



LUMAT

General Issue

Vol 4 No 1 (2016)



DIGITAL GAMING FOR EVOLUTIONARY BIOLOGY LEARNING: THE CASE STUDY OF PARASITE RACE, AN AUGMENTED REALITY LOCATION-BASED GAME

Tuomas Aivelo¹ & Anna Uitto²

¹Institute of Biotechnology, Department of Biosciences and Department of Teacher Education,
University of Helsinki

²Department of Teacher Education, University of Helsinki

Abstract Games have been used for a long time in teaching and learning. The increasing use of mobile phones makes it possible to link learning outside the classroom with augmented reality (AR). We tested how well the learning of conceptual models can be facilitated by AR games. We present a game designed for the in-service teacher-training workshop to model evolutionary and ecological relationships explicitly. The game, Parasite Race, models the life cycles of three different parasites and allows player to choose between two evolutionary strategies. We tested the game with experienced teachers and revealed a wide range of different gaming strategies: some of the teachers were able to reflect their game strategy and choose appropriate actions right away whereas some of the teachers did not and lost their motivation quickly. We reflect on the experience of programming a simple AR location-based game and on the usability of simple games in the educational context.

Keywords conceptual model, augmented reality, digital gaming strategies, evolutionary biology learning, teacher education

DIGITAALISET PELIT EVOLUUTIOBIOLOGIAN OPETUKSESSA: TAPAUSTUTKIMUS PARASIITTIIEN KILPAILUSTA, PELISTÄ JOSSA ON PAIKKAAN PERUSTUVA LISÄTTY TODELLISUUS

Tiivistelmä Pelejä on käytetty pitkään opetuksen ja oppimisen tukena. Yhä lisääntyvä kannettavien laitteiden käyttö tekee mahdolliseksi yhdistää lisätyn todellisuuden luokkahuoneen ulkopuoliseen oppimiseen. Tutkimme kuinka hyvin käsitteellisten mallien oppimista voidaan helpottaa lisätyn todellisuuden pelien avulla. Esittelemme ekologisia ja evoluutiobiologisia suhteita eksplisiittisesti mallintavan pelin, joka suunniteltiin opettajien täydennyskoulutusta varten. Peli, Loisintaa Kumpulassa, mallintaa kolmen eri loisen elinkiertoja ja kahdenlaista erilaista evolutiivista strategiaa. Peluutimme peliä kokeneilla opettajilla ja löysimme laajan valikoiman erilaisia pelistrategioita. Osa opettajista pystyi nopeasti refleктоimaan pelistrategiaansa ja toimimaan pelissä tehokkaasti, kun taas osa opettajista ei tehnyt näin ja menetti motivaationsa nopeasti. Pohdimme lisäksi yksinkertaisen lisätyn todellisuuden pelin ohjelmointikokemusta ja yksinkertaisten pelien hyötyjä opetuksessa.

1 Introduction

Games are an old and widely used method of teaching (Granic, Lobel, & Engels, 2014). Especially in primary school, games and play are used as tools to understand basic concepts and models. Board games and digital games are also widely used in secondary and higher education. In recent years, gamification has become an important strategy for training and teaching, especially in fostering creative thinking (Kapp, 2012; see Table 1 for definitions). There is a wide market for educational games, and due to progress in entertainment technology and the ever-increasing success of computer games, the use of commercial off-the-shelf (COTS) games for educational purposes has also been suggested (Table 1).

The gaming landscape has changed drastically with an increase in the diversity of games partly due to the rise in mobile phone gaming. Gaming is no longer geared specifically to “power gamers”. The most important change though is that games do not need to use expensive 3D graphics to be highly engaging (Klopfer et al., 2009): “casual games”, like mobile games Angry Birds or Clash of Clans, are simple and easy-to-learn. These games can be a powerful model for educational games. Still, there has been a lack of unifying theoretical frameworks for educational games (Gredler, 1996; Starks, 2014). Furthermore, while there has been a distinct lack of proof either way for the speculated “greater engagement” that these games might provide, there is active research on different games (Connolly, Boyle, MacArthur, Hainey, & Boyle, 2012; Squire, 2006). There is little evidence of formal learning as there are few studies done explicitly in the classroom setting, probably due to the difficulties of setting the games in curricular context (Connolly et al., 2012). It is also possible that the attractiveness of computer gaming does not translate to educational games as the resources used in making educational games are only a small fraction of those commercial games, leading to a much less attractive gaming experience (Buckingham, 2007).

Table 1. The main gaming terms used in this article are defined here based mostly on Nousiainen (2013a) except for augmented reality, which is defined based on Milgram & Kishino (1994) and COTS game, which is based on Charsky & Mims (2008)

Game	A rule-based formal system which has a variable and measurable final results, with final results having different values from the point of view of players
Commercial off-the-self (COTS) game	A game created almost entirely for entertainment purposes for commercial sale and creating profit for the game designer and producer
Learning game	A game with clear didactic objective and which can be used to support learning processes in formal, non-formal or informal setting by creating immersive learning experiences
Serious games	Games with the main function of learning, rather than entertainment

Gamification	Using elements typical to games (challenges, levels, points) in different contexts like marketing, research and development and also increasingly in education
Location-based gaming	Games that are based on physical locations that players need to move to.
Augmented reality	A real-world environment whose elements are supplemented by computer-generated input, like sounds, video or graphics

We were interested in studying how computer games can simulate complex scientific models in learning of biology. Many students have regularly problems to grasp and understand conceptual models (e.g., genes; Gericke, 2008; Aivelo & Uitto, 2014). Thus computer simulations that encode relevant biological phenomena can also be helpful in learning complex phenomena with model-based reasoning. A conceptual model includes concepts that are necessary for a person to understand the phenomena represented by the conceptual model. The characteristics of the conceptual models depend on the phenomena as well as the viewpoint of the observers and their intent to represent their understanding of the system under study (Nercessian, 2008). Conceptual models are essential in learning of biology. For instance, “species,” “gene” and “DNA” are biological concepts as well as processes between the objects. Many biological phenomena are broad and abstract but can be described by a single concept, such as competition, parasitism or symbiosis in population biology, or adaptation in evolutionary biology. Concepts can be described using verbal, visual, mathematical, dynamic or physical conceptual models (Koba & Tweed, 2009).

Our aim was to explore how well gaming could be used to give concrete example of the concept of scientific models by building our own model of parasite lifecycles. We built a new augmented reality game relating to the parasite life cycles and tested how well the game functioned by observing teachers participating in workshops and recording their actions. We also studied the teachers’ attitudes towards this game and their understanding of game as conceptual model of parasitism through group discussions.

Our research questions are:

- How did the teachers succeed in playing a novel AR game and deducing the rules of the game?
- Was the game suitable to be used as a learning game?
- Could teachers perceive the game as a conceptual model of parasitism?

2 Theoretical framework

2.1 Learning and interest while gaming

It should be noted that “play” and “game” are two different concepts. While “free play”, often exhibited by children, has no agenda and goals are intrinsic and personal, games tend to have

defined goals (Klopfer, Osterweil, Salen, Groff, & Roy, 2009). These goals can include win states and quantifiable points, and games have internal structures created by their rules. This does not mean that games are unduly constrained: the players seem to experiment very freely inside these constraints, with the understanding that they can fail (Squire & Steinkuehler, 2005). In fact, the potential to fail and learn from mistakes as a way to increase motivation is one of the hallmarks of gaming and it also makes gaming attractive from an educational point of view (Prensky, 2001). There are several other potential sources of greater engagement (Linnankylä, 2013): competitive settings, awards built in to gameplay, detachment from the real world, co-operation between students and feelings of adventure. Some games might rely more on real-time cooperation between players than other, more solitary ones. The idea is that there is a set of consistent rules which creates the sense that the game is fair.

The actual gaming experience has not been studied as much as the learning outcomes of gaming (Arnone et al., 2011). A study by Klisch et al. (2012) shows that players' perceived usability of the game and satisfaction with the game were the two best predictors for increase in content knowledge and attitudes toward science. Foster (2012) found two distinct strategies for playing: explorers who mainly explore the game world without set goals and goal seekers who strive intentionally for set goals. While both types learned during the gaming, only explorers valued the learning. In biology education, several games have been used successfully as teaching tools. The outcome has generally been increased interest (Cardona et al., 2007; Spiegel et al., 2008; Farley, 2013) and collaboration among students (Shaer et al., 2011). Computer games are also frequently played outside class time and are thus assumed to increase student learning (Farley, 2013). While there is less data on actual learning outcomes, large studies by Sadler et al. (2013; 2015) showed large effect sizes on increase in content knowledge. Rowe et al. (2010) found distinct game strategies for high and low-achieving students: while high achieving students had higher interest and concentrated on information gathering and processing, low-achieving students preferred novel gameplay elements and less intentional gaming.

Increased interest is one reason for educators to use games in general and digital games in particular. Interest is a multifaceted phenomenon: personal or individual interest means an intrinsic desire to understand phenomena which holds over time, whereas situational interest is ephemeral context-specific interest (Schraw & Lehman, 2001). It is difficult to control personal interest; thus most research has concentrated on situational interest. Digital games are expected to raise situational interest. Situational interest is traditionally excited in two phases: triggering of the interest and sustained interest (Hidi & Baird 1986). First it is necessary to capture the attention of the students and then provide the conditions for continuing attention. This has been refined to include personal interest in a four-phase model which includes triggered and maintained situational interest and leads to emerging and then well-developed personal interest (Hidi & Renninger, 2006).

2.2 Similarity between games and conceptual models

Breuer and Bente (2010) state that a game holds interest at several different levels: 1) the micro-level, where the reaction is born from simple inputs and outputs and these lead to simple mechanics of game play, which can be small rewards, advancements in the game or something as simple as moving the player's avatar in the game; 2) the narrative level, the storyline of the game which the player tries to uncover; and 3) the meta-level, understanding the rules of the game and manipulating the game's world, which roughly corresponds to metacognitive understanding of how the game works.

Successful gaming requires learning the mechanics of gameplay, not only at the micro-level but most of all at the meta-level. Games are a model of a specific situation and the meta-level is the structure of this model, whereas micro-level mechanics are only the consequences of implementing the model. Definite pedagogical benefits are that games traditionally have explicit rules that are easy to learn. This allows students to assess the conceptual models they have learnt and even think of ways to make the models more realistic (Jenkins, Purushotma, Weigel, Clinton, & Robinson, 2009). This can also potentially be linked to learning games, where the actual conceptual model behind the computer games matches to the conceptual model that students are expected to learn.

2.3 Augmented reality location-based gaming in education

Following the definition from Milgram & Kishino (1994) augmented reality is the supplementation of real-world environment by any computer-generated output, and it ranges from purely real environments to purely virtual environments. The hypothesized benefit of augmented realities is enhanced immersion in the game world, which could benefit learning (Dede, 2009). There are two distinct AR forms: location-aware and vision-based (Dunleavy & Dede, 2014). In location-aware AR, the players move in an area with the use of GPS tracking. Vision-based AR relies on the players pointing the digital device at an object (e.g., QR code). Both of these forms allow players to locate in the game and navigate in the game world.

Augmented reality can be used in both formal and informal learning. Location-based games are especially useful for informal education institutes such as zoos or museums, where additional information and even games can be created (Martin, Dikkers, Squire, & Gagnon, 2014;). In formal education, the most obvious targets have been in subject teaching for example of environmental sciences and history (Herbst, Braun, McCall, & Broll, 2008; Squire et al., 2006). In biology, such games have been developed mostly for outdoor education (e.g., Barab et al., 2009; Rogers et al., 2011; Eliasson et al., 2013) but they can also be used also for learning biomolecular structure or anatomy (Sankaranarayanan et al., 2003; Chien, Chen & Jeng, 2010). One of the strong points of location-based games is that the situation becomes concrete and conceptual knowledge can be correlated to actual location (Brown, Collins, & Duguid, 1989). It also provides an experience that students appreciate as authentic

(Rosenbaum, Klopfer, & Perry, 2006). There seems to be some evidence of added reflection (Squire & Jan, 2007), discussion between students (Rogers, et al., 2011) and physical activity (Magielse & Markopoulos, 2009), but also difficulties in implementing the AR teaching (Dunleavy, Dede, & Mitchell, 2008).

3 Creating the game: Parasite Race

We decided to build a game using parasite life cycles as the subject because the content belongs to biology education concerning the interactions of species' populations, one of the unifying principles of biology used in school curriculum (National Research Council, 2012; see also The Finnish National Board of Education, 2003; Uitto, 2012). As the backstory of the game, the parasite life cycle supplied a clear main objective, i.e., reaching the main host, and several subsidiary objectives along the life cycle, i.e., the intermediary hosts. Furthermore, it made it easy to build a gameplay experience with optional sequences for different actions. Assigning rules for achieving or losing points for each action led to constantly updating scores for players, which they could access at any time.

In the game, the players move freely in the authentic game area, which is shown also in the game map, based on Google map view, in tablet. They can see their own position on the map and also the locations of the hosts and actions. Players orient themselves with a map as they move in an authentic environment. The different actions and hosts are situated on the game map and the players need to move to responding sites in the authentic area to reach them. When player reaches right spot in authentic world the corresponding host or action pops up in the game.

In the beginning, each player has choice of three different parasites: sheep liver fluke, *Echinococcus sp.* and tape worm. The species have, species-specific hosts which that they have to reach. At the same time, the players also have to choose their strategy, which could emphasize on reproduction or growth. Neither, species nor strategy can be changed during game play. The setting of the game is that players start out in their main host and have to go through a complete lifecycle and end up back in the main host (Figure 1).

After the initial selections, the players are ready to start the game. To be able to infect the next host, there are generally two prerequisites: first of all, the player needs to have a high enough probability to infect host and the player needs to encounter the suitable host. This probability can be increased by performing actions related to the life cycle: reproduction, forming cysts, laying eggs and competing with other parasites. For every action, there are two options a player can choose from and the change in the infection probability depends on this selection and on their strategy. For example, all the actions with reproduction give more points to players who have chosen faster reproduction as their strategy (Table 2). The points collected for any action are a random number within a certain range. The range depends on the option that the player chooses within the action and the scenario they are playing in. The non-beneficial options used for the analysis of the gameplay are marked with gray. In many instances the progress to the next host requires laying eggs. This reduces points in any case

and is needed only once, so we have counted all egg layings after the first one as non-beneficial.

The players can freely move to any host or action they wish. The game provides a warning if the player is trying to reach an unsuitable host or if they do not have enough points to infect their next host. The players do not have direct access to the model but they can see their accumulated points in real time at any point of the game. Thus they are able to deduce the effect of any actions by comparing the points before and after the action. We expected players who could apply their knowledge of evolution to select fewer non-beneficial options. As the scenario stays constant during the game play we also expected the players learn quickly what the mechanistically beneficial options are.

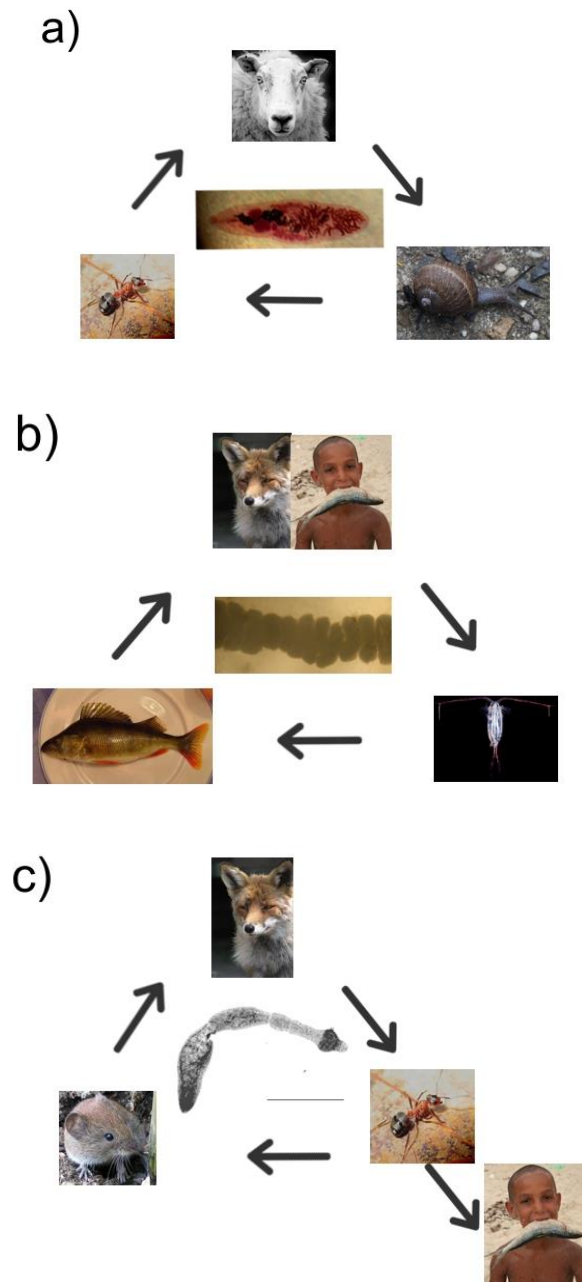


Figure 1. Different parasites the players can choose and their lifecycles. The parasite itself is depicted in the middle of the figures and the starting host is on top: a) sheep liver fluke's life cycle starts at the sheep and continues via snail and ant back to the sheep, b) tapeworm's life cycle starts at the human or fox and goes via copepods and perch and c) *Echinococcus* goes from main host fox in the feet of the ants to voles and then back to fox, though it can also accidentally infect humans.

