C++ dan Rust, ook al komt Rust op [(4.0)](#_Bronnen) C++ heeft momenteel de markt

In het kort: momenteel heeft C++ meer voordelen dan Rust.

## Wat zou een student leren van Rust tegenover C++ scope van de opleiding HBO-ICT met afstudeerrichting Technische Informatica?

### Geheugen

Rust geeft veel duidelijkheid met geheugen management, als een object wordt geleend dan wordt deze standaard weg gegeven, onder dit is het object niet te gebruiken, de compiler geeft een error dat deze weg is gegeven is en dat je geen toegang hebt.

Dit zorgt voor veiliger en constantere code. Je kan alleen geheugen adressen toespreken als ze in jouw bezit zijn. Hierdoor leer je extra bewust te zijn van je geheugen management, want als er een fout in je code zit dan word je meteen gewaarschuwd. En de code compileert ook niet. Je moet alles in orde hebben om het (goed) te laten compileren.

Het geheugenmanagent in C++ is standaard “onveilig”, hierdoor is het gevoelig voor fouten.   
In C++ kan je een object weggeven en daarna opvragen, je kan een geheugenadres uitlezen en/of schrijven ook al heb je het niet meer in je bezit. Dit veroorzaakt “undivided behaviour”, **alles** kan gebeuren, helaas ook wat het hoort te doen. Hierdoor is het ook moeilijk om deze fouten te vinden.

### Concurrentie

Door de standaard ingebouwde veiligheid (zoals standaard Mutex locking tijdens communicatie tussen threads) is Rust zeer geschikt voor concurrentie. Met Rust zou een student minder tijd besteden aan de veiligheid van de individuelen mechanismes dan bij C++. Hierdoor zou een student meer tijd kunnen besteden aan het leren van concurrent concepten.

## Waar zou de taal Rust een plek hebben in de opleiding HBO-ICT met afstudeerrichting Technische Informatica?

Aangezien Rust een functionele taal is leek mij het een goed kandidaat voor het vak Advanced Technical Programming(ATP). Dit vak wordt momenteel gegeven tijdens thematieken. Om te kijken of Rust daadwerkelijk een goede kandidaat is leek het verstandig om wat opdrachten te maken van het vak ATP. Momenteel zijn deze opgegeven in Python, ik heb deze opdrachten succesvol gemaakt in Rust(zie appendix). Het is mogelijk Rust te gebruiken voor het vak. Toen het vak werd ontwikkelt werd de taal Haskell overwogen, maar dit is niet door gegaan omdat de taal te veel verschilde van talen die studenten hadden geleerd en de taal was moeilijk om te interfasen met de C++ gebaseerde programma’s die gebruikt worden in de lessen. Rust heeft een crate “gcc” hier mee is het redelijk makkelijke om c++ functies aan te roepen[(7.0)](#_Bronnen). Rust zijn syntax is redelijk het zelfde als C++. Ik als student had ik weinig moeite met de over stap tussen Rust en C++. Daarom lijkt Rust mij een goede kandidaat voor het vak Advanced Technical Programming.

Tijdens de interviews die ik heb gehouden werd het al snel duidelijk dat alle vakken in het standaard les programma een bijpassende taal heeft. Het programma bestaat 3 verschillende talen: Python, assembler en C++. Python wordt een blok gegeven in het gezamenlijke deel van het eerste jaar van de opleiding, daarom is het niet verstandig om hier Rust te geven. Iedereen moet het kunnen begrijpen ook BIM’ers.

Uit mijn enquête blijkt dat C++ makkelijker leesbaarder is dan Rust. De twee blokken C++ in het tweede semester van het eerste jaar zouden vervangen kunnen worden door Rust ook al is dit moeilijker te lezen, maar door de snelle verander natuur van de taal is er momenteel weinig documentatie van Rust, dit geeft problemen tijdens het creëren van de lesstof en problemen voor student. Tijdens het Ipass project zullen ook problemen ontstaan. Hier moet een student hardware naar keuze aansturen met een Arduino Due. Hiervoor moet de student Hwlib gebruiken een C++ lib gemaakt door Wouten van Ooien[(8.0)](#_Bronnen). Momenteel wordt embedded matig ondersteunt door Rust en de bestaande materialen zijn al ontwikkeld.

In het tweede jaar wordt het vak concurrent system modelling gegeven, hier wordt onder andere concurrentie aangeleerd, Rust heeft ingebouwde veiligheid voor concurrentie. In het zelfde blok wordt les gegeven in assembler en meer embedded C++, het project wat hier aan vast zit is embedded lasertag maken. Daarom is het moeilijk om Rust te kiezen voor dit blok.

Het blok hierna wordt C++ gegeven met de grafische bibliotheek genaamd SFML. Deze wordt niet ontwikkeld voor Rust. Het vak Algoritmes en datastructuren wordt ook gegeven tijdens dit blok. Dit vak wordt gegeven met Python, dit wordt gedaan omdat het vak meer gaat over de “algoritmes en datastructuren” en niet over de taal. Daarom is er gekozen voor een simpele taal die de student al kende.

