

The potential of classroom technology

A system supporting personal and group feedback in
mathematics education

Tina Wevers

Supervised by Erik Faber and Eddy de Weerd

Bachelor Creative Technology

Date 16/7/2017

UNIVERSITY OF TWENTE.

ACKNOWLEDGEMENTS

A project rarely comes together by the hand of one person and this project was no exception. Therefore I would like to thank the following people who helped me tremendously throughout the phases of this project.

Firstly, thank you to Erik Faber for his weekly commitment, excellent supervision and valuable feedback. Also thank you to Eddy de Weerd for his critical but also supportive note on this project. Thank you to Jeroen Jansen van Rosendaal and Selwyn Nypels who assisted me during the brainstorming phase of this project and thank you to Jan van der Meij who helped me with his expert knowledge on technology and education.

Last, but by no means least, I want to thank the mathematics department and management of the Twents Carmel College, Lyceumstraat in Oldenzaal for their open-mindedness, great attitude and amazing support throughout this project. Without them this project would have never been as successful.

.....
"ALONE WE CAN DO SO LITTLE, TOGETHER WE CAN DO SO MUCH." -
HELEN KELLER
.....

ABSTRACT

In this report the development of a product to assist teachers and students in the mathematics lessons of Dutch high schools will be described. The project aims to answer the following research question: **What product using existing technologies supports students in their process of learning mathematics in high schools in the Netherlands?** The process of the designing of this product follows the Creative Technology design process [1]. The three main points to take into account when designing this product were that the product should have an added value to the lesson, it should not take up time within or outside the lesson, and it should be geared towards the world and experiences of the students. With the system that was designed the teacher can gain more insight in the way students work out their mathematical problems and is able to give individual as well as class wide feedback. The end product of this project was a system that consists of three parts: an iPad application for the students, an iPad application for the teachers and a connection to the digital blackboard. The teacher can, with his or her application, send in a request to see a solution to a certain exercise of the students. This brings a notification to the application of the students, which they respond to by sending a picture of their solution. The teacher then gets an overview of all the individual solutions of the class, which can be utilized in any way the teacher pleases. He or she can give class wide feedback using the connection to the digital blackboard by choosing several solutions to present to the class. It was not possible to realize the entire system within the time frame of this project. Therefore it was chosen to focus the realization on the connecting part of the system: the application for the teachers. This application was tested using a Wizard of Oz evaluation. From this evaluation it became clear that the system that was designed, was very desirable and useful for the teachers and they were interested in using such a system more often. This depends, however, on the system being fully realized. This would fulfill all the requirements for the teachers.

TABLE OF CONTENTS

ACKNOWLEDGEMENTS	3
ABSTRACT	5
CHAPTER 1 – INTRODUCTION	11
1.1 – TECHNOLOGY AND MATHEMATICS	11
1.2 – INTERVIEWS 1	11
1.3 – RESEARCH QUESTION(S)	12
1.4 – OUTLINE OF THE REPORT	12
CHAPTER 2 - STATE OF THE ART ON TECHNOLOGY ENHANCED MATHEMATICS	13
2.1 - RELEVANT ELEMENTS TO DEVELOPING AN APPLICATION FOR MERGING MATHEMATICS AND TECHNOLOGY	13
2.1.1 - <i>Types of technology in secondary mathematics education</i>	13
2.1.2 - <i>application of technology in secondary mathematics education</i>	14
2.1.3 - <i>Learning styles among mathematics students</i>	14
2.1.4 - <i>Methods to improve students learning achievements</i>	15
2.1.5 – <i>Discussion and Conclusion on part one</i>	15
2.2 - PREVIOUS WORK IN THE FIELD OF MATHEMATICS AND TECHNOLOGY	16
2.2.1 - <i>iPad</i>	16
2.2.2 - <i>Digital blackboard</i>	17
2.2.3 - <i>Computer and laptop</i>	18
2.3 - CONCLUSION ON THE STATE OF THE ART REVIEW	18
CHAPTER 3 – METHODS	21
3.1 - CREATIVE TECHNOLOGY DESIGN PROCESS	21
3.1.1 – <i>Ideation</i>	22
3.1.2 – <i>Specification</i>	22
3.1.3 – <i>Realisation</i>	22
3.1.4 – <i>Evaluation</i>	22
3.2 - METHOD FOR STAKEHOLDER ANALYSIS	23
3.3 – METHOD FOR BRAINSTORMING	23
3.4 – METHODS FOR INTERVIEWING.....	24
3.5 – METHODS FOR REQUIREMENTS ANALYSIS	24
3.5.1 – <i>User expression to requirement</i>	24
3.5.2 – <i>Functional and non-functional requirements</i>	25
3.5.3 – <i>Moscow analysis</i>	25
3.6 – METHODS FOR EVALUATION	25
CHAPTER 4 – IDEATION	27
4.1 - STAKEHOLDER ANALYSIS.....	27
4.1.1 - <i>Users</i>	27
4.1.2 – <i>Developers</i>	27
4.1.3 - <i>Decision makers</i>	27
4.1.4 - <i>Summary</i>	28
4.2 – FIRST ITERATION	29
4.3 - BRAINSTORMING.....	30
4.3.1 – <i>Ideas from the brainstorming</i>	30

4.3.1 – Discussion on the ideas and final product idea.....	31
4.4 - PERSONAS	31
4.4.1 - User persona – Low achieving Student.....	31
4.4.2 - User persona – Average achieving Student.....	32
4.4.3 - User persona – High achieving Student.....	32
4.4.4 - User persona – Teacher.....	33
4.5 – CONCLUSION ON THE IDEATION PHASE.....	34
4.5.1 – Summarized requirements.....	34
4.5.2 – User requirements	34
CHAPTER 5 – SPECIFICATION	37
5.1 – USE CASE SCENARIOS	37
5.1.1 - scenario 1	37
5.1.2 - Scenario 2.....	37
5.1.3 - scenario 3	38
5.2 – DESIGN DECISIONS FOR THE GRAPHICAL USER INTERFACE	38
5.2.1 - Navigation.....	38
5.2.2 – Solution representation.....	39
5.3 – REQUIREMENTS ANALYSIS.....	40
5.4 – FUNCTIONAL SYSTEM ARCHITECTURE	40
CHAPTER 6 – REALISATION.....	43
6.1 – THE REALISATION OF THE TEACHERS’ APPLICATION.....	43
6.2.1 – The solution overview	45
6.2.2 – The time Factor in the evaluation	46
6.2 – DECOMPOSITION OF THE SYSTEM	46
6.3 – EVALUATION OF THE FUNCTIONAL REQUIREMENTS	47
CHAPTER 7 – EVALUATION	49
7.1 – STRUCTURE OF THE EVALUATION	49
7.2 – TESTING WITH STUDENTS.....	49
7.3 – OBSERVATIONS IN THE CLASSROOM.....	50
7.3.1 – Lesson 1.....	50
7.3.2 – Lesson 2	51
7.4 – SURVEY.....	52
7.5 – EVALUATION OF THE REQUIREMENTS.....	52
CHAPTER 8 – CONCLUSION	55
8.1 - WHAT ARE EXISTING TECHNOLOGIES IN HIGH SCHOOLS?	55
8.2 - HOW CAN THE PRODUCT ADDRESS ALL LEARNING STYLES TO A LARGE EXTEND?.....	55
8.3 - WHAT ARE THE REQUIREMENTS FOR A PRODUCT THAT HAS ADDED VALUE OVER PEN AND PAPER METHODS?.....	55
8.4 - WHAT FUNCTIONALITIES DOES A PRODUCT HAVE THAT SUPPORTS TEACHERS AND STUDENTS IN THE PROCESS OF LEARNING MATHEMATICS?.....	55
8.5 WHAT SUBJECTS IN MATHEMATICS ARE SUITABLE FOR BEING SUPPORTED BY EXISTING TECHNOLOGY?	56
8.6 – MAIN RESEARCH QUESTION	56
8.7 – FUTURE WORK AND RECOMMENDATIONS.....	57
REFERENCES.....	59
APPENDICES	62
APPENDIX A – INTERVIEW WITH JAN VAN DER MEIJ.....	62
APPENDIX B – FIRST INTERVIEW WITH TEACHERS	68
APPENDIX C – REQUIRMENTS ANALYSIS JAN VAN DER MEIJ	77
APPENDIX D – REQUIRMENTS ANALYSIS TEACHERS	79

APPENDIX E – MINDMAP 1	82
APPENDIX F – MINDMAP 2	83
APPENDIX G – SECOND INTERVIEW WITH TEACHERS	84
APPENDIX H – NAVIGATION DESIGN	89
<i>H.1 - Navigation design type 1</i>	89
<i>H.2 - Navigation design type 2</i>	90
APPENDIX I – SOLUTION REPRESENTATION	90
<i>I.1 – Solution representation 1</i>	90
<i>I.2 – Solution representation 2</i>	90
<i>I.3 – Solution representation 3</i>	91
APPENDIX J – APPLICATION CODE	92
<i>J.1 – AppDelegate.swift</i>	92
<i>J.2 – ViewController.swift</i>	93
<i>J.3 – TableViewcontroller.swift</i>	94
<i>J.4 – Mycollectionviewcell.swift</i>	95
<i>J.5 – Storyboard overview</i>	95
APPENDIX K – NOTES FROM OBSERVATIONS	97
<i>K.1 - Les van Mieke van der Kolk, 1HV4</i>	97
<i>K.2 - Les van Miranda Geerdink-Journee, 1KT4</i>	98
APPENDIX L – SURVEY QUESTIONS AND RESULTS	99

CHAPTER 1 – INTRODUCTION

In this chapter the context and scope of this project will be defined. Furthermore the research questions for this project and the outline of this report will be explained.

1.1 – TECHNOLOGY AND MATHEMATICS

It is no secret that technology is playing an increasingly large role in our lives. The education system and schools go along with this trend in order to keep up with modern day standards. However, my personal experience within my internship in a local high school in the Netherlands showed insecurities among teachers regarding the newly installed technologies. After asking a teacher what she did with the technology available to her, she replied that she did not really know how to use it extensively, because she is not very educated on technology and even felt that it did not really suit her subject, mathematics. Mathematics is often viewed as a classical subject where technology may not necessarily play a significant role. In general the subject mathematics also has a bad reputation with the students. Part of the reason for this is math anxiety. This is defined as a feeling of tension, apprehension, or fear that interferes with performance in mathematics [2],[3]. Math anxiety can occur in everyday situations, when having to calculate your total price to pay in a shop for example, but of course this also happens in the classroom. Furthermore, the subject mathematics is viewed as a stand-alone subject that has no correlation with other subjects in school. This can also be part of the reason students struggle with mathematics. Among secondary education mathematics teachers there has been a resistance to adopt technology within their curriculum [4]. This has many reasons including teacher perceptions, teaching styles and technological competence [5]–[7]. Teachers can feel that they do not have enough experience with technology to confidently implement this in their lessons [8]. It is not that the teachers are not interested in the technology, but they do not have the time to invest in getting to know the technologies better (see 1.2). Furthermore, they do not want to use the technology just for the sake of using technology, but it should have an added value to their lessons (see 1.2). The bad reputation and the opinions of the mathematics teachers on technology are the reason that this project will focus on the subject of mathematics, in order to show that technology does have the possibility to merge with this subject.

1.2 – INTERVIEWS 1

In order to fully understand the scope of this project and the context in which this project will be executed, interviews were held. One interview with an expert in the field of technology and education, Jan van der Meij, and one with four mathematics teachers from the Twents Carmel College, Lyceumstraat in Oldenzaal, which is where this project will be executed. These interviews can be found in appendix A and B. From these interviews three main focus points for this project could be defined. Firstly, the use of technology should have an added value to the lesson. Technology should not be used just for the sake of modernism, but it should contribute to the lesson. If a task can be done with pen and paper just as easily, there is no reason to use the technology. Secondly, the mathematics teachers have a very full schedule both inside and outside the lesson. Within the lesson they have to make sure that all the material for the final exams are being taught and there is not a lot of room to deviate from this set curriculum. Outside the lessons the teachers are not facilitated enough by the school management to invest time in personal development in the field of technology. This means they do not have a lot of time to spent on looking for and into software or applications that they can use within their lessons, which makes it harder for them to incorporate the technology in their curriculum. Lastly, the product that will be developed will need to gear towards

the world and experiences of the modern day student. This means that the way subjects are taught will need to fit the students to which they are taught.

1.3 – RESEARCH QUESTION(S)

The goal of this project will be to bring mathematics and technology closer together. With the help of the technology already present in the classrooms a product will be developed that exploits the possibilities of these technologies to their best use and helps students to better grasp the underlying theories discussed in the mathematics subject. The solution must be able to adapt to and benefit the different learning styles and techniques of the students. This is important to take into account in order for the majority of the students to be able to work with the application. Lastly, the solution must assist the high school teachers in discovering and exploiting the potential of using technologies in their classroom to enrich their lessons. As mentioned before, the teachers are not facilitated with a lot of time to spend on developing themselves and their lessons to better work together with technology. This is an important aspect to take into account when designing the application. With the product that will be designed the following research question will need to be answered:

What product using existing technologies supports students in their process of learning mathematics in high schools in the Netherlands?

In order to properly answer this research question, the following sub-questions will need to be answered:

What are existing technologies in high schools?

How can the product address all learning styles to a large extend?

What are the requirements for a product that has added value over pen and paper methods?

What functionalities does a product have that supports teachers and students in the process of learning mathematics?

What subjects in mathematics are suitable for being supported by existing technology?

1.4 – OUTLINE OF THE REPORT

This project, and thus its report, will follow the Creative Technology Design Process [1]. This process is further explained in the methods section of this report (chapter 3), which can be found after the state of the art research (chapter 2) on the topic of technology enhanced mathematics education. In the methods section also all techniques used in this project will be explained. After the methods the ideation process of the project will be explained (chapter 4). In this process brainstorming occurs and multiple ideas for a solution to the problem will be formed. After the ideation the specification phase will be explained (chapter 5). In this phase one idea from the brainstorming is chosen and requirements for this idea are listed and categorized. After the specification phase the realisation phase starts (chapter 6). In this phase the product that was defined in the specification phase will be realised and documented in this chapter. In order to test if the product that was designed fits the users needs, the product will be evaluated. This happens in the evaluation phase (chapter 7). The report will end with a conclusion (chapter 8) and recommendations for future work (section 8.7).

CHAPTER 2 - STATE OF THE ART ON TECHNOLOGY ENHANCED MATHEMATICS

In this chapter a state of the art research will be discussed that is divided into two parts. The first part consists of the research on aspects of the application that are relevant for the final development of the application. Research into what has already been made regarding application of technology and mathematics will be discussed in the second part of this chapter.

2.1 - RELEVANT ELEMENTS TO DEVELOPING AN APPLICATION FOR MERGING MATHEMATICS AND TECHNOLOGY

In order to develop an application that helps students grasp the underlying mathematical theory better and teachers to enrich their lessons, research must be done on four topics. Firstly, an overview must be compiled of the kind of technologies that are available in the secondary schools. Secondly, it needs to be clear for what purpose these technologies are used. Thirdly, there needs to be a focus on the different learning styles that exist among mathematics students. This is important to take into account so that students do not feel excluded in using the application, because it does not suit the way they learn. Lastly, in order for the application to be a tool that can be used to teach students a subject, effective methods to improve students learning achievements need to be researched. The methods found can then be used as a feature of the application.

2.1.1 - TYPES OF TECHNOLOGY IN SECONDARY MATHEMATICS EDUCATION

A specific list of what technology is used in mathematics education does not exist. However three categories can be defined in which ICT tools can be applied within mathematics education. These categories are hardware, software and web-based tools.

The first category is hardware. In this category the physical technology that is used in secondary mathematics education is considered. Drijvers *et al.* [9] talk about these tools specifically. They refer to a screen, this can be a computer screen, a tablet screen, but also a digital school board. Both Crompton [4] and Drijvers and Zwaneveld [10] define the calculator as a tool for mathematics education. Especially the graphical calculator is a good tool, because it has the most functionality. Therefore it appears that the most popular hardware tools for mathematics education are a calculator and a screen. This screen can be one of the before mentioned options.

The second category is software. Drijvers and Zwaneveld [10] mention two types of software: mathematics specific software and general software. General software is software that is not necessarily relevant for mathematics, but also for other subjects. Examples of this are Word or PowerPoint. Mathematics specific software is software that has mathematical purposes such as making statistical calculations (e.g. SPSS), drawing graphs (e.g. Excel), making algebraic calculations (e.g. Mathematica) or making geometric calculations (e.g. GeoGebra, Cabri). Not only Drijvers and Zwaneveld [10] mention these software tools, but also Crompton [4] recognizes them.

The third category is web-based tools. These are tools that are accessed through the Internet via a website. Drijvers and Zwaneveld [10] recognize communicational websites (e.g. email, Facebook), but also informational websites such as Google or Wikipedia. Crompton [4] mentions mathematical websites (e.g. Wolfram Alpha).

In the graduation project the hardware category will be left out, because the goal of this project is to put the already present hardware in the school to a better use. Which of the remaining

two categories will be most relevant for this project is yet to be determined. This will depend on the technology available in the school, but also the preferences of the users.

2.1.2 - APPLICATION OF TECHNOLOGY IN SECONDARY MATHEMATICS EDUCATION

The application of technology within secondary mathematics education can be the following three options: a calculating technology, a means of practise, or a means of learning and conceptualizing.

The first application is simply for calculation. Drijvers and Zwaneveld [10] mention very specifically that technology is also used as a tool for calculating, whereas Crompton [4] only gives an example of a technological calculating tool; he calls this data-driven technology. Since the main application of the latter is calculating as well, calculating can be seen as another application of technology within secondary mathematics education.

The second application of technology is as a means of practise (i.e. making exercises). Drijvers and Zwaneveld [10] as well as Crompton [4] define this purpose. Practise is an important part of learning mathematics, because it brings the theory into practical examples. It is also an important part of building mathematical skills and familiarizing yourself with the underlying theorem and steps of solving a mathematical problem.

The third and last application of technology is that of learning and conceptualizing. Crompton [4] does not define this purpose, but Drijvers and Zwaneveld [10] do. They explain that ICT for conceptualizing helps to start the thinking process and broadens the view on the material. It was important to add this purpose to the list, because this is an important aspect of learning mathematics and building the skills to work with the mathematical concepts.

For now calculation will be ruled out as an application for this project, because mere calculating will not help the students to get a better understanding of a underlying mathematical theory, which is part of the goal of this project. What application the final product will take on depends on what would suit the current mathematics curriculum best and the preferences of the teachers. The latter is crucial, because they will be the people who have to implement the tool in their lessons.

2.1.3 - LEARNING STYLES AMONG MATHEMATICS STUDENTS

Two main learning styles can be defined among mathematics students: The grasshopper style and the inchworm style. These names are defined by Bath *et al.* [11] Chinn [12] defines the same types of learning styles, however calls the inchworm style 'type 1' and the grasshopper style 'type 2'.

The grasshopper has a holistic view of the mathematical problem and can reinterpret the problem by manipulating and adjusting the numbers. Furthermore, he is answer oriented and makes estimations on what the answer could be or to rule out a set of answers. He can, for example, change the problem '24x11' into '25x10' to make an estimate on what the answer to the original problem could be. He prefers the 'why' of a mathematical problem to the 'how'.

The inchworm focuses on parts and details of the problem rather than viewing the problem as a whole. He is procedure-oriented and focuses on the facts and numbers in front of him. He, for example, would tackle the problem '24x11' by using the method he has learned and applying the step-by-step approach that this method uses. He uses a single method and works mechanically in ordered steps. He prefers the 'how' of a mathematical problem to the 'why'.

Of course many more learning styles can be defined amongst students. However these two styles are relevant for mathematics specifically, according to the found literature. Therefore these

two styles will need to be taken into account when designing an application during the graduation project. If the application caters to both the grasshopper and inchworm, the application will be able to be used by the majority of the students.

2.1.4 - METHODS TO IMPROVE STUDENTS LEARNING ACHIEVEMENTS

The most effective method to improve students learning achievements is by practicing with the study material. Dunlonsky *et al.* [13] showed that there are many methods available, but this method proved to be the most effective. Practice can come in the form of a test or a practice schedule in which practice activities are planned, but also just keeping up with the homework.

Another successful method, however less successful than practice, are exercises concerning explanation of certain processes or words [13]. This can be in a solitary setting, but also in a learning group. Marzano [14] supports the before mentioned methods, but also introduces a new element that is relevant for this research: representing knowledge. By this he means to represent a theorem without the use of words (non-linguistic representations). This can be especially relevant when trying to visualize a mathematical problem on a screen. If the latter can be combined with a means of practice for the students, it can be argued that this would be the most effective method to improve their learning achievements with the use of technology.

2.1.5 – DISCUSSION AND CONCLUSION ON PART ONE

After the research described in the past paragraphs it is clear that there has been a lot of research on what learning styles exist and what effective methods are for improving students' achievements. However, there has not yet been a good connection between what technology can contribute to these learning styles and achievements. Therefore, a definitive conclusion on the sub-research question "How can the product address all learning styles to a large extend?" cannot yet be drawn. This will require more research on the link between technology and the students, with a focus on their learning styles and their achievements. It can, however, be said that practice is an important aspect in teaching students mathematics, since this was acknowledged as a purpose of technology in secondary mathematics education and it was found to be the most effective method to improve students learning achievements.

This research has also shown that there is a lot of technology already available for a variety of aspects of mathematics education. For this project new hardware will be left out, because the main goal of this project is to put the hardware that is already available in the schools to good use and not add new hardware to the list. This means that the intervention will most likely be a software or web-based application. The purpose of this intervention can be calculating, practice or conceptualizing. The first, calculating, will be left out, because mere calculating does not help the student in their learning process of understanding the theorem. This leaves us with practice and conceptualizing. It will depend on what the teachers and students would like more help with or see added value in, which purpose will be chosen for the intervention. In order to research this further, interviews with these parties will need to be done. It can also be interesting to further research the combination of practice and conceptualization, because these two components make for a full mathematical skill-building package.

Since there were limited scientific sources available on the combination of mathematics and technology, this research is limited. This limitation in particular meant that a lot of knowledge was used from two sources on which Paul Drijvers worked. Especially his collaboration with Zwaneveld plays a large role in this research. However, Drijvers is considered to be an expert on ICT in mathematics education according to the University of Utrecht. Therefore research he worked on can

be trusted, but for the validity of the results of this research it would be advised to perform further research to find other scientific sources to strengthen the conclusions drawn in this paper.

In conclusion this research has shown that the final product of this project will either need to be executed on a web-based or software platform and should have the purpose of conceptualizing or practice. The latter has also proven to be a successful method to improve students learning achievements, so it can be derived that this should be an aspect of the final product. Lastly, two learning styles need to be taken into account: the inchworm and the grasshopper.

2.2 - PREVIOUS WORK IN THE FIELD OF MATHEMATICS AND TECHNOLOGY

In this part of the state of the art analysis the focus will be on applications that have been developed for the technologies that are present in the mathematics classroom at the Twents Carmel College. These technologies are iPads, digital blackboards and computers/laptops. Apple TV's are also installed within the classrooms. However, the teachers expressed that they did not like this technology and did not want to use it in the first interview with them (appendix B). Therefore this technology is left out of this part of the research.

2.2.1 - IPAD

For the iPad [15] three main categories of applications can be defined. These categories were retrieved from a simple search on the Internet in which these three trends were recognized.

Firstly, gamified mathematical applications. In these apps mathematics is brought in the playful way of a game. Most of the apps found however were meant for a primary education student and not secondary education. Examples of these applications are math ninja [16], rocket math [17] or numblr [18]. Two apps were found that were suitable for the latter audience, because these revolved around algebra and geometry. These applications were Dragonbox (12+ version) [19] and GeometrIQ [20].



FIGURE 2.1 - APPLE'S IPAD

Secondly, the calculator applications. These applications did not provide any insight in the underlying theory of a math problem, but simply solve it. In some cases the application would provide a step-by-step calculation, but most applications simply provide an answer to the mathematical problem you insert. However, some revolve around algebra, others around making graphs, etc. Examples of these calculating applications are Algebra Solver [21], Wolfram Alpha the app [22], Quick graph [23] and Pi cubed [24].

Thirdly, manipulating the math. In this category are applications in which it is possible to change certain aspects of a formula, graph or object, which helps to get a better understanding of a mathematical problem or formula. These applications also revolve around different subjects or topics within mathematics. Examples of this are geometry, algebra or graphs. Examples of these applications are Geometry Pad [25], Sketchpad Explorer [26] or Algebra Touch [27].

From the first research that was conducted it could be concluded that practice was an important aspect of learning mathematics. However, only one application for exercising mathematics was

found in this research, namely Mathspace [28]. Therefore it seems that exercise applications for mathematics is a field, which could be further explored in this project.

It must be noted that none of the applications for the iPad are truly meant for in-lesson use. They are only for personal use and do not have a structure that is designed to be implemented in a lesson, however a creative teacher may find a way to do so.

2.2.2 - DIGITAL BLACKBOARD

The digital blackboard is a wall-mounted blackboard that is connected to a desktop computer. From this computer software or websites can be launched and displayed on the blackboard. For the digital blackboards it is possible to look up materials for your lessons if you search using the brand of your blackboard.

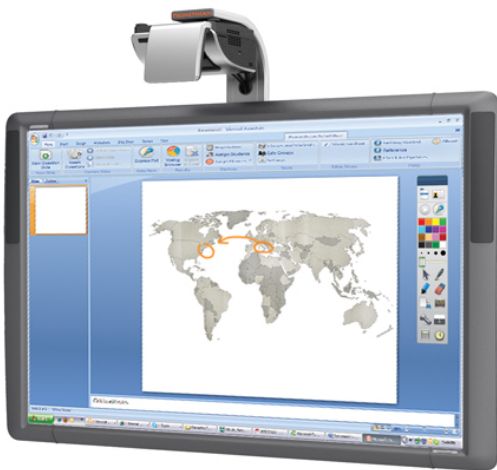


FIGURE 2.2 - PROMETHEAN'S ACTIVBOARD

The Twents Carmel College has Activboards [29] installed so the search for mathematics lesson tools was aimed at this brand. Promethean, the company that made the Activboard, gives you a link to a website called Classflow [30]. Classflow has a lot of functionalities including an app for parental engagement, lessons made by other teachers, a plugin for PowerPoint to make your own lessons, an option of sending quizzes or polls to your students via an app and many more. In order to use their facilities, a teacher will have to make an account as well as the students and the parents if they want to use the accompanied app. If you, as a teacher, have made such an account you are able to use lessons other teachers have uploaded on their subjects. What is important to point out about these lessons is that they are sorted following a non-Dutch education system.

Therefore it is hard to find lessons for the right year or topic as a Dutch teacher. It is possible to order the lessons by language and subject, which makes it possible to find Dutch mathematics lessons, however only 24 lessons are available so the chance that one of these fits a specific lesson in the Twents Carmel Mathematics curriculum are slim.

In order to find some more Dutch mathematics tools for the digital blackboard, the search terms were adjusted to the Dutch language. This led to the website www.digibordles.nl. On this website free online lessons and training are provided based on the type of digital blackboard you use and what year you teach. Unfortunately these lessons are only for primary education and not secondary education, which is the focus of this project. Another Dutch website for the digital blackboard is Digizoo [31], which is solely meant for the Activboard. They show that the Activboard is not only suitable for education, but also business purposes. They also provide a few lessons for educational purposes, but mostly for primary education and the selection for secondary education is limited to three subjects of which mathematics is not one.