In some cases there are other prerequisites: the parasite has to perform an action needed for the infection, depending on the real life cycle. This might be forming cysts in the muscles of the intermediate host or just laying eggs. For example, the sheep liver fluke needs to migrate to an ant's central nervous system before it is able to infect sheep.

Feedback is a crucial part of the gaming experience. Validation feedback shows the students' actions in the relation to the learning aims (Mory, 2004). It highlights mistakes and shows

how to avoid these errors in the future. Examples of validation feedback in our game are directing the player to the right host and signaling when they are trying to infect the wrong host or lack prerequisites for infection. Motivational feedback supports students in their learning process and it depends strongly on their personal contexts (Mory, 2004). Thus, in our game, the students are motivated by advancing in the game through collecting more points. The students can also evaluate different strategies by comparing the points accumulated by different actions.

Table 2. The results of different actions within the game. The non-beneficial choices are marked in gray.

Action	Option	Emphasis on parasite's body growth speed	Emphasis on reproduction
Laying eggs	Inside	50% point increase	100% percent point increase
	Outside	Decrease 10 points	Decrease 5 points
Reproduction	Asexual	Random change between -10 and +20	Random increase between 0 and 40 points
	Sexual	Random increase between 10 and 16 points	Random increase between 16 and 20 points
Forming cysts	In the muscle tissue	Increase 20 points	Increase 20 points
	In other parts of the body	50% point increase	100% point increase
Competition	With growth	Random increase between 10 and 30 points	Random change between -5 and +5 points
	With secretion	Random increase between 0 and 20 points	Random increase between 0 and 20 points

We used TaleBlazer (Scheller Teacher Education Program in Massachusetts Institute of Technology, see taleblazer.org) as the game maker. The main reason for choosing this game maker was that it is free to use and works on Android, which Samsung minitables use. We did the programming by writing a simple script for the whole game with flowcharts (Figure 1). The graphical user interface of the TaleBlazer game maker is easy to use (Figure 2), and is similar to Scratch (Lifelong Kindergarten Group at the MIT Media Lab, see

<http://scratch.mit.edu/>), which is frequently used in programming teaching. As TaleBlazer looks clear and simple and is a self-explanatory platform, this game should be easily playable.

The game maker divides the main constituents of the game into “agents” and “players”. In this game, the different parasite species are players and the agents are the hosts and actions needed to increase infection probability. The agents are located at fixed positions on the map and their scripts run when players come close to them. The programming of the game took substantial time: approximately 16 hours for a person with no previous experience with programming games or the graphic user interface programming tools. The most time-consuming part was the testing of the game.

The game itself is played on an application that works on iOS and Android operating systems (Figure 3). The game consists of a map tab in which the player can see their position, a player tab where the players can see their infection probability and a log tab where the players can review their game history.

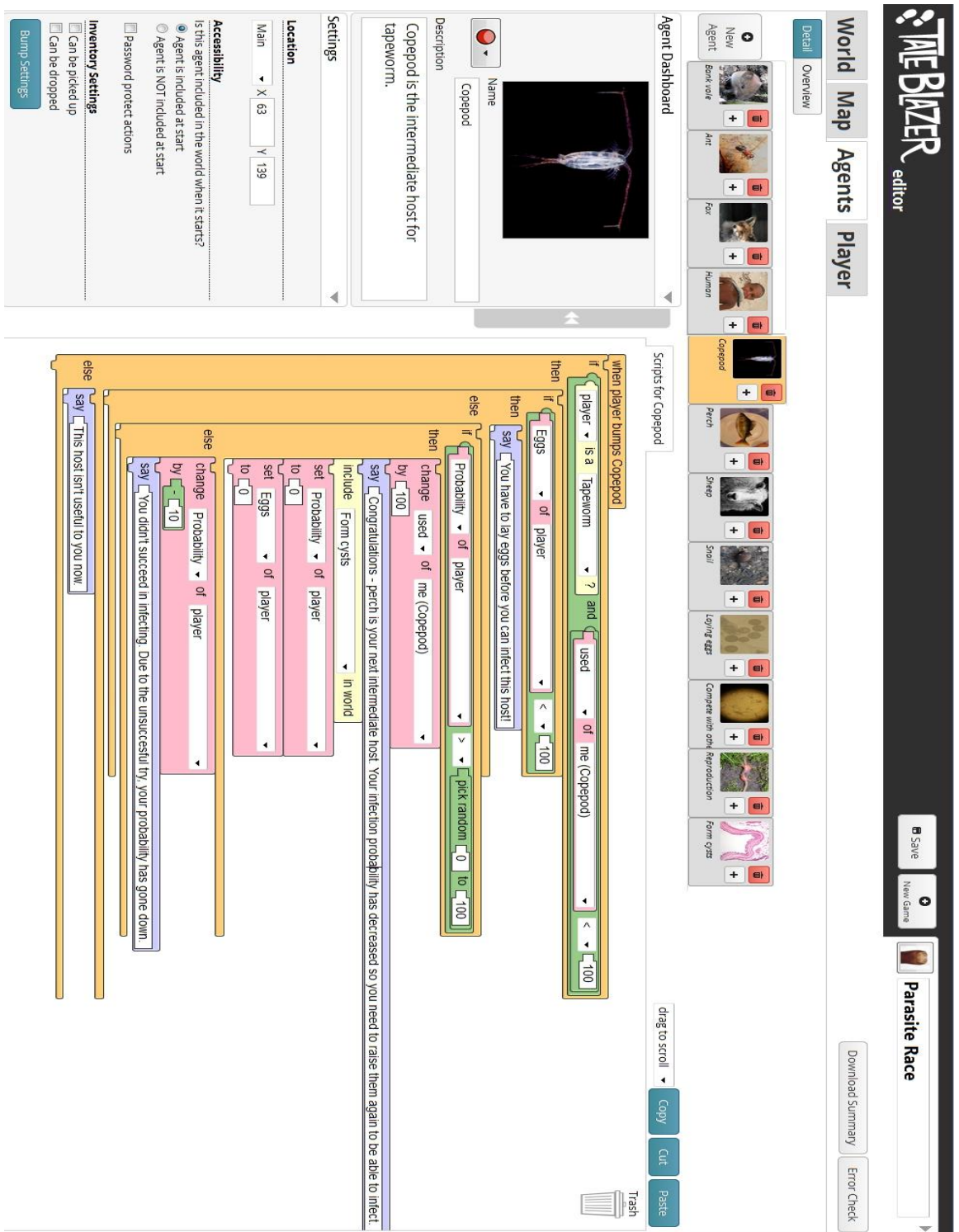


Figure 2. The graphical interface of TaleBlazer divides the main constituents of the game into “agents” and “players”. In this game, the different parasites were players and agents corresponded to hosts and the actions needed to increase infection probability. The agents were located on fixed positions in the map and their scripts ran when players came close to the agents.

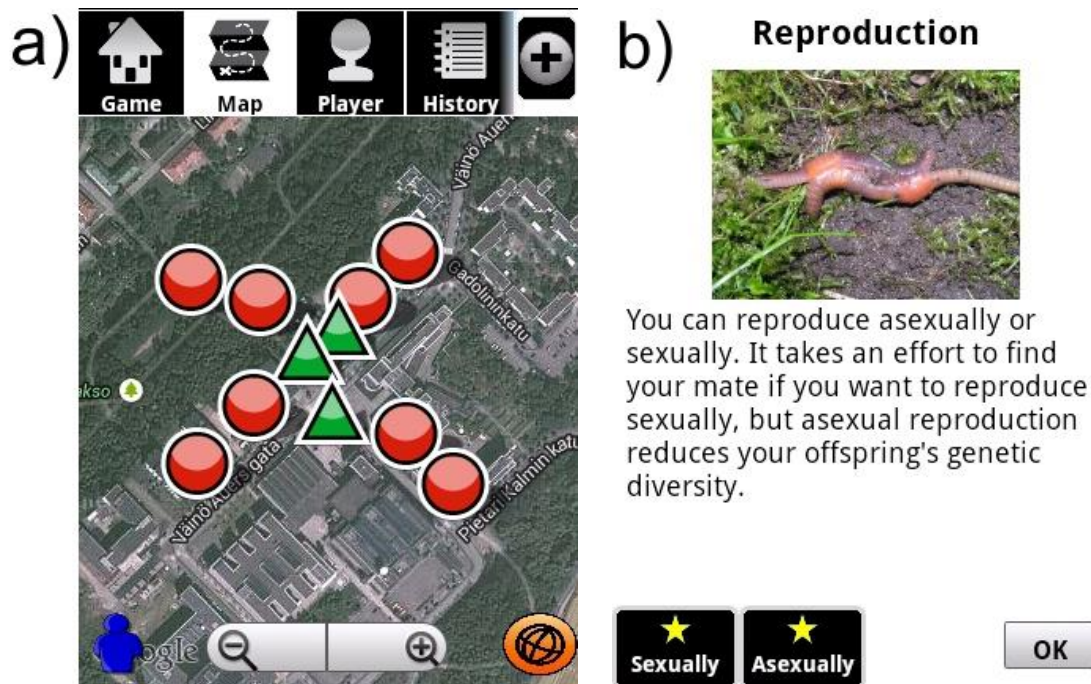


Figure 3. The user view of the final game in TaleBlazer app, including a) the Map tab and b) choice of the action. In the Map tab, the actions are marked with green triangles and different hosts with red circles. The points collected can be always seen in the Player tab.

The game is freely available for adaptation and modification (or remixing as TaleBlazer calls it) at <http://taleblazer.org/gamePage/962> (in English) or <http://taleblazer.org/gamePage/826> (in Finnish). Using the TaleBlazer app available free at taleblazer.org, the ready-made games can be loaded with game codes `geiqnsj` and `gfjlbv`, respectively.

4 Materials and methods

4.1 Study context

We ran the game with a group of primary and secondary school teachers as part of their in-service training on mobile gaming, organized by the LUMA center at the University of Helsinki (an umbrella organization for promoting lifelong learning in STEM subjects: <http://www.helsinki.fi/luma/english/>). The training consisted of workshops and they could freely pick from the three workshops available. The one used for this study was called “Mobile gaming in evolutionary biology”. The workshop was run three times, with the number of participants being from three to seven teachers per workshop. In every part of the study, the teachers could choose whether they wanted to participate in the study and two of the teachers opted out. All of the data was handled so that it could not be connected to the individual players.

4.2 The participants

We delivered prior to the workshop an online questionnaire to gauge the background information and interest of the teachers in mobile gaming. A total of fourteen teachers

participated in the game play and group interviews, but one of the participants did not answer the pre-test questionnaire.

Of the participants 23 % were primary school teachers and 77% from secondary schools. All were biology teachers and the most common other subjects they taught were geography (77% of the respondents) and health education (54%). Most of the teachers were female; only two were male. The participants were mostly young, only one was over 50-years-old. Seven had been teachers for over 10 years. All the teachers, but one, were willing to increase the use of gaming in their teaching. Only two had previously been trained in mobile gaming, though another two mentioned that they had been self-studying the subject. None of the teachers were strangers to different kinds of games but computer games were rarely used and programming or virtual reality never. On why they would want to use more games, three different reasons were named more than once (in order of number of mentions): motivating the students (e.g., “the learning does not feel like learning in a relaxed atmosphere”), individualizing the teaching (“games give something to every kind of learner”) and variation in teaching methods (“they are motivating and bring variation to teaching methods”). Also mentioned were group working skills and making difficult concepts concrete. Our participants had similar attitudes as previous large surveys in Finland found in teachers (Kankaanranta & Puhakka, 2008; Mustikkamäki, 2012; Nousiainen, 2013b).

4.3 Data collection

We started the game with minimal guidance, so that we talked through how the game play worked, what the objectives were for the players and how to use the tablet. We did not explain anything about parasites or evolutionary theory but mentioned that the game simulates how parasites work and that the scenario they chose would have an effect on how points were accumulated. 15 minutes were used for the introduction, 45 minutes for the game and 30 minutes for the discussion afterwards. The game was set in the Kumpula campus of University of Helsinki, Finland. We collected observational data during the game play about the teachers’ progress. We noted if any of the teachers needed additional help or clarification, how long it took to finish the game and possible reasons to give up playing. The game itself recorded each action the players took, so we could have an outline of each player’s game.

After playing the game, the teachers were asked to join the reflective group interview to find out how well the game had worked. The teachers were seated in a classroom and one of the authors was present to lead the interview in a semi-structured way and to take notes. We asked an open-ended warm-up question: “What did you think of the game?” We wrote down the replies and also noted whether other teachers agreed with the statements or if they had opposing ideas. We then asked which properties of the game they liked and which they did not like. We wrote down the properties mentioned and also noted if these were general or individual opinions in the group.

To assess how well the teachers understood the game as a model of parasite life cycle, we asked how they would have changed the game mechanics to make it more realistic. We also

asked how useful the game was and whether they felt they could use something similar in their classroom practice. If the topic of programming games did not otherwise come up, we finished interview with questions on whether the teachers could program these games themselves and whether their students would be able to program games.

4.4 Analyses

The game log did not record the points scored by each of the participants but we could deduce when the players progressed to the next level and if they successfully completed the game. We measured how often the players made non-beneficial choices: these were either the worse of two choices in an action or simply actions that were not beneficial as a whole (Table 2, 3). As some of the choices were sometimes necessary, but did not accumulate points (like laying eggs), we considered any actions more than necessary to be non-beneficial. For example in the case of player depicted in Table 3, the player had chosen strategy of growth and thus reproduction was non-beneficial for the player. We compared the amount of beneficial versus non-beneficial choices in participants with Mann-Whitney U test.

Table 3. An example of one player's actions. In the first host, the player chose 4 non-beneficial choices, whereas in the second host there were none. The non-beneficial choices are marked in grey.

Sequence	First host	Second host
1	Asexual reproduction	Competition by growth
2	Sexual production	Competition by growth
3	Competition by growth	Laying eggs
4	Sexual production	Cysts in other places
5	Competition by poison	
6	Laying eggs	
7	Sexual production	
8	Competition by growth	
9	Competition by growth	

We used thematic analysis to examine the group interviews. We classified the teachers' ideas to closely defined categories based on our research questions. We concurrently used categories to create the themes and sub-themes. The group interviews were not directly comparable, as different groups had very different compositions and they had different general moods after playing the game. Thus, the context needed to be taken into account.

5 Results

5.1 Teachers' success in gaming

The game itself drew diverse reactions from the teachers participating in the game. Two of the teachers got frustrated after ten minutes of playing without progress. Those participants suggested that their students would also have lost their patience playing the game. Five of the

teachers succeeded in completing the life cycle in 45 minutes (Figure 4), the fastest being 17 minutes. Some of those who had been able to complete the life cycle explicitly mentioned in the group interview that during the game they performed the actions and then looked at how their infection probability changed, whereas the unsuccessful players just wandered around in the game area without a clear idea of what to do.