#### Conclusie

Rust heeft in zijn huidige staat geen plek in het standaard les programma. De taal kan misschien wel wat beteken voor het vak Advanced Technical Programming(zonder het hele les programma te wijzigen).

# Conclusie

Rust is nog niet klaar fam

# Aanbevelingen

Doe ATP en kijk later weer voor hoofdprogramma

# Literatuurlijst

1.0: Reverse-complement | Computer Language Benchmarks Game. (z.d.). Geraadpleegd op 27 november 2018, van <https://benchmarksgame-team.pages.debian.net/benchmarksgame/performance/revcomp.html>

1.1: N-body | Computer Language Benchmarks Game. (z.d.). Geraadpleegd op 27 november 2018, van <https://benchmarksgame-team.pages.debian.net/benchmarksgame/performance/nbody.html>

1.2: K-nucleotide | Computer Language Benchmarks Game. (z.d.). Geraadpleegd op 27 november 2018, van <https://benchmarksgame-team.pages.debian.net/benchmarksgame/performance/knucleotide.html>

1.3 Regex-redux | Computer Language Benchmarks Game. (z.d.). Geraadpleegd op 27 november 2018, van <https://benchmarksgame-team.pages.debian.net/benchmarksgame/performance/regexredux.html>

1.4: Binary-trees | Computer Language Benchmarks Game. (z.d.). Geraadpleegd op 27 november 2018, van <https://benchmarksgame-team.pages.debian.net/benchmarksgame/performance/binarytrees.html>

1.5: Fasta | Computer Language Benchmarks Game. (z.d.). Geraadpleegd op 27 november 2018, van <https://benchmarksgame-team.pages.debian.net/benchmarksgame/performance/fasta.html>

1.6: Spectral-norm | Computer Language Benchmarks Game. (z.d.). Geraadpleegd op 27 november 2018, van <https://benchmarksgame-team.pages.debian.net/benchmarksgame/performance/spectralnorm.html>

1.7: Fannkuch-redux | Computer Language Benchmarks Game. (z.d.). Geraadpleegd op 27 november 2018, van <https://benchmarksgame-team.pages.debian.net/benchmarksgame/performance/fannkuchredux.html>

1.8: Mandelbrot | Computer Language Benchmarks Game. (z.d.). Geraadpleegd op 27 november 2018, van <https://benchmarksgame-team.pages.debian.net/benchmarksgame/performance/mandelbrot.html>

1.9: Pidigits | Computer Language Benchmarks Game. (z.d.). Geraadpleegd op 27 november 2018, van <https://benchmarksgame-team.pages.debian.net/benchmarksgame/performance/pidigits.html>

1.10: How programs are measured | Computer Language Benchmarks Game. (z.d.). Geraadpleegd op 27 november 2018, van <https://benchmarksgame-team.pages.debian.net/benchmarksgame/how-programs-are-measured.html>

2.0: Appendix: Influences - The Rust Reference. (z.d.). Geraadpleegd op 27 november 2018,  
 van <https://doc.rust-lang.org/reference/influences.html>

2.1: Rust Platform Support · The Rust Programming Language. (z.d.). Geraadpleegd op 27 november   
 2018, van <https://forge.rust-lang.org/platform-support.html>

3.0: Arduino Due. (z.d.). Geraadpleegd op 27 november 2018, van   
 <https://store.arduino.cc/arduino-due>

3.1: Arduino Nano. (z.d.). Geraadpleegd op 27 november 2018, van   
 <https://store.arduino.cc/arduino-nano>

4.0: Stack Overflow Developer Survey 2017. (z.d.). Geraadpleegd op 29 november 2018, van  
 <https://insights.stackoverflow.com/survey/2017?utm_source=so-owned>

4.1: Why you should learn the Rust programming language. (z.d.). Geraadpleegd op 29 november  
 2018, van <https://developer.ibm.com/articles/os-developers-know-rust/>

5.0: Rust's 2018 roadmap | Rust Blog. (2018, 12 maart). Geraadpleegd op 21 december 2018,

van <https://blog.rust-lang.org/2018/03/12/roadmap.html>

6.0 Rust Programmeur-vacatures - december 2018 | Indeed.nl. (z.d.). Geraadpleegd op 21 december 2018, van <https://www.indeed.nl/vacatures?q=Rust%20Programmeur>

6.1 C++ Programmeur-vacatures - december 2018 | Indeed.nl. (z.d.). Geraadpleegd op 21 december 2018, van <https://www.indeed.nl/C++-Programmeur-vacatures>

7.0 GCC-RS. (z.d.). Geraadpleegd op 21 december 2018, van <https://crates.io/crates/gcc>

8.0 https://github.com/wovo/hwlib

9

10

11

12

13

14