This research shows that the amount of material available for mathematics on an Activboard is very limited. The material that is available either has to very specifically fit the lesson you want to give or is meant for primary education. Furthermore, language is an extra barrier to overcome when searching for materials to use in a Dutch mathematics lesson. The field of digital blackboards is for these reasons an area to take into account in this project.

2.2.3 - COMPUTER AND LAPTOP

For the computer and laptop two categories can be defined in terms of tools for mathematics: software and websites. In the context of this project the computer is meant as a device that is used by the students, not the computer that is situated at the desk of the teacher.

A lot of software is available for mathematical purposes. One of the programs, that is also mentioned by Getal en Ruimte¹, is GeoGebra [32]. GeoGebra is an application that teaches geometry, algebra, statistics and calculus. It is also meant to teach mathematics and science to students from primary to university level. These two aspects combined make it a very diverse tool for education. It also means that the tool has a lot of options, which may sometimes be a bit overwhelming. Furthermore, the tool works with applets that the teachers either have to make themselves or that are taken from the pre-set GeoGebra library, which raises the issue of finding an applet that specifically matches the subject you want to teach again.

Three totally different mathematics tools are Mathematica [33], Matlab [34] and Maple [35]. They are mentioned together here, because they all require a form of programming to perform calculations. This means that for secondary education they might not be very suitable, because it would first require some knowledge on programming from the students. This is also the case for multiple other software applications.

In terms of websites, the Twents Carmel College already uses www.wiskundeacademie.nl. On this website videos with explanations of underlying mathematical theory can be found. When students want some extra explanation outside of the regular lessons they are referred to this website. A website similar to this, however in English, is www.khanacademy.com. On this website instructional videos can be found not only on mathematical subjects, but also other scientific subjects. In terms of textual websites, not a lot could be found. One example is www.wiskundeonline.nl. This website contains a lot of information and definitely covers all the subjects of secondary mathematics, but the explanations are not always very clear and there is a very limited amount of exercises available. A website that can be referred to for calculating is www.wolframalpha.com. This website lets you put in a mathematical problem you would like to solve and then gives you the answer with the possibility to see a step-by-step solution. However, if you would like to see the full step-by-step solution you will have to buy a pro account.

In terms of software and helpful websites for mathematics in secondary education, a lot is already available. Therefore it is not necessary to extensively research the possibilities in this field during this project.

2.3 - CONCLUSION ON THE STATE OF THE ART REVIEW

Based on the research that has been performed concerning the state of the art on technology enhanced mathematics education it can be concluded that the final product of this project will either need to be executed on a web-based or software platform, but should not necessarily run on a laptop or computer, since a lot is already available for this platform. Therefore an iPad would be a good platform to run the product on since this device can handle both web-based and software applications. The digital blackboard is also a good platform to consider exploring during the ideation phase, because there is not enough available for this platform in that is meant specifically for mathematics. The materials that are available are mostly in English and have to fit what a teacher is

¹ Getal en Ruimte is the method chosen by the Twents Carmel College to teach mathematics. They use their books and PowerPoints.

planning to explain very specifically. Furthermore, the product should have the purpose of conceptualizing or practice. Practice has also proven to be a successful method to improve students learning achievements, so it can be derived that this should be an aspect of the final product. In the designing of the product two learning styles need to be taken into account: the inchworm and the grasshopper.

CHAPTER 3 – METHODS

In this chapter the methods and techniques that were used throughout this project will be listed and explained. Firstly, the method on which this project is based will be explained. Secondly, the specific techniques that were used in the various phases of this project will be elaborated upon.

3.1 - CREATIVE TECHNOLOGY DESIGN PROCESS

The process of designing the product for this project is structured by the Creative Technology Design Process[1], which is suitable for many of the projects that are executed within Creative Technology. This design process uses the divergence and convergence methods described by Jones [36] and spiral models. Furthermore, the process consists of four phases: ideation, specification, realization and evaluation. The process will be concluded with an evaluation.

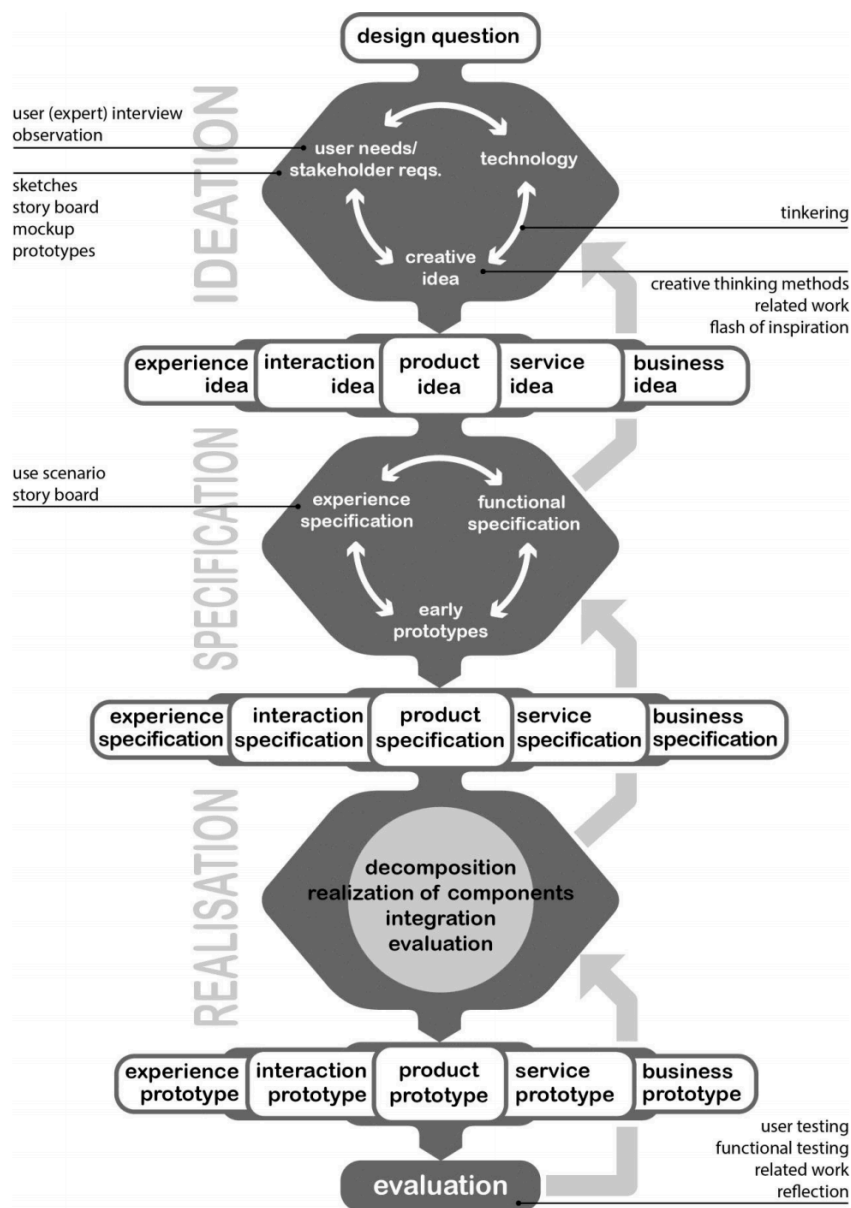


FIGURE 3.1 - THE CREATIVE TECHNOLOGY DESIGN PROCESS

3.1.1 – IDEATION

In the ideation phase the design process is started. The starting point of this phase is often one of three sources: a clients request, a specific technology or an idea. Mader and Eggink [1] describe a technology as a starting point as being specific to Creative Technology. This can be a new technology or an already existing technology. When a design process starts with such a technology, this is called tinkering. This approach bridges the technology and the user needs, which is also the case within this project.

The technology already present in the Dutch high schools will be used as a starting point for this project. But that is not the only form of inspiration in the ideation phase, also the first interviews and the state of the art literature review will be used to make the first ideas. These ideas will be formed in a brainstorm session (see 3.3). The ideas from this session will be discussed in a second round of interviews with the teachers in secondary mathematics education. In this second round of interviews a direction for the project will be chosen. The idea that is viewed as most interesting and promising will be further developed. Furthermore, the first interview with the teachers will be analyzed to find preliminary requirements, which together with the product idea will be the main inputs for the specification phase.

3.1.2 – SPECIFICATION

The specification phase is characterized by the multiple prototypes that are developed during this phase. Furthermore, a short evaluation and feedback loop is applied in which the prototypes are evaluated with the end users of the product. In this phase a specification of the ideation phase takes place. In the specification cycle of this project the idea chosen in the ideation phase will be elaborated. The requirements for this idea will be formed and use case scenarios will be written to put the idea into context. The entire product or system and its design will be defined in this phase. Furthermore, a functional architecture of the system will be designed to map the inputs and outputs of the system and the functions it consists of.

3.1.3 – REALISATION

In the realization phase the product that was defined and specified in the previous stages will be realized. Components of the product will be realized and integrated with each other to form a coherent and complete prototype. This is also called realization through decomposition.

In this project the product that was designed will be realized to an extent in which the concept of the product can be tested with the end users.

3.1.4 – EVALUATION

In the evaluation phase the product that was realized will be evaluated. A number of aspects can be evaluated: the functioning of the product (does the product work without bugs or errors?), whether all the functional and non-functional requirements that were set were met, but also whether the user is satisfied with the result. In this project all the mentioned aspects will be evaluated in the evaluation phase.

3.2 - METHOD FOR STAKEHOLDER ANALYSIS

In order to develop a product that is suitable for every party involved in the usage and implementation of this product, a stakeholder analysis will need to be performed. Freeman [37] defines a stakeholder as "...any group or individual who can affect or is affected by the achievement of the organisation's objectives". In this case the objective will be the product. Baseline stakeholders can be divided into four categories, as stated by Sharp [38]. These categories are users, developers, legislators and decision makers.

Users

Users can be defined as people, groups or companies who will interact with the product and control it directly, but also those who will use the elements the product produces. These elements can be information or results that are generated by the system.

Developers

The developers of a product or system are often involved during the research and development phase. They determine which requirements will be adopted into the system or product and which are not.

Legislators

Legislators can be defined as professional bodies, government agencies, trade unions, legal representatives, safety executives or quality assurance auditors who have an effect on the guidelines and requirements of the final product.

Decision makers

Decision makers are stakeholders who are involved in the organization of the development and the organization of the users. These stakeholders are often referred to as managers.

The analysis of the stakeholder consists of four steps. Firstly, all the parties involved will be named and divided into the four categories of Sharp. Secondly, the role and key interest of the party will be defined. Thirdly, a level of interest will be determined to identify how much the party will be involved in the project. Lastly, a level of influence will be determined to define how much the party will influence the end result of the project.

3.3 – METHOD FOR BRAINSTORMING

To develop a product that takes all needs from parties involved into account, a good brainstorming session is key. In the case of this project a brainstorming session will be performed with the researcher and two students from Creative Technology who have also done a minor in learning to teach. These two aspects combined will ensure that the Creative Technology knowledge will be combined with educational knowledge.

The session will consist of three phases: problem definition, diverging and converging. During the problem definition the scope of the project will be defined and the students have the chance to ask the researcher questions about the context of the project and the problem that needs to be solved. This process will be captured in a mind map. This will help to get a better view of the problem and may result in the focus of the brainstorming shifting to one particular part of the problem, or separately discussing parts of the problem in the diverging and converging phase. In the diverging phase the brainstorming will start and ideas will be generated. These ideas will be captured on post-it notes which will be clearly visible to all participants. It is important to note that all ideas are possible in this phase and nothing will be discarded. In the converging phase the ideas on the post-its will be categorized. From these categories one coherent idea might follow per category, or they

could be combined into one final idea. The conclusion from this convergent phase will be discussed with the relevant parties at the Twents Carmel College.

3.4 – METHODS FOR INTERVIEWING

In this project interviews will be used to shape and form the development of the product. These interviews will be conducted with experts and users and take place during the ideation, specification and realization phase of the project. Three different techniques exist for interviewing: structured interviews, semi-structured interviews and unstructured interviews [39].

Structured interviews

When doing structured interviews, a set list of questions is prepared. The participants of the interview are asked these questions and they give an answer. There is no further discussion involved in this interviewing technique.

Semi-structured interviews

For this technique a set of questions is prepared for the interview. These questions will be guiding the interview, but it is possible to drift away from the initial question and tie into a topic, which is also relevant to the topic of the interview.

Unstructured interviews

When performing unstructured interviews there is no set list of questions prepared beforehand. One question or topic will be put on the table to start of the interview, but it is possible that the interview will drift away from this initial question or topic. A good leader for this interview is necessary to make sure that the topics discussed will stay relevant to initial question or topic and not drift so far off that the subjects discussed are not relevant anymore.

During this project multiple interviews will be conducted. One with an expert in the field of technology in education from the UT department ELAN, multiple interviews with the mathematics teachers of the Twents Carmel College and one interview with an deputy principle of this school.

3.5 – METHODS FOR REQUIREMENTS ANALYSIS

During this project three methods for requirement analysis were used. The first method is to translate user expressions into requirements. The second method is to divide the requirements into functional and non-functional requirements. The third and last method sorts the requirements by their necessity to be adopted into the system.

3.5.1 – USER EXPRESSION TO REQUIREMENT

One of the purposes of the interviews performed in this project is to deduce requirements from the experiences of the teachers. The analysis of the is according to the method of Bergvall-Kåreborn and Ståhlbröst [40].

Firstly, the quotes that are relevant to the project will be collected. Secondly, from these quotes a value will be deducted. Thirdly, this value will be turned into an attribute, which is a summary of the needs of the user. Fourthly, this attribute will be translated into a requirement for the application. These four steps will be combined into a requirements table. Fifthly and lastly, this requirements table will be analyzed and the requirements will be organized into five groups based on the type of requirement they are. These five groups are: functional and modality, service, organizational, content and usability and user experience. Functionality and modality requirements regard technical features of the application, such as the type of technology and operating system it runs on. Service describes

requirements that have to do with services regarding the application, such as user support or marketing. Organizational requirements are about how the application should be worked into the organizational structure and working routines. Content requirements regard the subject the application needs to communicate. Usability and user experience requirements are about the interface and interaction design of the application.

This process will be executed for the interview with the expert as well as the interview with the four teachers from the Twents Carmel College. After both these analysis the requirements will be compared and a conclusion will be drawn on which requirements are more important for the final application and why. It is important to note that not all requirements from this analysis will need to be incorporated in the final application. What requirements will be incorporated depends on many factors including the opinion of the students, teachers and designer.

3.5.2 – FUNCTIONAL AND NON-FUNCTIONAL REQUIREMENTS

Before the MoSCoW analysis is performed, the requirements will be divided into functional and non-functional requirements. Functional requirements can be evaluated by the developer herself, because they are either incorporated or not; the function works or it does not. The non-functional requirements however depend on the opinion of the user and the developer. The developer might find that a requirement is met in the product when the user disagrees, or the other way around.

3.5.3 – MOSCOW ANALYSIS

The MoSCoW analysis is a method to prioritize the requirements formed around the product. [41] MoSCoW stands for must have, should have, could have, and won't have.

Must have

Must haves are requirements that should be included in the product before it can be launched. These requirements must be included before the product will be useful.

Should have

These requirements are not critical for the product to function, but are of high value to the user. It is therefore recommended to include most of these requirements in the product.

Could have

These requirements are nice to include in the product, but are not necessary for the functionality of the product. These requirements are the first to be discarded in case of time constraints.

Won't have

These requirements will not be included in the product even though they were requested. They may however be included in a later phase of the development.

3.6 – METHODS FOR EVALUATION

During the evaluation phase three methods were used to evaluate the prototype: observations, a survey and a Wizard of Oz setup. Two people did the observations. They wrote down everything they saw to use the notes in the evaluation of the prototype. The teachers filled in the survey after their experience with the system. The survey consisted of open questions as well as questions with a Likert scale in which the teachers rated their experiences.

The procedure for executing the evaluation was through a Wizard of Oz evaluation [42][43]. This means that the functionality of the system is tested without the system being completely realized. In

this way the full concept can be tested without having to finish the entire system first. It is called Wizard of Oz, because the user is 'fooled' by thinking he or she is working with a fully functional system when this is not the case.

CHAPTER 4 – IDEATION

In this chapter the ideation phase is documented. This phase is structured according to methods section 3.1.1. In this phase the stakeholders are analysed, the first requirements for the product are formed, a brainstorming session takes place to come up with several ideas for the project, personas are created to put the context of the project in perspective and product ideas are discussed with the mathematics teachers of the Twents Carmel College.

4.1 - STAKEHOLDER ANALYSIS

For the project several stakeholders can be identified. These stakeholders will be named and analysed according to the method described in section 3.2.

4.1.1 - USERS

The product will have two categories of users, namely the teachers and the students. The teacher will be the person to implement the product into his or her own lesson plan and curriculum. For this implementation process to go smoothly it is important that the final product will be easy to use by the teacher and that the implementation will not take too much time. Therefore the key interests of the teacher are time and ease of use. The key interest of time has two sides in this case. Teachers do not want to spend too much time on becoming familiar with the technology, because they do not have enough spare time to do this. But also, using the technology should not take up too much time within the lessons. Furthermore, the teachers feel that if they use a technology within their lesson it will need to have an added value over using pen and paper (appendix A and B). If this is not the case, using the technology will feel like an unnecessary amount of effort, because the pen and paper method is already very familiar to them. Therefore another key interest of the teachers is added value. The level of interest of the teachers is high, because the use of this product directly influences the dynamic of their lessons and requires some adjustments to their lessons. The teachers' influence on this project will be high, because they determine whether the product will be used or not.

The second user is the student. He or she will be using the application at school, but there is also a possibility that they will be using it at home. Their key interest in this product is that it should help them improve their skills and/or achievements in mathematics. An added bonus to this would be that it is fun for them to use. Their level of interest will be moderate, because the product gives them the opportunity to improve their mathematics skills in an alternative way to the classic pen and paper methods, but if they feel that the product is not interesting or difficult to use they will not be interested in using it. Their influence on this project will be high, because if the students are not able to properly use the product or are not interested in using it, the implementation of the product will fail.

4.1.2 – DEVELOPERS

One developer can be identified for this project, namely the researcher. She will develop the product and perform all the research and evaluation necessary to make the product feasible and a success.

4.1.3 - DECISION MAKERS

Three decision makers can be defined for this project, namely the management of the school, the supervisors of this project and the researcher of this project.

The management of the school determines the context in which the final product will be used. They have the final say in which technologies will be installed in the school and which will not. Furthermore, they facilitate the teachers with time to invest in technology, which gives a boundary to the amount of time teachers have available to familiarize themselves with the product this project will develop. Furthermore, if any large purchases have to be made on the schools side, the school management will decide if this purchase can be made. Their key interests in this project can be summarized as costs and time. Their level of interest in this project is moderate, because they are not directly involved in the actual development, usage or implementation of the product. However, if the product is successful within the school, this can be used as positive advertisement for the school and to other teachers in the school who may have been hesitant to using technology in their lessons. Since the management of the school is not involved in the actual development, usage or implementation of the product their influence on what shape or form the final product will have is low.

The supervisors of this project, Erik Faber and Eddy de Weerd, will be overseeing the organizational aspects of this project such as time management and documentation. Their key interest is organization. Their level of interest is low in comparison to the other stakeholders, because the product does not affect them in any way it does for the other stakeholders. Their level of influence is moderate, because they do not directly influence what the final product will be, however when decisions regarding the organizational aspects of the project need to be made, their influence will be of importance.

The researcher of this project is the person who is in charge of actually executing the project. Her key interest is to make a successful product to support secondary mathematics education. Her level of interest in this project is high, because she formulated the challenge herself from her own experience in secondary education. Her level of influence is also high, because she will make all the final decisions regarding the project.

4.1.4 - SUMMARY

The information above can be summarized in the following table.

Stakeholder	Role	Key interest	Level of interest	Level of influence
Teachers	User	Time, ease of use and added value	High	High
Students	User	Improve skills and/or achievements	Moderate	High
Researcher	Developer & decision maker	Successful product	High	High
Management of the school	Decision maker	Costs and time	Moderate	Low
Supervisors of the project	Decision maker	Organization	Low	Moderate

TABLE 4.1 - SUMMARY OF THE STAKEHOLDER ANALYSIS

During the course of this project the stakeholders that will be most involved in the development of the project are the teachers, students and researcher. The teachers and the students will be highly involved because they will be end users of the project, and the researcher because she will be in control of the development of the product. This is also the reason that their level of influence on this project is high.

4.2 – FIRST ITERATION

For this project 2 interviews were conducted: one with an expert in the field of technology in education from the UT department ELAN and one with four mathematics teachers from a secondary school, the Twents Carmel College, in Oldenzaal. These interviews can be found in appendix A and B. The interviews were used to perform the requirements analysis (see section 3.5). The tables holding the requirements that were formed during this analysis can be found in appendix C and D. In order to better understand the type of requirements that were found, the requirements following from the analysis of the interview will be divided into the five categories mentioned in section 3.5.

Below the division of the requirements over the categories can be found.

Functional and modality	Content	Usability and user experience	Organizational	Service
If the application connects to the Internet, it should do so without any issues.	The application should evolve around a subject to which it brings an added value over pen and paper.	The application should be easy to understand and use.	The application should not work against collaboration of teachers.	
The application should be free of bugs and errors.	The application should be able to relate to the students life.	The application should be intuitive to use.		
The application should run on a tablet.	The application should give direct feedback.	It should be clear what the purpose of the application is.		
The application should make use of the digital blackboard.	The application should benefit the students learning process.			
The application should not make use of the apple tv.	The system should take the distractions of an iPad into account when running on this device.			
If the application is meant for the first three years of secondary school it should run on an iPad.	The application should be able to relate to the students life.			
If the application is meant for the last three years of secondary school it should run on a laptop.	The application should not add to the curriculum, but support the current curriculum.			
It should be easy to access the application.	The application should give correct feedback.			
	The application should contribute to the independence of the student.			
	The application should include all the aspects of learning mathematics.			
	The application should not disregard the calculating skills of the students.			

TABLE 4.2 - SUMMARY OF THE FIRST REQUIREMENTS ANALYSIS

What stands out from this table is that the service category is empty. This is because the teachers and the expert did not mention anything regarding services for the product. This category is also not relevant within the scope of this project, because services are mostly added once a final and full product is realized. Therefore this category can be left out of consideration.

This table now contains some requirements that are similar and some requirements that may not be relevant throughout the rest of this project. Therefore this list of requirements will need to be narrowed down. This narrowed down version can be found in the conclusion of this chapter.

4.3 - BRAINSTORMING

In order to generate a variety of ideas for the final product of this project a brainstorming session was performed following the method in section 3.3. As described in this section firstly a mindmap was formed using the information found in the first interviews that were performed. This mindmap helped to form a better image of the scope of the project and can be found in appendix E.

After the mindmap the brainstorm started. Firstly, the technologies were used for input. The apple tv was left out of this discussion, because this technology is not present in every mathematics classroom. For every technology the functionalities or key features were listed. It was found that the laptop and computer were more powerful and could therefore perform more complicated tasks. The smartboard's main functionality was the ability to interact with the entire classroom at once. The iPad had multiple features that were of importance; the ability to move around with it, it has a camera, it has the ability to send messages and the touchscreen means it is highly interactive. Since the iPad showed the most functions to work with, this device was chosen to brainstorm for more ideas. From this brainstorm session four ideas were defined. These ideas were also noted in a mindmap, which can be found in appendix F.

4.3.1 – IDEAS FROM THE BRAINSTORMING

Enhanced PowerPoint

At the moment the teachers already use PowerPoints [44] provided by the company from which they use the books. This idea enhances these PowerPoints by adding an interactive element. Whilst the teacher is presenting material with the PowerPoint the students can immediately interact with the new subject on their iPad. For example, when 3D figures are being discussed the students will get the figure discussed on their iPad and are able to turn it over and around or fold it open. This idea will be an enhancement of the current lesson structure. It does not require any big changes to the lesson plans of the teachers.

Content adjustment

Differentiating between students is a hot topic among teachers and the education community. This idea plays into that concept. With content adjustment the exercises that students have to make are adjusted to how well the previous exercises went. Therefore when a student struggles with a particular subject he or she can get more practice with this, but when a student finds something very easy he or she can do more challenging exercises. This means that students can learn mathematics at their own pace. However this idea does require a drastic change in the way teachers plan and execute their lessons. This is because the teachers cannot depend on students having made a specific set of questions and some students will be at a different difficulty level than others.

Mathematics in real life

One of the complaints of students about mathematics is that it is too abstract. They cannot relate it properly to situations that are familiar to them. This idea can help change that. It is an iPad application in which students get an assignment to take a picture of a situation in their surroundings and apply mathematical theory to this. For example, a question could be to take a picture of a slope

after which they will have to calculate the steepness of this slope. This idea will give a more ‘fun factor’ to mathematics with the benefit of applying mathematics to real life situations. It requires no change to the lesson plan, but rather is an addition to the current structure.

Teachers aid

A problem that pops up when discussing mathematics and technology is the inability to check the progress of working out a mathematical problem. Most digital mathematics programs are only able to check the answers and not the progress. In order to counter act that, this idea gives the teachers an opportunity to look at the progress of the students next to having the results of online tests. The results of the online tests will be forming a graph of the progress. Next to this students take a picture, with their iPad, of an assignment chosen by the teacher so that the teachers can check their progress. This will help teachers to find problems in students understanding, before they make the final assessment. This idea can be viewed as an enhancement of the current structure of the lessons, because it gives the teachers a better insight in how their students are getting on with the new material.

4.3.1 – DISCUSSION ON THE IDEAS AND FINAL PRODUCT IDEA

The four results of the brainstorming session were discussed with two teachers at the Twents Carmel College, Marc and Miranda. This interview can be found in appendix G. From this interview it was concluded that one aspect from the fourth idea, the teachers aid, was the most promising to them. They found it interesting that they could use pictures that students would take from their worked out assignments as a form of feedback. This raises a new requirement for the application namely that the application should show insight into the way students work out their mathematical problems. They would like to use this application whenever they want to. For example, at the start of a lesson they could ask the students to photograph assignment 22 and immediately receive their pictures and discuss the outcomes. The other part of idea four will be discarded, because they did not see the added value of also having the digital tests which are also provided by Getal en Ruimte. From this interview it was also concluded that the application or product should work fast and not take up too much time starting up or collecting the images taken by the students.

4.4 - PERSONAS

Now that the users of the end product and the product idea of this project have been defined, personas can be formed. These personas will help to grasp the characteristics of the two user groups better, which will benefit the product to be made. Furthermore, the personas will be placed in the context of the application to get a better idea about how they would handle and react to the application.

4.4.1 - USER PERSONA – LOW ACHIEVING STUDENT

Name	Mark van Dam
Gender	Male
Age	14

Mark is a Dutch student in Dutch secondary education. He likes to play soccer with his friends outside and plays soccer games on the weekends. He takes a great interest in the large soccer matches such as the Uefa league or the world and European championships. Mark is not really interested in school; he prefers to hang out with his friends. This also affects his grades. They are not really high and it may be the case that he has to repeat a year. Mathematics especially is a subject he finds difficult. It

does not interest him and he wants to skip through the exercises as fast as possible. However, his teacher does not let him. ‘Practice makes perfect’ he always says. Of course Mark would like to get better grades in mathematics, but he does not like the work he has to put into achieving that. If his grades keep going downhill, he will have to go to tutoring.