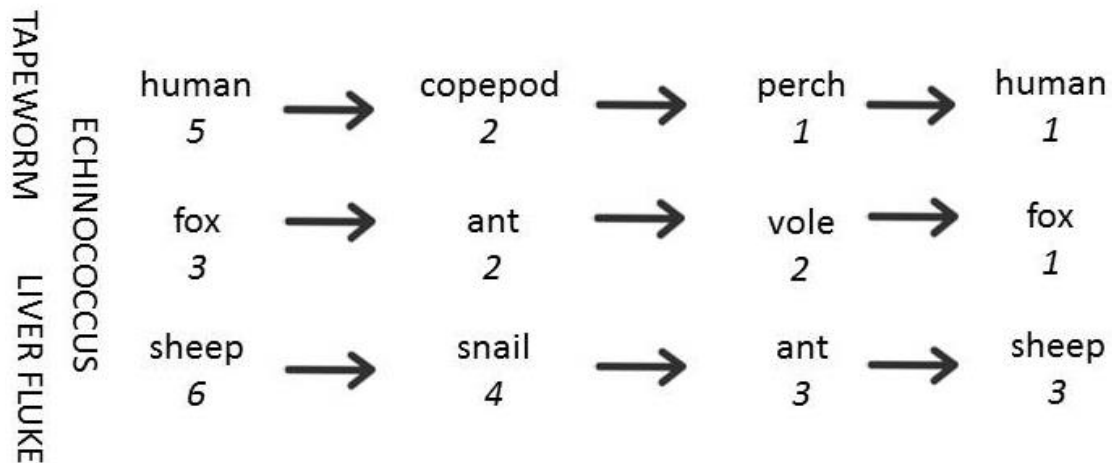


Figure 4. The different parasites played by the participants and how far the participants progressed in the game. The number below the host means how many players reached that intermediate or definitive host. The first number in each life cycle corresponds to the total number of players choosing that parasite and the last number to how many players completed the life cycle.

In their first host, the players chose the non-beneficial options 31% of the time. There was then a clear decrease in “wrong” choices: in subsequent hosts, the proportions were 10% and 0%. There was no significant difference in the number of non-beneficial choices between those who succeeded in getting to the second host and those who did: in their first host the unsuccessful players had 33% of the choices wrong, whereas in successful players the proportion was 28% (Mann-Whitney U-test: $W_{13} = 23$, $p = 0.943$). There was however a significant difference as the successful players performed more total actions compared to unsuccessful players (Mann-Whitney U-test: $M_{\text{successful}} = 7.25$, $SD_{\text{successful}} = 2.33$, $M_{\text{unsuccessful}} = 4.2$, $SD_{\text{unsuccessful}} = 1.21$, $W_{13} = 7$, $p = 0.030$).

5.2 Teachers’ ideas on using games for teaching conceptual models

Three general themes emerged from the group discussion: personal experiences on playing the game, developing more complete conceptual model of parasitism and usability of the game (Table 4). Usually after one teacher had expressed his or her opinion, the others showed their agreement or disagreement clearly. Thus each group is rated along the opinions teachers expressed as the opinion only being representative of one teacher’s opinion, opinion having some support or all teachers agreeing with the opinion.

Table 4. The emerging themes from group interviews. A = supported by all participants, B = supported by some participants (2-4), C = supported by one participant

Theme	Sub-themes	Group 1	Group 2	Group 3
		<i>n</i> = 4	<i>n</i> = 7	<i>n</i> = 3
Personal experiences	Outdoor game as a positive experience	B	A	A
	Too many technical issues	A	B	
	Interesting to play	C	B	B
	Contents suitable for school teaching	B	B	A
	Better guidelines needed	B	C	
	Interface underdeveloped	B	C	C
	Gameplay not intuitive	C	B	
Developing more complete model	Hosts should be moving targets	C	B	A
	Hosts should not always be available		B	B
	Interaction between players needed	C	A	A
	Reproduction linked more clearly to finding a mate		C	
	Uncoupling of hosts and actions			B
	Reducing the effect of choice	C		
	More foraging options		C	
	Reproduction and finding mate more closely linked			C
Usability	No use in school	B		
	Could be used as it is		B	C
	Could be used if easier	C		
	Could be used with extended introduction	B	C	B
	Programming too difficult for me	B	B	B
	Programming suitable for some students	C	B	A

5.2.1 *Teachers showed positive attitude towards the game*

In all groups, the first teachers to answer the questions spoke about their personal experience and how well they fared in the game. In all groups the teachers expressed, in general, positive attitude towards the game being set outdoors:

“Outdoor education is a refreshing alternative to the classroom.” *Teacher in Group 1*

“Students generally prefer outdoor classes.” *Teacher in Group 3*

“Students remember better what they have done outdoors.” *Teacher in Group 2*

Teachers also liked the contents of the game. While parasites are not explicitly mentioned in the national curriculum, teachers felt that the contents were a good fit for biology teaching and they thought the contents were interesting.

“I actually learned new things about parasite biology.” *Teacher in Group 3*

Teachers expressed dislike towards technical problems and they also wanted better guidance on how to play the game. In all groups, teachers found the game-playing interface too underdeveloped, with too many unintuitive or unclear functions, although they did not think it was a crucial problem. Some of them deemed the game too difficult for their students. These were also the teachers who gave up playing themselves.

“During the first five minutes I really did not know what to do. With better guidance, the students would be able to figure out right away what to do and have less chances of getting frustrated.” *Teacher in Group 2.*

“Our students would give up playing this game in five minutes.” *Teacher in Group 1*

5.2.2 *Models are limited by complexity*

When asked in group interview how the game could be made more realistic, the most often-mentioned enhancement was to make the hosts moving targets or that the hosts not be made available all the time. The actions were given as static targets in the map and there were several suggestions on how this could be made more realistic: reproduction and competition could be related more strongly to finding a mate or competing individuals. This could also be used to broaden the game to multiplayer approach.

“In real life, the parasites do not really move, or they do only at the larval stage, whereas in this game they moved and the hosts stayed still.” *Teacher in Group 2*

Also, there could be more explicit foraging actions like choosing a site to feed. Some of the players were also thinking about how realistic a picture of parasite evolution the game gives: it now implies that the parasite could intentionally decide how to behave.

“The parasites cannot really decide what to do; they do not have the option to choose. Could it be better that the players do not have choices after their initial choice of character?” *Teacher in Group 1*

In the two last groups, teachers mentioned that making a more complex model would make it much more difficult to learn gameplay. In last group, teacher expressed understanding that this is similar to teaching basic biology concepts.

“This is a bit similar to teaching: we need to keep concepts simple enough so students can easily learn them.” *Teacher in Group 3.*

5.2.3 *Programming could be used as teaching method*

The teachers expressed their concern that the game is too difficult for lower secondary school students or at least that it would need an extensive introduction parasite life cycles. Two of the teachers who gave up playing after an unsuccessful start were still irate and expressed their reservations on the usefulness of the game very clearly. The other teachers held a wide range of opinions on how useful the game could be, with the ones who finished the game successfully having the most positive opinions. Teachers were skeptical about their ability to program the games although many of the teachers suggested that this kind of programming task could suit the students well.

“I have two students who would be enthusiastic about the possibility to do actual game.” *Teacher in Group 3*

“I would not be able to program this kind of game, but my students could. Many of them are more fluent with computers than teachers.” *Teacher in Group 1*

6 Discussion

6.1 Sustained interest correlates with success

Our preliminary questionnaire revealed a quite uniform group of teachers who were in principle enthusiastic about games and willing to use more games. Nevertheless, their actual game playing data and group discussion revealed that they held a wide variety of different approaches to the use of the games.

There was clear differential success with participants as only 5 out of 13 participants finished the game. The main component of success was the willingness to try and even fail: there was no difference in how often the successful players made wrong choices in the beginning, but there was a clear difference in the number of the actions they performed (Figure 4). This begs the question, of whether the most successful players were the most motivated. In our game, it is impossible to tease apart motivation and the skills to analytically approach the game. Even though the questionnaire did not show any differences in attitude to gaming, the players demonstrated markedly different playing strategies: some tried again

if they made a wrong decision while others were quick to give up. This could indicate a difference in interest, where the game failed in capturing the situational interest of those teachers who were not personally interested in the game (Schraw & Lehman, 2001). It needs to be emphasized that it is necessary for a game to stimulate student persistence in order to produce learning outcomes (Ainley, Hidi, & Berndorff, 2002). The motivation to try and fail could also be related to mastery experiences (Bandura, 1977) in gaming: the players with sufficient success experiences are motivated to try hardest, which generates a virtuous circle of motivation and success thus strengthening self-efficacy (Bandura, 1977; Klimmt & Hartmann, 2006) in gaming. Mastery experiences may also have boosted the motivation to try and fail of those teachers, who had already been successful in some game before (c.f. Bandura, 1977). Teachers that could apply their gaming skills, could also be more successful to perform the gaming tasks in time.

6.2 Understanding computer game as simulation of conceptual model

The group interview revealed that playing the game outside of the context of teaching about parasites and evolutionary strategies was difficult. Though most of the teachers were competent biology teachers they had problems adapting to the decisions they needed to make in the game. In a classroom context, with more time available to discuss evolution and parasites, this might have not been such a big problem, but the guidance should have stressed the context more. The teachers may not have been able to apply their competences as biology teachers when using the new learning environment, the game.

The players also seemed to understand the game as something they just needed to go and do – rather than think analytically about. This might be due to the expectations that the players had towards “a game”, the introduction they were given or the interpretation they generated after starting to play the game and seeing how it looked. **Thus, emphasizing the point of the scientific models before gaming might lead players in a more fruitful direction.**

For those participants, who persisted and succeeded in getting to second host, the decrease in errors (e.g., Table 3) suggests a correlation with how well players understood the game mechanics and how far they progressed. There was clear metacognitive reasoning happening: the successful players were able to relate their actions to the changes in their score and then choose the most effective actions. Based on the gameplay data and group interview, it seems that most of the teachers (8 out of 14) did not seem to understand the game-as-model idea before they started to reflect actively on how they would have made the game better. They could answer simple questions on which actions gave them points and which cost them points; with more time and another round of gaming, they might have been able to figure out how the model works with directed questions and discussions. In the group interview, participants from two of the groups understood the link between the usefulness of the model and its simplicity.

We built our game as a simulation of authentic life cycle theories of parasites. This had an explicit objective of making scientific models more tangible and concrete. School textbooks do not do a good job of presenting the scientific models (Aivelo & Uitto, 2014; Aivelo & Uitto, 2015; Gericke & Hagberg, 2010) of biological concepts and processes, and students tend to have naïve ideas of the scientific models (Grosslight, Unger, Jay, & Smith, 1991) which simulation games could make more explicit. Thus games could be a vehicle for making scientific models visible, especially if the students are making the games themselves. There is however a debate on how well the games teach the properties of complex models and how much they teach only simple heuristics or the hidden curriculum where the underlying model is left out (Squire, 2006). In this study, those players who did not understand the game mechanics belonged to this group. Hargreaves (2005) has endorsed strongly integrating self-reflection in classroom practice. This reflection is thought to also promote metacognitive development and motivation to learn. When students are expected to build their own models, and it enhances both content knowledge and understanding of scientific processes (Gobert & Pallant, 2004). **This study highlights that reflection is needed not only during the game, but also before and afterwards.**

6.3 Adoption of gaming and programming

There was a clear benefit in having an augmented reality game: ***the teachers seemed to perceive the game as something more substantial (“actually doing things”) when they had to leave the classroom (Table 4)***. This is also one of the reasons AR games could make an important contribution in formal education. We did not explicitly test for increased content knowledge, but some teachers explicitly mentioned during group interviews that they had learned new things. One of the downsides in our case was that the game was not strongly connected to a real-life spatial context: there was also no evidence that setting the game in spatial context made the learning any more tangible for the players. This could have changed if there were a connection between the actual environment and the game.

With the exception of some of the teachers in the first group, the teachers had generally positive attitude towards the game, and they could see it being used in teaching. Nevertheless, the teachers did not feel competent to design games themselves. In contrast, the teachers were more positive toward the students programming their own games. Actual programming has been assumed to be a more effective method of learning than playing games (George, Lavoué, & Monterrat, 2012; Kafai, 2006). The experience of programming is very different from normal school tasks and it can thus improve learning (Nousiainen, 2008). George et al. (2012) compare the student programming a game to the teacher’s position: to be able to create a game, students need to understand the separate phenomena and then put them in a sensible context. While there have been early calls for programming in biology education (Ploger & Carlock, 1991), programming has very rarely been used in non-tertiary biology education and even more rarely studied. Nevertheless, programming seems to enhance learning by facilitating student representations of crucial conceptual models (Ploger, 1991).

6.4 Limitations of the study and future research

Our study is limited by the sample size and the amount of the data. We had no opportunity to interview participants more thoroughly on how they see conceptual models of central biological concepts. We should be also careful in deducing from the behavior of students how students would behave. There several crucial differences between teachers and students: teachers are more educated, they should be more reflective during the game on how well it suits as teaching material and it is expected they are less accustomed to computer games. Nevertheless, the behavioral data from mobile games gives us very detailed data and allows us to draw at least preliminary suggestions. We are planning to perform a more thorough study of the usability of programming AR games with upper secondary school students to increase understanding of conceptual models.

More research on gaming is an imperative as the teaching and curriculum development should be evidence-based, especially research on the efficacy of how well programming the games could be used in improving the understanding of scientific models in biology. There are evident barriers to the development and innovation of educational games. One of the problems is small, fragmented and unambitious development projects (Klopfer et al., 2009). The products, whether they are teaching methods games or programming platforms, should be scalable to achieve a high impact. Common problems also include limited investment in learning technology: even though there would be effective learning games, teacher competence and availability of suitable equipment could limit use of computer games in schools.

7 Conclusions

In our perspective, the main reason for using digital games is that they can fill a plethora of different functions. Anyone advocating the increased use of games should bear in mind Eck's (2006) message: "Of the several technology 'learning revolutions' during the last quarter-century, most have failed to achieve even half of their promise. Although there are many reasons for this, the primary fault lies with our inability (or unwillingness) to distinguish between the medium and the message." We suggest that digital games truly enable more diverse teaching strategies, but the gaming needs to be engaged with a clear idea of which strategies are to be used. The teachers also saw this possibility while reflecting on how some of their students might be very motivated to try programming biology games. As a general rule, teachers who were not competent in gaming also did not want to use games in their teaching. It is probable that this also holds the other way round: more competent gamers feel that games have more to give in teaching.

This study shows that programming and playing an AR location-based mobile game could be used to enhance students' understanding of scientific models and it also showcases many of the problems faced by this approach. The game revealed remarkable differences in game-playing success between the participants. The game playing data further showed that success in the game did not correlate with how well the teachers did at the beginning of the game but

rather how persistent they were. Thus, we can expect that situational interest holds a key to the success of the AR game. It should be borne in mind that the game was tested with primary and secondary school biology teachers and thus also needs more testing on the students.

References

- Ainley, M., Hidi, S., & Berndorff, D. (2002). Interest, learning, and the psychological processes that mediate their relationship. *Journal of Educational Psychology, 94*, 545–561.
- Aivelo, T., & Uitto, A. (2014). Geenimallit lukion oppikirjoissa ja lukiolaisten käsityksiä geenien toiminnasta. *Natura, 2*, 31–35.
- Aivelo, T., & Uitto, A. (2015). Genetic determinism in the Finnish upper secondary school biology textbooks. *NorDiNa - Nordic Studies in Science Education, 11*, 139-152.
- Arnone, M. P., Small, R. V., Chauncey, S. A., & McKenna, H. P. (2011). Curiosity, interest and engagement in technology-pervasive learning environments: a new research agenda. *Educational Technology Research and Development, 59*(2), 181–198.
- Bandura, A. (1977). Self-efficacy: toward a unifying theory of behavioral change. *Psychological Review, 8*(2), 191-215.
- Barab, S. A., Scott, B., Siyahhan, S., Goldstone, R., Ingram-Goble, A., Zuiker, S. J., & Warren, S. (2009). Transformational play as a curricular scaffold: Using videogames to support science education. *Journal of Science Education and Technology, 18*(4), 305–320.
- Breuer, J., & Bente, G. (2010). Why so serious? On the Relation of Serious Games and Learning. *Eludamos. Journal for Computer Game Culture, 4*, 7–24.
- Brown, J. S., Collins, A., & Duguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher, 18*, 32–42.
- Buckingham, D. (2007). *Beyond technology - children's learning in the age of digital culture*. Cambridge, UK: Polity Press.
- Cardona, T. D. S., Spiegel, C. N., Alves, G. G., Ducommun, J., Henriques-Pons, A., & Araújo-Jorge, T. C. (2007). Introducing DNA concepts to Swiss high school students based on a Brazilian educational game. *Biochemistry and Molecular Biology Education, 35*(6), 416–421.
- Charsky, D., & Mims, Clif. (2008). Integrating commercial off-the-shelf video games into school curriculums. *TechTrends, 52*(5), 38-44.
- Connolly, T. M., Boyle, E. A., MacArthur, E., Hainey, T., & Boyle, J. M. (2012). A systematic literature review of empirical evidence on computer games and serious games. *Computers & Education, 59*(2), 661–686.
- Dede, C. (2009). Immersive interfaces for engagement and learning. *Science, 323*, 66–69.
- Dunleavy, M., & Dede, C. (2014). Augmented reality teaching and learning. In J. M. Spector, M. D. Merrill, J. Elen, & M. J. Bishop (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 735–745). New York, USA: Springer.
- Dunleavy, M., Dede, C., & Mitchell, R. (2008). Affordances and Limitations of Immersive Participatory Augmented Reality Simulations for Teaching and Learning. *Journal of Science Education and Technology, 18*, 7–22.
- Eck, R. Van. (2006). Digital Game-Based Learning : It's Not Just the Digital Natives Who Are Restless.... *EDUCAUSE Review, 41*, 16–30.
- Eliasson, J., Knutsson, O., Ramberg, R., & Cerratto-Pargman, T. (2013). Using smartphones and QR codes for supporting students in exploring tree species. *Lecture Notes in Computer Science, 8095*, 436–441.
- Farley, P. C. (2013). Using the computer game “FoldIt” to entice students to explore external representations of protein structure in a biochemistry course for nonmajors. *Biochemistry and Molecular Biology Education, 41*(1), 56–7.
- The Finnish National Board of Education (2003). *National Core Curriculum for General Upper Secondary School* (p. 227). Helsinki, Finland.
- Foster, A.N. (2011). The Process of Learning in a Simulation Strategy Game: Disciplinary Knowledge Construction. *Journal of Educational Computing Research, 45*, 1-27.

- George, S., Lavoué, É., & Monterrat, B. (2012). An environment to support collaborative learning by modding. In *Proceedings of the 8th European Conference on Technology Enhanced Learning* (pp. 111–124). Paphos, Cyprus.
- Gericke, N.M. (2008). Science versus School-science - Multiple models in genetics: The depiction of gene function in upper secondary textbooks and its influence on students' understanding. PhD thesis. Karlstad University.
- Gericke, N. M., & Hagberg, M. (2010). Conceptual Incoherence as a Result of the use of Multiple Historical Models in School Textbooks. *Research in Science Education*, 40, 605–623.
- Gobert, J. D., & Pallant, A. (2004). Fostering Students' Epistemologies of Models via Authentic Model-Based Tasks. *Journal of Science Education and Technology*, 13, 7–22.
- Granic, I., Lobel, A., & Engels, R. C. M. E. (2014). The benefits of playing video games. *The American psychologist*, 69, 66–78.
- Gredler, M. E. (1996). *Learning and instruction: Theory into practice* (p. 387). Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall PTR.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. L. (1991). Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 799–822.
- Hargreaves, E. (2005). Assessment for Learning? Thinking outside the (black) box. *Cambridge Journal of Education*, 35, 213–224.
- Herbst, I., Braun, A.-K., McCall, R., & Broll, W. (2008). TimeWarp : Interactive Time Travel with a Mobile Mixed Reality Game. In *MobileHCI '08: Proceedings of the 10th international conference on Human computer interaction with mobile devices and services* (pp. 235–244).
- Jenkins, H., Purushotma, R., Weigel, M., Clinton, K., & Robinson, A. (2009). *Confronting the challenges of participatory culture. Media education for the 21st century*. Cambridge, USA: The MIT Press.
- Kafai, Y. B. (2006). Playing and Making Games for Learning: Instructionist and Constructionist Perspectives for Game Studies. *Games and Culture*, 1, 36–40. doi:10.1177/1555412005281767
- Kankaanranta, M., & Puhakka, E. (2008). *Kohti innovatiivista tietotekniikan opetuskäyttöä. Kansainvälisen SITES 2006 -tutkimuksen tuloksia*. Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto: Koulutuksen tutkimuskeskus.
- Kapp, K. M. (2012). *The gamification of learning and instruction: Game-based methods and strategies for training and education* (p. 302). San Francisco, CA, USA: John Wiley & Sons.
- Klisch, Y., Miller, L. M., Beier, M. E., & Wang, S. (2012). Teaching the biological consequences of alcohol abuse through an online game: impacts among secondary students. *CBE life sciences education*, 11(1), 94–102.
- Klimmt, C., & Hartmann, T. (2006). Effectance, Self-Efficacy, and the Motivation to Play Video Games. In P. Vorderer & J. Bryant (Eds.), *Playing video games: Motives, responses, and consequences*. (pp. 133–145). Mahwah, NJ, US: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Klopfer, E., Osterweil, S., Salen, K., Groff, J., & Roy, D. (2009). *Moving learning games forward: obstacles, opportunities & openness* (p. 58). Cambridge, USA.
- Koba, S. & Tweed, A (2009). *Hard-to-teach Biology Concepts: A Framework to Deepen Student Understanding*. Arlington, VA, USA: NSTA Press.
- Linnankylä, A. (2013). Oppimispelien ja virtuaalimaailmojen mahdollisuudet, haasteet ja opetuskäyttö. In L. Pirkkalainen & P. Lounaskorpi (Eds.), *Löytöretkillä toisessa maailmassa, vol 1* (p. 103). Konnevesi, Finland: Konneveden lukio.
- Magielse, R., & Markopoulos, P. (2009). HeartBeat: an outdoor pervasive game for children. In *CHI '09 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 2181–2184).
- Martin, B. J., Dikkers, S., Squire, K., & Gagnon, D. (2014). Participatory scaling through augmented reality learning through local games. *TechTrends*, 58, 35–41.

- Milgram, O., & Kishino, A. F. (1994). Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. *IEICE Transactions on Information and Systems, E77-D*, 1321–1329.
- Mory, E.H. (2004). Feedback research revisited. In P. Jonassen (Ed.) *Handbook of research on educational communications and technology* (pp.745-783). Mahwah, NJ, USA: Lawrence Erlbaum Associates.
- Mustikkamäki, V. (2012). ”Jos löytäisin jonkun hyvän pelin ja sais vähän koulutusta , niin miksi ei...” *Tapaustutkimus digitaalisten pelien ja opetuksen yhdistämisen vaikeuksista*. MSc thesis, University of Lapland.
- National Research Council (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. Committee on a Conceptual Framework for New K-12 Science Education Standards. Board on Science Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC: The National Academies Press. Available online: http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=13165&page=140. Retrieved 11.11.2015.
- Nercessian, N. (2008). Model-based reasoning in scientific practice. In R.A. Duschl and R.E. Grandy (Eds.), *Teaching Scientific Inquiry: Recommendations for Research and Implementation* (pp. 57-79). Rotterdam, the Netherlands: Sense.
- Nousiainen, T. (2008). *Children’s involvement in the design of game-based learning environments*. Jyväskylä: University of Jyväskylä.
- Nousiainen, T. (2013a). Polkuja pelinomaisen oppimisen viidakkoon: Pelien ja oppimisen keskeisiä käsitteitä. In L. Pirkkalainen & P. Lounaskorpi (Eds.), *Löytöretkillä toisessa maailmassa, vol 2* (pp. 5–23). Konnevesi, Finland: Konneveden lukio.
- Nousiainen, T. (2013b). Mikä saa käyttämään pelejä opetuksessa? Tuloksia opettajille suunnatusta kyselystä. In L. Pirkkalainen & P. Lounaskorpi (Eds.), *Löytöretkillä toisessa maailmassa, vol 2* (pp. 59–64). Konnevesi, Finland: Konneveden lukio.
- Ploger, D. (1991). Learning about the genetic code via programming: Representing the process of translation. *The Journal of Mathematical Behavior*, 10, 55-77.
- Ploger, D. & Carlock, M. (1991). Programming and problem solving: implications for biology education. *Journal of Artificial Intelligence in Education*, 2, 15-31.
- Premsky, M. (2001). Digital natives, digital immigrants. *On the Horizon*, 9, 1–6.
- Rogers, Y., Price, S., Fitzpatrick, G., Fleck, R., Harris, E., Smith, H., ... Weal, M. (2004). Ambient Wood: designing new forms of digital augmentation for learning outdoors. In *IDC '04 Proceedings of the 2004 conference on Interaction design and children: building a community* (pp. 3–10).
- Rosenbaum, E., Klopfer, E., & Perry, J. (2006). On Location Learning: Authentic Applied Science with Networked Augmented Realities. *Journal of Science Education and Technology*, 16, 31–45.
- Rowe, J.P., Shores, L.R., Mott, B.W. & Lester, J.C. (2010). Individual differences in gameplay and learning: a narrative-centered learning perspective. *FDG '10 Proceedings of the Fifth International Conference on the Foundations of Digital Games*, 171-178.
- Sadler, T. D., Romine, W., Stuart, P. E., & Merle-Johnson, D. (2013). Game-based curricula in biology classes: Differential effects among varying academic levels. *Journal of Research in Science Teaching*, 50, 479–499.
- Sadler, T. D., Romine, W. L., Menon, D., Ferdig, R. E., & Annetta, L. (2015). Learning biology through innovative curricula: a comparison of game- and nongame-based approaches. *Science Education*, 99, 696–720.
- Sankaranarayanan, G., Weghorst, S., Sanner, M., Gillet, A., & Olson, A. (2003). Role of Haptics in Teaching Structural Molecular Biology. In *Proceedings of the 11th Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperators Systems (HAPTICS'03)* (pp. 363–366).
- Schraw, G., & Lehman, S. (2001). Situational interest: a review of the literature and directions for future research. *Educational Psychology Review*, 13, 23–52.
- Shaer, O., Strait, M., Valdes, C., Feng, T., Lintz, M., Wang, H., ... Way, O. (2011). Enhancing genomic learning through tabletop interaction. In *CHI '11 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 2817–2826).

- Spiegel, C. N., Alves, G. G., Cardona, T. D. S., Melim, L. M. C., Luz, M. R. M., Araújo-Jorge, T. C., & Henriques-Pons, A. (2008). Discovering the cell: an educational game about cell and molecular biology. *Journal of Biological Education*, *43*(1), 27–36.
- Squire, K. (2006). From Content to Context : Videogames as Designed Experience. *Educational Researcher*, *35*, 19–29.
- Squire, K. D., Jan, M., Matthews, J., Wagler, M., Devane, B., & Holden, C. (2006). Wherever you go, there you are: Place-based augmented reality games for learning. In B. E. Shelton & D. A. Wiley (Eds.), *The educational design and use of simulation computer games* (pp. 265–296). Amsterdam, The Netherlands: Sense Publisher.
- Squire, K., & Jan, M. (2007). Mad city mystery: developing scientific argumentation skills with a place-based augmented reality game on handheld computers. *Journal of Science Education and Technology*, *16*, 5–29.
- Squire, K. D., & Steinkuehler, C. (2005). Meet the Gamers. *Library Journal*.
- Starks, K. (2014). Cognitive behavioral game design: a unified model for designing serious games. *Frontiers in Psychology*, *5*, 28.
- Uitto, A. (2012). Näkökulmia biologian oppimisen kehittämiseksi. In P. Kärnä, L. Houtsonen, & T. Tähkä (Eds.), *Luonnontieteen opetuksen kehittämishaasteita* (pp. 29–48). Helsinki: Opetushallitus.

IMPROVING STUDENTS' UNDERSTANDING OF GREENHOUSE EFFECT, ACID RAIN AND THE DEPLETION OF STRATOSPHERIC OZONE¹

Thomas Roßbegalle and Bernd Ralle

TU Dortmund University, Department of Chemistry and Chemical Biology, Didactics, Otto-Hahn-Straße 6, 44221 Dortmund, Germany

Abstract Global change phenomena, such as an enhancing greenhouse effect, acid rain or the depletion of stratospheric ozone, are considered as environmental problems. Contrary to the demands of Education for Sustainable Development (ESD), three recently published studies have shown that German students still struggle with the acquisition of a scientifically acceptable understanding of these issues. These findings are in accordance with results from international research. Thus, the aim of the research project described in this paper is to enhance students' understanding of the greenhouse effect, acid rain and the depletion of stratospheric ozone. Using the model of Didactical Design Research, teaching and learning materials were developed and empirically tested in Design-Experiments with 14 students in two iterative cycles. The results show that students are able to develop a scientifically acceptable understanding of the atmospheric phenomena by changing their prior conceptions in different ways. For example they can acquire a scientific understanding of the transformation of radiation in the process of greenhouse effect or they can describe the chemical processes of the formation of acid rain and ozone depletion adequately. Furthermore the results bring out that students struggle with obstacles, e.g. concerning the acquisition of conceptions about radiation or the correct use of technical language.

Keywords: Greenhouse effect, acid rain, ozone depletion, learning processes, Didactical Design Research

1 Introduction

Since the beginning of the 1990s a lot of studies have dealt with the question of students' conceptions about the three phenomena of greenhouse effect, acid rain and the depletion of stratospheric ozone (e.g. Boyes & Stanisstreet, 1992; Cordero, 2000; Fisher, 1998; Khalid, 2003; Maharaj-Sharma, 2009; Pruneau, Gravel, Bourque & Langis, 2003; Stavridou & Marinopoulos, 2001). Due to the fact that the consequences of these three atmospheric phenomena are recognized as challenges for mankind, the United Nations Conference on Environment and Development declared the AGENDA 21 which emphasizes the need for a sustainable development. For the promotion of this idea, education has an important role; the AGENDA 21 claims that "education is critical for promoting sustainable development and improving the capacity of the people to address environment and development issues." (Sitarz, 1993, p. 293)

According to the demands of ESD, a considerable curriculum development has taken place in Germany. The atmospheric phenomena have become part of school curricula of

different subjects (e.g. biology, chemistry, physics) and a lot of teaching materials have been developed (e.g. Dittmer et al., 2006; Parchmann & Jansen, 1996; Parchmann, Kaminski & Jansen, 1995; Parchmann, Kaminski, Mester & Paschmann, 1997). However, three recently published studies have shown that German students only have a poor understanding of the scientific background of the three atmospheric phenomena (Harsch, 2013; Niebert, 2010; Schuler, 2011). The results show that students often have little knowledge about the chemical and physical processes in the atmosphere and most students confuse the processes of greenhouse effect and stratospheric ozone depletion.

Because of this we wondered if it is possible for students to acquire a scientifically acceptable understanding of the three phenomena in chemistry lesson. Thus, the project “Atmosphere in Chemistry lesson” deals with the development and the evaluation of teaching and learning materials that intend to improve students’ understanding of the greenhouse effect, acid rain and the depletion of stratospheric ozone. The project is embedded in the interdisciplinary research group FUNKEN at TU Dortmund University which follows the research approach of Didactical Design Research (Prediger et al., 2012; Prediger & Zwetschler, 2013).

In this paper, we first describe the model of Didactical Design Research. Afterwards we describe the different steps of the research project according to the four working areas of the model of Didactical Design Research.

2 Didactical Design Research – the Dortmund Model

The model of Didactical Design Research combines different ideas of science education research. On the one hand the model aims at developing innovative teaching and learning materials, on the other hand it focuses on the learning process of the students and tries to develop empirical insights into students’ learning pathways and obstacles.