In his mathematics lesson Mark’s teacher asks the class to take a picture of exercise 10 with the new app they all had to download. Mark immediately feels a hot rush of nervousness. He knows he did not do that exercise correctly. Should he take a picture of his neighbours exercise? No, that attracts too much attention. ‘You have one minute left!’ the teacher says. Mark has to act quickly and decides that his only option is to take a picture of his incorrect solution. He sees the teacher scrolling through the exercises and nervously awaits his verdict. ‘I only see a few wrong solutions guys. I will pair up the students who had it wrong with the students who worked it out correctly.’ The teacher says. Mark sighs of relief. At least his wrong solution was not shown to the entire class on the digital blackboard. The teacher walks towards Mark and says ‘Mark, you can go to Peter. He will explain the exercise to you.’ Now Mark is even happier, his best friend will explain the exercise to him. Maybe that new application is not as scary as he thought.

4.4.2 - USER PERSONA – AVERAGE ACHIEVING STUDENT

Name	Maartje Pieters
Gender	Female
Age	14

Maartje is a Dutch student in Dutch secondary education. She has hobby’s including horse riding and hanging out with her friends. In school she has quite good grades, around a 7 on average. She does not really stand out from the crowd and she likes it that way, as long as she moves on to the next year. Mathematics is definitely not her favourite subject and she struggles sometimes to get a good grade on her tests. However, if she studies hard enough she passes most of the time. She does not really like to do the exercises that her teacher tells her to do, but she does them anyway, because she knows it will help her understand the study material better.

In the Thursday mathematics lesson the teacher asks his class to take a picture of exercise 13. Maartje does not hesitate to take a picture of her solution, because she already checked her answer and knows it is correct. The teacher starts scrolling through the answers and chuckles a bit. ‘Only two people had the right solution.’ Huh? How is that possible? Thinks Maartje. The teacher starts writing a solution on the blackboard. Maartje recognizes the same steps she took. ‘How many people worked out the problem like this?’ the teacher asks. The entire class except for the two students raise their hands. Maartje does not really understand what is happening so she asks a question. ‘But sir, is this not the right answer then? Because I checked and my answer was correct.’ The rest of the class nods in agreement. ‘Yes Maartje, the answer is correct but the steps you took were incorrect. This solution will not give you all the points on the test.’ The teacher starts writing again, but this time shows the right solution. Maartje sees the difference and writes the correct solution in her notebook. Luckily she knows in time for the test!

4.4.3 - USER PERSONA – HIGH ACHIEVING STUDENT

Name	Joep Verstappen
Gender	Male
Age	14

Joep is a Dutch student in Dutch secondary education. He likes to learn new things and has hobbies like chess and larping, which he does on the weekends. In school he often gets the highest grades of the class which means he is seen as the 'nerd' of the class. He actually likes mathematics unlike a lot of his classmates. He does not mind to do the exercises he is told to make, because he sees them as little puzzles. However, often times the exercises are a bit too easy for him and he finds himself knowing the answer immediately and then just repeating the steps he has learned to do to solve a mathematical problem. He would like to have a little bit more challenging exercises so he can learn more new things.

Joep is in his first lesson of the week, mathematics. His teacher asks him to take a picture of exercise 18. Joep has made that exercise last week and remembers it was quite easy. He takes the picture and waits patiently to see what the teacher will do with it. The teacher scrolls through the solutions and makes a short round around the class giving each student some tips. When he reaches Joep he says 'Joep I see you did this exercise very nicely. Did you find it easy?' 'Yes sir.' 'Good, because I have some more challenging exercises you can try. Would you like to see them?' Joep would love to, because frankly he was quite bored with doing the repetitive exercises. The challenging exercises are weaved into an interesting puzzle, which Joep enjoys for the rest of the lesson.

4.4.4 - USER PERSONA – TEACHER

Name	Henk Schippers
Gender	Male
Age	48

Henk is a mathematics teacher in Dutch secondary education for over 20 years. He enjoys his job, because he can really see his students grow. He loves to see a students face when he or she finally understands how to solve a problem. In his career Henk has seen many different types of students; high achieving, low achieving and something in between. All these students have different needs within the lessons and it is difficult for him to differentiate between them. When he is explaining something new, some of the students understand it immediately and some of them have no idea what he is talking about. This means he has to make a choice in whether he explains it again or leaves it to the students to find out how it works. This problem also arises when the students have to make exercises. He has to spend a lot of time explaining exercises to students who have more difficulty to understand mathematics, even though he would also like to spend time with the students who want more challenging exercises. Furthermore, Henk is not an expert with handling technology, but knows his basic way around a computer and an iPad.

Henk is teaching a second year mathematics class this afternoon. He decides to do a small check of homework with his new application. He prepares the folder for the class and when the lesson starts he immediately asks them to take a picture of exercise 20. The images start pouring in and he sees that roughly half the class did not do the exercise right and the other half did do it correctly. He does not want to bore half the class by repeating the explanation from last week, but also needs to educate the other half of the class on how to execute the problem correctly. 'Okay class, listen up, half the class needs to listen to my explanation and the other half can go on with the homework for next week.' He goes through the names of the people who need to listen and they watch how he explains the material they misunderstood again. After his explanation he lets the students work on their homework exercises. However, Henk starts to wonder if his explanation was clear to all the students so he does another check with the application by asking the class to see a similar exercise. When the images start pouring in again, he focuses on the students who had to pay attention during his explanation today. Most of these students did the exercise correctly this time, but a handful still made some mistakes. He asks these students to come to his desk and decides to use a different

technique this time, using the application. ‘Pieter can you tell me if this solution is correct?’ He shows Pieter Nina’s solution who is also standing at the desk. ‘Yes, I think that’s correct.’ ‘Aha.’ Henk says. ‘I thought you would say that, because you all made the same mistake at the second step here.’ He now shows a correct solution to the five students standing at his desk. ‘Nina, can you tell me what is different in this solution?’ Nina points out the difference in the steps that were made to come to the final answer. The other four students nod in agreement. Henk sends them back to their seats, happy that they now know the right way to tackle the problem.

4.5 – CONCLUSION ON THE IDEATION PHASE

In the ideation phase an idea was formed that will be specified in the specification phase. This idea focuses on the ability to give personal as well as class wide feedback and can be timesaving within the lesson, because the teacher can quickly check students’ individual progress. It uses the iPad and the digital blackboard. The teacher can request the students in his or her class to send in a picture of their solution to a certain mathematical problem. The pictures of these solutions are gathered on the iPad of the teacher where he or she has the choice to show one or multiple of these solutions on the digital blackboard for further explanation or to set an example.

4.5.1 – SUMMARIZED REQUIREMENTS

As mentioned before, the contents of requirements table in section 4.2 can be further combined and narrowed down to make more coherent and general requirements. This leads to the following collection of requirements that will be taken into account in the specification phase to make sure that the needs of the teachers are taken into account.

Requirements for the product to be designed
The application should run without bugs and errors.
The application should run on a tablet, the digital blackboard or a pc/laptop and not on an apple tv.
The application should bring an added value to the mathematics lesson and the students learning process.
The application should be geared to the students’ world and experiences.
The application should not add or replace the current curriculum, but support it.
The application should contribute to the independence of the student.
The application should not only check the answer of a solution, but also the way to this solution.
The application should be easy to understand and use.
The application should be intuitive and familiar to the user.

TABLE 4.3 - SUMMARIZED REQUIREMENTS

The organizational requirement was left out of the final list of requirements, because this requirement was obvious, but also hard to evaluate.

4.5.2 – USER REQUIREMENTS

In the second interview with the teachers some requirements that the application should fulfil were discussed. Therefore quotes from this interview will now be used to determine requirements that are important to the user. These requirements will also be taken into account in the specification

phase, in addition to the abovementioned requirements. In the table below the requirement is listed and the quotes from the interview that support this requirement.

Requirement	Supporting quotes
The application should not take up too much time within the lesson.	‘It should be easy and fast.’
	‘What seems ideal to me, is that they make a picture from their notebook of a regular homework exercise and that you get one overview, not that I have to go through sixteen files. That I can see in one glance what it is.’
	‘But if they have to send that to me, it already takes too long and it gives them the opportunity to copy each other.’
	‘I would prefer to do it at the beginning of the lesson and then work from there. Simply in one scheme.’
	‘Yes and I would like to use it, but I want everything in one file. Ten on one page or something, not thirty times opening another file.’
The application should not be used on the mobile phone of the students.	‘I would not let the students use their phone for the application.’
The application should give the students insight in the amount of points they score on a test exercise.	‘Showing a good and bad solution is interesting to me. So they can estimate the amount of points they score on a test.’
	‘Yes so they see, oh he had the answer right, but does not score any points. So they have the reflection on the amount of points scored.’
The application should help the students reflect on their own performance and those of others.	‘Exactly, it is not that I just want to see what went well and what not, you know that already, but that they can learn from each other.’
	‘Yes or that you can ask something is not right here, what is not right? More thorough thinking, I miss that quite a lot.’

TABLE 4.4 - USER REQUIREMENTS

CHAPTER 5 – SPECIFICATION

In the specification phase the final idea that was chosen in the ideation phase will be specified. This will be done by presenting use case scenarios, making design decisions with the teachers, performing requirements analysis and finally designing a functional architecture of the system.

5.1 – USE CASE SCENARIOS

In order to place the concept of the product in its final context, a use case scenario is written. This will help to understand how certain aspects of the product will have to function and how these functions should be executed.

5.1.1 - SCENARIO 1

Henk teaches mathematics to three first grade classes. He has been doing so for the last ten years and is therefore familiar with where the difficult points in the study material lay. However, every class is different, which means that he has to find the stronger and weaker students in every class, every year again. He likes to change his examples frequently in order to keep the lessons interesting and tailored to his students. Furthermore, he has realized that it is important to give direct feedback to his students for them to learn most efficiently from their mistakes. He also sees that the steps from problem to answer need to be taught thoroughly to the students every year, because they are not used to do this in primary school.

On Monday Henk teaches 1 havo/vwo class 3. As he walks around to check the homework he realizes that exercise 15 has been causing some difficulty for the students. He decides to use the application. He opens the application and selects 1 havo/vwo class 3. Then he selects the chapter they have been working on. In this chapter folder he adds a folder called 'exercise 15'. When he presses save, all the students in the class receive a notification on their iPad that they need to add their calculation of exercise 15 to the new folder. The students open the folder and see a timer that indicates how much time they have left to upload a picture. It says '2 minutes'. The students press the button that says 'add calculation'. The pressing of this button opens the camera of the iPad, which allows the students to take a picture of their calculation. Once the picture is taken and approved by the student, this picture is uploaded to the 'exercise 15' folder. Henk can see on his iPad, which students have added the picture and which have not. Once all the pictures are in and sorted nicely in an overview; Henk starts scrolling through the exercises to find a correct and an incorrect solution to use as examples for the class. He finds two that will work for his explanation and selects them to send them to the digital blackboard. On the blackboard the solutions appear. He asks the students 'Can you tell me which solution is correct?'. The solutions seem very similar at first glance, so the students have to think for a while. Then one student raises his hand and says 'The left one sir.' This is correct and Henk lets him explain why. The example shows that one small calculation mistake can change the entire answer of the problem.

5.1.2 - SCENARIO 2

Henk is checking the tests of 2 vwo class 2. When putting together the test that the students were going to make he made sure that the difficulty of the exercises gradually increased. Therefore it is no surprise to him that the last exercise proved to be difficult for a large percentage of the class. He decides that he needs to address this exercise in his next lesson with the class. He checks this exercise for every student and then sorts through the tests to find the best calculation and the calculation that is the most unclear. He finds two good examples and takes his iPad. He opens the

application and navigates first into the right class folder, the folder for the chapter of the test, and starts a new folder called 'test'. The students do not get notified to upload a picture, because Henk unchecks a box that says 'share with class'. Instead he presses the 'add solution' button and takes a picture of the two solutions to use as an example.

The next day he teaches 2 vwo class 2. As he starts the lesson, he opens the app again and presses the button to share the solutions to the digital blackboard. The solutions pop up on the blackboard and Henk can explain to the class how the exercise should be done.

5.1.3 - SCENARIO 3

Petra is ill at home. She is so quite often because she is highly susceptible to flu or cold. Her parents insist on her keeping up with her homework, so that she can still pass on to the next year. She is just having her late breakfast when she receives a notification on her iPad from her mathematics teacher asking if she could take a picture of exercise 31. She walks to her room and finds her notebook. She knows that this was homework for today so she finished the exercise yesterday. She takes the picture and goes back to her breakfast. About thirty minutes later she gets an email from her mathematics teacher.

Dear Petra,

Your solution to exercise 30 was almost correct. You still need to work on your second and third step. Please look at the example on page 51.

I hope to see you soon in class!

Kind regards,

Mr. Spaken

When Petra works on her homework that evening she flips to page 51 and looks at the example. She sees what she did wrong in her solution. She is glad mister Spaken emailed her, because this is also important to know for future exercises.

5.2 – DESIGN DECISIONS FOR THE GRAPHICAL USER INTERFACE

In order to design a user interface (UI) that suits the mathematics teachers best, designs for the application were produced. In these designs two aspects of the application were tested. Firstly the way of navigation through the application. Secondly the size at which the solutions of the students would be displayed within the application. These designs were gathered in a PowerPoint presentation to present to the teachers. After presenting the designs the following questions were asked:

- Which class overview do you find most pleasant?
- Which way of navigating through the application do you find most pleasant? (tabs or clicking through)
- Which way of displaying the solutions do you find most pleasant? (multiple options are also possible)

Two mathematics teachers of the Twents Carmel College participated in the answering of these questions.

5.2.1 - NAVIGATION

For the navigation two methods were designed. The first method is a method in which the teacher clicks through a set of options in order to reach the solutions of the students he or she is looking for. This option is displayed in appendix H.1. In the second method the teacher has all the options in one glance and has to select the options he or she is looking for to reach the right solutions. This option is displayed in appendix H.2. In both designs the teacher has the option to add a new folder to one of the categories by clicking the plus icon in or under the corresponding category.

When the teachers were asked which navigation method they preferred they both answered that they found the first method, clicking through the options, the most pleasant to work with.

As can be seen in appendix H.1, there are also two options for a class overview. These options correlate to the first question the teachers were asked. Both teachers found the first overview, the list with some extra information available, the most pleasant.

5.2.2 – SOLUTION REPRESENTATION

For the design of the solution representation three designs were made. These designs can be found in appendix I.1 through I.3. The difference between these designs is the size at which the solutions are presented. In design one the teacher can get a general look at how the solution was made up, but it is not possible to read exactly what the student has done. In design two the solutions are presented the smallest. The teacher can not get a global look at what the student has done, but only how many steps a student has made towards the answer. In design three the solutions are presented the largest. The teacher can see exactly, step by step, what a student has done to reach his final answer.

When the teachers were asked which representation they found most pleasant, both answered that they found option three, the large representation, the best. This representation can be seen in the image below.

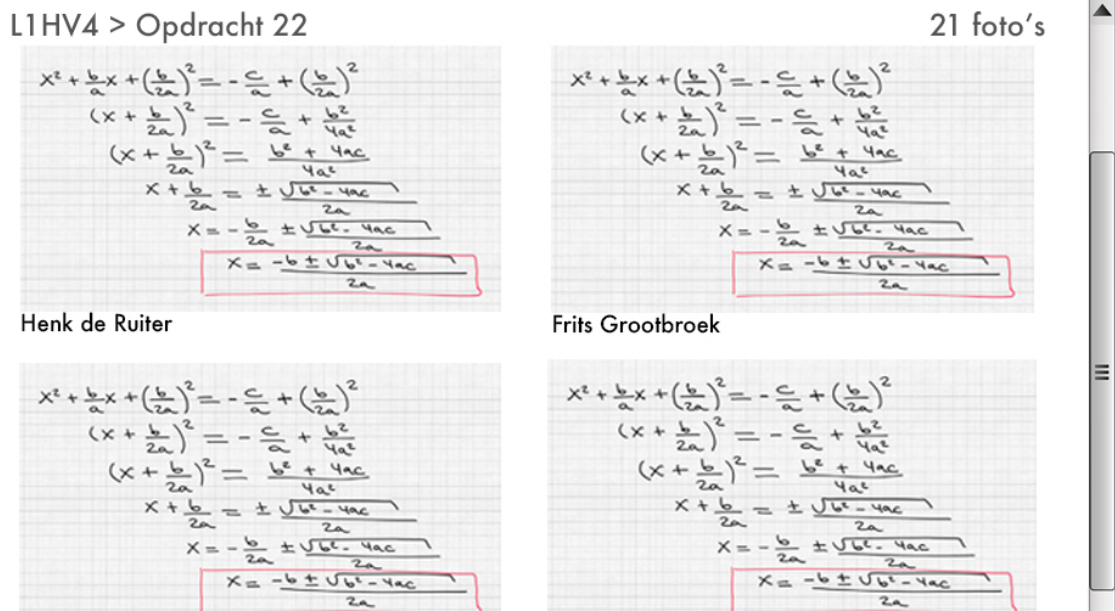


FIGURE 5.1 - CHOSEN DESIGN FOR SOLUTION REPRESENTATION

However one teacher commented that it would also be desirable to have the option to let the teacher choose how many solutions he or she would want to see depending on what the teacher was

looking for in an assignment. Therefore this option is something that needs to be explored in the realisation phase as well as the option to present all solutions largely.

5.3 – REQUIREMENTS ANALYSIS

For the requirements analysis the requirements from the first iteration of the ideation phase and the user requirements will be analysed using the MoSCoW analysis described in section 3.5.3. Furthermore, the requirements will also be divided into two categories, functional and non-functional requirements, according to section 3.5.2.

	Functional	Non-functional
Must have	The application must run on a tablet, the digital blackboard or a pc/laptop.	The application must not add or replace the current curriculum, but support it.
		The application must bring an added value to the mathematics lesson and the students learning process.
Should have	The application should run without bugs and errors.	The application should not take up too much time within the lesson.
	The application should not only check the answer of a solution, but also the way to this solution.	The application should help the students reflect on their own performance and those of others.
		The application should be easy and intuitive to understand and use.
Could have		The application should be geared to the student’s world and experiences.
		The application should contribute to the independence of the student.
		The application should give the students insight in the amount of points they score on a test exercise.
Won’t have	The application will not run on a Apple TV.	
	The application will not be used on the mobile phone of the students.	

TABLE 5.1 - SUMMARY OF SECOND REQUIREMENTS ANALYSIS

5.4 – FUNCTIONAL SYSTEM ARCHITECTURE

The system as it is described before has the following structure. In figure one the system on level 0 can be seen. On the left is a student displayed and on the right the teacher is pictured. The arrows show the inputs and the outputs of the system on the students and the teachers’ side. In this figure the process starts at the black arrow on the left with the teacher who sends in a request to see a solution. When the student receives the notification for this request the blue arrow start on the left. This blue arrow has two options for the output namely the overview of the solutions on the iPad of the teacher and the selected images that are shown on the digital blackboard.

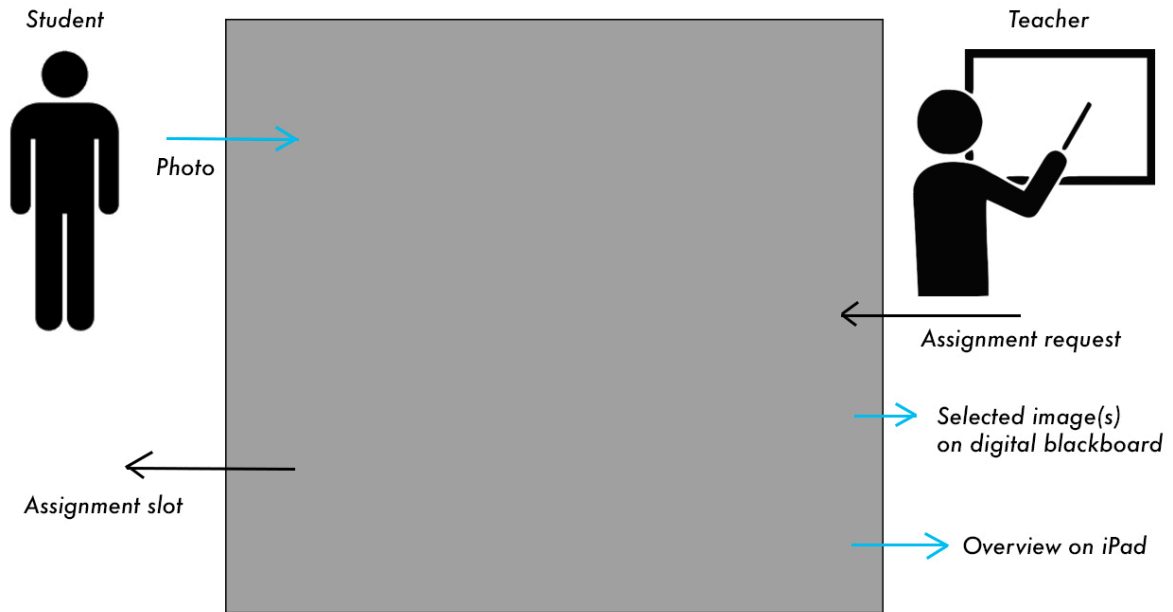


FIGURE 5.2 – FULL SYSTEM ARCHITECTURE ON LEVEL 0

The second figure shows more clearly what the in- and output of the system is and how the system processes this.

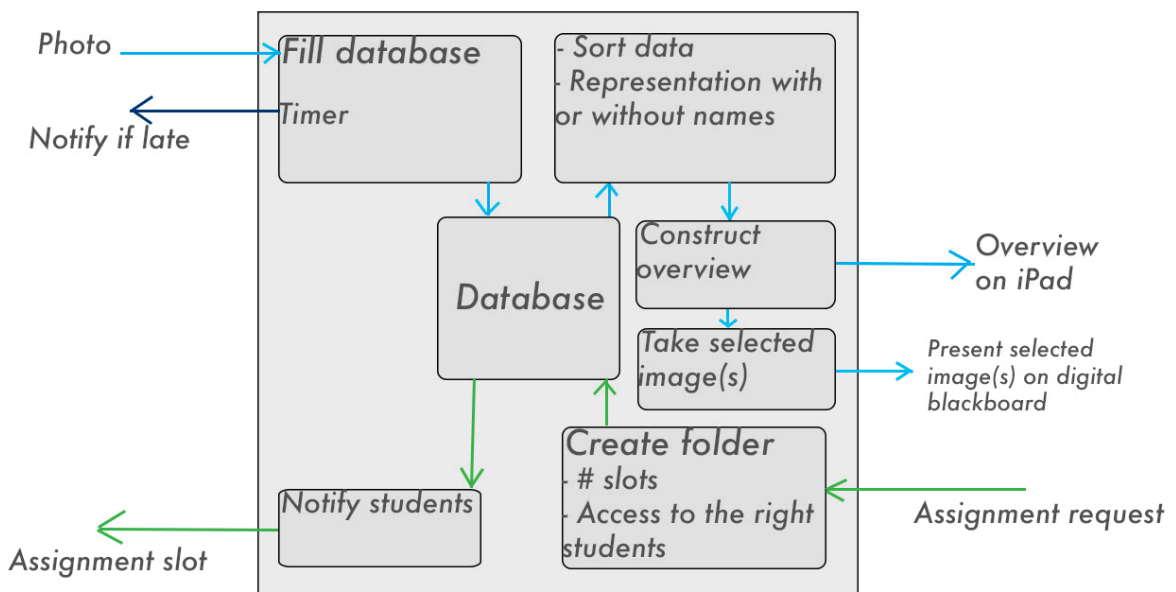


FIGURE 5.3 – DATABASE AND SYSTEM ARCHITECTURE ON LEVEL 1

The system starts on the right at the assignment request of the teacher. This request is initiated by creating a folder where the pictures of the students will eventually be stored. With this folder the number of slots, corresponding with the number of students in the class, is sent along. The students that are in this class will be granted access to this folder through their own application. The folder and corresponding variables is stored in the database. When the database receives the new folder, the students of the corresponding class are notified to send in an image in their personal slot. This

initiates the blue arrow. The students see a timer that indicates how much time they have left to hand in the image. When they are late, this is presented to them through another notification. When the students send in their image, this is sent to the database (filling databases). From the database the images are sorted and can be optionally presented with the name of the student along side it. This sorting constructs an overview of all the solutions, which is presented on the iPad of the teacher (overview on iPad). When the teacher selects one or multiple solutions, these can be sent to the digital blackboard to present to the entire class.

CHAPTER 6 – REALISATION

In this chapter the realization of the system described in the specification phase is documented. The system as described in the specification phase can be divided into three parts: the application for the teachers, the application for the students and a connection to the digital blackboard. Due to time constraints, it was not possible to realize all three parts in this project. Therefore it was chosen to focus the realization phase on the application for the teachers, since this is the binding factor between the students and the digital blackboard. In this chapter the way in which this application is made and the final result is discussed.

6.1 – THE REALISATION OF THE TEACHERS' APPLICATION

When designing the application the teachers were involved, which can be found in the specification phase. From the answers they gave to the design questions it could be concluded that the application should have a set of menus in which the teacher could select the options they were looking for. This meant that the selection of the class, chapter and exercise should all be displayed separately. It also became clear that the teachers would like the image to be displayed largely or at least have the option to display the solution largely. Therefore it was decided that the option to select an image to display it largely, would be explored in the realization phase.

Since most of the teachers also use the iPad and the state of the art research made clear that this device is a platform that could be further explored, the iPad was chosen to collect the images on for the teachers. The iPad also has the benefit that it has an intuitive design. The application for the teachers was realized in Xcode; a program that can create iOS applications, thus suitable for the iPad. The programming language that was used is swift, in combination with the storyboard function of Xcode. This allows the developer to drag and drop items for the application into 'views', which are the several menus or separate screens that the application consists of. Since the application needs to display the selection of class, chapter, exercise and solution separately, four views were created that each contained one of the menus. The class overview was presented in a table to resemble a list. The chapters and the exercises could be selected by pressing button like shapes. These views are displayed in figure 6.1, 6.2 and 6.3. These menus did not require much coding, but were mostly created in the drag and drop environment. The three main functions that were used were the 'button' the 'tableView' and the 'label. The latter was used to add text to the table and the buttons.

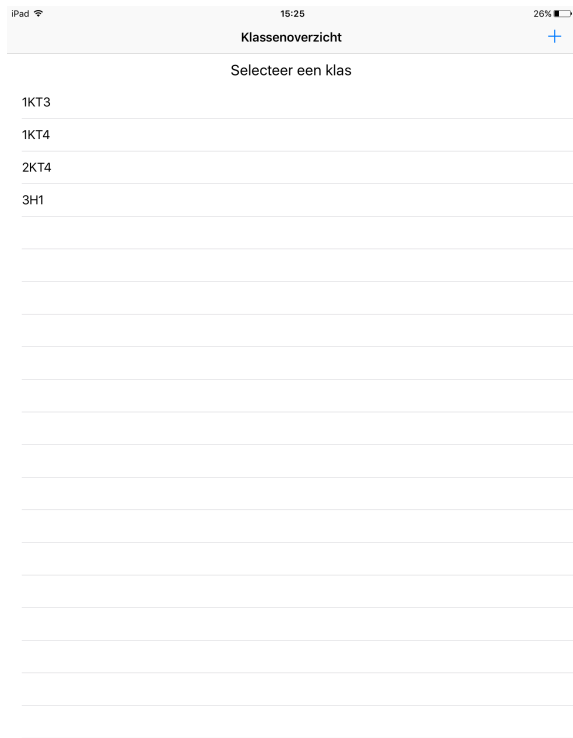


FIGURE 6.1 - CLASS OVERVIEW



FIGURE 6.2 - CHAPTER OVERVIEW

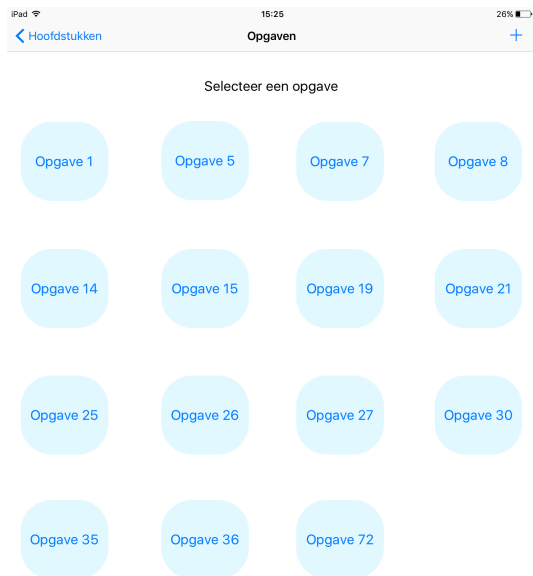


FIGURE 6.3 - EXERCISE OVERVIEW

6.2.1 – THE SOLUTION OVERVIEW

The solution overview was a more challenging task to complete, because it consists of multiple elements, whereas the other overviews only consist of one element (buttons or table). The overview of the solutions from the finished application can be seen in figure 4 below.

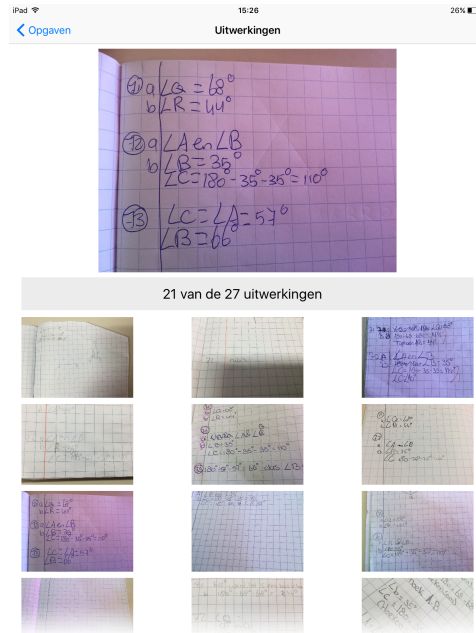


FIGURE 6.4 - SOLUTION OVERVIEW

The solution overview consists of a selected image view, a header and a collection view from top to bottom. The selected image view is connected to the collection view; when an image in the collection view is tapped, this image is displayed in the selected image view. The header in the middle shows how many images the class has handed in. In the example in figure 4 the header reads '21 of 27 solutions', which means that 21 of the 27 students have handed in their image in time. The three elements are connected through variables for the amount of students in the class and the amount of images found by the application. The amount of slots that are made in the collection view depends on the amount of students in the class and the amount of slots that is filled depends on the amount of images that are available. The code that connects all the menus and parts of the solution overview can be found in appendix J.

In the designs that were discussed with the teachers the names of the students were also connected to the images they handed in. In the realization of this prototype this part was left out, because this would further complicate the way the collection view was compiled. It is possible to add the name of the image underneath the solution, but this requires the students to change the name of the image they took to their own name. On top of that comes that the way the images are loaded into the collection view depends on name of the image. The names of the images have a number that counts up and this number is what the code for the collection view recognizes (IMG_000, IMG_001, etc.). If the names of the images would be changed to the names of the students, the way in which the images are loaded into the application would also have to change. Due to these two issues this part of the system was left out.

6.2.2 – THE TIME FACTOR IN THE EVALUATION

For the application to collect all the images from the students, it would have to connect to the Internet. However, due to time constraints within the project this functionality was not realized. This means that the images have to be collected and manually transferred to the application. For the images to be read by the application successfully, the names of the images have to be changed accordingly and loaded into the assets folder of the application. This takes some time, which needs to be taken into account during the evaluation. The time that transferring the images to the application takes needs to be communicated to the teachers and filled with another activity during the evaluation.

6.2 – DECOMPOSITION OF THE SYSTEM

As mentioned in the introduction of this chapter, the system as it was described in the specification phase could not be realized completely due to time constraints. However, for the evaluation it was important to test the functionality of the entire system. Therefore it was chosen to do this evaluation in a Wizard of Oz style. More on this method can be found in section 3.6 and chapter 7. What parts of the system were realized and what were not will be explained using figure 5.2.

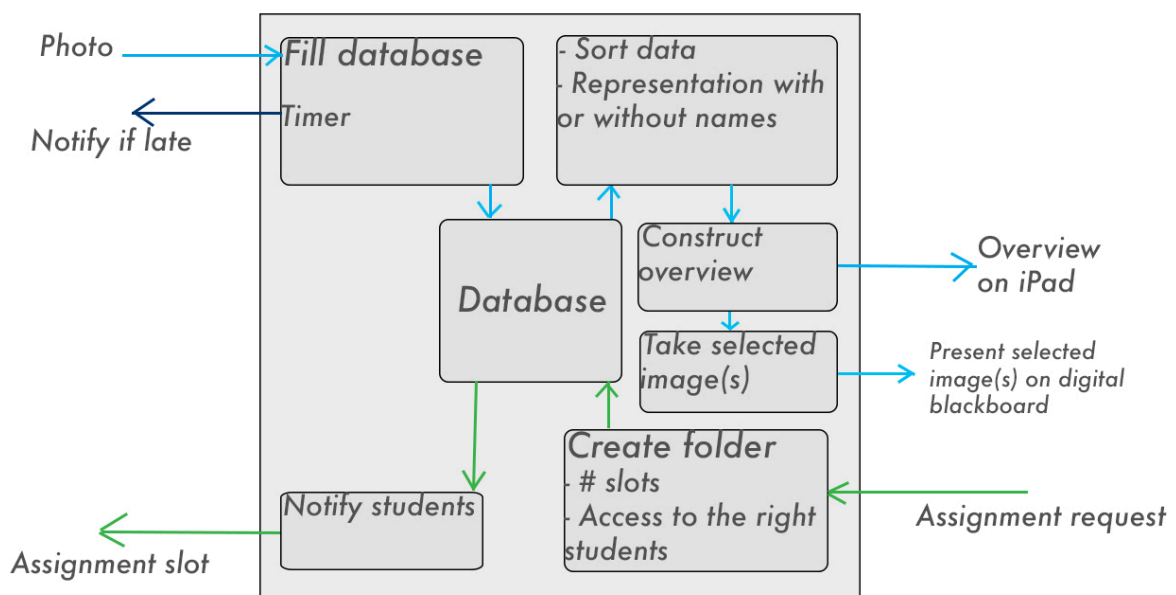


FIGURE 5.2 – DATABASE AND SYSTEM ARCHITECTURE ON LEVEL 1

The parts that were realized with the application that was made were the constructing of the overview and presenting the overview on the iPad. The folder for the assignment, the amount of slots and the storing of the images were manually done by the developer. It could be said that the developer played the role of database for the evaluation. The assignment request was verbally mentioned to the students and not through a notification on their personal devices. The collecting of the images was done through a folder on One Drive, which the students could access through a web link they received. The developer then downloaded these images, named and sorted them accordingly and uploaded the images in the Xcode project. This project would then be uploaded to the iPad and handed to the teacher. The connection to the digital blackboard to present the selected

images was not realized, however this changed in the evaluation phase, which can be read in section 7.3.

6.3 – EVALUATION OF THE FUNCTIONAL REQUIREMENTS

Now that the prototype is made, the functional requirements as defined in the specification phase can be evaluated. These requirements were:

1. The application **must** run on a tablet, the digital blackboard or a pc/laptop.
2. The application **should** run without bugs and errors.
3. The application **should** not only check the answer of a solution, but also the way to this solution.
4. The application **will not** run on an Apple TV.
5. The application **will not** be used on the mobile phone of the students.

The first requirement is fulfilled: the application is used on an iPad. The second requirement is also fulfilled. During the test runs of the application there were no problems regarding start-up time and navigating. The third requirement is also fulfilled, however not by the system but by the teacher. The application offers the ability to quickly check the answers of students in the class by the teacher. The application itself does not check the answers of the students. Lastly, the fourth and fifth requirements are also fulfilled, the application does not run on the Apple TV and as long as the developer does not make the application available for phones, the application cannot run on these devices.

It is important to note here is that these statements are true given the current state of the system. This means that they are fulfilled as long as the developer is part of the system to ensure that data is transferred accordingly. If the developer would be left out of the equation, the system would not fulfill all these requirements. This would require the entire system to be finished.

CHAPTER 7 – EVALUATION

In this chapter the evaluation of the application will be described. This evaluation consisted of three parts: the testing with students from Creative Technology, the observations within the classroom and the survey that was used to collect the experiences from the teachers. This chapter will conclude with some recommendations for future work and improvements based on the findings within this evaluation. To have a clear image on how the evaluation took place, this chapter will start with an overview on the structure of the evaluation.

7.1 – STRUCTURE OF THE EVALUATION

Firstly, the application was evaluated with a group of students from Creative Technology. The purpose of this was to test if the way of evaluating would work and to get a first opinion on the application before it was tested with the final user group.

The main evaluation of the application took place in two classes of the Twents Carmel College and was tested by two different teachers. The teachers were informed about the process of the evaluation beforehand via email. In this email they were also made aware that the product they would be working with was a prototype and was not yet fully functioning or a finished application. This meant that they would have a few minutes to fill within their lesson whilst waiting for the developer to prepare the application for them to use and experience. This waiting occurred due to a Wizard Of Oz scenario. The teacher would ask the class to take a picture with their iPad of a certain exercise she wanted to check and the class would hand in this picture via an OneDrive folder (the procedure of handing this picture in was explained to the class beforehand by the developer). When all pictures were handed in the developer would download all images, give them the right name and transport them into the application as mentioned in chapter 6. When the application was loaded to the iPad, the iPad would be handed over to the teacher to do whatever they would like with what they saw on the application.

During this process an observer was also present alongside the developer to take notes of important events that occurred during the evaluation process.

Afterwards the teachers were asked to fill in a survey. This survey contained questions about their experience with the application in order to evaluate if the non-functional requirements were met. The questions about functional requirements could be answered by observing the teacher with the application.

7.2 – TESTING WITH STUDENTS

Before testing the applications with the teachers, a small test with Creative Technology students was conducted. This test would tell how long the transferring of images would take and how clear the application would display the images of solutions. The test was conducted with 7 students. Since not all students have an iPad, the test was conducted using smartphones to upload the images to Google Drive.

Firstly, the students worked out an easy mathematics exercise that would require a number of steps to reach the answer. After they finished, the students took a picture of their solution and upload this to an appointed Google Drive folder, which they could access via a provided link. This showed some issues. It was not possible to upload a picture using an Android phone, because the browser did not redirect you to the Google Drive application on the phone where it was possible to upload the image. This did not happen on an iPhone so it was decided that the two people who did have an iPhone

would take the images and upload them to the folder. Once all the images were uploaded the developer downloaded the images and transferred them to the application. This took 6 minutes and 52 seconds, which fortunately was a manageable time that the teachers would be able to fill easily in the final evaluation. The iPad with the application was then put on the table and discussed. They found the way of navigating through the application fine, but did have some comments on the way the images of the solutions were displayed. The selected image could be much bigger and the collection of images could be two rows smaller. Furthermore, it was suggested to add a gradient at the bottom of the collection of images so it was clear that scrolling was possible and there was more to display. The size of the images in the collection was also good. One suggestion the students mentioned is that it would be nice to have a comment or edit system implemented in which the teachers could select an image and write or draw some feedback next to or on the image. If this image could then be saved and passed back to the student, this would give an extra layer to giving personalized feedback, because the students can also look back on this feedback after the lesson. This will be a recommendation for future work.

Because there were some issues with uploading the images to Google Drive, it was decided that in the tests with the teachers OneDrive would be used and that the way of uploading should be tested before hand. OneDrive was chosen, because the Twents Carmel College already uses this system so it would have a smaller chance of failing on this platform. With another student from Creative Technology the uploading to OneDrive was tested. During this testing it became clear that one first had to take a picture and then select this image in OneDrive to upload to the folder. This was therefore adopted in the instructions for the students during the tests at the Twents Carmel College. The students also indicated that the size of the selected image should be larger and the collection view of all the images could be smaller, so that the writing could be easily read in the selected image. This change was added for the evaluation with the teachers.

7.3 – OBSERVATIONS IN THE CLASSROOM

The notes corresponding to these observations can be found in appendix K.1 and K.2.

7.3.1 – LESSON 1

The first evaluation took place in a 1 havo/vwo class with 30 students, during their sixth period of the day.

Uploading the images

The students understand the instructions well, with a few exceptions, and start to take pictures of their solutions and uploading them to the OneDrive folder. The developer walked around to help out where necessary. A few questions arose, like why they have to do this and why it is not working. The first due to a lack of explanation in the beginning and the latter, because not everybody understood the website from One Drive correctly. When the students have uploaded their image they start working on their homework as the teacher has instructed them.

Transferring the images to the application

The students are working quietly whilst the images are transferred to the application. In the meantime, The teacher walks around to help out students with their homework and answer any questions.

Using the application

The teacher is first introduced to the application and gets an explanation on how to navigate the app. This becomes clear in a couple of seconds, but she does mention that it would be convenient if the names of the students would be presented underneath the picture, so she knows which solution

belongs to who. Furthermore, there is a misunderstanding about how the solutions can be presented. The teacher understood that she could display the images on the ActivBoard, but this was not yet implemented in the application. At this point some students mention that the Apple TV can be used to show the screen of the iPad on the digital blackboard. The teacher, developer and a student work together to start up the Apple TV and display the iPad on the screen. This is handled within a minute and the lesson continues with the teacher using the solutions as a guideline for her instruction. She asks if the students recognize their own handwriting to distinguish which solution belongs to who. She uses the first solution that comes up as an example for the rest of the class to show how the problem should be solved. She continues to show more solutions, but it turns out that some solutions are not visible enough for the entire class. This is partially, because the iPad does not fill the entire blackboard, but also because the selected image is not big enough. The students are interested in what the teacher is presenting, but especially students in the back of the class complain about the visibility of the solutions.

Second exercise

The teacher asks if it is possible to test another exercise and it is agreed to do so. Not all the students immediately respond to this request, but after a second time asking everybody uploads their second picture. This evaluation does not go over as smoothly in comparison with the first exercise. The students are very noisy and do not pay as much attention as they did with the first exercise. There is also a clear difference between the pictures that were taken. Not every student took a picture clearly above the paper, but some are at an angle and others are not in focus. The latter two do not help with displaying the images clearly. When the teacher talks to the developer, the iPad goes on standby and an airplay code is displayed on the blackboard. This interests the students and a lot of them try to connect their iPad to the Apple TV. The developer notices and turns off the Apple TV. This concludes the end of the lesson.

Remarks from the teacher

The teacher mentions in between helping students that she thinks the app is nice. She would like to see a more direct connection with the ActivBoard, because that gives her the option to write over it or next to it and would help her with a more detailed explanation of the exercise. Furthermore, she would like to see names with the solution. A small discussion follows on whether taking away the anonymity could have a negative consequence for trying to get your point about an exercise across. If the name would be displayed some students might be embarrassed to see their wrong solution on the screen. But if the name is not displayed students may spend more time trying to figure out who made the solution than paying attention to the explanation of the teacher. The conclusion on this topic was that it would depend on what you want to achieve with the explanation. For example, if you would like to see which students are sprinting ahead and which are left behind, a name would be necessary. But if you would like to present what type of solution is right and which is wrong, a name is not necessary.

7.3.2 – LESSON 2

The second evaluation took place in a 1 kader/theoretisch class with 27 students, during their seventh period of the day. In general the students in this class were noisier in comparison to the first class, because they came back from their physical exercise lesson. This meant that the lesson did not go as smoothly as it normally would.

Uploading the images

The developer talks about the application that was made and explains what the students should do to participate in the evaluation. There are multiple questions about how the uploading works, so the explanation time is increased in comparison to the first test. Furthermore, the questions are more

about practical matters such as should they first take a picture and then turn to the website or the other way around.

Transferring the images to the application

Whilst waiting for the application to be prepared, the teacher walks through exercises the students found difficult. This goes smoothly and the students pay attention.

Using the application

When the application is handed to the teacher the students become completely quiet and wait what will happen with their pictures. Also in this class the students in the back row struggle to see what is displayed on the blackboard due to the same reasons as mentioned in the observations of the first lesson. However, a large portion of the class does participate in discussing the exercises on the blackboard. The teacher pays attention to when a solution will receive points on the test and when it does not. In this class the students are very busy with trying to figure out which solution belongs to whom. They do this by pointing and whispering to each other. As the lesson progresses the students lose concentration and start doing other things on their iPad and talking with each other.

Remarks from the teacher

The teacher is enthusiastic about the application and likes that the app is very simple. She explicitly mentions that she would like to use the application again.

7.4 – SURVEY

After completing the test in the classroom the teachers were asked to fill in a survey about their experience with the application. The survey for the teachers consisted of 14 questions. Three general questions and 11 questions concerning their experience with the application. The questions of the survey and their answers can be found in appendix L.

The answers of both teachers are very similar and overall very positive. They score their general experience with the application a 4 out of 5 and would both use the application again in the future. Their final scores for the application are a 7 and a 9 out of 10. In their experience the students also responded well to the application and it helped them to give feedback to the students. The application also scored well on bringing insight to showing the progress of the students and having a smooth user experience. Lastly, both teachers stated that the application had an added value to their lesson. Both said that they could do a check of who did their homework well much faster and could show how to do the exercise correctly.

7.5 – EVALUATION OF THE REQUIREMENTS

In the realization phase the functional requirements were evaluated. The evaluation as described in this chapter confirms even more that these requirements have been met. The application was not used on the smartphones of students, only on their iPads, so this requirement has been met. Furthermore, the teachers said in the survey that they had a smooth experience with the survey and during the transfer of the images no abnormalities occurred, so the application ran without bugs or errors. The application focuses on the way students work out their solution, so the application helps the teacher to check the way to the answer, not just the answer. Therefore this requirement is also met, even though the checking of the exercise does not happen directly by the system but rather through the system. Lastly, the application ran on an iPad, but also on the Apple TV. This means that this requirement was only half met. However, the teachers did not have a problem with using the Apple TV in their lesson apart from that it displayed the iPad's screen quite small. However, in the final version of the application it was designed to have a connection to the ActivBoard in order for the teacher to display one solution largely on the screen. Displaying the teacher's app on the

blackboard would not be necessary anymore and therefore using the Apple TV would not be necessary.

After the evaluation it became clear that two functional requirements need to be added to the list. Firstly, the application should have the option to add names to the images. This would give the teacher the possibility to see which images belongs to who, but can also keep this anonymous. Secondly, the application must have a connection to the digital blackboard. From the interviews as well as the observations and the survey it became clear that the teachers really value this connection to the digital blackboard, because this is the foundation of giving class wide feedback.

In this section also the non-functional requirements will be evaluated.

The application must not add or replace the current curriculum, but support it.

This requirement has been fulfilled, because the system helps to improve an aspect of the current curriculum: giving feedback and checking the homework of the students.

The application must bring an added value to the mathematics lesson and the students learning process.

In the survey both teachers mentioned that the application gave an added value to their lesson. This added value was that they saved time checking the homework of the students and were able to give quick corrections and feedback to the entire class.

The application should not take up too much time within the lesson.

This requirement was not fulfilled unfortunately. Because the application is not in its final stage, the process of collecting and transporting the images still takes a long time. As was mentioned in the second interview with the teachers they would like for this to happen instantly.

The application should help the students reflect on their own performance and those of others.

This requirement was fulfilled with the help of the connection to the Apple TV. The teachers were able to present the solutions of the students to the class and thus helped the students to reflect on their own as well as other students' performances. This requirement also greatly relies on the way the teacher uses the application.

The application should be easy and intuitive to understand and use.

The teachers had no problem navigating and using the application so it can be concluded that it was easy to understand and use.

The application should be geared to the student's world and experiences.

This requirement was not specifically tested during this evaluation. However, the students' work was used as an example so this does play into their 'experiences', because they are looking at their own solutions.

The application should contribute to the independence of the student.

The 'could have' of contributing to the independence of the student was not tested during this evaluation, so there is no conclusion on this requirement.

The application should give the students insight in the amount of points they score on a test exercise.

One of the teachers elaborated on what solutions would score points on the test and which would not so the application did help students give insight to the amount of points they would score on a test.

CHAPTER 8 – CONCLUSION

During this project a product was designed that could be used in mathematics lessons in Dutch secondary education. This was done following the phases of the design process for Creative Technology[1]. This product became a system that consisted of two applications and a connection to the digital blackboard, with which teachers could collect and have insight in the solutions of the students. In this chapter the research questions as mentioned in the introduction will be answered. Firstly, the sub-questions will be answered in order to form a conclusion to answer the main research question.

8.1 - WHAT ARE EXISTING TECHNOLOGIES IN HIGH SCHOOLS?

In the state of the art research three technologies were discussed that were present in the Twents Carmel College. These were the desktop computers, the digital blackboard and the iPad. Furthermore, Apple TV's are also present in the school, but the teachers did not use these and they were not interested in this device. However, this technology turned out to be very valuable during the evaluation phase, because it gave the teachers the opportunity to present the students solutions on the digital blackboard.

8.2 - HOW CAN THE PRODUCT ADDRESS ALL LEARNING STYLES TO A LARGE EXTEND?

In the literature research it was found that two learning styles could be defined for learning mathematics: the inchworm and the grasshopper. The inchworm looks at a mathematical problem in terms of the steps he or she needs to do to solve the problem. Whereas the grasshopper can overlook a mathematical problem as a whole and combine techniques he or she learned to find a way to solve the problem.

The system that was designed caters to both these learning styles, because it gives the teacher the opportunity to differentiate between these two styles. For the grasshopper it may be a problem that the steps he or she writes down are not clear to understand for other people, or that he or she is missing some steps towards the answer. If this is the case this can be detected and corrected by the teacher using the application. The inchworm is very focused on the steps he or she takes and the teacher can check if these steps are correct using the application.

8.3 - WHAT ARE THE REQUIREMENTS FOR A PRODUCT THAT HAS ADDED VALUE OVER PEN AND PAPER METHODS?

During this project it became clear that the added value of a product to a lesson could come in many forms. For example, giving more insight in an underlying mathematical theory by adding an interactive factor or reducing time spent on checking tests by the teachers. For the application that was developed during this project it was that it was time saving within the lesson and that it gave the teachers the opportunity to give personal as well as class wide feedback. Furthermore, this system seamlessly merges the pen and paper method with the digital world. The requirements for this product were defined in the specification chapter.

8.4 - WHAT FUNCTIONALITIES DOES A PRODUCT HAVE THAT SUPPORTS TEACHERS AND STUDENTS IN THE PROCESS OF LEARNING MATHEMATICS?

One of the most important functionalities that came up during the interviews with the expert and teachers was giving direct feedback. This means that the student is notified of what went right and wrong during the solving of the problem as quickly as possible. This is possible when using the system designed in this project. If the teacher chooses to check an exercise that students have made during the lesson and discusses the results with individuals or the class, the student receives feedback on what he or she did within that lesson. The system also offers the possibility to give individual as well as group feedback and makes it easy to switch between these two.

8.5 WHAT SUBJECTS IN MATHEMATICS ARE SUITABLE FOR BEING SUPPORTED BY EXISTING TECHNOLOGY?

Within mathematics it is not possible to distinguish which subjects are suitable for being implemented in technology and which do not, because this depends on what kind of application you are making for which type of technology. Therefore this project was not focused on one particular subject within mathematics. However, the system designed in this project can be applied to any subject within mathematics, because it focuses on the way students work and not what subject is being addressed. This makes it a very versatile system. So versatile even, that it is not just usable within mathematics but also in other subjects. As long as the answer that the teacher is asking for can be captured in an image, the system can be used in any subject.

8.6 – MAIN RESEARCH QUESTION

The main research question to answer during this project was:

What product using existing technologies supports students in their process of learning mathematics in high schools in the Netherlands?

In the case of this project, the answer to this question is a system that offers the teachers the possibility to give individual as well as group or class feedback. This system contains three components: an application for the teachers, an application for the students and a connection to the digital blackboard. The teacher can request pictures of the solutions students have to certain exercises, which are presented in an overview for the teacher to examine. The teacher then has the option to present one or multiple solutions on the digital blackboard to discuss with the class. However, it is also possible to take the iPad and make a round through the classroom and address one student who needs a correction in their solution or who deserves a compliment for their good work. If the teacher uses this system to check the homework of the students, it also saves them time within the lesson to spend on more important matters than tediously walking around the classroom. Furthermore, the application also gives the opportunity for students who are ill at home to get feedback on their work. The student can also react to the notification of the application to send in a picture from their home. This means the teacher can see how the student's progress is and make contact with him or her if needed.

Since this system offers a wide range of possibilities and is purposely kept simple, it is not solely usable within mathematics. Teachers from other subjects can also benefit from this system. As long as the solution they are asking from their students can fit in a picture, the system can be used within other subjects as well.

8.7 – FUTURE WORK AND RECOMMENDATIONS

From the evaluation it can be concluded that though the application was pleasant and useful, it can still be improved upon. These improvements can be divided into minor and major improvements.

Major

It is recommended to look into the elements that are necessary for the system to be made into a finished product, ready to use in a lesson. For this the connection with the digital blackboard needs to be established. This would make the Apple TV unnecessary and add more functionality to the system, because the option to write on or over the solution is made possible. Furthermore, an application for the students needs to be made. When the system is finished, long-term research needs to be done to see if the teachers will be using the system again and again and not leave the product after a few times of usage. If this is the case, research needs to be done into why this happened and how the system can be improved to prevent this from happening. The second major improvement is adding the option of a commenting or editing option. This would enrich the application in terms of personal feedback. For example, when the teacher is scrolling through the images and finds an error in a solution, he or she can quickly underline or circle the problem and save this edit. The student would then see this when he or she looks back on the image and can improve the solution in their notebook. This does not cost the teacher a lot of time, but can be very valuable to the students. If the teacher feels that a solution requires a more elaborate form of feedback he or she can add a small text or description to the image, which can be read by the student afterwards. This improvement would need to be discussed with the teachers first to research if this is something they desire and would use.

Minor

The small improvements are to add names to the images, make the selected image at the top bigger and to reduce the time. To add names to the images the structure of the code would need to be altered such that the name of the student who uploaded the image could be deduced. This would require for the application system to be finished, because in the finished system the student also has its own application (not using One Drive or Google Drive) and it would be easier to attach names to the images. However, as was mentioned before in section 7.3.1 adding names or leaving them out both have positive and negative sides. Therefore it might be best to have a toggle switch that either adds the names to the images or it does not. This will give every teacher the option to choose for him- or herself if they would want to have the names with the images or not. Making the selected image bigger can be solved by finishing the application, because the need for the image to be bigger was so that it could be displayed on the digital blackboard better. In the finished system the possibility exists to put one of the solutions on the blackboard and display it as large as you would like. Finishing the system would also significantly reduce the time wasted within the lesson to gather and display all the images on the teacher's iPad.

From the evaluation it can be concluded that two main aspects are recommended to implement in future research: Finishing the system as designed in the specification phase and adding a feedback system which allows teachers to draw or type comments with the pictures. Further research needs to be done with the target user group to investigate if a toggle switch for the names is desired.