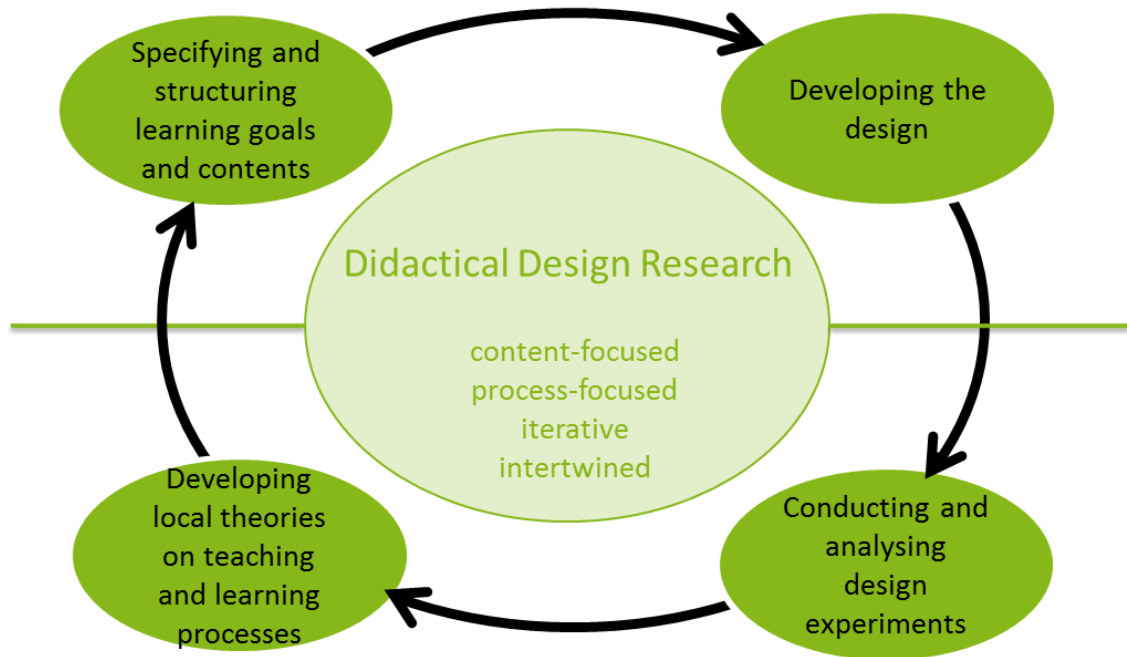


Figure 1. Didactical Design Research in the Dortmund Model. (Prediger & Zwetschler 2013, p. 411).

In a first step, the learning goals and contents are specified and structured. This working area deals with the questions of *what should be taught* and *why this should be taught*. Consequently, this requires an examination of the content-related specific background. Furthermore the model emphasizes to take into consideration well-known alternative conceptions concerning the learning contents.

The formulated goals are the basis for the development of teaching and learning materials (working area two “Developing the design”). In this working area the question of *how to reach the goals* is being answered by the design of teaching and learning materials. The process of designing is based on empirical and abstract comprehension of teaching and learning as well as on scientific findings about levels of students’ performances (e.g. knowledge requirements, common challenges) (Prediger et al., 2012).

In the third working area the teaching and learning materials are tested. For this, design experiments (Cobb, Confrey, diSessa, Lehrer & Schauble, 2003; Komorek & Duit, 2004) are conducted with small groups of students. The analysis of the design experiments aims at understanding the students’ learning pathways throughout the design experiment. This means both the identification of the students’ conceptual development as well as the identification of obstacles. The results of the analysis are used to develop a local theory of teaching and learning (working area four). Furthermore they are an empirically established basis for a further cycle. Thus, the central idea of this model is “the iterative interplay between designing teaching-learning arrangements, conducting design experiments, and empirically analysing the processes.” (Prediger & Zwetschler, 2013, p. 409)

3 Specifying and structuring learning goals and contents

In the first step, we formulated the goals for teaching. For this, we first regarded the scientific background of the three atmospheric phenomena and afterwards compared this to the state of research about students' understanding of the phenomena

3.1 Scientific background

The greenhouse effect, acid rain and the depletion of stratospheric ozone have in common that they are processes of atmospheric chemistry and physics that occur naturally. There is a natural greenhouse effect, mainly caused by water vapour, acid rain develops from emissions that are discharged due to volcanic eruptions or the formation of lightning and the chemical equilibrium of stratospheric ozone involves nitrogen monoxide (with nitrous oxide as its atmospheric driver). Due to the impact of mankind, the emissions of the responsible pollutants have increased:

- the emission of greenhouse gases (e.g. from burning fossil fuels, deforestation) cause an enhanced greenhouse effect,
- the discharge of sulphur dioxide and nitrogen oxides causes a decrease of pH-level of precipitation and
- the discharge of ozone depleting substances (especially CFCs) has led to a decrease of the stratospheric ozone mixing ratio.

3.2 Consideration of students' understanding

As we already mentioned initially, many students lack an adequate understanding of those processes. There are many studies that identified students' alternative conceptions about their understanding of the greenhouse effect, acid rain and the depletion of stratospheric ozone (e.g. Boyes & Stanisstreet, 1992; Fisher, 1998; Khalid, 2003; Koulaidis & Christidou, 1999; Papadimitriou, 2004; Stavridou & Marinopoulos, 2001). In the past years, the studies of Harsch (2013), Niebert (2010) and Schuler (2011) have documented that German students are often not able to describe the atmospheric phenomena in a scientifically acceptable way as well. In most cases, students fail to distinguish the processes of the greenhouse effect from those of the stratospheric ozone depletion. Instead they think that the greenhouse effect is the result of the ozone hole or vice versa. Sometimes they also confuse these two phenomena with the formation of acid rain. Figure 2 shows a typical idea of students' descriptions of the greenhouse effect.

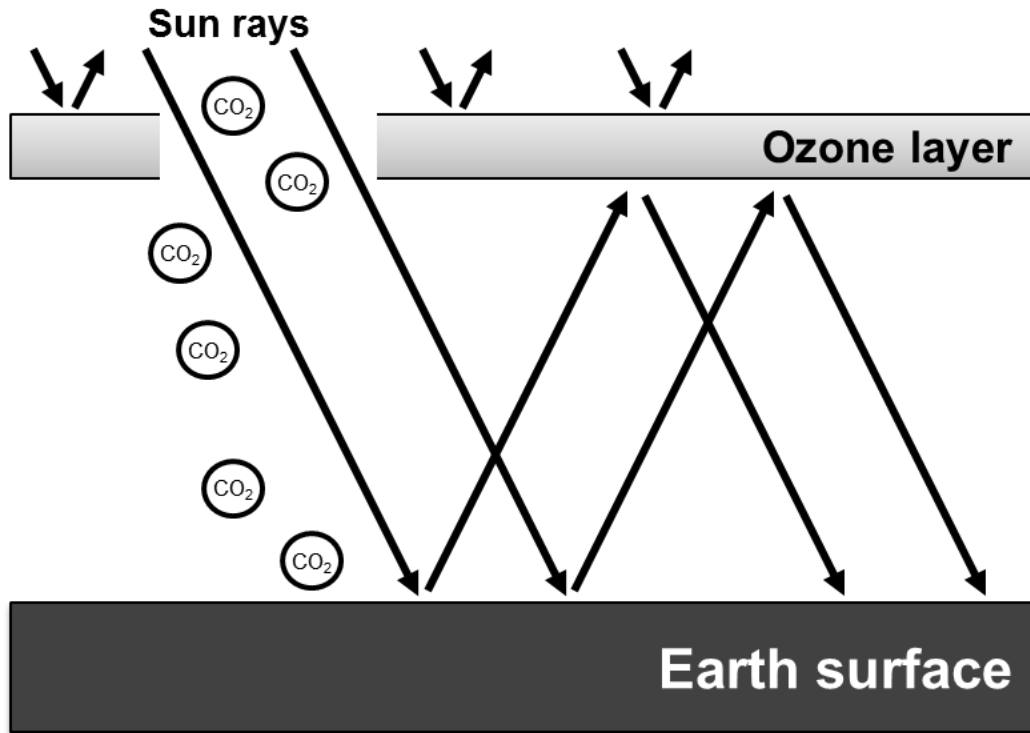


Figure 2. Typical alternative conception of German students about the greenhouse effect. Students think that carbon dioxide causes the ozone hole which enables the penetration of sun rays which are captured between the earth surface and the ozone layer.

In literature, different explanations are discussed why students hold these alternative conceptions. It is said that the use of alternative conceptions

- is fruitful for learners: students can explain how CO₂ contributes to the greenhouse effect;
- is characterized by the use of analogies: students think of the atmosphere as a container. Only if there is a damage on the roof (i.e. the hole in the ozone layer), something (sun rays) can come inside (i.e. between earth surface and ozone layer) and remain there;
- is a result of the facile likeness of the phenomena: the greenhouse effect and the depletion of stratospheric ozone both have to do with some kind of pollution and some kind of radiation. If students do not have a closer look at the involved pollutants or the quality of radiation, they will fail to distinguish the phenomena from each other (acc. to Meadows & Wiesenmayer, 1999; Niebert & Gropengiesser, 2013; Rye, Rubba & Wiesenmayer, 1997; Schuler, 2011).

We think that students should be able to understand the three phenomena in a scientifically acceptable way. Because of this, we think that students should be able both to describe and to differentiate the phenomena from each other by the use of

- the different particles and the different qualities of radiation that are involved in the phenomena,
- the different core processes of the phenomena and
- the respective involved atmospheric layers.

4 Developing the design

The greenhouse effect, acid rain and the depletion of stratospheric ozone are not a part of what we can experience directly. Thus, in many textbooks illustrations are used to describe the processes of the three atmospheric phenomena. Unfortunately, we found that most illustrations in German textbooks are not suitable for students. This is caused by different reasons: most illustrations

- do not show a relation between the different atmospheric phenomena;
- do not focus on central information;
- do not differentiate enough between different radiation or pollutants;
- are mistakable or erroneous concerning central aspects.

We described the aspect of analysing graphical representations and the upcoming problems for students more detailed in Roßbegalle and Ralle (2014a).

4.1 Developing teaching and learning materials

Because of this, we decided to develop own materials for the teaching of the phenomena using multi-level representations (Gilbert & Treagust, 2009; Johnstone, 2006). By reason of the dynamic character of the processes, we decided to teach the phenomena using animated videos. Furthermore we think that it is important to teach the phenomena using three levels

of representation. First, the phenomena are taught on a “quasi-atmospheric level” (see figure 3). The students are shown the atmosphere as a composition of different layers which are separated by barriers. All three phenomena are visualized as interactions of different particles or as interactions of particles with radiation in this “atmospheric framework”.

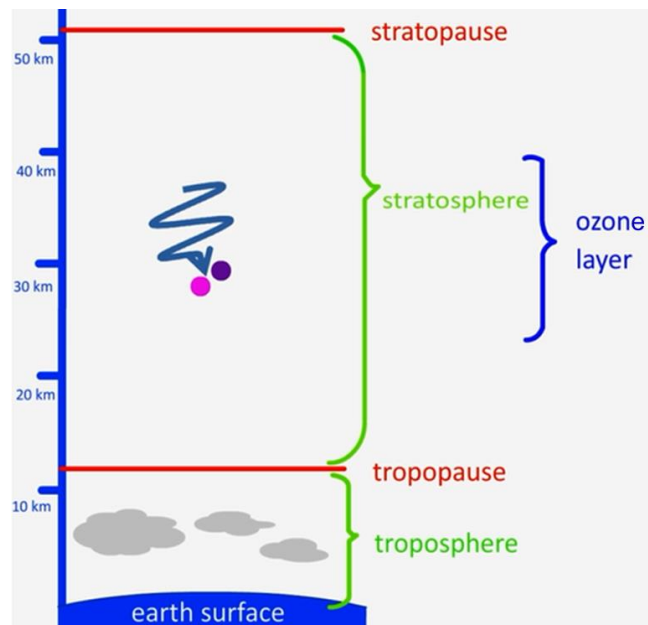


Figure 3. Snapshot from video – ozone layer depletion in the framework of the atmosphere.

Additionally, the core processes are shown on the submicro level. For example, figure 4 shows a screenshot of an animated video in which the depletion of stratospheric ozone by chlorine molecules is illustrated. These illustrations on the submicro level are cross-linked with the chemical equation of the reactions (i.e. $O_3 + Cl \rightarrow O_2 + ClO$ for the reaction shown in figure 4).

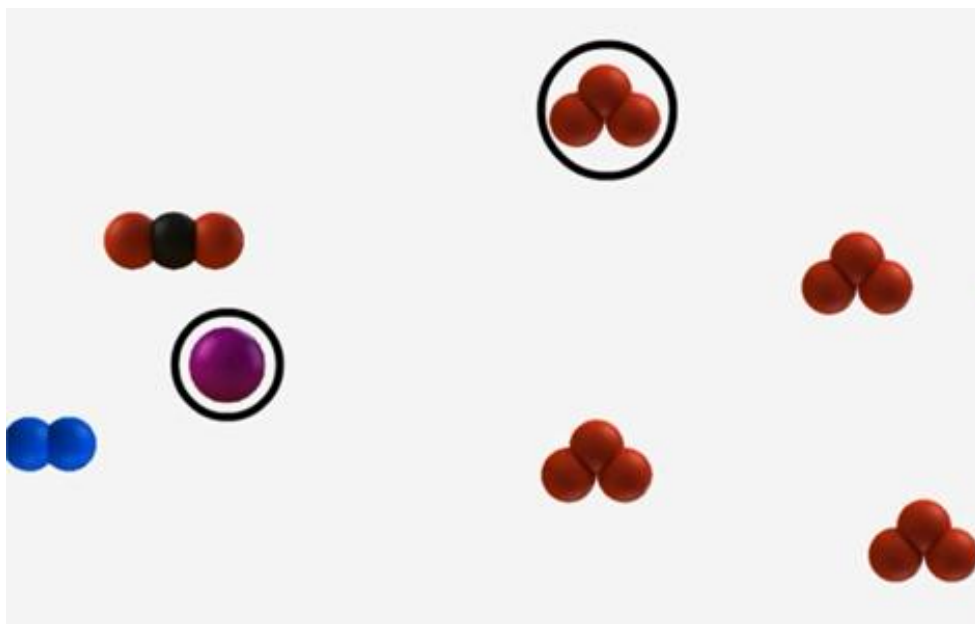


Figure 4. Snapshot from video – depletion of an ozone molecule by a chlorine atom.

4.2 Developing a strategy for conceptual change

We furthermore developed a strategy for the use of these teaching materials in class. For this we both seized suggestions from general strategies to change students' alternative conceptions (Driver, 1989; Scott, Asoko & Driver, 1992) and also strategies that were proposed by studies dealing with the learning of the greenhouse effect (Mason & Santi, 1998; Niebert, 2010; Reinfried, Aeschbacher & Rottermann, 2012), the learning of the greenhouse effect and the depletion of stratospheric ozone (Österlind, 2005) and the learning of acid rain (Marinopoulos & Stavridou, 2002; Stavridou & Marinopoulos, 2001).

In a first step – a phase which we call *Think/Share* – students are asked to reflect on their prior knowledge about the atmospheric phenomena. Afterwards, students work with the instructional material and get to know the scientific description of the phenomena (*Acquire*). Then, students shall compare their prior knowledge and their acquired conceptions in order to reflect on their conceptual development (*Compare*). In the fourth step, students use their new knowledge in a new situation (*Transfer*).

5 Conducting and analysing design experiments

Having developed the teaching and learning materials we went to the third working area which is the empirical evaluation of the developed materials. In so called design experiments groups of two or three students worked with the teaching and learning materials outside the classroom. These design experiments aim at investigating the learning processes that are initiated by the teaching and learning materials. This working area does not intend to show that this design works, instead it is the goal to understand how the design works and which learning processes are in fact initiated (Gravemeijer & Cobb, 2006; Prediger et al., 2012). In these design experiments the interviewer has both the role of a researcher and a teacher. In the role of a researcher he is interested in the students' understanding and their learning processes. In the role of a teacher he helps students to overcome obstacles (Komorek & Duit, 2004).