REFERENCES

- [1] A. Mader and W. Eggink, "A Design Process for Creative Technology," *Proc. 16th Int. Conf. Eng. Prod. Des. Educ. Univ. Twente*, no. September, pp. 1–6, 2014.
- [2] M. H. Ashcraft, "Math anxiety: Personal, educational, and cognitive consequences," *Curr. Dir. Psychol. Sci.*, vol. 11, no. 5, pp. 181–185, 2002.
- [3] S. N. S. Wahid, Y. Yusof, and M. R. Razak, "Math Anxiety among Students in Higher Education Level," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 123, pp. 232–237, 2014.
- [4] H. Crompton, "Mathematics in the Age of Technology: There Is a Place for Technology in the Mathematics Classroom," *J. Res. Cent. Educ. Technol.*, vol. 7, no. 1, pp. 54–66, 2011.
- [5] P. Clifford, S. Friesen, and J. Lock, "Coming to teach in the 21st century: A research study conducted by the Galileo Educational Network," no. December, 2013.
- [6] D. H. Jonassen, K. L. Peck, and B. G. Wilson, *Learning with technology: A constructivist perspective*, vol. 16, no. 1. 1999.
- [7] J. Keengwe, D. Pearson, and K. Smart, "Technology Integration: Mobile Devices (iPods), Constructivist Pedagogy, and Student Learning," *AACE J.*, vol. 17, pp. 333–346, 2009.
- [8] B. Gros, "Digital Games in Education : The Design of Games-Based Learning Environments," *J. Res. Technol. Educ.*, vol. 40, no. 1, pp. 23–38, 2007.
- [9] P. Drijvers, M. Doorman, P. Boon, H. Reed, and K. Gravemeijer, "The teacher and the tool: Instrumental orchestrations in the technology-rich mathematics classroom," *Educ. Stud. Math.*, vol. 75, no. 2, pp. 213–234, 2010.
- [10] P. Drijvers and B. Zwaneveld, "Van knoppen naar kennis," *Handb. Vakdidactiek Wiskd.*, pp. 1–34, 2008.
- [11] J. B. Bath, S. J. Chinn, and D. Knox, "Test of cognitive style in mathematics," 1986.
- [12] S. Chinn, "Learning styles and mathematics," in *Dyslexia: Succesful inclusion in the secondary school*, L. Peer and G. Reid, Eds. David Fulton Publishers, 2001.
- [13] J. Dunlosky, K. A. Rawson, E. J. Marsh, M. J. Nathan, and D. T. Willingham, "Improving students' learning with effective learning techniques: Promising directions from cognitive and educational psychology," *Psychol. Sci. Public Interes. Suppl.*, vol. 14, no. 1, pp. 4–58, 2013.
- [14] R. Marzano, *Classroom Instruction that works*. 2001.
- [15] "Apple's iPad." [Online]. Available: <https://www.apple.com/lae/ipad/>.
- [16] "Math Ninja." [Online]. Available: <https://itunes.apple.com/us/app/math-ninja-hd-free/id373814902?mt=8>.
- [17] "Rocket Math." [Online]. Available: <https://rocketmath.com/math-facts-games-app/>.
- [18] "Numblr." [Online]. Available: <https://itunes.apple.com/us/app/numbler-math-game/id569515022?mt=8>.
- [19] "DragonBox Algebra 12+." [Online]. Available: <https://itunes.apple.com/us/app/dragonbox->

- algebra-12/id634444186?mt=8.
- [20] “GeometriQ: Geometry picture game.” [Online]. Available: <https://itunes.apple.com/us/app/geometriq-geometry-picture-game/id551984696?mt=8>.
- [21] “FX Algebra Solver.” [Online]. Available: <https://itunes.apple.com/us/app/fx-algebra-solver/id562247345?mt=8>.
- [22] “Wolfram Alpha, the app.” [Online]. Available: <https://itunes.apple.com/us/app/wolframalpha/id334989259?mt=8>.
- [23] “Quick Graph.” [Online]. Available: <https://itunes.apple.com/us/app/quick-graph/id292412367?mt=8>.
- [24] “Pi Cubed.” [Online]. Available: <http://www.sunsetlakesoftware.com/picubed>.
- [25] “Geometry Pad.” [Online]. Available: <https://itunes.apple.com/us/app/geometry-pad/id517461177?mt=8>.
- [26] “Sketchpad Explorer.” [Online]. Available: <https://itunes.apple.com/us/app/sketchpad-explorer/id452811793?mt=8>.
- [27] “Algebra Touch.” [Online]. Available: <https://itunes.apple.com/us/app/algebra-touch/id384354262?mt=8>.
- [28] “Mathspace.” [Online]. Available: <https://itunes.apple.com/us/app/mathspace/id586612052?mt=8>.
- [29] “Promethean’s ActivBoard.” [Online]. Available: <https://www.prometheanworld.com/products/interactive-whiteboard-systems/>.
- [30] “Classflow.” [Online]. Available: <https://classflow.com/>.
- [31] “Digizoo.” [Online]. Available: <http://www.digizoo.com/>.
- [32] “GeoGebra.” [Online]. Available: <https://www.geogebra.org/>.
- [33] “Mathematica.” [Online]. Available: <https://www.wolfram.com/mathematica/>.
- [34] “Matlab.” [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>.
- [35] “Maple.” [Online]. Available: <http://www.maplesoft.com/products/maple/>.
- [36] J. C. Jones, *Design Methods*, vol. 1, no. August. 1992.
- [37] R. E. Freeman, *Strategic Management: A Stakeholder Approach*, vol. 1. 1984.
- [38] H. Sharp, a. Finkelstein, and G. Galal, “Stakeholder identification in the requirements engineering process,” *Proceedings. Tenth Int. Work. Database Expert Syst. Appl. DEXA 99*, pp. 1–5, 1999.
- [39] B. DiCicco-Bloom and B. F. Crabtree, “The qualitative research interview,” *Medical Education*, vol. 40, no. 4. pp. 314–321, 2006.
- [40] B. Bergvall-Kåreborn and A. Ståhlbröst, “User Expressions Translated into Requirements,” *Access*, vol. 6, no. 2, pp. 212–229, 2010.

- [41] K. Waters, "Prioritization using MoSCoW," pp. 1–5, 2009.
- [42] N. Dahlbäck, A. Jönsson, and L. Ahrenberg, "Wizard of Oz studies - why and how," *Knowledge-Based Syst.*, vol. 6, no. 4, pp. 258–266, 1993.
- [43] J. D. Gould, J. Conti, and T. Hovanyecz, "Composing letters with a simulated listening typewriter," *Commun. ACM*, vol. 26, no. April, pp. 295–308, 1983.
- [44] "Microsoft's PowerPoint." [Online]. Available: <https://products.office.com/en/powerpoint>.

APPENDICES

APPENDIX A – INTERVIEW WITH JAN VAN DER MEIJ

Interview met Jan van der Meij; Onderwijskundige

Locatie: Ravelijn, UT campus

J: wat wil je van mij weten?

T: Ik wil vooral je onderwijskundige kennis gebruiken. Ik heb een paar vragen geformuleerd die ik heb afgeleid uit een stukje van de schoolgids van het Twents Carmel College, Lyceumstraat:

*“Twents Carmel College heeft de afgelopen jaren flink **geïnvesteed** in een goede infrastructuur, om **eigentijds** onderwijs mogelijk te maken. Denk aan een snel draadloos netwerk, lokalen die zijn voorzien van beamers, digitale schoolborden, led-tv’s en Apple tv’s. Om onze leerlingen **optimaal voor te bereiden**, worden onze docenten steeds **geschoold** in ICT-vaardigheden en lesgeven met behulp van digitale leermiddelen.”*

Daar staat natuurlijk al een heleboel in. Mijn eerste vraag is wat is eigentijds onderwijs volgens jou?

J: Zoals zij hem invullen is het de ICT infrastructuur op orde brengen. Om zelf te definiëren wat eigentijds onderwijs is en wat ik daaronder versta vind ik wel heel moeilijk. Ik zou zeggen je moet aansluiten bij de beleefwereld van de leerlingen. Waar het volgens mij om gaat is dat je moet kijken, als het gaat om technologie maar ook in het algemeen, als ik lesgeef over een bepaald onderwerp wat is dan de beste manier om dat onderwerp te presenteren of om de leerlingen het zelf uit te laten zoeken. Soms werkt het prima om gewoon te vertellen en soms werkt het prima om een video te laten zien, soms kun je het de leerlingen zelf uit laten zoeken. Volgens mij moet je daar een balans in zien te vinden. Ik vind dat je de technologie, een smartboard een tablet of iets anders, daar moet inzetten waar je ook meerwaarde verwacht.

T: Ja, dus niet omdat het technologie is het gebruiken.

J: Precies. Alleen dat maakt het wel heel ingewikkeld, want wanneer voegt het nou iets toe? Ik denk dat het iets toevoegt als je iets gaat doen wat zonder technologie niet zou kunnen. Dus als je een video wilt laten zien heb je technologie nodig. Vroeger gebeurde dat met een tv, nu is dat simpel met een computer en een beamer. Ik denk ook, en dat kan zeker ook bij wiskunde, dat het wat toevoegt als je formules wilt laten zien; je wilt bijvoorbeeld laten zien wat een bepaalde variabele in een formule doet met een grafiek. Dat soort dingen, daar heeft technologie een meerwaarde, want je kunt gewoon de variabele veranderen en je ziet rechtstreeks de grafiek veranderen. Zo maak je het inzichtelijk en je visualiseert iets wat je normaal met een krijtje en een bord niet zou kunnen doen. Nou ja, tenzij je alle grafiekjes gaat tekenen, maar dan mist vaak direct de connectie. Of je zou het met verschillende kleurtjes moeten doen, maar dan is het toch lastiger om je daar iets bij voor te stellen. Ik heb zelf onderzoek gedaan naar technologie in het onderwijs, ik ben daar op gepromoveerd, en waar ik toen naar heb gekeken is naar computer simulaties. Dat vind ik nou echt een voorbeeld van iets wat je met pen en papier niet had kunnen doen. Je kunt heel makkelijk dynamische simulaties laten zien en die heb je bij wiskunde hartstikke veel. Daar heeft het dus een meerwaarde, en je noemde net ook al, als je een interactieve toets doet dan is technologie ook wel handig, want je voert iets in en je krijgt direct feedback. En daar heeft het ook meerwaarde, dus waar het kan directe feedback geven vind ik ook een meerwaarde van ICT. Dat kan ook van alles zijn, een digitale toets, maar ook een quizje met formatieve inhoud. En eigentijds onderwijs, ja natuurlijk is het eigentijds om zoveel mogelijk gebruik te maken van ICT, maar ik denk dat het belangrijker is om te kijken wat je doel is en wat de beste manier is om dit doel te bereiken. En als dat net zo goed op

papier ook kan als met ICT, dan is er niet perse een reden om ICT daarboven te kiezen. Maar in alle vakken zitten wel dynamische dingen of directe feedback, bijvoorbeeld bij talen kun je een woordtoets afnemen met directe feedback. Dus de leerling heeft dan direct zijn feedback en docent hoeft dan niet alles na te kijken. Dus bij alle vakken is wel iets te vinden waar technologie een meerwaarde kan hebben.

T: Ja en zo'n meerwaarde hoeft dan niet perse inhoudelijk te zijn, maar kan bijvoorbeeld ook tijdsparing zijn.

J: Ja je kunt directe feedback geven, maar dat kan over woordjes gaan of sommen dus dat is niet vak afhankelijk.

T: Er wordt beschreven dat ze hebben geïnvesteerd in een 'goede infrastructuur', vindt je dat goed? Is dat belangrijk om in te investeren? Zou je dat liever ergens anders zien? Zijn er andere aspecten waar je zou willen dat in geïnvesteerd wordt?

J: Ik vind dat goed, alleen dat is alleen maar een randvoorwaarde. Dus om te zeggen wij hebben innovatief onderwijs kijk maar we hebben geïnvesteerd in een goed Wi-Fi-netwerk, dat is een voorwaarde om dat voor elkaar te krijgen. Het is super belangrijk, omdat als je apparatuur niet op orde is mensen afhaken. En dat heb je bij ICT heel snel. Het zijn allemaal nieuwe dingen die ze moeten doen, die ook tijd en energie kosten en als iets technisch dan ook nog niet werkt haak je af. Dus het is een voorwaarde, maar het is niet de oplossing.

T: En hoe vind je dat het wordt overgedragen aan de docenten? Hoe wordt dat überhaupt geregeld? Wie bepaalt er wat er binnen komt? Wie bepaalt er wie het gebruikt?

J: Het technologie aanschaffen en aanbrengen gebeurt meestal van boven. Dat kost natuurlijk ook een flinke investering. Soms gebeurt dat samen met de docenten, vaak hebben scholen een soort ICT platformpje, het Twents Carmel heeft die bijvoorbeeld ook. Daar zitten docenten in, mensen van de directie maar ook een aantal experts van buiten, om te kijken wat is nou slim om te doen. Waar moeten we nu in investeren de komende jaren. De eerste voorwaarde is dan het Wi-Fi netwerk, want je wil gewoon alles draadloos hebben, want anders werkt het gewoon niet. En dan wordt er een besluit genomen over de leidende technologie en dat is echt een arbitraire keuze; gaan we voor iPads, laptops of chromebooks, of toch iets anders. Het is ook niet zo dat het een beter is dan het ander. Bij het Twents Carmel hebben ze dan gekozen voor iPads, ik ken ook scholen, het Erasmus bijvoorbeeld, die hebben weer gekozen voor computers. Maar goed dat wordt meestal daar besloten, en als het goed is worden docenten daar ook bij betrokken, maar dat is niet altijd zo en voor veel docenten komt het ook heel snel als een verassing. Zo van, opeens moest ik met een iPad gaan lesgeven. Een aantal scholen doen dat goed. Ik heb zelf een aantal jaren in een ICT platform gezeten als externe, dus ik weet een beetje hoe dat bij Twents Carmel ging. Bij sommige locaties werden docenten vanaf het begin heel goed meegenomen en op andere locaties helaas niet. Dus voor hen was het er opeens als het ware. Vaak is het op school wel zo dat een aantal docenten wordt gevraagd of ze er aan mee willen doen, dat gebeurt dan in een pilot fase. Zij kregen dan iPads en er werden ook een aantal iPad klassen gevormd, maar dan moest je je als docent ook inschrijven om aan zo'n klas les te geven. Dus dat is vrijwillig en ik denk dat dat goed is. Dan worden die docenten enthousiast en dan wordt de rest van de docenten nieuwsgierig om het ook te proberen. Maar er blijft altijd een groep docenten die zijn hakken in het zand zet. Maar beginnen met een klein clubje en met hen dingen uit proberen is goed. Die club moet dan wel goed ondersteunt worden en daar gaat het heel vaak mis. Want zij hebben daar tijd voor nodig en om hen die tijd te geven zou je ze eigenlijk wat minder lesgevendende taken moeten geven, zodat ze hier meer tijd in kunnen investeren. Maar dat gebeurt niet vaak, want dat kost gewoon geld. Veel scholen hebben wel een ICT coördinator die die tijd wel krijgt, maar ja die moet dan wel de andere docenten meenemen en ze vergeten wel eens dat die andere docenten ook extra tijd nodig hebben.

T: Wordt er ook nog iets in de trant van nascholing gedaan?

J: Ja dat gebeurt vaak op school. Veel scholen hebben een ICT coördinator en die verdiept zich in de technologie. Die krijgt ook meer tijd daarvoor en zit ook vaak in een overleg. Hij of zij rolt de technologie en kennis dan ook uit in de school en die verzorgt ook de nascholing. Soms doen ze dat zelf, soms worden er mensen van buiten bij gehaald. Wat je veel ziet is dat het aan het begin vooral een knoppen cursus is, wat op dat punt ook goed is, maar daarna moeten ze wel nog een heleboel dingen zelf uitzoeken. En als je dat leuk vindt en je vindt het interessant om veel dingen uit te proberen dan gaat dat ook goed, maar voor sommige docenten is dat dan toch nog te veel en die zijn dan ook moeilijk om mee te krijgen.

T: Het lijkt me ook lastig als je zo'n cursus geeft dat je mensen van allerlei verschillende vakken hebt. Dus dan kan je eigenlijk niet één programma voor iedereen maken, want voor elk vak zijn er andere software tools beschikbaar.

J: Ja, dus je zou het eigenlijk een beetje rond vaksecties moeten organiseren en daar binnen zijn dan nog weer grote verschillen in hoe vaardig zij zijn. Dat is best wel lastig. Omdat er een paar jaar geleden veel scholen met iPads begonnen hebben we hier in de regio een professionele leergemeenschap opgesteld rond iPads in het onderwijs. We begonnen met 24 mensen, een hele grote groep. Ik heb dat de eerste twee jaar begeleidt, dat was bovenschools dus voor allerlei scholen uit de regio. We hadden van elke locatie twee mensen gevraagd, zodat er binnen de school meer dan 1 persoon was die op de hoogte was. Ze konden elkaar helpen en er waren twee aanspreekpunten Samen moesten ze de kennis verder de school in brengen. Helaas lukte dat niet altijd en met het verschil in niveau was het ook best heel lastig. Wat we gedaan hebben is steeds 2 mensen de opdracht gegeven om een les waar ze ook maar iets met de iPad deden te filmen. We hebben studenten ingehuurd om die opnamen te maken. Het maakte niet uit wat het was, maar dat lieten ze dan aan elkaar zien. Dat hebben we het eerste halfjaar gedaan, gewoon dingen laten zien aan elkaar en dan daarover discussiëren. Vervolgens konden ze aan hun eigen lessen gaan werken en soms zag je tweetallen of drietallen ontstaan. We hadden dan twee zalen gereserveerd op de UT en dan konden ze gewoon aan het werk. Soms werd er ook iemand uitgenodigd die er iets over vertelde. Dat soort dingen werken wel, je zag wel dat de groep heel groot was met grote verschillen. Nu is het het laatste jaar dat het draait en ze willen graag door, maar ze zijn nog maar met 10 mensen. Omdat de groep nu kleiner is trekken ze veel meer samen op en wisselen ze meer uit ondanks dat het verschillende vakken zijn.

T: Oh dat is wel jammer. Hoe komt dat dan?

J: Allerlei redenen. Sommigen hadden het gevoel dat ze vooral veel aan het inbrengen waren en maar weinig konden halen. Soms was het zo dat de school niet faciliteerde. Ze konden in principe gratis mee doen, ze kregen er zelfs iets voor, maar ze moesten ook tijd van de school krijgen en het vergde een investering; ze deden mee aan een landelijk onderzoek en moesten zo nu en dan een vragen lijst invullen en in ieder geval bij de bijeenkomsten aanwezig zijn. Daar bovenop moesten ze nog tussendoor lesgeven, een verslagje maken dingen voor bereiden, dus we vroegen van mensen 60 uur op jaar basis. Sommige scholen zeiden ja dat moet je dan zelf maar zien in te delen, dus ja dan haken mensen ook af want dan voelen ze zich niet gesteund door de school. En soms ging het om een inhoudelijke reden, of dat iemand naar een andere school ging, van alles eigenlijk.

Zo'n professionele leergemeenschap kun je dus bovenschools doen, maar die zou je eigenlijk ook in de school moeten hebben. Maar dat geldt voor elke verandering of innovatie in de school; je wil eigenlijk proberen om met een aantal mensen in de school samen aan een project te werken. Daar moet je dan ook tijd voor hebben en dat inroosteren zodat je dat ook regelmatig doet, anders gebeurt het niet. Dat geldt dus ook voor ICT. Stel de wiskunde sectie op de lyceumstraat denkt 'He dat wat Tina doet vinden we eigenlijk wel heel interessant, daar willen we wel iets mee.' Dan zullen

ze ook echt samen een clubje moeten vormen om samen lessen te kunnen vormen omtrent jouw technologische oplossing. Dat vergt dus ook wel wat, zowel van de docenten als van hun leidinggevende; dat zij daar tijd voor krijgen.

T: Dus het ligt er vooral ook aan dat dit soort taken nog bovenop je normale bezigheden komen?

J: Ja en het zit ook wel in de taaksbeschrijving van een docent hoor, maar je moet het als het ware oormerken. Zo van jullie zitten in dit project, jullie komen elke maand of elke twee weken bij elkaar en dan hebben jullie deze opdracht en aan het eind van het jaar gaan we kijken hoe het ermee staat. Dus er moet vooral ook wat sturing opzitten. En daar heb je leidinggevendenden voor nodig die zeggen 'Ja dat is goed dat jullie dat doen en dat is ook in het belang van de school, dan willen we ook wel tijd voor je daarvoor inroosteren maar we verwachten ook wat van je.'

T: In het stukje uit de schoolgids staat ook "*Om onze leerlingen **optimaal voor te bereiden**, worden onze docenten steeds **geschoold** in ICT-vaardigheden en lesgeven met behulp van digitale leermiddelen.*" Hoe worden leerlingen überhaupt optimaal voorbereid op het hoger onderwijs? En welke rol heeft technologie daarin?

J: Puur kijkend naar de technologie moet dat gewoon een meerwaarde hebben en anders moet je het niet gebruiken. Als het simpeler of beter op een andere manier kan moet je dat ook doen.

T: Dus technologie is niet perse gerelateerd aan de beste voorbereiding voor het hoger onderwijs.

J: Ja en in het hoger onderwijs is dat precies zo. Dus ik vind niet dat scholen specifiek op dit onderwerp niet zo hoeven in te steken. Zeggen dat we technologie gebruiken omdat we de leerlingen zo optimaal voorbereiden op het hoger onderwijs ben ik het niet mee eens. Je moet inzetten op werkvormen en inhoud. Dat moet aansluiten op het hoger onderwijs. Je verwacht dat aan het einde van het voortgezet onderwijs de leerlingen geleerd hebben om zowel individueel als in groepen te werken als projecten te doen, oftewel dingen die ze in het hoger onderwijs ook gaan doen.

T: Oke, dus technologie heeft daar weinig mee te maken?

J: Nou ja dat heeft daar ook een rol in, want ze komen het daar ook weer tegen.

T: Ja dus dan kun je je afvragen welke rol technologie in het hoger onderwijs speelt.

J: Ja, wat is jouw eigen visie daarop?

T: Nou ja het valt natuurlijk wel op dat zodra je hier (UT) komt iedereen een laptop moet aanschaffen.

J: Gebruik je dat ook in colleges?

T: Ja, en dan wil ik ook zeker niet zeggen dat ik altijd de juiste dingen aan het doen ben, maar er wordt wel veel meer gebruik gemaakt van verschillende soorten software. Nu doe ik ook Creative Technology, dus dat is wellicht niet zo raar, maar dat had ik op de middelbare school nog nooit gedaan. Werken met wiskundige software, of software om dingen mee te ontwerpen dat had ik nooit gebruikt.

J: Ja dus in zoverre hangt het ook wel een beetje van je studie af. Want ja, als je onderwijskunde gaat studeren doe je dat een stuk minder. Dan heb je een tekstverwerker nodig en SPSS. Dus als je Creative Technology gaat studeren of Informatica, dan is het handig om alvast eens met die tools kennis te hebben gemaakt. Dus in die zin is het wel goed dat leerlingen eens een keer in aanraking

komen met programmeren en computer simulaties, maar dat zijn ook allemaal dingen waarbij ICT ook een meerwaarde heeft.

T: Als je dan kijkt naar wiskunde; ik heb op de middelbare school geen computer aangeraakt voor dat vak, maar hier gebruik ik allerlei software voor dingen als kansberekening, modeleren en nog veel meer. Zou die computer er dan wel meer bij betrokken moeten worden op de middelbare school?

J: Ja, dat denk ik wel.

T: Wat ik vermoed dat wiskunde docenten dan zullen zeggen is 'Je hebt een basis nodig van daadwerkelijke pen en papier kennis om x te doen met de computer.'

J: Ik denk dat je beide nodig hebt. Bijvoorbeeld om inzicht te krijgen in hoe dat gaat met grafieken en wat die verschillende variabelen doen. Natuurlijk moet je het met de hand uit kunnen rekenen. Een rekenmachine is een mooie tool bijvoorbeeld, maar je moet ook nog steeds iets met pen en papier kunnen uitrekenen. Ik ben daar wel voor, maar het is wel de combinatie van beiden. En niet alleen pen en papier want die technologie kan je wel heel erg helpen om meer inzichten te krijgen.

T: Ik heb ook een stuk gelezen voor mijn literatuur onderzoek dat heette: 'Rijk aan betekenis: visie op vernieuwend wiskundeonderwijs'. Daarin werd redelijk nadelig gesproken over de grafische rekenmachine. Er werd gezegd dat leerlingen niet meer goed weten wat ze aan het doen zijn als ze de rekenmachine gebruiken en of het nog wel een goed idee was als die gebruikt werd. Dat vond ik persoonlijk wel een beetje gek. Is dat niet juist een stap terug? Komt er dan nog iets voor in de plaats of gaan we terug naar alleen maar pen en papier? Want de enige technologie die ik heb gebruikt bij wiskunde is een grafische rekenmachine, dus de enige technologie die daar wordt gebruikt zouden we dan weer weg doen.

J: Ja, volgens mij moeten ze veel meer nadenken in de richting van wanneer gebruik je hem wel en wanneer gebruik je hem niet. Ik vind niet zo zeer dat het nadelig is, want het heeft zeker voordelen juist om dat inzicht te krijgen. Daarnaast moet je je wiskundeonderwijs wel zo inrichten dat leerlingen weten wat ze aan het doen zijn. Dus soms moeten ze dan inderdaad op papier maar eens een aantal puntjes zetten om een grafiek te tekenen. Zo krijgen ze een gevoel van wat dat eigenlijk is, want op een GR gebeurt dat automatisch. Het is niet het een of het ander.

T: Oke dan gaan we door naar een ander stukje uit de schoolgids, dat gaat over tablets. Daar staat dat de tablet de volgende voordelen heeft:

1. *Tijd- en plaatsonafhankelijk leren*
2. *Werken op eigen tempo en niveau*
3. *Afwisselende werkvormen en makkelijker differentiëren*
4. *Spelenderwijs leren*
5. *Gebruik van multimedia*
6. *Gebruiksvriendelijker ten opzichte van laptops*

J: De laatste twee ben ik het mee eens en de rest kun je absoluut niet relateren aan een iPad. Vul maar eens pen en papier in bij die andere punten dan zie je dat het daarmee ook kan. Dat zijn echt van die onzin kreten. Want al die andere punten hebben te maken met hoe je onderwijs geeft; werkvormen. Je kunt je hele onderwijs al flippen door te zeggen dat iemand een boek moet lezen voordat hij of zij naar de les komt en dan ga je vervolgens met de klas discussiëren over wat ze gelezen hebben en dat heeft helemaal niks met een iPad te maken. Ik denk dat pen en papier eigenlijk nog meer tijd en plaats onafhankelijk is dan pen en papier; je hebt er niet eens stroom voor nodig. Maar bijvoorbeeld als het gaat om communiceren met elkaar kan het wel een uitkomst bieden. Het gebeurt nog niet veel, maar een leerling kan bijvoorbeeld toch meedoen in de les als hij

of zij ziek is door via de iPad mee te doen. Voor overleg en dergelijken gebruiken wij ook steeds vaker skype. Maar vaak wil je toch ook die klassikale setting. Dus het is weer niet het een of het ander, maar het kan heel handig zijn. In het voortgezet wil je toch vaak de interactie tussen de leerlingen hebben en daar heb je niet perse een iPad voor nodig. Het is niet zo dat de iPad al die dingen mogelijk maakt, een aantal dingen natuurlijk wel maar dat ligt dan vooral op het multimedia vlak.

T: Oke dus eigenlijk is het zo dat de multimedia een aantal dingen makkelijker of meer toegankelijker maakt.

J: Ja, maar het is niet zo dat de iPad dat allemaal mogelijk maakt. Maar dat wist jij eigenlijk ook al!

T: Ja nu je het zo zegt denk ik zie ik wel dat dat eigenlijk zo is. Vooral het punt over afwisselende werkvormen en makkelijker differentiëren zag ik niet helemaal.