5.1 Sample

We conducted design experiments with a total of 14 students (8 male, 6 female, aged 14 to 17). In a first cycle of design experiments, we tested the teaching and learning materials with nine students (three groups). On the basis of these first impressions we revised the materials. For example, we found that students developed unwanted alternative conceptions such as the idea that particles decay in the atmosphere (instead of describing a reaction between particles. For further information see Roßbegalle & Ralle, 2014b). Thus, we changed little details in the visualizations and developed supportive tasks. With the reviewed materials we conducted a second cycle of design experiments with five students (two groups). All design experiments were videotaped and conducted by the first author.

5.2 Analysis

For the analysis the videos were transcribed. The analysis focused on

- the reconstruction of students' prior conceptions and their development in the design experiment,
- students' performance in the transfer phase and
- the identification of obstacles.

For this, we conducted a qualitative content analysis in accordance with Mayring (2000). The analysis was conducted with QDA software (MAXQDA11). In the following we present selected results in summary.

5.3 Results

In the analysis of the Think/Share phase we found that the prior conceptions of all groups of students were consistent with well-known-alternative conceptions. For example, students explained

- the greenhouse effect using the idea of a reflection of sun rays,
- the formation of acid rain as a mixing of pollutants with clouds,
- the depletion of ozone as a result of carbon dioxide emissions.

However, we were able to identify that the students' showed dissatisfaction with their prior conceptions when they were discussing their prior knowledge in the group. On the whole we could identify 44 situations in which students showed dissatisfaction with their prior conceptions. It is remarkable that this was found for every group of students. Each group discussed at least their understanding of two phenomena controversially. The dissatisfaction appeared as

- scrutinizing prior conceptions,
- contradicting statements of other students and
- developing diverse descriptions of the phenomena.

When students arrived at the phase of *Acquire*, they were able to change their understanding of the atmospheric phenomena. It is remarkable that the students did not only copy the information that they were presented in the video. Instead they developed hybrid conceptions (acc. to Jung, 1993) that showed a conceptual change in some parts of the understanding but that still contained some alternative conceptions. All groups were able to develop their conceptual understanding further. For example, all groups describes the interaction of radiation and matter in an appropriate way. Furthermore, all groups of students were able to describe the chemical processes adequately instead of using concepts of transport (for the formation of acid rain) or destruction (for the depletion of stratospheric ozone).

The following example illustrates the learning process of Jens', Nils' and Andre's understanding of the interaction between radiation and matter in the process of greenhouse effect.

In the phase of Think/Share the students described the greenhouse effect as follows:

- The major part of *solar radiation* (i.e. UVA rays) reaches the earth surface,
- solar radiation is *reflected* by the earth surface,
- the major part of the *solar radiation* cannot escape to space because of the *ozone layer or particles beyond the ozone layer*,
- the ozone layer *reflects* the *solar radiation* back to the earth surface, and
- this results in a *warming* of the earth.

During the phase of Think/Share the students got into discussion of their description of the greenhouse effect and consequently developed dissatisfaction with it as the following excerpt shows.

- Nils: Well, I think that there are particles beyond the ozone layer and these reflect the solar rays back to the earth again and again.
- Jens: I don't understand what you mean.
- Nils: These particles are beyond the ozone layer.
- Jens: What particles do you mean?
- Nils: Some kind of particles, any kind of pollution. They accumulate beyond the ozone layer and every time solar rays come to it, they get reflected.
- Andre: But does it only reflect in one way or both?
- Nils: What do you mean by both ways?
- Andre: There are some rays coming to the earth from the sun. And if there are particles, they will not only reflect outgoing but also incoming rays.
- Interviewer: So you're wondering how solar rays can come to the earth surface at all?
- Andre: Yes.

Having worked with the animated video, they described the greenhouse in this way:

- The major part of *solar radiation* reaches the earth surface,
- solar radiation gets *absorbed* by the earth surface, it is *transformed* and *infrared radiation* is emitted,
- when infrared radiation reaches the *ozone particles*, it is *absorbed* and then *emitted into random directions* (i.e. back to earth or into space), and
- returned infrared radiation leads to a further *warming* of the earth.

This example shows that these students changed their understanding of the interaction between radiation and matter which is necessary for an adequate understanding of the greenhouse effect. At the same time, the students still say that ozone is a barrier for outgoing radiation (instead of greenhouse gases).

Regarding obstacles in the learning processes, we were able to identify different situations in which students struggled to acquire a scientifically acceptable understanding. In these situations it turned out that the students had problems

- with the use of analogies that they know from everyday life. The students developed alternative conceptions because they do not use analogies in the adequate situations;
- to differentiate adequately between different qualities of radiation. They often mainly struggled with the differentiation of "sun rays";
- with the correct use of technical language. For example, students had problems to decide consciously if it is suitable to say "to mix" or "to react".

6 Developing local theories on teaching and learning processes

6.1 Local theories on learning processes

First, it is remarkable to determine that alternative conceptions of the greenhouse effect, acid rain and the depletion of stratospheric ozone are neither plausible nor fruitful to students. Instead, when discussing these conceptions, students develop dissatisfaction. Thus, students are able to change their understanding of these phenomena when they work with the teaching and learning material. These changes of conceptual understanding are not an adoption of the information that is given but rather a change of the prior conceptions. Accordingly, students' learning processes can be described as a gradual change of prior conceptions towards a scientific understanding. It seems that the advancement of everyday conceptions about pollution, chemical reaction and radiation is a key factor to develop a scientifically acceptable understanding of the atmospheric phenomena.

6.2 Local theory on teaching

With regards to the learning processes we think that teaching the greenhouse effect, acid rain and the depletion of stratospheric ozone should focus on a change of the students' prior conceptions rather than on a replacement. The results imply that the students' understanding should be understood as "missing conceptions" rather than "misconceptions" (acc. to von Aufschnaiter & Rogge, 2010). Thus teaching the atmospheric phenomena should aim at enhancing the students' understanding of conceptions about different pollutants, chemical reactions and radiation. We think that visualizations on the submicro level are a powerful tool to reach this goal.

7. Conclusion

At the end of this paper, we revisit the initial question whether it is possible for students to acquire a scientifically acceptable understanding of the three phenomena in chemistry lesson. After two cycles of Didactical Design Research we come to the point that this is possible. The results underline that students are able to understand the atmospheric phenomena in a scientifically acceptable way when they work with the developed teaching-learning materials. Consequently we think that the teaching-learning materials should be used in regular chemistry lesson for teaching. Due to the fact that there are different obstacles that may occur during the learning process, we think that it is also necessary to continue both the revision of the teaching and learning arrangements as well as the evaluation of the students' learning processes. Hence we think that the model of Participatory Action Research (Eilks & Ralle, 2002) illustrates a suitable approach for the next steps. On the one hand it focusses on the teachers' expertise for implementing the materials in regular chemistry lesson; furthermore it aims at a cyclical process of optimizing the teaching-learning materials in a similar way as the model of Didactical Design Research.

References

- Boyes, E., & Stanisstreet, M. (1992). Students' perceptions of global warming. *International Journal of Environmental Studies*, 42(4), 287–300. doi:10.1080/00207239208710804
- Cobb, P., Confrey, J., diSessa, A., Lehrer, R., & Schauble, L. (2003). Design Experiments in Educational Research. *Educational Researcher*, 32(1), 9–13. doi:10.3102/0013189X032001009
- Cordero, E. (2000). Misconceptions in Australian students' understanding of ozone depletion. *Melbourne Studies in Education*, 41(2), 85–97.
- Dittmer, M., Balzereit, C., Berg, S., Hülse, J., Schmidt, A., Schulz, K., . . . Duvinage, B. (2006). Saurer Regen: Ursache, Auswirkung und Vermeidung. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, 55(3), 22–26.
- Driver, R. (1989). Changing Conceptions. In P. Adey (Ed.), *Adolescent development and school science* (pp. 79–103). Falmer.
- Eilks, I., & Ralle, B. (2002). Participatory Action Research within Chemical Education. In B. Ralle & I. Eilks (Eds.), *Didaktik der Naturwissenschaften. Research in chemical education - what does this mean? Proceedings of the 16th Symposium on Chemical Education held at the University of Dortmund, 22-24 May 2002* (pp. 87–98). Aachen: Shaker.
- Fisher, B. W. (1998). There is a hole in my greenhouse effect. *School Science Review*, 79(288), 93–99.
- Gilbert, J., & Treagust, D. F. (2009). Introduction: Macro, Submicro and Symbolic Representations and the Relationship Between Them: Key Models in Chemical Education. In J. Gilbert & D. F. Treagust (Eds.), *Models and modeling in science education: v. 4. Multiple representations in chemical education* (pp. 2–8). Dordrecht: Springer.
- Gravemeijer, K., & Cobb, P. (2006). Design research from the learning design perspective. In J. van den Akker (Ed.), *Educational Design research. The design, development and evaluation of programs, processes and products* (pp. 45–85). London: Routledge.
- Harsch, N. (2013). *Luft, Treibhauseffekt, Ozon und Saurer Regen: Wissensstand und Fehlvorstellungen von Schülerinnen und Schülern ab Jahrgangsstufe 10 und daraus hervorgehende Konsequenzen für den Naturwissenschaftlichen Unterricht*. Münster: Schöningh.
- Johnstone, A. H. (2006). Chemical education research in Glasgow in perspective. *Chemistry Education Research and Practice*, 7(2), 49. doi:10.1039/b5rp90021b
- Jung, W. (1993). Hilft die Entwicklungspsychologie dem Physikdidaktiker? In R. Duit & W. Gräber (Eds.), *IPN: Vol. 135. Kognitive Entwicklung und Lernen der Naturwissenschaften. Tagungsband zum 20. IPN-Symposium aus Anlaß des 60. Geburtstages von Prof. Dr. Heinrich Stork* (pp. 86–109). Kiel: IPN.
- Khalid, T. (2003). Pre-service High School Teachers' Perceptions of Three Environmental Phenomena. *Environmental Education Research*, 9(1), 35–50. doi:10.1080/13504620303466
- Komorek, M., & Duit, R. (2004). The teaching experiment as a powerful method to develop and evaluate teaching and learning sequences in the domain of non-linear systems. *International Journal of Science Education*, 26(5), 619–633. doi:10.1080/09500690310001614717
- Koulaidis, V., & Christidou, V. (1999). Models of students' thinking concerning the greenhouse effect and teaching implications. *Science Education*, 83(5), 559–576. doi:10.1002/(SICI)1098-237X(199909)83:5<559::AID-SCE4>3.0.CO;2-E
- Maharaj-Sharma, R. (2009). Lower Secondary Science Students' Misconceptions Of Ozone Depletion And Global Warming. *Caribbean Curriculum*, 16(2), 57–71.
- Marinopoulos, D., & Stavridou, H. (2002). The influence of a collaborative learning environment on primary students' conceptions about acid rain. *Journal of Biological Education*, 37(1), 18–25. doi:10.1080/00219266.2002.9655841
- Mason, L., & Santi, M. (1998). Discussing the Greenhouse Effect: children's collaborative discourse reasoning and conceptual change. *Environmental Education Research*, 4(1), 67–85. doi:10.1080/1350462980040105

- Mayring, P. (2000). Qualitative Content Analysis. *Forum Qualitative Sozialforschung*, 1(2). Retrieved from <http://www.qualitative-research.net/index.php/fqs/article/download/1089/2386>
- Meadows, G., & Wiesenmayer, R. L. (1999). Identifying and Addressing Students' Alternative Conceptions of the Causes of Global Warming: The Need for Cognitive Conflict. *Journal of Science Education and Technology*, 8(3), 235–239. doi:10.1023/A:1009412414470
- Niebert, K. (2010). *Den Klimawandel verstehen: Eine didaktische Rekonstruktion der globalen Erwärmung*. Oldenburg: Didaktisches Zentrum.
- Niebert, K., & Gropengiesser, H. (2013). Understanding and communicating climate change in metaphors. *Environmental Education Research*, 19(3), 282–302. doi:10.1080/13504622.2012.690855
- Österlind, K. (2005). Concept formation in environmental education: 14-year olds' work on the intensified greenhouse effect and the depletion of the ozone layer. *International Journal of Science Education*, 27(8), 891–908. doi:10.1080/09500690500038264
- Papadimitriou, V. (2004). Prospective Primary Teachers' Understanding of Climate Change, Greenhouse Effect, and Ozone Layer Depletion. *Journal of Science Education and Technology*, 13(2), 299–307. doi:10.1023/B:JOST.0000031268.72848.6d
- Parchmann, I., & Jansen, W. (1996). Der "Treibhauseffekt" als Folge der Wärmeabsorption von Gasen. *CHEMKON*, 3(1), 6–11. doi:10.1002/ckon.19960030103
- Parchmann, I., Kaminski, B., & Jansen, W. (1995). Die Wärmeabsorption von Gasen – Voraussetzung für den Treibhauseffekt. *CHEMKON*, 2(1), 17–25. doi:10.1002/ckon.19950020105
- Parchmann, I., Kaminski, B., Mester, U., & Paschmann, A. (1997). Behandlung des Themas Ozon im Chemieunterricht mit Hilfe anschaulicher Experimente. *PLUS LUCIS*, (1), 27–31.
- Prediger, S., Link, M., Hinz, R., Hußmann, S., Ralle, B., & Thiele, J. (2012). Lehr-Lernprozesse initiieren und erforschen: Fachdidaktische Entwicklungsforschung im Dortmunder Modell. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 65(8), 452–457.
- Prediger, S., & Zwetzschler, L. (2013). Topic-specific design research with a focus on learning processes.: The case of understanding algebraic equivalence in grade 8. In T. Plomp & N. Nieveen (Eds.), *Educational Design Research: Illustrative Cases* (pp. 407–424). Enschede: SLO. Retrieved from <http://international.slo.nl/publications/edr/contents/c20/>
- Pruneau, D., Gravel, H., Bourque, W., & Langis, J. (2003). Experimentation with a Socio-constructivist Process for Climate Change Education. *Environmental Education Research*, 9(4), 429–446. doi:10.1080/1350462032000126096
- Reinfried, S., Aeschbacher, U., & Rottermann, B. (2012). Improving students' conceptual understanding of the greenhouse effect using theory-based learning materials that promote deep learning. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 21(2), 155–178. doi:10.1080/10382046.2012.672685
- Roßbegalle, T., & Ralle, B. (2014a). Conducting Didactical Design Research to enhance students' understanding of atmospheric phenomena. In I. Eilks, S. Markic, & B. Ralle (Eds.), *Science Education Research and Education for Sustainable Development. Proceedings of the 22nd Symposium on Chemical and Science Education held at the of University of Bremen, 19-21 June 2014* (pp. 61–72). Aachen: Shaker.
- Roßbegalle, T., & Ralle, B. (2014b). Promoting a better understanding of global change phenomena – a design based research project. In C. P. Constantinou, N. Papadouris, & A. Hadjigeorgiou (Eds.), *E-Book Proceedings of the ESERA 2013 Conference: Science Education Research For Evidence-based Teaching and Coherence in Learning. Part 5 (Dimitris Psillos and Nicos Papadouris)*. Nicosia, Cyprus: European Science Education Research Association. Retrieved from http://www.esera.org/media/esera2013/Thomas_Ro%C3%9Fbegalle_10Feb2014.pdf
- Rye, J. A., Rubba, P. A., & Wiesenmayer, R. L. (1997). An investigation of middle school students' alternative conceptions of global warming. *International Journal of Science Education*, 19(5), 527–551. doi:10.1080/0950069970190503
- Schuler, S. (2011). *Alltagstheorien zu den Ursachen und Folgen des globalen Klimawandels: Erhebung und Analyse von Schülervorstellungen aus geographiedidaktischer Perspektive. Bochumer geographische Arbeiten: Vol. 78*. Bochum: Europäischer Universitätsverlag [u.a.].

Scott, P., Asoko, H. M., & Driver, R. (1992). Teaching for Conceptual Change: A Review of Strategies. In R. Duit, F. Goldberg, & H. Niedderer (Eds.), *IPN: Vol. 131. Research in physics learning. Theoretical issues and empirical studies: proceedings of an international workshop held at the University of Bremen, March 4-8, 1991*. Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften an der Universität Kiel.

Sitarz, D. (1993). *AGENDA 21: The Earth Summit strategy to save our planet*. Boulder, Colo: EarthPress.