J: Ja, want nog steeds moet een docent bedenken hoe hij of zij dat gebruikt. Natuurlijk zijn er computers en software die dat automatisch kunnen en die hebben dan vooral te maken met die automatische feedback die direct een opdracht voor jou nakijken. Maar dat soort software is erg ingewikkeld en is er ook nog heel weinig.

T: Vind je dat er nog punten ontbreken aan zo'n lijstje met voordelen van een iPad? Dingen die wel werken?

J: Nou ik heb al een aantal punten genoemd, maar vooral de automatische feedback en de dynamische systemen visualiseren. Daar kan een iPad echt meerwaarde bieden.

Interview 1 omtrent technologie in het onderwijs

Aanwezigen: Mieke, Mart, Sanne, Miranda

Locatie: Twents Carmel College te Oldenzaal, Lyceumstraat

Tina: Ik wil jullie graag algemeen interviewen over wat jullie blik op onderwijs is, en wiskunde in het bijzonder, en welke rol technologie daar in heeft. Mijn eerste vraag is wat is eigentijds onderwijs volgens jullie?

Mart: Aansluitend bij de huidige leerling, zou ik zeggen. En de maatschappij natuurlijk.

Mieke: Wij zien natuurlijk wel een verschuiving in de leerlingen; de leerling van nu is echt wel anders dan die van 20 jaar geleden. Dus daar zal je wat mee moeten.

Mir: Omdat die leerlingen gelijk willen zien wat ze er mee kunnen. Vroeger was het gewoon wiskunde. Klaar. Dat ging je leren, en nu moet het een doel hebben en willen ze graag zien wat ze er mee kunnen.

Ma: Het is concreter geworden doordat de splitsing in A en B is gekomen. Daarvoor was het helemaal abstract. Het sprak de leerlingen weinig aan en er waren weinig toepassingen. En nu is het door de splitsing in wiskunde A en B, wat ook in de maatschappij gevraagd wordt, veel breder geworden.

T: Oke en dan nu een andere vraag, het zal later duidelijk worden waar dit naartoe leidt, waar zou je graag zien dat de school in investeert?

Mir: In tijd om te ontwikkelen. Qua bord gebruik, digitaal gebruik, dat soort zaken.

Mi: Ook wel een betere wifi en internetverbinding, want dat is nu wel lastig.

Ma: Ja dat is nodig als je goede ontwikkelingen in gang wilt zetten

Mi: Als ik een digitaal toetsje wil doen met de kinderen duurt het echt veel te lang voordat iedereen die toets op zijn iPad heeft. Maar ze zeggen dat ze daar mee bezig zijn. De wifi is wel echt een randvoorwaarde.

Mir: Maar ook in materiaal voor ons. We hebben computers die heel erg traag zijn. Als je ons een laptop geeft heb je dan ook niet dat je telkens opnieuw moet inloggen. Dat vind ik ook een randvoorwaarde.

Mi: Ja het opstarten duurt echt 5 minuten.

Mir: En dan ben je nog snel!

Ma: Ja het moet veel ruimer zijn in gebruiksmogelijkheden.

Mir: Maar ook daar zijn ze mee bezig.

Mi: En het digitale leer materiaal mag ook nog wel wat toegankelijker en beter. Wij waren toevallig vorige week bij een bijeenkomst van Getal en Ruimte. Wij verwachtten dat leerlingen de som opschrijven, de tussenstappen, al die denkstappen moeten op papier, want daar krijgen ze met het examen ook punten voor. En digitaal is toch antwoord goed, punt. Dus dat ligt nog niet in ons systeem. Tenzij de examens ook digitaal worden afgenomen. Dan is het weer prima, maar ja zolang dat nog niet zo is...

Mir: Nou ja dat zie ik nog niet zo snel gebeuren. Bij wiskunde is dat lastig, lijkt mij.

Mi: Ja dat klopt. Want dan moet je een grafiek op je computer maken en dan heb je leuk, een punt, twee punten en drie punten en hij maakt mooi een rechte lijn. Maar als je op je examen met pen en papier moet werken, dan moet je wel meer oefenen.

Mir: Ja de tussenstappen bij berekeningen, die mis ik nog echt.

(Sanne komt binnen)

T: En de volgende vraag, hoe worden leerlingen optimaal voorbereid op het hoger onderwijs?

Sanne: Een stukje zelfstandigheid denk ik. Ze moeten uiteindelijk toch zelf het spul voor elkaar hebben. Je leert het ze wel en we maken ook gebruik van huiswerk SO'tjes in de vierde klas, maar in de vijfde en zesde klas hoop je toch dat ze het zelf gaan oppakken. Dat is namelijk wel wat ze nodig hebben in het hoger onderwijs.

Ma: Ja dat stukje eigen verantwoordelijkheid moet ze hier eigenlijk al aangeleerd worden.

S: En daarnaast natuurlijk gewoon de stof. We laten de stof aansluiten op het hoger onderwijs

Ma: Om de zoveel jaar wordt het wiskundeonderwijs ook aangepast, afhankelijk van de vraag van het hoger onderwijs.

S: Het misschien nog wel leuk, als je kijkt naar 5 havo wiskunde B, heb ik nu een praktische opdracht in combinatie met het Saxion. Dan krijgen ze zeg maar de vakken, wiskunde nul heet dat, en dat krijgen ze op het Saxion dan ook weer. In eerste instantie kregen ze dan ook vrijstelling voor dat vak, dat is nu helaas niet meer zo. Maar ze krijgen eigenlijk gewoon het vak wiskunde nul. Om eens te kijken en te ervaren, hoe wordt er les gegeven op het Saxion.

Ma: En als ze nou naar een universiteit gaan, jij hebt ook calculus?

T: Ja.

Ma: Om daar al iets op voor te bereiden zou handig zijn, dan weten ze wat ze te wachten staat. Want ik weet niet of het nu helemaal aansluit. Daar heb ik weinig zicht op.

T: Ja ik had het hier ook met iemand van ELAN over en die zij dat het lastig is om op de middelbare school iets te maken wat voor iedereen aansluit op zijn of haar vervolg opleiding. Want ik doe nu een technische studie, maar dat is niet iedereen uit mijn klas gaan doen. Dus dat is lastig.

Mi: En leerlingen struikelen ook wel over het maken van digitale toetsen, wat ik zo om mij heen hoor. Bijvoorbeeld op het Saxion. Kinderen die gewoon stoppen met de studie, omdat ze de toetsen digitaal niet voor elkaar krijgen. Terwijl ze er van overtuigd zijn dat als ze de toetsen op papier zouden maken ze veel betere cijfers zouden halen. Dus dan lopen ze wel vast op dat de toetsen daar wel digitaal zijn en het examen hier met pen en papier wordt gedaan.

T: Ja mijn volgende vraag is, welke rol heeft technologie in het voorbereiden op het hoger onderwijs?

Mi: Ja het Saxion moet niet voorlopen, of wij moeten bij lopen een van de twee.

S: Het Saxion heeft wel hele mooie toetsen eigenlijk. Die genereert steeds voor iedereen een eigen toets. Hij kiest bijvoorbeeld uit 5 sommen over logaritmen voor iedereen een en voor een volgende

vraag is die verdeling weer anders. Die sommen kunnen ze thuis ook oefenen, maar daar zit dan ook weer een stukje zelfstandigheid.

Mi: En ook daar zullen ze zondermeer uitleg hebben, maar als jij niet naar die uitleg gaat en een dag voor de toets kom je erachter dat het eigenlijk allemaal niet lukt, dan ben je te laat.

Ma: Maar die toetsen van het Saxion, moeten ze die digitaal uitwerken of alleen op papier uitwerken?

S: Ze moeten het op papier uitwerken en dan het antwoord invullen.

T: En wordt die uitwerking dan ook meegenomen in de beoordeling?

S: Volgens mij niet. Volgens mij gaat dat programma puur over het invullen?

Mir: Waar wij op hameren, op die tussenstappen, doen ze daar niet meer.

S: Ja, maar dat is alleen bij wiskunde nul, bij wiskunde een is dat al weer anders. Het is vooral ook een stukje gemak voor de docent. Als je de meer technische vakken in gaat dan telt dat weer wel mee.

Ma: Ja daar ben ik er ook voor om het op papier uit te werken. Niet alleen een antwoord geven of multiple choice vragen.

Mir: Nee dat is alleen leuk om te kijken hoe ver ze zijn. Niet om nieuwe stof aan te leren.

S: Je ziet het nu ook bij de rekentoets, dat vinden de leerlingen ook niet altijd prettig. Het antwoord is alleen goed of fout.

Mir: Het zit hem ook in het oefenen, en dat doen ze vaak niet. Want tijdens het oefenen maken ze zichzelf er toch een beetje te makkelijk van af.

Mi: Maar bij digitaal heb je ook dat als je er per ongeluk een spatie voor zet dat het al fout is. Dus dat is lastig.

Mir: Maar ja, als jij oefent met rekenen op de digitale manier dan hoef je daar geen fouten in te maken. Er is zoveel oefenmateriaal beschikbaar.

T: Ja dat is misschien nog wel een groot struikelblok. Als je typefout maakt, dan wordt je antwoord gewoon fout gerekend.

Mi: Ja kleine letter, grote letter, dat soort dingen.

Mir: Ja maar daar heb je bij wiskunde dan wel het minst last van denk ik. Bij andere vakken is dat wel anders.

Mi: Ja bij ons op de toetsen krijg je halve puntjes aftrek voor een fout in een kleine of een hoofdletter of een rekenfoutje, maar bij een digitale toets is dat gewoon fout.

Mir: Maar goed het is vaak alleen maar getalletjes, dus we hebben daar eigenlijk geen last van.

T: Goed, ik heb dit allemaal gevraagd, omdat er in een stukje van de schoolgids het volgende staat: *“Twents Carmel College heeft de afgelopen jaren flink **geïnvesteerd** in een goede infrastructuur, om **eigentijds** onderwijs mogelijk te maken. Denk aan een snel draadloos netwerk, lokalen die zijn voorzien van beamers, digitale schoolborden, led-tv’s en Apple tv’s. Om onze leerlingen **optimaal voor te bereiden**, worden onze docenten steeds **geschoold** in ICT-vaardigheden en lesgeven met behulp van digitale leermiddelen.”*

Eensgezind: Ja dat klopt.

S: Er worden regelmatig cursussen aangeboden waar je je voor kunt inschrijven.

Mir: Ze lopen tegen dingen aan, als je kijkt waar we twee jaar geleden waren met de iPads, toen konden er nog niet eens twee inloggen en nu kan een hele klas al inloggen. We lopen nu nog steeds wel tegen nieuwe dingen aan, maar daar wordt nu wel aan gewerkt. Twee jaar terug was het echt nog veel beroerder.

Mi: Dat klopt er zit wel een enorme ontwikkeling in.

Mir: En als het goed is is volgend jaar doordat ze de 5G apart doen, is het nog weer veel beter (omtrent de Wi-Fi). Dus ze zijn er echt wel mee bezig, maar het is nog niet optimaal.

T: Oke en jullie zeiden al dat er wel cursussen worden aangeboden.

S: Ja we hebben een iPad cursus gehad.

T: En wat hebben jullie daar bij gedaan?

S: Je kon een basiscursus doen, en dan kon je vervolgens verder. Maar goed nu ben ik wel eigen met de iPad.

Mi: Ja ik vind Getal en Ruimte gewoon heel fijn. Die ontwikkelen natuurlijk ook enorm.

Ma: Een cursus toegespitst op je vak zou dan eigenlijk nog beter zijn.

Iedereen: Ja.

Mir: Ja dat hebben wij ook wel gehad voor de leermiddelen. Wij hebben afgelopen week wel uitleg gehad over de digitale leermiddelen. In Epen is over twee weken ook weer zo'n gebruikersbijeenkomst.

Mi: Probleem is ook bij Getal en Ruimte dat zij heel graag willen dat wij meedenken en dat wij onze feedback geven op de nieuwe twaalfde editie. Maar docenten hebben ook zoiets van 'Hallo, jullie zijn de uitgever. Het is jullie beroep, we gaan ook niet naast het lesgeven nog met jullie meedenken over hoe dat uitgevoerd moet worden.' En je kunt ons wel overal in betrekken, maar op een gegeven moment houdt het wel ergens op.

Ma: Je moet ook de faciliteiten krijgen van je werkgever om te investeren in vernieuwing. Die ruimte krijg je soms ook wel min of meer, maar dat betekent soms ook dat lessen uitvallen, en dat moet achterwege blijven. Je moet zodanig de ruimte krijgen dat de leerling daar niet de dupe van is en dat jij kan vernieuwen en kan bij blijven met de technologie.

S: Er zijn al zo veel dingen waardoor lessen uitvallen, heel veel kleine dingen waar je geen rekening mee kan houden. Laat staan dat als je je goed wil voorbereiden voor het hoger onderwijs, dan heb je die lessen gewoon nodig.

Ma: Het programma is zo overladen, dat je niet eens ziek durft te worden. Als je een week eruit bent moet je behoorlijk tempo gaan maken en dat gaat ten koste van de leerling natuurlijk. Die zal in die week zeer waarschijnlijk niks doen, en dat natuurlijk ook weer eigen verantwoordelijkheid maar zo is de praktijk.

T: En ligt dat dan meer aan het programma wat je wordt geacht door te nemen?

Ma: Ja, dat zijn overheidsmaatregelen. De school kan er in wezen ook niet veel aan doen, want dat kunnen ze niet financieren. Ze hebben ook maar een beperkt budget. De overheid moet meer faciliteiten geven aan onderwijs.

S: Maar ook andersom, stel het programma zou minder zijn krijg je ook minder lessen, want het blijft altijd een financiële kwestie.

Ma: Ja dat klopt.

S: Zo hadden wij een keertje dat we bij 6VA ruim in de stof zaten en 5VB minder, dat konden we alleen maar oplossen door dat uurtje van 6VA naar 5VB over te hevelen. Dan kost het de school eigenlijk niks.

Mi: Ja dat is jammer, het is altijd passen en meten.

T: Er wordt allemaal technologie in dat stukje genoemd: beamers, digitale schoolborden, LED tv's apple tv's. Welke gebruiken jullie?

Mi: Het digibord.

S: De apple tv eigenlijk niet. Ik heb bijna nooit filmpjes die ik wil laten zien en dat kan ik ook op het digibord, ik zie de meerwaarde van apple tv eigenlijk niet. Want op de iPad gebruik ik het internet en het boek en de rest kan ik op het digibord.

T: Met welke gedachte zijn die apple tv's erbij gehaald eigenlijk?

S: Weet ik eigenlijk niet zo goed.

Mi: Ik denk dat anderen ze wel gebruiken.

Mir: Ik kan mij er iets bij voorstellen dat je met de apple tv de leerlingen laat zien wat ze op het bord doen, maar goed dat is afgeschermd dus dat kan eigenlijk niet.

Ma: Je kan de stukken stof ook digitaal voor handen hebben. Als je er dan een keertje niet bent en je hebt dat al liggen, dan moet je een goede bibliotheek hebben, dan kunnen de leerlingen die les zelf eigenlijk opstarten. Dat zou de ideale situatie zijn.

Mi: Als ze ziek zijn geweest komen ze in de les en dan zeggen ze 'Zo, wat moet ik doen.' Nou ja je had al wat kunnen doen.

Mir: Ja inderdaad, het liefst vragen ze 'ik ben ziek geweest hoef ik dat dan niet te maken?'

Mi: Ja ze gaan gewoon dertig sommen verder weer door. Maar ze kunnen op internet heel veel uitleg krijgen.

S: Ja hun hersenen zijn gewoon nog niet zo gemaakt dat ze dat gaan doen.

T: Binnen wiskunde, hoe vinden jullie dat technologie geïmplementeerd is? Je noemde al Getal en Ruimte zijn er ook nog andere dingen die je gebruikt?

S: Ja ik verwijs ze naar de wiskundeacademie. Ik gebruik ook heel veel de uitwerkingen en de leerlingen ook. Bij rekenen gebruiken ze ook veel de digitale leermiddelen.

Mi: En Getal en Ruimte heeft ook de filmpjes van de wiskundeacademie geïntegreerd in de nieuwste methode.

Mir: In de onderbouw gebruiken wij eigenlijk alleen Getal en Ruimte.

Mi: En de iPads gebruiken de kinderen als boek. Daarbij valt me wel op dat als ze een keertje bij je komen en ze snappen een som niet, dan komen er continue berichtjes binnen op die iPad. Dus dat scherm is de hele dag bezig met allerlei berichtjes, ik zou daar zelf helemaal gek van worden. Maar als zij het uitzetten ben je natuurlijk het watje van de klas.

Mir: De school zou eigenlijk moeten investeren in Zulu desk, dan kun je bij iedere leerling zien wat er op dat scherm staat. Maar goed daar is weer geen geld voor en het zijn hun eigen iPads dus daar mag je dan ook weer niks mee eigenlijk. Maar daar zie ik wel veel mogelijkheden in.

S: Ik geef ook bijles aan een meisje en een jongetje en die nemen dan hun iPad mee voor rekenen, maar als ik kijk naar wat er in dat uurtje al binnen komt aan berichtjes dat is echt heel veel.

Mir: De Denekamp heeft Zulu desk en ik denk dat dat heel erg helpt.

Ma: Wat kun je daar precies mee?

Mir: Je kunt op je scherm alle iPads zien en ook gelijk blokkeren als dat nodig is.

Mi: Als ik soms de kinderen observeer dan zie je dat sommige leerlingen gewoon het hele lesuur geen pen vast hebben, want dan zitten ze zogenaamd theorie te lezen. Dat is helaas oncontroleerbaar.

Mir: Het is oncontroleerbaar, maar je hebt het wel snel door. Verder kun je er niet zo heel veel mee tenzij je er echt naast gaat zitten.

Mi: En ze werken thuis wel hoor, want ze hebben wel hun huiswerk af.

Mir: Ik zeg tegen sommige leerlingen nog wel eens dat ze hun boek moeten gaan gebruiken en niet de iPad. Dan ga ik wel terug in de tijd. Dan zijn ze achteraf nog blij ook.

Ma: Hebben ze ook boeken?

Mi: Ze hebben alles dubbel, de boeken en de iPad. Dat is het pakket, daar zit gewoon alles in.

T: Ik las in de schoolgids ook dat voor vwo-extra iedereen een iPad moet hebben, maar voor de andere klassen is dat niet verplicht. Zijn er dan in een klas met iPads ook kinderen zonder iPad?

Mi: Ja we hebben een iPad klas, daar kunnen kinderen voor kiezen als ze van de basisschool af komen. Dat levert ook al wat strijd op, want dan zijn er twee leerlingen uit de Lut en de een wordt wel ingeloot voor de iPad klas en de ander niet, dus dan worden ze direct al gesplitst en dat is soms best zuur. Je kunt er voor kiezen om allebei niet mee te loten en dan kom je in dezelfde klas, maar als je allebei wel meeloot kan het zijn dat je uit elkaar gaat. En we hebben dan een iPad klas en de vwo-extra is een verplichte iPad klas. En volgend jaar willen ze alle klassen iPad klassen maken.

Mir: Ja dat is nog niet definitief, maar dat is wel de bedoeling. Dat hangt ook af van het wifi netwerk. Als dat goed is gaat het door.

S: Dat is ook wel heel fijn voor de bovenbouw. Leerlingen in de bovenbouw hebben bijvoorbeeld alleen deel 3, maar deel 1 en 2 moeten ze wel bestuderen voor het examen maar dan digitaal. Maar dat zijn ze helemaal niet gewend, omdat ze dat nooit eerder gedaan hebben en dan wordt dat heel vervelend.

Mir: Maar de bovenbouw krijgt laptopklassen volgend jaar. Dus de bovenbouw gebruikt laptops en de onderbouw iPads en als zij dan naar de vierde gaan stappen ze over op een laptop.

T: Dus als de leerlingen een iPad hebben dan staan de boeken van de vorige jaren daar nog op, dus dan kunnen ze daar later nog in terug kijken.

T: Ik heb nog wel een vraag over de grafische rekenmachine. Ik heb een stuk gelezen waarin men zich afvroeg of die hele grafische rekenmachine wel een goed idee was. Wat vinden jullie daarvan?

S: Ik heb zelf eindexamen gedaan zonder grafische rekenmachine. Toen ben ik gezakt en het jaar daarna mocht ik wel de grafische rekenmachine gebruiken. Als ik daar naar terug kijk, zonder grafische rekenmachine had ik veel meer inzicht. Als ik de leerlingen uitleg hoe ze een maximum of minimum moeten berekenen dan moeten ze een schetsje maken om te laten zien of het om een maximum of een minimum gaat, maar ik moest zelf een getallenlijn maken en daarmee kon je heel makkelijk inzichtelijk laten zien of het om een min of een max ging. Maar ik denk wel dat je met een grafische rekenmachine veel meer kunt vragen over de functie en dat vind ik wel mooi. Want ze kunnen met de GR veel dingen uitrekenen en dat hoeven ze dan niet algebraïsch te doen, maar ze moeten wel weten wat ze moeten doen.

Mir: Is dat ook niet een verschil tussen A en B, dat je eerder zegt A met en B zonder?

Ma: Ik zou eerder zeggen B zonder grafische rekenmachine en A kan wel met, want dan moet je soms wat ingewikkeldere berekeningen uitvoeren.

S: En voor een wiskunde A leerling is het ook wel prettig dat je wat dingen kunt controleren. Daarvoor werkt het ook heel goed. Maar dan nog, ik zou het niet erg vinden als dat ding wordt afgeschaft.

T: Want je hebt meer inzicht zonder?

Ma: Het rekenwerk is eigenlijk gewoon belabberd in 6 vwo. De simpelste dingen worden al ingetoetst, je hoeft maar 2 keer 3 te zeggen en ze gaan al tikken bij wijze van spreken.

S: En hele simpele dingen met een deelstreep, ik noem maar iets, dan moeten ze iets uitrekenen met een functie met een deelstreep, maar als ze niet weten dat je de teller en de noemer even tussen haakjes moet zetten gaat alles fout. En er is geen mens die nadenkt 'oh dat kan niet kloppen, want de rekenmachine doet dat allemaal wel.' Ze denken iets makkelijker, als je dat weer zonder rekenmachine gaat doen is het gewoon punten invullen, tekenen en dat kost meer tijd, maar is wel inzichtelijker.

Ma: Je kunt minder, maar het inzicht is beter.

T: Ja, want als je het hebt over wiskunde specifieke technologie kom je toch vrij snel bij een grafische rekenmachine uit.

Ma: Als je de achtergrond goed beheerst is de grafische rekenmachine ideaal.

T: Ja het gaat dan vooral ook meer om de manier waarop hij wordt gebruikt, die moet worden aangepakt. Want ik zou het zonde vinden als zo iets weg gaat en er niks meer voor in de plaats komt.

Ma: Dat is zo, maar dat zijn ook de ontwikkelingen, daar moet je wel in mee gaan zonder het oudere overboord te gooien.

S: Ik had laatst nog iets, dat vond ik ook zo jammer. Ze hebben geleerd dat je met differentiëren de helling kan berekenen, maar in de toets had ik ook een functie gestopt die nog niet compleet was, maar ik had gewoon gegeven dat de helling $x=2$ was en ze gingen de gekste dingen doen met differentiëren. Terwijl ze die dus, omdat ze die niet konden differentiëren, met de optie dy/dx

moesten doen. Maar ze hebben het inzicht niet, dus ze weten eigenlijk ook niet dat ze die functie niet konden differentiëren. Toen dacht ik he, dat is ook een nadeel van de grafische rekenmachine.

Ma: Ja dat ze ook gewoon niet naar de tekst kijken. Als er staat 'los op' moet je een rekenmachine gebruiken, 'los algebraïsch op' dan moeten ze het handmatig doen en de uitkomst daarvan zou je eventueel in decimalen kunnen uitdrukken en met de rekenmachine uitrekenen. 'Los exact op' dan moet je de rekenmachine gewoon laten liggen. Die tekst, dat zien ze niet. Als er staat 'los op' dan hebben ze al gauw het idee dat het exact moet, maar dat hoeft dan niet. Daar wijs je ze dan op, maar dat dringt niet door.

S: Vooral bij wiskunde A is dat veel zo.

T: Ja de laatste vraag, wat vind je de grootste toegevoegde waarde voor technologie binnen wiskunde?

S: Ik denk dat het wel echt een toepassing is van de technologie, dat ik het boek digitaal heb, een plaatje eruit haal en erbij kan tekenen. Dat is mijn grootste meerwaarde, die plaatjes uit de boeken halen en dan op het digibord met mooie kleurtjes erbij kan tekenen. Maar ook dat als leerling nog niet bij die som waren en later wel, dat ik die dan terug kan halen en dat het niet uitgewist is.

Mir: En ook de tijd die je daardoor meer hebt in de les. Vroeger was ik een half uur bezig met een plaatje, maar nu staat het er vrijwel direct. Maar ook ruimtelijke tekeningen.

Mi: En de PowerPoints van de methode vind ik ook geweldig hoor. Als je die niet had was je heel veel drukker geweest om zelf die eerste les voor te bereiden. Zeker voor een beginnend docent is dat heel fijn.

Mir: En je hebt ook meer overzicht daardoor. Normaal was je aan het schrijven en nu klik je een keer en dan staat er weer wat nieuws.

Mi: Wij zijn dus ook bij Getal en Ruimte geweest en die hebben voor de twaalfde editie ook een soort adaptief systeem. Elke leerling begint op de iPad bij som 1, heb je alle antwoorden goed dan kun je wat versnellen, heb je alle antwoorden fout kun je wat herhalen. Maar die kunnen in ieder geval sneller door het hoofdstuk heen en die hoeven niet eindeloos al die sommetjes te maken die ze toch al wel kunnen. Of dat werkt weet ik dan nog niet.

S: In de bovenbouw heb je in het boek ook die testsommen, als je die t-som goed maakt mag je er een aantal overslaan.

Mir: Er zijn wel een aantal docenten die daar mee werken. Op het Canisius geloof ik een of twee.

S: Maar dan moet je vertrouwen op een leerling en dat kunnen ze niet dus dat durf ik dan niet los te laten.

Iedereen: Ja inderdaad.

Mi: Veel leerlingen zeggen wel eens 'Ik kan het al, mag ik al verder' ja eerst zien dan geloven.

S: Ja de leerlingen die het ook echt kunnen die doen het ook wel.

Mi: Ja die vragen het niet eens die hoeven niet te versnellen. Juist de leerlingen die in het midden of onderaan zitten, die juist die oefening nodig hebben willen versnellen.

T: Maar dan zou je dus kunnen zeggen dat zo'n adaptief systeem goed werkt als de sommen voor hun worden klaar gezet en er voor hun wordt bepaald of ze kunnen versnellen ja of nee.

Mir: Maar dan zit je met die tussenstappen.

Mi: Ja wij zijn altijd een beetje huiverig dan, want ze hebben ook gewoon hun antwoorden boekje. Dus als jij al je antwoorden overneemt uit het antwoordenboekje, dan kun je enorm versnellen. Dus dan ga je versnellen omdat de methode denkt dat jij alles goed doet.

Ma: Maar dan ben je ook aan het differentiëren in de klas. En dat is toch een lastig onderwerp voor docenten. Om die splitsing te kunnen aanbrengen tussen leerlingen die goed kunnen en vooruit kunnen, je wilt ook niet hebben dat ze te ver vooruit gaan lopen, en leerlingen die meer uitleg nodig hebben.

Mir: Die hele goede leerlingen vind ik dan nog minder moeilijk, maar juist de rest en die hele zwakken of de leerlingen die denken dat ze het wel kunnen, maar dat dat eigenlijk tegen valt.

Ma: Ja ze overschatten zichzelf ook vaak.

Mir: Je hebt er altijd wel een of twee bij die het heel goed doen en waarvan je vertrouwd dat het goed komt, maar de rest eigenlijk niet.