Stavridou, H., & Marinopoulos, D. (2001). Water and air pollution: Primary students' conceptions about "itineraries" and interactions of substances. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 2(1), 31–41. doi:10.1039/A9RP90035G

von Aufschnaiter, C., & Rogge, C. (2010). Misconceptions or missing conceptions. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 6(1), 3–18.

MITÄ ON PÄÄN SISÄLLÄ? SUOMALAISTEN 4–11-VUOTIAIDEN LASTEN KÄSITYKSIÄ IHMISEN PÄÄN SISÄLLÖSTÄ JA AIVOISTA

Eila Jeronen^{1,2}, Marja-Liisa Kalinen¹ & Eine Lehtinen¹

¹Oulun yliopisto,

²Helsingin yliopisto ja Lapin yliopisto,

Tiivistelmä Opettajilla on erityisasema ohjattaessa oppilaita ymmärtämään terveyttä ja hyvinvointia koskevia asioita ja ihmiskehon toimintaa. Kuitenkaan ulkomaisten tutkimusten perusteella suurin osa 15-vuotiaistakaan ei ymmärrä ihmiskehoa kokonaisuutena. Meillä lasten käsityksiä elimistöstä, sen rakenteesta ja toiminnasta ei ole juurikaan tutkittu. Tässä fenomenografisessa tutkimuksessa kartoitetaan 4–11-vuotiaiden lasten käsityksiä ihmisen pään sisällöstä sekä tarkastellaan niiden tieteenmukaisuutta ja pohditaan sitä, miten opettaja voi tukea biologisen tiedon omaksumista. Lapsen ajattelua lähestytään ajattelun kehitystä koskevan teorian ja lapsen biologista ajattelua koskevan teorian avulla. Tutkimukseen osallistui vapaaehtoisesti 138 lasta. Aineisto käsittää lasten piirroksia ja niihin pohjautuvia haastatteluja. Se analysoitiin fenomenografisen analyysin keinoin. Tulokset osoittavat, että samankin ikäryhmän lapsilla on moninaisia käsityksiä ihmisen pään sisällöstä. Osalla lapsista oli alkavaa tieteenmukaista tietoa, mutta osalla käsitykset pohjautuivat suureksi osaksi mielikuvitukseen. Suurin osa lapsista tiesi aivojen sijaitsevan päässä. Jotkut osasivat luetella aivojen yksittäisiä osia ja kertoa jotakin aivojen tehtävistä. Useimmat lapset totesivat, että aivojen tehtävänä on ajatella ja ohjata liikkumista. Käsitykset pään sisällöstä olivat suurimmalla osalla hataria tai tieteenmukaiseen tietoon nähden virheellisiä, pitkälti heidän kokemustensa pohjalta muodostuneita arkikäsityksiä. Niissä korostui konkreettisuuden sekä lapsen omakohtaisen kokemuksen merkitys. Kokonaisvaltaista tietoa aivojen rakenteesta ja toiminnasta ei ollut yhdelläkään lapsella. Biologisen tieteellisten tiedon ymmärtämisen ja omaksumisen kannalta on tärkeää, että heti uuden aiheen käsittelyn alussa lasten kokemukset ja arkikäsitykset otetaan huomioon. Lisäksi tulisi myös selvittää, mitä kukin lapsi käyttämillään käsitteillä tarkoittaa.

Asiasanat fenomenografia, lapsen ajattelu, arkikäsitys, tieteenmukainen tieto

WHAT IS INSIDE OF THE HEAD? CONCEPTIONS OF FINNISH 4–11 YEAR OLD CHILDREN ON THE CONTENT OF THE HEAD AND THE BRAIN

Abstract Teachers have a special role when supporting students' understanding of health and wellbeing and function of the human body. However, studies made abroad show that the majority of 15 years old children do not understand the human body as a whole. In Finland, we have only a couple of studies concerning children's conceptions on the structure and function of the body. This phenomenographic survey study is based on the development theory of children's thinking and on the theory of biological thinking. The task is to clarify what kind of conceptions children (aged 4–11) have on the content of the human head and how the conceptions relate with scientific knowledge. It will be discussed how a teacher can support learning of biological knowledge, too. 138 children participated voluntarily in the study. Material consists of drawings and interviews of the children. It was analysed using phenomenographic methods. According to the results, the conceptions varied much even in the same age group. Some of the children had primitive scientific conceptions, but especially young children's conceptions were based on imagination. Most of the children knew that the brain is located in the head. Some of them were able to name parts of the brain and knew something about its function, e.g. that it thinks and directs movements. The conceptions were based on the experiences of the children, were very tenuous and included many mistakes. No one of the children had totally correct knowledge of the structure and function of the brain. When starting a new biological theme it is very important to take into account experiences and everyday conceptions of children. In addition, it should be clarified what the children mean by the biological concepts they use.

Keywords phenomenography, thinking of a child, everyday conception, science-based knowledge

1 Johdanto

Opettajat ovat avainasemassa ohjattaessa oppilaita ymmärtämään nopeasti muuttuvaa nykyisyyttä ja epävarmaa tulevaisuutta. Tutkimusten mukaan tulevaisuuteen valmistavassa opetuksessa tulisi entistä enemmän kiinnittää huomiota siihen, millaista tietoa tarvitaan, miten tietoa käytetään, miten toimintaan osallistutaan ja sitoudutaan sekä miten toimintaa arvioidaan (Fadel, Bialik, & Trilling, 2015, 25). Hyvän elämän rakentamiseen tarvitaan ihmisiä, jotka toimivat kykyjensä mukaan yhteisössään kestävästi. Toimintakyvyn kehittäminen ja säilyttäminen edellyttää terveyden ja hyvinvoinnin arvostusta ja siten oma kehon toiminnan ymmärtämistä. Ulkomaiset tutkimukset osoittavat, että pääosa 15-vuotiaistakaan ei ymmärrä elimistöä kokonaisuutena (Reiss, ym., 2002, 58–63). Suomalaisen lasten ihmiskehoa koskevia käsityksiä ei ole juurikaan tutkittu. Tässä artikkelissa kuvataan, miten 4–11-vuotiaat lapset ymmärtävät ihmisen pään sisällön ja erityisesti aivojen sijainnin, rakenteen ja tehtävät. Lasten käsityksiä tutkimalla saadaan tietoa lasten tavasta hahmottaa itseään biologisena olentona sekä autetaan opettajia ymmärtämään lasten ajattelua.

Lapsen ajattelua lähestytään ajattelun kehitystä koskevan teorian (Piaget & Inhelder, 1977; Piaget, 1988) ja lapsen biologista ajattelua koskevan teorian (Carey, 1987) avulla.

Piaget`n (1988) mukaan 2–7-vuotiaat lapset ovat esioperationaalisisessa vaiheessa. Konkreettisten operaatioiden vaihe saavutetaan vasta 11-vuotiaana. Näissä kehitysvaiheissa lapset käsittävät asiat aistihavaintojensa pohjalta, joten heidän voi olla vaikea ymmärtää sellaisia abstraktisia asioita kuin pään sisältö. Careyn (1987) mukaan lapset mieltävät kehon toiminnat ensin kokonaisvaltaisesti ja vasta myöhemmin elimistöjen ja elinten merkityksen.

Tutkimus on fenomenografinen kvalitatiivinen tutkimus kvantitatiivisin piirtein. Siinä kartoitetaan ja kuvataan laadullisesti lasten tapaa hahmottaa elämismaailmaansa ja ihmisen biologiaa, etenkin ihmisen pään sisältöä ja aivoja (Niikko, 2003, 16). Lisäksi tarkastellaan lasten käsitysten tieteenmukaisuutta sekä pohditaan sitä, miten biologisen tiedon omaksumista voidaan tukea opetuksen keinoin. Tieteellinen tieto on tieteellisen yhteisön hyväksymällä tavalla tuotettua ja perusteltua tietoa (Ronkainen ym., 2011, 16). Tutkimukseen osallistui 138 suomalaista, 4–11-vuotiasta lasta. Aineiston muodostivat lasten piirroksat ihmisen pään sisällöstä sekä niihin pohjautuvat haastattelut. Piirroksat sopivat lasten käsitysten tutkimiseen (Johnson & Wellman, 1982; Reiss ym., 2002; Bartoszeck & Bartoszeck, 2012). Niitä käytettiin, koska lapset olivat eri-ikäisiä, eivätkä kaikki osanneet kirjoittaa. Haastattelulla pyrittiin saamaan lisätietoa lasten ajattelusta ja varmistamaan, että piirroksat ymmärrettiin lasten tarkoittamalla tavalla. Aineisto analysoitiin fenomenografinen analyysin keinoin. Tutkimuskysymykset ovat:

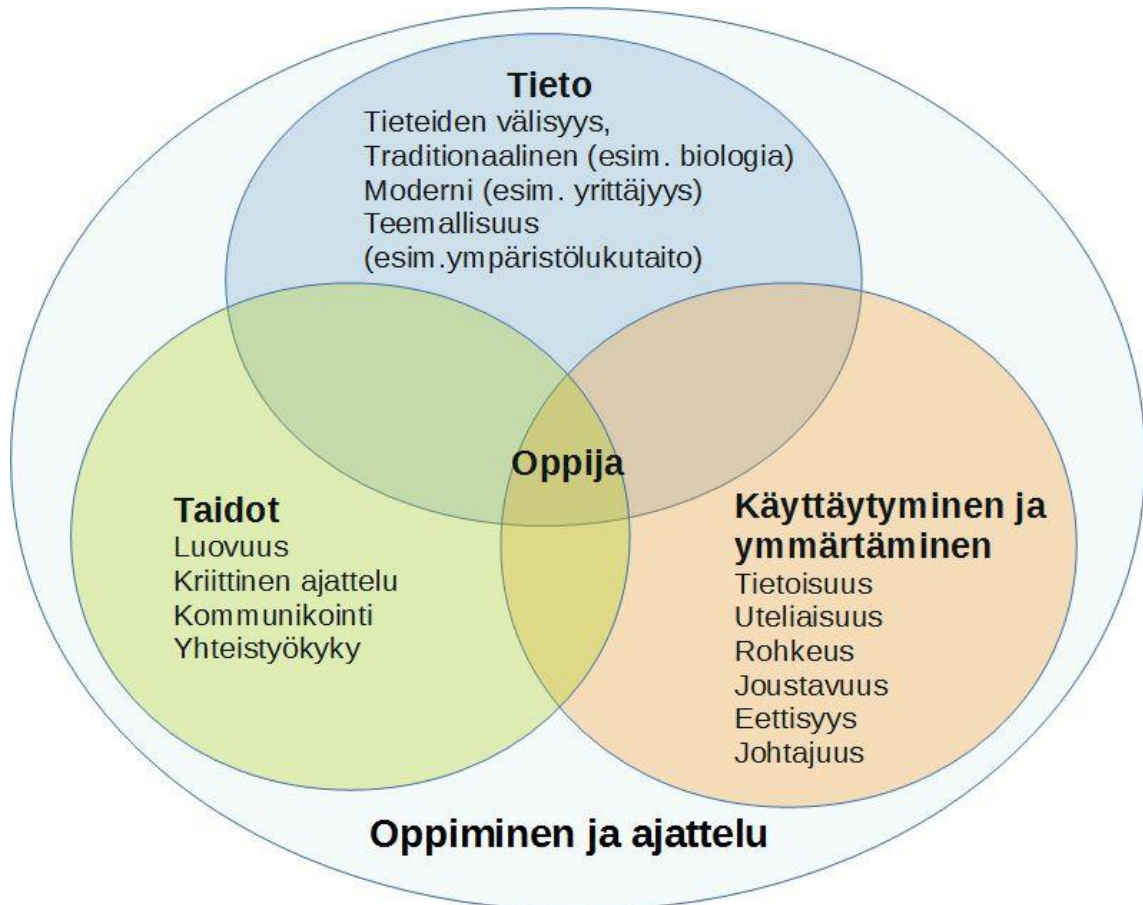
1. Millainen käsitys suomalaisella, 4–11-vuotiaalla lapsella on ihmisen pään sisällöstä, etenkin aivojen sijainnista, rakenteesta ja toiminnasta?
2. Miten pään sisältöä ja aivoja koskeva tieteellinen tieto ilmenee lasten käsityksissä?
3. Miten pään sisältöä ja aivoja koskevat lasten käsitykset liittyvät heidän elämismaailmaansa?
4. Miten opettaja voi tukea biologisen tiedon omaksumista?

2 Oppimisen ja ajattelun taidot 21. vuosisadalla

Eräs laajasti kansainvälisestikin hyväksytty tulevaisuuden tavoite on kestävän yhteiskunnan rakentaminen. Tähän asti tätä tavoitetta ei ole saavutettu. Huoli tulevaisuudesta, syrjäytyminen yhteiskunnasta ja kiireinen, stressaava elämäntyyli aiheuttavat monille pahoinvointia. (Fadel, Bialik, & Trilling, 2015, 1–6.) Tämän osoittaa myös Nuorten hyvinvointi Suomessa 2000–2013 -raportti (Luopa ym. 2014, 3). Hyvät elintavat ja terveystottumukset sekä mielenterveys voivat johtaa parempaan huomiseen, mutta niihin on kasvettava.

Opettajat ovat avainasemassa kasvattaessaan tulevia kansalaisia uudenlaisen tietämyksen luomiseksi. Oppilaita tulisi tukea, jotta he oppisivat ymmärtämään ihmistä ja ympäristöä koskevaa tieteellistä tietoa sekä yhteisöä ja yhteiskuntaa koskevia kysymyksiä (Vauras, Lehtinen, Volet ym., 2014). Opetuksessa olisi kiinnitettävä entistä enemmän huomiota seuraaviin asioihin (kuva 1): 1) tietoon ja sen ymmärtämiseen, 2) tiedon ja taitojen välisiin suhteisiin eli siihen, miten tietoa käytetään, 3) käyttäytymiseen ja sen ymmärtämiseen eli siihen, miten toimintaan osallistutaan ja sitoudutaan sekä siihen, 4)

miten asioita ja tekoja tarkastellaan, pohditaan ja arvioidaan jatkuvan oppimisen ja kehittymisen näkökulmasta (Fadel, Bialik, & Trilling, 2015, 25).



Kuva 1. Oppiminen 21. vuosisadalla (mukaillut Jeronen Fadel, Bialik, & Trilling, 2015, 25 pohjalta).

Oppiminen tehostuu, kun oppilaita perehdytetään tutkivaan tiedon hankintaan (Vauras, Lehtinen, Volet ym., 2014). Erilaiset oppimisympäristöt tukevat oppilaiden pystyvyyttä, itseohjautuvuutta, sitoutuneisuutta ja mielekästä oppimista (Turner & Fulmer, 2013). Aikaan, paikkaan ja opittavaan asiaan sidotut oppimistehtävät kehittävät joustavuutta ja luovuutta. Yhteisöllistä oppimista taas tukevat mm. tiedon yhdessä etsiminen (Volet, Summers, & Thurman, 2009) ja tuottaminen (Khosa & Volet, 2014), yhdessä tapahtuva toimintojen, oppimisen ja tietämisen arviointi (Volet, Vauras, Khosa & Iiskala, 2013) sekä rakentava oppimisen ohjaus (Vauras, Kinnunen, Kajamies, & Lehtinen, 2013). Myös vaikeuksista ja epäonnistumisista selviytymiseen ja tunne-elämän kehittymiseen olisi panostettava (Vauras, Lehtinen, Volet ym., 2014).

Myös Suomessa vuonna 2016 käyttöön otettava Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet sisältää edellä kuvatun kaltaisia ajatuksia (Opetushallitus, 2014, 10). Siinä todetaan, että opetustyön perustan muodostavat oppilaiden yksilöllisen kasvun tukeminen, elämän ja ihmisoikeuksien kunnioittaminen sekä kestävään elämäntapaan ohjaaminen. Paikalliset opetussuunnitelmat suositellaan rakennettaviksi joko traditionaalisesti oppiainetiedon tai modernisti eheyttävän tieteiden välisen tiedon varaan. Oppilaiden

arvoperustan rakentamista tulisi tukea kodin kanssa tehtävän yhteistyön kautta. Oppimisympäristöjen ja työtapojen tulisi tukea oppilaiden kehitystä, oppimista ja vuorovaikutusta tavoitteiden mukaisesti. Vaihtelevien, kokemuksellisten ja toiminnallisten työtapojen ajatellaan kannustavan oppilaita luovuuteen ja itseohjautuvuuteen sekä lisäävän motivaatiota ja yhteisöllistä oppimista. Oppilaita tulisi ohjata asettamaan tavoitteita ja etsimään ongelmiin ratkaisuja sekä itsenäisesti että yhdessä toisten kanssa. Heille tulisi myös luoda mahdollisuuksia toimia aktiivisesti yhteisön jäsenenä. Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteissa todetaan myös, että aistien käyttö sekä havaintojen ja toiminnan kuvaaminen on oppimisen ja ajattelun kehittymisen kannalta olennaista. (Opetushallitus, 2014, 10–17).