Mi: En versnellen willen ook al die zesjes jongens, want die hele goede vinden het soms wel prima zo. Maar die anderen wil je juist laten oefenen. Dat is lastig soms

T: Oke dat waren mijn vragen. Bedankt!

APPENDIX C – REQUIRMENTS ANALYSIS JAN VAN DER MEIJ

User expression	Value	Attribute(s)	Requirement(s)
'You should connect to the lives of the students.'	Connection	The study material connects to the life of the student.	The application should be able to relate to the students life.
'I think you should use [technology] where it has an added value.'	Added value ²	Technology should be used when it has an added value.	The application should evolve around a subject to which it brings an added value over pen and paper.
'I think [technology] has added value when you do something you can't do without technology.'	Added value	<i>Idem</i> ³	<i>Idem</i>
'Computer simulations are an example of something you can't do with pen and paper.'	Added value	<i>Idem</i>	<i>Idem</i>
'A calculator is a nice tool, but you should still be able to calculate something with pen and paper.'	Added value	<i>Idem</i>	<i>Idem</i>
'[Time and place independent, working at own pace and level, alternate method, easier to differentiate and playfully learning] are not aspects that are exclusively an advantage of iPads. If you fill in pen and paper there, it would still make sense.'	Added-value	<i>Idem</i>	<i>Idem</i>
'It is never a "one or the other" situation when it comes to technology and pen and paper.'	Added value	<i>Idem</i>	<i>Idem</i>
'...you fill something in and you directly get feedback.'	Direct feedback and added value	The student wants direct feedback.	The application should give direct feedback.

² In Dutch: meerwaarde

³ There where 'idem' is written, the same context as the cell above is meant

'... a good wi-fi-network is a boundary condition for [innovative education].'	Boundary condition	A proper functioning Wi-Fi network is a boundary condition for technology to function properly in the school.	If the application connects to the internet, it should do so without any issues.
'If your technology is not in check, [teachers] drop-out.'	Fail-proof technology	Technology should not show frequent errors.	The application should be free of bugs and errors.
'... sometimes it is forgotten that the other teachers also need extra time [to deepen themselves in the technology].'	Time	Technology should not take too much extra time to master.	The application should be easy to understand and use.
'After [the introductory course] they have to find out a lot of things [about the technology] by themselves.'	Time	<i>Idem</i>	<i>Idem</i>
'[If they like your application] they will have to form a group to collaboratively form lessons around your application.'	Time and collaboration	<i>Idem</i> Teachers would like to work together to make lessons around a new technology.	The application should not work against collaboration of teachers.
'You should organize your education in such a way that students know what they are doing.'	Beneficial for students	Lessons should be organized to benefit the students learning process.	The application should benefit the students learning process.
'[Multimedia use and better usability than laptops] are advantages of an iPad.'	Usability	The user prefers a tablet to a laptop for usability reasons.	The application should run on a tablet.
'[IPads] have added value for communication purposes.'	Communication	The user prefers a tablet for communication purposes.	<i>Idem.</i>

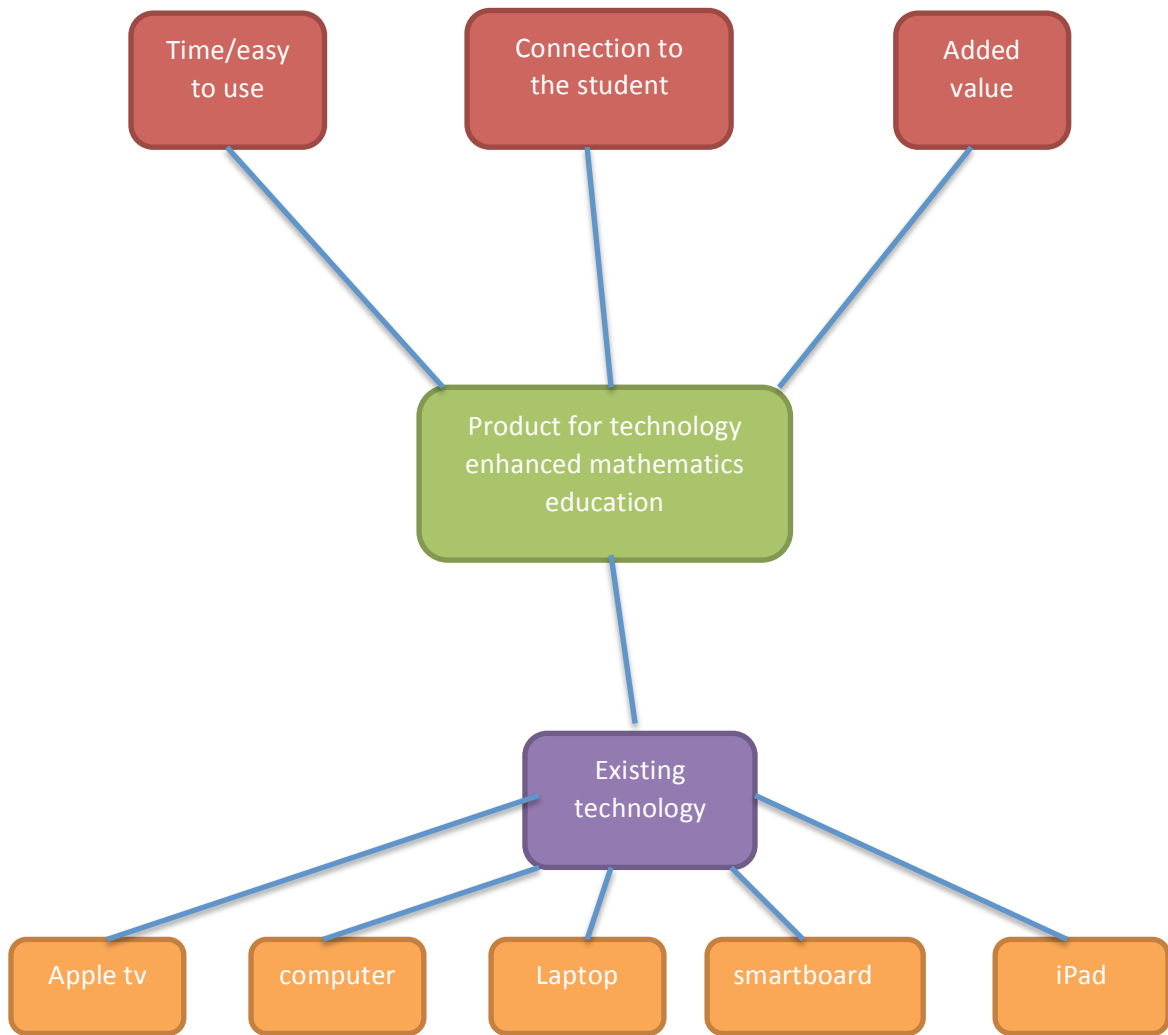
APPENDIX D – REQUIRMENTS ANALYSIS TEACHERS

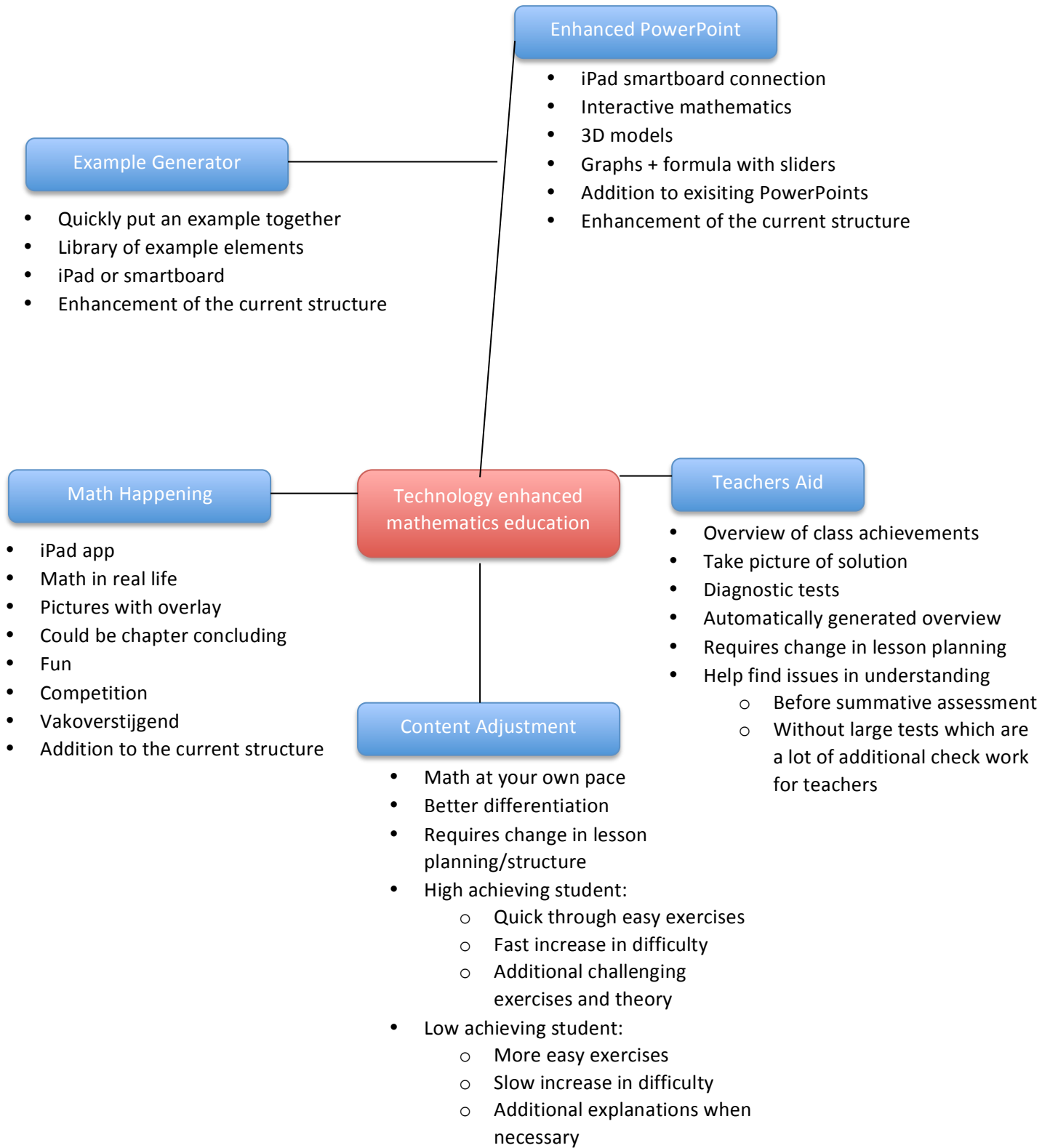
User expression	Value	Attribute(s)	Requirement(s)
'[Modern education] should connect to the modern student.'	Connection	The study material connects to the life of the student.	The application should speak to the student's lives.
'Students struggle with making digital tests.'	Connection	Students are familiar with making tests in a digital environment.	The application should be intuitive to use so students feel a sense of familiarity with the application.
'Students want to see immediately what the purpose of [a mathematical theorem] is.'	Purpose	Students want to know what the purpose of an activity is.	It should be clear what the purpose of the application is.
'[I would like the school to invest] in better Wi-Fi and internet.'	Boundary condition	A proper functioning Wi-Fi network is a boundary condition for technology to function properly in the school.	If the application makes use of a Wi-Fi connection this should go without any difficulty and should not overburden the Wi-Fi network.
'[Wi-Fi] is necessary if you want good developments to happen.'	Boundary condition	<i>Idem</i>	<i>Idem</i>
'The Wi-Fi truly is a boundary condition.'	Boundary condition	<i>Idem</i>	<i>Idem</i>
'If you give us a laptop, we won't have to login again in every room. That is also a boundary condition for me.'	Time and boundary condition	<i>Idem</i> Technology should not take too much extra time to master.	<i>Idem</i>
'You need to be facilitated by your employer to invest in renewal.'	Time	Technology should not take too much extra time to master.	The application should be easy to understand and use.
'The program is so full that you do not even dare to get ill.'	Time	<i>Idem</i>	<i>Idem</i>
'Even if the program would be less filled, you would get less hours, because it is still a financial question.'	Time and money	It is hard to shift aspects in the mathematics curriculum.	The application should not add to the curriculum, but support the current curriculum.
'Digital teaching aids	Accessibility	Teaching aids	It should be easy to access the

can also be more accessible and better.'		should be easily accessible.	application.
'Eventually students need to have their stuff together.'	Independence	Students need to learn independence.	The application should contribute to the independence of the student.
'Students can practice exercises at home. But that also takes into account their independence.'	Independence	<i>Idem</i>	<i>Idem</i>
'I am also for working out a problem on paper. Not just giving answers or multiple choice questions.'	Process	Students should understand and go through all the aspects of learning mathematics.	The application should include all the aspects of learning mathematics.
'We expect the students to write down the problem, the increments, all thoughts need to be on paper.'	Process	<i>Idem</i>	<i>Idem</i>
'[Students] love to ask, "I was ill, can I skip this?"'	Process	<i>Idem</i>	<i>Idem</i>
'[Students] constantly get messages on their iPad.'	Process	<i>Idem</i>	<i>Idem</i>
'The average students often want to accelerate whereas the excelling students don't really mind doing all the work.'	Process	<i>Idem</i>	<i>Idem</i>
'The calculations in year six are very bad.'	Process	<i>Idem</i>	The application should not disregard the calculating skills of the students.
'With digital [exercises] you have the problem that when there is a space in front of the answer it is marked wrong.'	Feedback	Feedback given by technology should be correct.	The application should give correct feedback.
'[I use] the digital school board [the most].'	Added value	The digital school board has added value to mathematics education.	The application should make use of the digital school board.
'The biggest added value for me is that I	Added value	<i>Idem</i>	<i>Idem</i>

can take pictures from the book and put them on the digital board and write and draw over that.'			
'[I don't use] the apple tv. I do not see the added value in that.'	Added value	Apple tv does not have added value to mathematics education.	The application should not make use of the apple tv.
'Sometimes when I observe the students you see that that some of them don't use a pen for the entire hour, because they tell you they are reading theory [on the iPad].'	Added value	The added value of an iPad can go down, because of the other applications available on the device.	The system should take the distractions of an iPad into account when running on this device.
'The first three years use iPads and the last three years use laptops.'	Added value	An iPad has more added value for the lower half of secondary education than a laptop, whereas it is the other way around for the upper half of secondary education.	If the application is meant for the first three years of secondary school it should run on an iPad. If the application is meant for the last three years of secondary school it should run on a laptop.
'[Students] can calculate a lot with their graphical calculator, but they also need to know what they need to do.'	Added value	The added value of a graphical calculator goes down when students insight in mathematical problems suffers under the use of this device.	The application should contribute to the mathematical insight of the students rather than distract from it.

APPENDIX E – MINDMAP 1





Interview omtrent brainstorm

Aanwezigen: Marc, Miranda, Mieke

Over content adjustment:

Ma: Net zoals smartrekenen?

Mi: Ik mis de berekeningen daarin. Bijvoorbeeld, het antwoord is 66, hij wil wel een berekening zien, maar dan kun je $6*11$ opschrijven of $61+5$. De ene heeft wat met de som te maken en de andere niet, maar het wordt wel allebei goed gerekend. Dus je wilt een berekening zien, maar eigenlijk gaat hij alleen van het antwoord uit. Dat miste ik heel erg, die berekening.

T: Ik ben wel benieuwd hoe je dat in je les zou toepassen, want dat vereist wel een nieuwe manier van lesgeven. Je kunt bijvoorbeeld niet zeggen, iedereen maakt 10 tot en met 15.

Mi: Nee precies, ik weet niet zo goed hoe ik dat zou toepassen. Bij rekenen doe ik het wel, maar bij rekenen is het anders, omdat dat geen nieuwe stof is. Iedereen gaat maar door.

T: Ik had dit idee ook nog niet verder uitgewerkt, omdat Getal En Ruimte hier ook al mee bezig is.

Mi: Wij gaan volgend jaar ook nog niet die methode gebruiken, omdat het nog nieuw is dus we willen eerst een kijken hoe dat gaat uitpakken.

Ma: Het idee erachter is natuurlijk heel erg mooi. Ik heb 1 jaartje, 1 lesje in de week met dat smartrekenen gewerkt, wat volgens dat systeem zou moeten werken. Dat programma, ja voordat je door had hoe dat precies werkte was je al een hele tijd verder. Maar ja het ligt mij gewoon niet. Aan de ene kant vind ik het echt heel mooi, aan de andere kant werkte het systeem zo dat de leerlingen allemaal zelf aan het werk gingen, iedereen werd gestuurd door dat programma. Daardoor kon ik niet zelf dingen duidelijk maken, hooguit een keer individueel. Ik kon net zo goed weglopen.

T: Ja want je uitleg is ook niet meer voor iedereen relevant.

Ma: Ik ben wel heel groot voorstander van juist niet iedereen te verplichten om altijd alles te maken. Als je mij gewoon kunt vertellen waar het over gaat, zeg ik hartstikke goed, prima. Ik zou het ook heel mooi vinden als een computer juist het systeem, de weg er naar toe kan begrijpen en controleren. Daar gaat het mij om. Dat is zo moeilijk om in een computerprogramma te verwerken. Dat zou de uitkomst zijn. En die uitkomst ja, iemand vergeet een keer een min om typt een punt in plaats van een komma, of een heel klein lullig dingetje onderweg.

T: Ja dan zou je iets moeten doen waarbij je verplicht iemand stap voor stap een antwoord te geven. En dan is er ook maar een antwoord goed per tussen stap.

Mi: Maar dat wil je ook niet altijd, want soms kun je via verschillende wegen bij het goede antwoord uitkomen, dus dat wordt echt heel lastig. Ik ben het helemaal er mee eens dat de leerling zelf zijn tempo kan bepalen, maar ik wil gewoon die berekening zien en ook in 1 oog opslag. Op de computer zie ik altijd alleen maar het antwoord. Het is echt veel gedoe om achter iemand zijn gedachtegang te komen.

Ma: Ja dat vind ik ook zo bij smartrekenen, voordat je erachter bent waar een leerling is en over welk parcours hij of zij daarheen is gekomen, dat is echt niet te doen.

Mi: Ik ben daarover enthousiast omdat het herhaling is en geen nieuwe stof, maar het vraagt heel veel.

Ma: Dus jij zegt nu na 3 jaar dat je enthousiast bent over dat programma?

Mi: Ja maar dus alleen omdat het herhaling is en geen nieuwe stof. Je moet wel heel anders lesgeven dan je gewend bent, want ik geef eigenlijk geen klassikaal les. Het voelt anders dan wij gewend zijn. Voor wiskunde zie ik dat nog niet.

Ma: Ja wat dat betreft heb je aan mij een hele slechte, want ik doe niks met die hele computer. Daar ben ik heel eerlijk in. Punt 1, dat kreng is zo gigantisch traag, daar heb ik geen zin om op te wachten. Punt 2, ik doe er eigenlijk niks mee in de les en toen ik aan een tweede klas vroeg of ze dat mistte, zeiden ze 'nee hoor'. Dus ik ben nog niet overtuigd dat het mijn les zo veel extra's biedt. Voor andere vakken vind ik het prachtig. Hans vroeg bijvoorbeeld een keer aan mij 'Wat kan ik nou doen met die computer.' Nou zei ik laat ze hetzelfde artikel van een dag uit de Telegraaf en de Volkskrant lezen en dan kun je daar fantastisch mooie dingen mee doen. Maar voor wiskunde zie ik niet zo veel mogelijkheden.

Mi: Nou ik vind wel dat als ik met het digibord werk dat het mij tijd scheelt. En ik sta minder met mijn rug naar de klas toe. Dus in dat opzicht zie ik wel meerwaarde in.

Ma: Weet je wat ik mooi zou vinden, dat ik op een blaadje aan het bureau kan schrijven en dat dan op het bord geprojecteerd wordt.

T: Een overhead projector?

Ma: Ja maar dan net iets anders.

Mi: Ja die zijn er wel.

T: Het moet dus wel toegevoegde waarde hebben. Het heeft geen zin om iets te doen met technologie als het net zo makkelijk met de hand kan.

Ma: Ja anderen gebruiken ook de wiskundeacademie.

Mi: Ja maar dat vind ik meer voor thuis.

Ma: Ja dat vind ik ook. Ik kan vragen aan de leerlingen stellen, maar dat kan hij in dat flimpje niet doen. Ik heb gezegd dat ik alleen zo'n bord wou als hij goed werkte en dat doet hij ook, alleen de computer is heel traag. En verder ja, ben ik er niet heel actief mee, dus ik vraag me af of ik je wel kan helpen.

T: Nou ja het lijkt me leuk om je te overtuigen.

Ma: Graag! Daarom zit ik hier!

T: Wat mij wel heel mooi lijkt, en wat ik zelf ook graag had gehad als leerling, is dat ik zelf kan prutsen met de visuele dingen. En dan denk ik eigenlijk meteen aan een grafiek waarbij je van een formule de waarde kan veranderen en dat de grafiek dan mee verandert.

Ma: Ja dat zou je bij gonio heel duidelijk kunnen gebruiken.

T: Ja toen ik dat zelf deed zat ik op de grafische rekenmachine zelf een getalletje in de formule telkens te veranderen om te kijken wat dat deed met de grafiek. En dan nog kan je de plank mis slaan als je denkt dat er iets gaat gebeuren, maar dat is niet zo.

Mi: Ja dat kan ook interessant zijn voor 3D figuren.

T: Ja of de plattegrond van een 3D figuur.

Mi: Bij negatieve getallen gebruik ik wel de iPad. Op de iPad zien ze toch gelijk als ze het fout hebben gedaan. Maar het toch nog voornamelijk een boek achter glas.

Ma: Heeft dat te maken met dat de methode daar te weinig voor biedt?

Mi: Ook, maar ook dat ze toch die berekening moeten opschrijven. Het kan niet allemaal digitaal. Alleen antwoorden, dat wil ik niet, dus werken ze ook in hun schrift. Maar een hoofdstuk als negatieve getallen, dan vind ik het wel mooi. Bij $-2 \text{ min } 3$ ja dan hoef ik geen tussenstappen te zien, dus dan is het heel handig. Maar dat is dan geen meerwaarde, ik doe dat alleen omdat het een iPad klas is, het is hooguit een variatie. Een afwisseling voor de leerling, niet voor mij.

T: Over die berekening trouwens, daar had ik ook nog over nagedacht. Want dat is eigenlijk het grootste probleem met technologie en wiskunde. Ik had iets bedacht waarbij je snel een soort overzicht krijgt van hoe het gaat met de klas, dus dan heb je niet perse een heel SO'tje nodig dat je helemaal moet nakijken. Daarbij maken ze aan het einde van de paragraaf een paar vragen op de iPad, dus dat is dan alleen met het antwoord, maar dat ze ook een foto van de berekening maken. En dan kun je snel zien hoe het met de klas gaat qua berekening, want dan heb je al die fotootjes die je snel kunt doorbladeren.

Mi: Dat is wel mooi ja

Ma: Maar die fotootjes krijg je dan als een bestandje opgeleverd?

T: Ja dus hoe dat er dan voor jou uit zou zien is bijvoorbeeld een lijstje met de leerlingen en een grafiekje met hoe goed het gaat in de toetsjes en daarbij kan je dan ook kijken hoe het met de berekeningen gaat.

Mi: Wat mij eigenlijk ideaal lijkt, is een foto uit je schrift van een gewone huiswerksom en dat je dat in 1 overzicht hebt, en niet dat ik 16 bestandjes door moet. Dat ik in een oogopslag zie wat het is. Daar kan ik mij wel bij voorstellen dat ik daar wat aan zou hebben.

T: Ja hoe ik het voor me zag is dat je in 1 oogopslag ziet hoe het met die berekeningen gaat en dat je dan de volgende les kunt uitleggen waar het bij de meesten fout ging. Bijvoorbeeld je zegt dat iedereen een foto moet maken van som 20 en je ziet dat bij 50 procent de berekening de mist in gaat dan kun je dat de volgende les bespreken en kun je het probleem wat directer aanpakken.

Mi: Ja, maar na een langere tijd lesgeven weet je ook wel waar het het meeste fout gaat.

T: Ja dat is waar.

Ma: Je kan wel persoonlijker lesgeven.

Mi: Ja nou precies, dat ik kan zeggen die helpt doet mee, die helpt niet. Dat zou ik wel leuk vinden.

Ma: Je weet ook precies wie je er uit kan pikken. Zoals vanochtend bijvoorbeeld, zit ik met een 4 vwo klas. Geïnterviewd welke sommen van het huiswerk lastig zijn en voor welke leerlingen, als dat er 4 zijn kan ik dat makkelijk in een groepje bespreken. Nou het volgende groepje had er ook problemen mee en toen dacht ik, het kan niet zo zijn dat de rest van de club die som wel goed had. Dus als je dan zo'n overzichtje hebt zou je meteen een aantal mensen kunnen aanwijzen die die som moeten gaan voordoen. Dat zou ik dan graag willen zien. Je zou ook al rondlopend dat kunnen doen, maar dat kost wel meer tijd.

Mi: Ja en dan moet het niet te lang duren voordat het is opgestart, want dat kost ook weer veel tijd.

T: Ja idealiter zou het een soort plugin voor SOM zijn. Dat als je daar op je klas klikt, dat je dan automatisch die grafiekjes en die fotootjes krijgt.

Mi: Ja met dat idee zou ik wel wat kunnen. Maar het moet wel makkelijk en snel zijn.

Ma: Het punt is namelijk wel dat leerlingen zo bij de uitwerkingen komen, dus als jij een van te voren aangeeft, maak een fotootje van je uitwerkingen en stuur het op dan weet ik al hoe laat het is.

T: Ja ik snap wat je bedoelt. Dat zou je misschien kunnen oplossen door zelf sommetjes in het programmatje te zetten, zodat ze geen antwoorden kunnen opzoeken.

Mi: Maar dan heb je een soort SO idee. Ik wil het zelf eigenlijk aan het begin van de les kunnen doen dat ik dan zeg, maak nu een foto van deze som en dat ik gelijk kan kijken hoe die is gemaakt.

Ma: Dan moet je dus wel een klas met iPads hebben, want die hebben we niet in de bovenbouw.

Mi: Nee inderdaad, alleen in een iPad klas. Ik zou het niet de leerlingen met hun telefoon laten doen. Maar dat lijkt me wel interessant, dat ik het meteen aan het begin van de les kan inzetten.

Ma: Dus als ik zo jouw verhaal begrijp zijn die iPads er steeds meer aan het in groeien.

Mi: Ja en toch gebeurt er weinig. Ik heb nu al drie jaar een iPad klas en als ik zie wat ik daar mee doe, nou ja ik vind niet dat ik er een meerwaarde aan geef.

T: Maar zou jij (Marc) dat wel gebruiken als je een iPad klas hebt?

Ma: Ja als ik er een zou hebben wel. Maar dat vind ik het grootste probleem van het hele systeem hier op school, je zou alleen een iPad klas moeten krijgen als je er een wil hebben.

Mi: Ja ik ben heel enthousiast begonnen, maar nu is dat wel weg.

T: Dan ben ik wel heel benieuwd waarom.

Ma: Ja er is voor wiskunde gewoon niet zo veel.

Mi: Nou ja er is genoeg, maar niet iets met echt meerwaarde. Ik ben heel enthousiast begonnen en naar een cursus geweest, maar elke keer zeiden ze 'Ja voor wiskunde is er niet heel veel.'. Voor specifieke onderwerpen zijn er wel mooie dingen, maar ik zoek het meer in waar we het net over hadden, makkelijk en efficiënt het huiswerk aanpakken. Daar iets mee doen, niet zo zeer in al die apps.

Ma: Ja daar ondersteun ik jou helemaal in. Er stond in het boek ook altijd een paragraaf die helemaal bedoeld was voor de computer. Ik heb een keer een leerling een profielwerkstukje laten doen, om eens uit te zoeken wat je daar mee kon. Om bijvoorbeeld een leerling die een tijd ziek is geweest weer bij te laten komen, of om leerlingen die het niet begrepen hebben de theorie op een ander manier aan te leren, of welke dingen zijn goed om dingen te herhalen die je al kon maar om weer eens op te frissen en verdiepend. Maar het stelde eigenlijk niet zoveel voor, de toegevoegde waarde was minimaal. Ook wel eens op de UT wordt je uitgenodigd, wel alweer 8 jaar geleden, om meer met technologie te komen doen en dan zie je dat ze plank volledig mis slaan. Filmpjes met draaimolens enzo, en dan vraag je geeft dit nou echt meerwaarde? Dat denk ik niet. Ik heb toen ook aan iemand uit Rotterdam gevraagd of hij iets had gezien waar hij een stap verder mee zou komen, waar je je leerlingen een plezier mee doet, dat dacht hij eigenlijk van niet. Dus dan heb ik zoiets van ja laat dan maar zitten.

Mi: En ik merk ook dat de leerlingen op niet te veel uitleg zitten te wachten. Zo kort mogelijk, niet te langdradig. En dan willen ze aan het werk. Heel veel leerlingen willen gewoon een stukje lezen, niet te veel natuurlijk, en dan willen ze aan het werk.

(Mieke komt even binnen)

T: Mieke zou jij een app gebruiken waarmee je snel een overzicht hebt van hoe het met de leerlingen gaat? Ze kunnen dan de toetsjes van de methode doen, maar ook foto's van hun uitwerkingen maken.

Mie: Dus net als bij de methode dat je dan ziet hoe ze het hebben gedaan.

T: Ja maar dan met een toevoeging, dat ze een foto van hun uitwerkingen maken. Dus dan kun je snel in een oogopslag zien hoe ze een bepaalde som uitwerken en dan kun je daar weer op inspelen tijdens de les.

Mi: Maar als ze dat dan moeten opsturen dan duurt het alweer te lang en kunnen ze van elkaar kopiëren. Ik zou dat het liefst aan het begin van de les snel doen en dan daarmee verder werken. Gewoon in 1 overzichtje.

Mie: Dus ze maken de sommen op de iPad..?

T: Ja ik had het als een combinatie bedacht. Ze maken dan die toetsjes aan het einde van een paragraaf, dus dan zie je wel of ze alles van een paragraaf hebben begrepen. Maar je kunt ze ook vragen op een moment dat jij dat graag wil, dus als je dat aan het begin van de les wilt doen kan dat, om een foto van hun uitwerkingen te maken. Dus dan weet je of ze naast dat ze het antwoord goed hebben ook de uitwerking goed hebben gemaakt.

Mie: En dan krijgen wij dat van 30 leerlingen binnen.

Mi: Ja en ik zei dat zou ik wel willen, maar dan wil ik dat in 1 bestandje hebben. 10 op 1 blaadje bijvoorbeeld, niet 30 keer een bestandje door moeten.

Mie: Ja en dat ik dat dan kan laten zien heeft wel meerwaarde, dat ik het controleer. Je weet het ook wel en er zijn ook leerlingen die heel hard leers zijn en met een 6 tevreden zijn. Maar dat ik dan eens een mooie en een minder mooie uitwerking kan laten zien vind ik wel interessant. Dat ze kunnen inschatten wat ze verdienen aan punten op een toets.

Mi: Ja normaal doen we dat wel eens op een blaadje, maar dan is het allemaal bij elkaar.

Mie: Ja dat ze ook van elkaar kunnen leren.

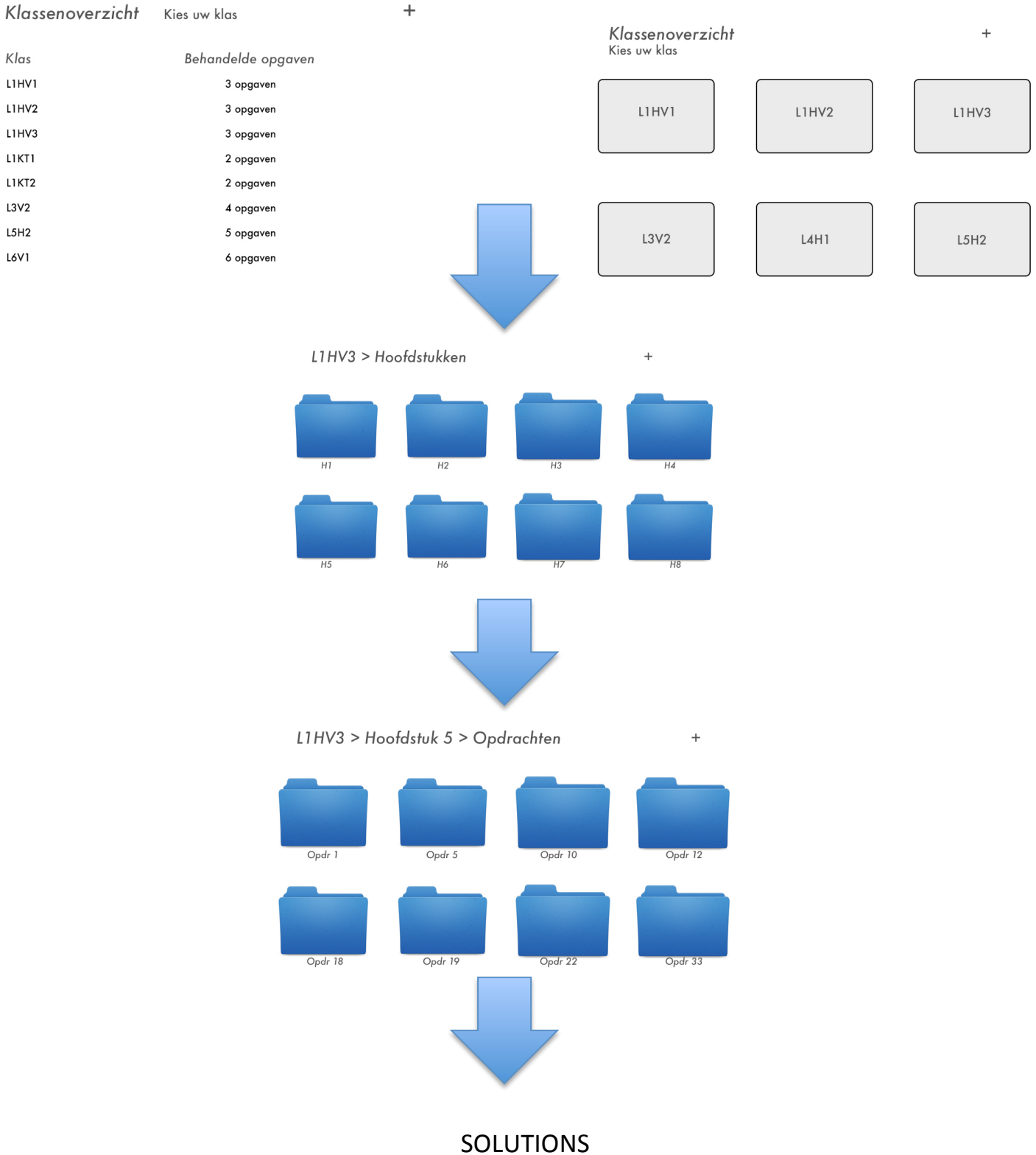
Mi: Precies, het is niet alleen dat ik het wil zien om te kunnen kijken of het goed is gegaan, dat weet je al wel, maar ook dat ze van elkaar kunnen leren.

Mie: Ja en dat ze zien, oh hij heeft het antwoord wel goed, maar krijgt geen punten. Dat ze die reflectie hebben van de hoeveelheid punten.

Mi: Ja of van die dingetjes dat je kunt vragen er is hier iets niet goed, wat is niet goed? Meer gaan nadenken, dat mis ik heel erg.

APPENDIX H – NAVIGATION DESIGN

H.1 - NAVIGATION DESIGN TYPE 1



H.2 – NAVIGATION DESIGN TYPE 2

Maak uw selectie

L1HV1	H1	Opdr 1	30 uitwerkingen
L1HV2	H2	Opdr 5	Bekijk uitwerkingen
L1HV3	H3	Opdr 10	
L3V2	H4	Opdr 12	
L4H2	H5	Opdr 18	
L5H2	H6	Opdr 19	
L6V1	H7	Opdr 22	

+ + +

APPENDIX I – SOLUTION REPRESENTATION

I.1 – SOLUTION REPRESENTATION 1

L1HV4 > Opdracht 22

21 foto's

$$\begin{aligned}
 x^2 + \frac{b}{a}x + \left(\frac{b}{2a}\right)^2 &= -\frac{c}{a} + \left(\frac{b}{2a}\right)^2 \\
 \left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 &= -\frac{c}{a} + \frac{b^2}{4a^2} \\
 \left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 &= \frac{b^2 + 4ac}{4a^2} \\
 x + \frac{b}{2a} &= \pm \sqrt{\frac{b^2 + 4ac}{4a^2}} \\
 x &= -\frac{b}{2a} \pm \frac{\sqrt{b^2 + 4ac}}{2a} \\
 x &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 + 4ac}}{2a}
 \end{aligned}$$

Henk de Ruiter

$$\begin{aligned}
 x^2 + \frac{b}{a}x + \left(\frac{b}{2a}\right)^2 &= -\frac{c}{a} + \left(\frac{b}{2a}\right)^2 \\
 \left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 &= -\frac{c}{a} + \frac{b^2}{4a^2} \\
 \left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 &= \frac{b^2 + 4ac}{4a^2} \\
 x + \frac{b}{2a} &= \pm \sqrt{\frac{b^2 + 4ac}{4a^2}} \\
 x &= -\frac{b}{2a} \pm \frac{\sqrt{b^2 + 4ac}}{2a} \\
 x &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 + 4ac}}{2a}
 \end{aligned}$$

Frits Grootbroek

$$\begin{aligned}
 x^2 + \frac{b}{a}x + \left(\frac{b}{2a}\right)^2 &= -\frac{c}{a} + \left(\frac{b}{2a}\right)^2 \\
 \left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 &= -\frac{c}{a} + \frac{b^2}{4a^2} \\
 \left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 &= \frac{b^2 + 4ac}{4a^2} \\
 x + \frac{b}{2a} &= \pm \sqrt{\frac{b^2 + 4ac}{4a^2}} \\
 x &= -\frac{b}{2a} \pm \frac{\sqrt{b^2 + 4ac}}{2a} \\
 x &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 + 4ac}}{2a}
 \end{aligned}$$

Petra de Vries

$$\begin{aligned}
 x^2 + \frac{b}{a}x + \left(\frac{b}{2a}\right)^2 &= -\frac{c}{a} + \left(\frac{b}{2a}\right)^2 \\
 \left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 &= -\frac{c}{a} + \frac{b^2}{4a^2} \\
 \left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 &= \frac{b^2 + 4ac}{4a^2} \\
 x + \frac{b}{2a} &= \pm \sqrt{\frac{b^2 + 4ac}{4a^2}} \\
 x &= -\frac{b}{2a} \pm \frac{\sqrt{b^2 + 4ac}}{2a} \\
 x &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 + 4ac}}{2a}
 \end{aligned}$$

Hanna Leeuwen

$$\begin{aligned}
 x^2 + \frac{b}{a}x + \left(\frac{b}{2a}\right)^2 &= -\frac{c}{a} + \left(\frac{b}{2a}\right)^2 \\
 \left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 &= -\frac{c}{a} + \frac{b^2}{4a^2} \\
 \left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 &= \frac{b^2 + 4ac}{4a^2} \\
 x + \frac{b}{2a} &= \pm \sqrt{\frac{b^2 + 4ac}{4a^2}} \\
 x &= -\frac{b}{2a} \pm \frac{\sqrt{b^2 + 4ac}}{2a} \\
 x &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 + 4ac}}{2a}
 \end{aligned}$$

Niels Jansen

$$\begin{aligned}
 x^2 + \frac{b}{a}x + \left(\frac{b}{2a}\right)^2 &= -\frac{c}{a} + \left(\frac{b}{2a}\right)^2 \\
 \left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 &= -\frac{c}{a} + \frac{b^2}{4a^2} \\
 \left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 &= \frac{b^2 + 4ac}{4a^2} \\
 x + \frac{b}{2a} &= \pm \sqrt{\frac{b^2 + 4ac}{4a^2}} \\
 x &= -\frac{b}{2a} \pm \frac{\sqrt{b^2 + 4ac}}{2a} \\
 x &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 + 4ac}}{2a}
 \end{aligned}$$

Jeroen Rosendaal

$$\begin{aligned}
 x^2 + \frac{b}{a}x + \left(\frac{b}{2a}\right)^2 &= -\frac{c}{a} + \left(\frac{b}{2a}\right)^2 \\
 \left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 &= -\frac{c}{a} + \frac{b^2}{4a^2} \\
 \left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 &= \frac{b^2 + 4ac}{4a^2}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x^2 + \frac{b}{a}x + \left(\frac{b}{2a}\right)^2 &= -\frac{c}{a} + \left(\frac{b}{2a}\right)^2 \\
 \left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 &= -\frac{c}{a} + \frac{b^2}{4a^2} \\
 \left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 &= \frac{b^2 + 4ac}{4a^2}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x^2 + \frac{b}{a}x + \left(\frac{b}{2a}\right)^2 &= -\frac{c}{a} + \left(\frac{b}{2a}\right)^2 \\
 \left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 &= -\frac{c}{a} + \frac{b^2}{4a^2} \\
 \left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 &= \frac{b^2 + 4ac}{4a^2}
 \end{aligned}$$

I.2 – SOLUTION REPRESENTATION 2

J.1 – APPDELEGATE.SWIFT

```
//
// AppDelegate.swift
// TestApp3
//
// Created by Tina Wevers on 14/06/2017.
// Copyright © 2017 Tina Wevers. All rights reserved.
//

import UIKit

@UIApplicationMain
class AppDelegate: UIResponder, UIApplicationDelegate {

    var window: UIWindow?

    func application(_ application: UIApplication,
didFinishLaunchingWithOptions launchOptions:
[UIApplicationLaunchOptionsKey: Any]?) -> Bool {
        // Override point for customization after application
launch.
        return true
    }

    func applicationWillResignActive(_ application: UIApplication) {
        // Sent when the application is about to move from active to
inactive state. This can occur for certain types of temporary
interruptions (such as an incoming phone call or SMS message) or
when the user quits the application and it begins the transition to
the background state.
        // Use this method to pause ongoing tasks, disable timers,
and invalidate graphics rendering callbacks. Games should use this
method to pause the game.
    }

    func applicationDidEnterBackground(_ application: UIApplication)
{
        // Use this method to release shared resources, save user
data, invalidate timers, and store enough application state
information to restore your application to its current state in case
it is terminated later.
        // If your application supports background execution, this
method is called instead of applicationWillTerminate: when the user
quits.
    }

    func applicationWillEnterForeground(_ application:
UIApplication) {
        // Called as part of the transition from the background to
```

the active state; here you can undo many of the changes made on entering the background.

```
}

    func applicationDidBecomeActive(_ application: UIApplication) {
        // Restart any tasks that were paused (or not yet started)
        while the application was inactive. If the application was
        previously in the background, optionally refresh the user interface.
    }

    func applicationWillTerminate(_ application: UIApplication) {
        // Called when the application is about to terminate. Save
        data if appropriate. See also applicationDidEnterBackground:.
    }

}
```

J.2 – VIEWCONTROLLER.SWIFT

```
//
// ViewController.swift
// TestApp3
//
// Created by Tina Wevers on 14/06/2017.
// Copyright © 2017 Tina Wevers. All rights reserved.
//

import UIKit

class ViewController: UIViewController, UICollectionViewDelegate,
UICollectionViewDataSource {

    @IBOutlet weak var headerLabel: UILabel!
    @IBOutlet weak var selectedImageView: UIImageView!
    @IBOutlet weak var MyCollectionView: UICollectionView!
    let numImages = 27
    let leerlingen = 27
    var images = [String]()

    override func viewDidLoad() {
        super.viewDidLoad()
        // Do any additional setup after loading the view, typically
        from a nib.
        for index in 0...(numImages-1){
            images.append("IMG_00\(index).JPG")
        }
        self.MyCollectionView.delegate = self
        self.MyCollectionView.dataSource = self

        selectedImageView.image = UIImage(named: "IMG_000")
    }
}
```

```

        self.headerLabel.text = "21 van de \{(leerlingen)
uitwerkingen"

    }

    override func didReceiveMemoryWarning() {
        super.didReceiveMemoryWarning()
        // Dispose of any resources that can be recreated.
    }

    func collectionView(_ collectionView: UICollectionView,
numberOfItemsInSection section: Int) -> Int {
        return images.count
    }

    func collectionView(_ collectionView: UICollectionView,
cellForItemAt indexPath: IndexPath) -> UICollectionViewCell {
        let cell =
collectionView.dequeueReusableCell(withReuseIdentifier:
"collection_cell", for: indexPath)as! MyCollectionViewCell

        //set images
        cell.myImageView.image = UIImage(named:
images[indexPath.row])
        return cell
    }
    func collectionView(_ collectionView: UICollectionView,
didSelectItemAt indexPath: IndexPath) {
        selectedImageView.image = UIImage(named:
images[indexPath.item])
    }
}

```

J.3 – TABLEVIEWCONTROLLER.SWIFT

```

//
// TableViewController.swift
// TestApp3
//
// Created by Tina Wevers on 15/06/2017.
// Copyright © 2017 Tina Wevers. All rights reserved.
//

import UIKit
var klas = ["1KT3", "1KT4", "2KT4", "3H1"]
class TableViewController: UITableViewController {

    // MARK: – Table view data source
    /*
    override func numberOfSections(in tableView: UITableView) -> Int
    {

```

```

        // #warning Incomplete implementation, return the number of
sections
        return 0
    }
*/
    override func tableView(_ tableView: UITableView,
numberOfRowsInSection section: Int) -> Int {
        // #warning Incomplete implementation, return the number of
rows
        return klas.count
    }

    override func tableView(_ tableView: UITableView, cellForRowAt
indexPath: IndexPath) -> UITableViewCell {
        let cell = tableView.dequeueReusableCell(withIdentifier:
"tableCell", for: indexPath)

        cell.textLabel?.text = klas[indexPath.row]

        return cell
    }

    override func tableView(_ tableView: UITableView, didSelectRowAt
indexPath: IndexPath) {
        performSegue(withIdentifier: "segue", sender: self)
    }
}

```

J.4 – MYCOLLECTIONVIEWCELL.SWIFT

```

//
// MyCollectionViewCell.swift
// TestApp3
//
// Created by Tina Wevers on 14/06/2017.
// Copyright © 2017 Tina Wevers. All rights reserved.
//

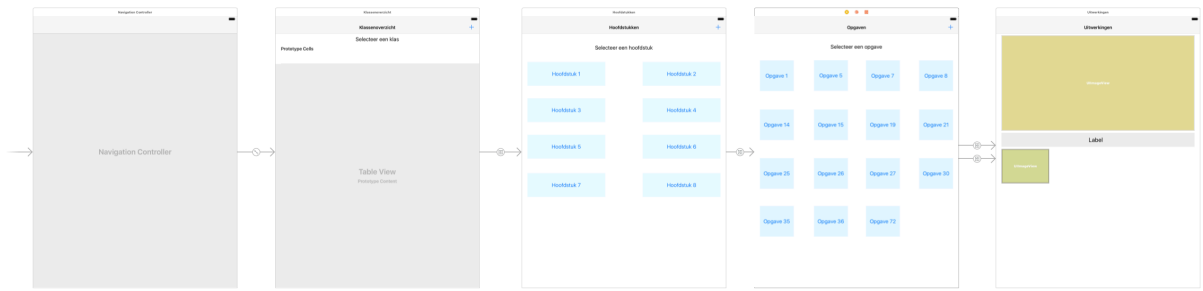
import UIKit

class MyCollectionViewCell: UICollectionViewCell {

    @IBOutlet weak var myImageView: UIImageView!
}

```

J.5 – STORYBOARD OVERVIEW



APPENDIX K – NOTES FROM OBSERVATIONS

K.1 - LES VAN MIEKE VAN DER KOLK, 1HV4

Leerlingen gaan redelijk goed om met de instructie, pakken met enig rumoer de ipad en schrift en maken een foto van hun uitwerking. Sommige leerlingen klagen bij het uploaden 'hij doet het niet' of vragen zich af waarom ze dit doen, de meesten uploaden wel zonder hulp. Leerlingen die de som niet hebben gemaakt (rond de 10) vallen direct door de mand en moeten wachten tot de rest hun foto heeft geüpload.

De leerlingen weten nog niet waar het uploaden voor dient, maar zijn wel gehoorzaam en de meesten gaan verder met het huiswerk na uploaden, zoals geïnstrueerd.

De les verloopt verder rustig/normaal terwijl Tina de foto's naar app overdraagt. De leerlingen weten op dit moment nog niet wat de app doet, maar worden ook niet onrustig van het wachten tot er iets gebeurt.

Docent maakt kennis met app en neemt de bediening in zich op, heeft geen opmerkingen over de bediening maar noemt wel dat het handig zou zijn als er namen bij de foto's zouden staan. Ook verwachtte ze dat de ipad op apple tv kon worden weergegeven. Tina wist dit niet zeker en ging er direct met docent en ict-vaardige leerling naar kijken. Dit leidde wel tot enige onrust onder de leerlingen, maar na een minuut werd het beeld van de ipad op de beamer geprojecteerd.

Docent vraagt de leerlingen of iemand het eigen handschrift herkent bij een van de weergegeven sommen. Voorbeelduitwerking is toevallig een goed voorbeeld en hier speelt de docent op in. Docent laat nog een paar sommen zien, maar ze zijn niet allemaal goed genoeg leesbaar voor de hele klas. De weergave van de app op het scherm is wat aan de kleine kant, mede doordat kopie van de ipad op het scherm niet het hele scherm inneemt, maar ook doordat het venster met de foto wat aan de kleine kant is.

Leerlingen zijn wel geïnteresseerd en kijken mee naar de app op het scherm, maar achterin zijn klachten over leesbaarheid en er is niet echt sprake van een onderwijsleergesprek over de uitwerkingen. Waarschijnlijk komt dit ook doordat de docent nog moet wennen aan de app.

Docent besluit een tweede som in de app te gebruiken, maar het wordt wat rumoerig en niet alle leerlingen zijn bezig met het fotograferen en uploaden terwijl de docent nog even met tina praat. Na nog een instructie gaan de meeste leerlingen wel aan de slag met het uploaden.

Vervolgens een korte discussie met tina en docent over het wel of niet toevoegen van namen, omdat dit bevorderlijk is voor gepersonaliseerde feedback, maar het neemt ook anonimiteit weg en zorgt dat leerlingen geconfronteerd worden (kan wel of niet goed zijn). (Misschien is zou een naam erbij ook nog zorgen dat de rest niet meer oplet omdat het toch niet hun uitwerking is.)

Bij de tweede som worden er meer sommen besproken, maar de klas is onrustig en er blijkt bij sommige leerlingen een misverstand te zijn ontstaan omdat ze de som van het normale huiswerk ipv de d-toets hebben gedaan. Ook is er duidelijk verschil te zien in de kwaliteit van de foto's, veel leerlingen hebben de foto gemaakt zonder de ipad recht boven het schrift te houden.

De aandacht verzwakt, omdat de docent niet alle foto's bespreekt, maar de docent is tevreden over de app omdat ze kan zien dat het werk goed gemaakt is.

Terwijl de docent met Tina praat na afloop zouden de leerlingen met het huiswerk verder moeten gaan, maar omdat de Airplay code op het scherm blijft staan ontstaat er rumoer omdat een leerling verbinding maakt met het scherm op zijn eigen ipad.

K.2 - LES VAN MIRANDA GEERDINK-JOURNEE, 1KT4

Veel tijd voor aanvang, omdat leerlingen gedurende zo'n vijf minuten binnen komen omdat ze gym hebben gehad.

Tina legt uit wat voor app ze heeft gemaakt (meer uitleg over het doel van de app dan bij les 1). Ze legt uit wat ze moeten doen m.b.t. het uploaden. Meer vragen dan bij vorige klas over hoe de app gebruikt wordt. Na een hoop gevraagd en geklaagd beginnen de leerlingen met het maken van de fotos en het uploaden ervan.

Deze klas wordt onrustiger dan de vorige bij het uploaden en heeft meer vragen over kleine praktische aspecten (eerst foto of website, naam erbij of niet, wat moet ik nu doen, etc.). Op een gegeven moment wordt er geroepen dat er cijfers zijn en veel leerlingen zijn druk, docent grijpt in door te dreigen met nablijven, wat de leerlingen (in ieder geval tijdelijk) stil krijgt.

Tijdens klassikale sombespreking (zonder app) is de klas vrij rustig en doen veel leerlingen mee.

Zodra de app erbij komt wordt de klas vrij stil en de leerlingen zijn aandachtig aan het kijken, alleen kunnen weer de achterste leerlingen het minder goed zien. Veel leerlingen blijven bezig op hun eigen ipad of zijn zacht aan het praten met elkaar. Verder is er een groot deel wat wel meedoet en ingaat op de uitwerkingen op het bord. De docent gebruikt de app ook om foutjes aan te wijzen die veel gemaakt worden en dit te laten zien op het bord.

Opmerking docent: kijkvak groter maken, vind het wel een goed concept en geeft aan het vaker te willen gebruiken.

APPENDIX L – SURVEY QUESTIONS AND RESULTS

Question	Type of question	Result
1. Wat is uw geslacht?	Likert scale 1-5	Man: 0 Vrouw: 2
2. Hoeveel jaar ervaring heeft u met lesgeven?	Open question	17 jaar 18 jaar
3. Welk cijfer zou u uw affiniteit met technologie geven?	Likert scale 1-10	4 9
4. Voor welk wiskundig onderwerp heeft u de applicatie ingezet?	Open question	procenten bereken en algebra controle en uitleg gemaakte opgave schrift
5. Wat was uw ervaring met de applicatie in het algemeen?	Likert scale 1-5	4 4
6. Welke indruk en reactie kreeg u van de leerlingen omtrent het gebruik van de applicatie?	Likert scale 1-5	4 4
7. Hielp de applicatie u bij het geven van feedback aan de leerlingen?	Likert scale 1-5	4 5
8. Vergrootte de applicatie uw inzicht in de voortgang van de leerlingen?	Likert scale 1-5	4 4
9. Hoe soepel verliep het gebruik van de applicatie?	Likert scale 1-5	4 5
10. Had de applicatie een toegevoegde waarde in uw les?	Ja/Nee	Ja Ja
11. Zo ja, welke? Zo nee, waarom niet?		ik ben veel bezig met de manier van opschrijven, verplichte berekeningen, enz... de huiswerkcontrole is veel werk, rondlopen, corrigeren, individueel dus. Op deze manier kan ik snel de hele klas controleren snelle controle en eenvoudig aanwijzen hoe het wel moet en hoe niet
12. Zou u de applicatie nogmaals gebruiken?	Ja/Nee/Misschien	Ja Ja
13. Heeft u nog suggesties voor verbeteringen omtrent de applicatie?	Open question	Ik zou graag de resultaten van een berekening op het digibord willen bespreken met de klas en dan willen bijschrijven op het active bord De afbeelding vergroten
14. Welk cijfer zou u de applicatie in totaal geven?	Likert scale 1-10	7 9