3 Ajattelu kehitty vaiheittain

Piaget'n mukaan ajattelu kehitty hermoston kypsymisen ja kokemusten pohjalta. Kehitysvaiheet seuraavat toisiaan aina samassa järjestyksessä, mutta vaiheen saavuttamisikä ja kesto vaihtelevat lapsen älykkyyden ja sosiaalisen ympäristön mukaan. Jokainen kehitysvaihe on pohjana ja edellytyksenä seuraavalle vaiheelle. Piaget jakaa ajattelun kehityksen neljään kauteen: sensomotorinen kausi (0–2 v), esioperationaalinen kausi (2–7 v), konkreettisten operaatioiden kausi (7–11 v) ja muodollisten operaatioiden kausi (12–15 v). (Piaget & Inhelder, 1977, 94–147; Piaget, 1988, 99–107.)

Sensomotorisella kaudella kehittyvät havaintotoimintojen ja ajattelun pohjana olevat kognitiiviset rakenteet. Myös tunnereaktioiden perusta kehitty tällöin. (Piaget & Inhelder, 1977, 13.)

Esioperationaalisella kaudella kieli mahdollistaa vuorovaikutuksen, sosiaalistumisen ja puheen sisäistymisen. Lapsi laajentaa sanavarastoaan, opettelee nimeämään asioita ja ymmärtämään niiden merkityksen, joten opetuksessa on tärkeää kiinnittää huomiota käsitteisiin. Lapsi osaa kertoa toiminnastaan ja ennakoida tulevia tekoja. Hän leikkii symbolisia leikkejä tulkiten todellisuutta mielikuvituksen avulla. 2–7-vuotias lapsi kokee asiat elävinä ja tarkoitushakuisina ja korvaa logiikan intuitiolla. Ajattelu ja käsitteet ovat alisteisia havainnoille. (Piaget & Inhelder, 1977, 61–118; Piaget, 1988, 13–53.)

Konkreettisten operaatioiden kaudella lapsi alkaa käyttää operaatioita. Operaatioilla tarkoitetaan sisäistettäviä ja palautettavia toimintoja. (Piaget & Inhelder, 1977, 94–128.) 7–8-vuotias lapsi pystyy luokittelemaan, luettelemaan ja mittaamaan asioita. Hän osaa tehdä loogisia johtopäätöksiä, mutta operaatiot kohdistuvat esineisiin eivätkä sanallisesti ilmaistuihin oletuksiin ja väittämiin, joten lapsi ei ymmärrä vertauskuvia. Luokittelutaitoja voidaan kehittää erilaisten tehtävien avulla. Esimerkiksi kuvien ja elinmallien avulla elimiä voidaan luokitella eri elimistöihin. Noin seitsemän vuoden iästä lapsi pystyy keskittymään itsenäiseen työskentelyyn sekä tekemään yhteistyötä (Piaget & Inhelder, 1977, 50–128; Piaget, 1988, 70–102).

Muodollisten operaatioiden kaudella lapsen ajattelu vapautuu lisää. 14–15-vuotias pystyy näkemään todellisuuden erilaisten kohteiden, tekijöiden, ideoiden ja väitelauseiden

yhdistelminä. Hän kykenee loogiseen ajatteluun, jonka kohteet voivat olla pelkästään kuviteltuja. Hän osaa tehdä oikeita päätelmiä väittämistä, joihin hän ei usko tai joita hän pitää pelkinä olettamuksina. Lisäksi hän pystyy käyttämään abstrakteja käsitteitä sekä rakentamaan teorioita. (Piaget & Inhelder, 1977, 126–143; Piaget, 1988, 87–90.) Muodollisten operaatioiden hallinta auttaa ymmärtämään kehon toimintaa, sillä ihmisen elimistöä koskevat käsitteet kuvaavat totena pidettyjä mielikuvia ja havaintoja.

Piaget'n ajattelun kehitystä koskevaa teoriaa on kritisoitu mm. siitä, että Piaget tutki sveitsiläisiä keskiluokan lapsia, joten tuloksia ei voida yleistää (Kronqvist & Pulkkinen, 2007, 17). Teoriaa on pidetty liian kokonaisvaltaisena, sillä kaikki lapsen kyvyt eivät kehity samatahtisesti (Bandura, 1997, 21). Teorian heikkoutena on pidetty sitäkin, että Piaget satoi kehityksen biologiseen ikään (Kronqvist & Pulkkinen, 2007, 87). Useissa tutkimuksissa on osoitettu, että Piaget aliarvioi lasten ja yliarvioi nuorten ajattelua ja että kaikki aikuisetkaan eivät saavuta muodollisen ajattelun tasoa. (Hautamäki, 1984, 121; Lehtinen ym., 2007, 109.) Piaget ei myöskään kiinnittänyt tarpeeksi huomiota sosiaaliseen ympäristöön, vaikka sosiaaliset tekijät vaikuttavat kognitiiviseen kehitykseen. (Bandura, 1997, 21–22; Kronqvist & Pulkkinen, 2007, 87.)

Piaget on itsekin kiinnittänyt huomiota kritisoituihin kohtiin. Hän on ollut huolissaan tulostensa yleistettävyydestä ja painottanut, että kehityskausien iät ovat keskimääräisiä eivätkä tiukasti yksittäisen lapsen ikään sidottuja (Piaget, 1988, 99). Tutkimuksessa Piaget'n ajattelun kehitystä koskevaa teoriaa käytetään apuna päiväkotij- ja alakouluikäisten lasten ajattelun tarkastelussa.

Päiväkodissa ja koulussa lapsi oppii uusia käsitteitä ja niiden välisiä suhteita. Käsitteellä tarkoitetaan esineiden, asioiden tai tapahtumien luokkaa, joka on muodostettu ja nimetty yhteisten ominaisuuksien perusteella. Käsitteiden avulla lapsi jäsentää ympäröivää maailmaa ja rakentaa maailmankuvaansa (Laine, 1984, 11; Havu-Nuutinen & Järvinen, 2002, 139–140). Jotta lapsi pystyy toimimaan yhteisössä, hänen käyttämiensä käsitteiden tulee riittävässä määrin vastata yhteisön käsittemerkityksiä. (Hirsjärvi, 1983, 102; Laine, 1999, 29–31; Brotherus ym., 2002, 80.) Käsitteiden hallinnan kehittämällä on keskeinen sija päiväkotij- ja alakouluikäisen lapsen opetuksessa.

4 Lapsen biologisen ajattelun kehittyminen

Carey (1985; 1987) on tutkinut 4–10-vuotiaiden lasten biologisen ajattelun kehittymistä. Lasten ajattelu alkaa muuttua noin 10-vuotiaana. Ensin lapsi mieltää kehon elämisen näkökulmasta. Hän käsittää kehon toiminnan kaikille eläimille välttämättömäksi toiminnaksi, mutta ei tajua ihmisen ja eläimen samankaltaisuutta. Ajattelun kehittyessä lapsi ymmärtää ihmisen nisäkkääksi ja alkaa arvostaa kehon rakennetta. Lopulta hän ymmärtää, että jotkut elintoiminnot ovat samanlaisia ihmisellä ja muilla eläimillä.

Ensin lapsi ymmärtää kehon kokonaisvaltaisesti ja vasta myöhemmin yksittäisten elinten merkityksen. 10-vuotias lapsi tietää sisäelimiä ja ymmärtää niiden vaikuttavan elämään, kasvuun ja lisääntymiseen. Ymmärryksen lisääntyminen perustuu käsitteellisen ajattelun

muutoksiin. (Carey, 1987, 184–185.) Kehittyäkseen lapsen on saavutettava erittelyn ja yhdistelyn taidot. Erittely tarkoittaa esimerkiksi sitä, että lapsi erottaa eläimet ja kasvit sekä niiden lajit toisistaan, yhdistely taas sitä, että lapsi tietää ne kaikki eliöiksi. Tällainen ajattelu ei edellytä teorian muokkaamista. Kehityksen myötä aikaisempien ajatusten pohjalle rakentuu uusia ajatuksia käsitteineen (Carey, 1985, 189–201).

Käsitteet ovat sanamerkityksiä, jotka kehittyvät asteittain yleistyksistä kohti aitoja käsitteitä. Ne jaetaan arkikäsitteisiin ja tieteellisiin käsitteisiin. Arkikäsitteet perustuvat lapsen kokemuksiin ja ovat konkreettisia. Tieteelliset käsitteet syntyvät opetuksen kautta. Niiden omaksuminen edellyttää kykyä teoreettiseen ajatteluun. (Vygotski, 1982, 154–160.) Esimerkiksi ihmisen aivoja kuvaavat ja muut biologiset käsitteet vastaavat Vygotskin tieteellisiä käsitteitä koskevaa toteamusta.

Käsitteellinen ajattelu perustuu mielikuvaan käsitteestä ja käsitteen määrittelyyn (Vinner, 1991, 65–73). Mielikuva syntyy aivoissa välittömän ärsykkeen vaikutuksesta. Käsitteen määrittely tähtää selitykseen, jonka avulla pystytään määrittelemään lisää käsitteitä. Käsitteiden rakentuessa mielikuva voi säilyä ennallaan, sulautua määritelmään tai jäädä määritelmästä irralleen. Yksittäiset käsitteet muodostavat käsitejärjestelmiä. Käsitejärjestelmien kehittyminen edellyttää, että lapsella on käsitteitä, joiden kehittymiseen opetuksella voidaan vaikuttaa. (Vygotski, 1982, 169.) Varhaiskasvatuksessa ihmisen rakenteiden ja elintoimintojen opetus riippuu yksittäisen opettajan tekemistä valinnoista (Sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskus, 2005, 11, 28). Peruskoulussa tieto biologian käsitteistä laajenee ja syvenee vähitellen, kun ihmisen biologiaa opiskellaan alakoulun ympäristöopissa ja yläkoulun biologiassa (Opetushallitus, 2015, 132, 241, 381). Biologian käsitteiden opetusta ja omaksumista vaikeuttaa lapsen tapa selittää ilmiöitä ja asioita tieteellisen tiedon puuttuessa intuiotensa avulla. Opettajan tuleekin selvittää, miten lapsen arkitieto kohtaa tieteellisen tiedon sekä löytää tapoja tukea tieteellisen tiedon omaksumista.

5 Lasten käsitykset ihmisen rakenteesta ja elintoiminnoista

Lasten käsityksiä ihmiskehosta ja pään sisällöstä on tutkittu ulkomailta runsaasti (Gellert, 1962; Reiss ym., 2002; Zoldosova & Prokop, 2007; Bajd & Ivekovič, 2010), mutta Suomessa vähän (Jeronen ym., 2010). Tietoa on kerätty piirustusten, kyselyjen ja haastattelujen avulla. Tulosten keskinäistä vertailua vaikeuttaa se, että tutkimusmenetelmät ovat poikenneet toisistaan ja kulttuurierot ovat vaikuttaneet tulosten tulkintaan. Myös ohjeiden anto tutkimustilanteissa on vaihdellut. Kaikille tutkimuksille yhteinen havainto kuitenkin on, että lasten tiedot ihmiskehosta ovat puutteellisia ja väärinkäsitykset ovat yleisiä kaikissa ikäryhmissä. (Prokop, Fančovičová & Tunncliffe, 2009.)

5.1 Lasten käsitykset ihmiskehosta

Gellertin (1962) tutkimukseen osallistui 96 amerikkalaista 4–16-vuotiasta lasta. Eniten tietojen määrä ja laatu muuttui kypsymisen ja opetuksen seurauksena 4–9 ikävuoden välillä. Nuorimmat lapset kuvasivat kehoa sen mukaan, mitä he olivat nähneet pantavan sinne

sisään tai tulevan sieltä ulos. Ihmisen tärkeimpinä eliminä he pitivät tunnusteltavissa olevia kehon osia kuten jalkoja tai nenää. He tiesivät jotakin luista, koska he pystyivät tunnustelemaan niitä. 7–8-vuotiaat tiesivät sykkeen perusteella sydämen. Alle 9-vuotiaat lapset mielsivät sydämen liittyvän tunne-elämään eivätkä verenkiertoon. 9–10-vuotiaat osasivat luetella useita sisäelimiä kuten mahalaukun, virtsarakon ja keuhkot, mutta he eivät ymmärtäneet niiden välisiä yhteyksiä. He tiesivät myös, että keuhkot puhdistavat verta. 11-vuotiaat osasivat asioita ruuansulatuksesta. Vasta 12–16-vuotiailla oli tietoja elintoimintojen kokonaisuudesta.

Lasten käsityksiin vaikuttavat kypsymisen ja opetuksen lisäksi myös kulttuurierot. Reiss ym. (2002) tutkivat piirrosten avulla 11 maan 7–15-vuotiaiden lasten käsityksiä kehosta. Useimmiten lapset kuvasivat hengitys- ja ruuansulatuselimistöä sekä luustoa. 7-vuotiaista brasilialaiset, pohjois-irlantilaiset sekä taiwanilaiset lapset sijoittuivat tieteenmukaisen tiedon määrässä muita samanikäisiä lapsia paremmin. Tulos johtui opetusjärjestelmien ja perheolojen eroista. Suurin osa 15-vuotiaista ei ymmärtänyt elimistöä kokonaisuutena, vaikka jo 7-vuotiaat tiesivät yksittäisiä elimiä. (Reiss ym., 2002, 58–63.)

Zoldosova ja Prokop (2007, 239–246) tutkivat 6–10-vuotiaiden käsityksiä raskausajan kehityksestä. He valitsivat yhteensä 20 lasta, viisi jokaisesta ikäluokasta. Aineisto koostui piirroksista ja niihin liittyvistä haastatteluista. Samanikäistenkin lasten käsitykset vaihtelivat tasoltaan ja sisällöltään. Niiden muodostumiseen vaikuttivat tietolähteiden laatu ja määrä sekä se, miten utelias tai avoin lapsi oli tai kuinka kiinnostunut hän oli tutkitusta asiasta.

Bajd ja Ivekovič (2010) tutkivat opetuksen vaikutusta lasten käsityksiin. Tutkimukseen osallistui 72 iältään 5–6-vuotiaasta lasta. Opetusta ennen ja sen jälkeen lapset kuvasivat, mitä omenalle syödessä tapahtuu. Ennen opetusta saadut tiedot otettiin huomioon ruuansulatusta koskeneen opetuksen suunnittelussa. Aihetta opetettiin muutaman viikon ajan toiminnallisesti. Ennen opetusta 51 % lapsista piirsi kokonaisen omenan kulkemaan ruuansulatuselimistössä, opetuksen jälkeen 18 %. Ennen opetusta koko ruuansulatuselimistön osasi piirtää 14 % lapsista, opetuksen jälkeen 42 %. Lapsilla oli jonkin verran oikeaa tietoa, mutta paljon virheellistä tietoa kehosta. Syyksi ymmärtämisen vaikeuteen tutkijat mainitsevat, että kehon sisälle ei voi nähdä. Ymmärtämistä voidaan tukea aktiviteeteilla. (Bajd & Ivekovič, 2010, 31–37.)

Jeronen ym. (2010) selvittivät pohjoissuomalaisten 7–8-vuotiaiden lasten käsityksiä ihmiskehosta. Aineisto koostui 20 lapsen piirroksista ja niitä koskeneista haastatteluista. Osalla lapsista ei ollut juurikaan tietoa elimistöstä, osalla oli arkikäsityksiä ja osalla alkeellista tieteenmukaista tietoa. Käsitykset perustuivat konkreettisiin havaintoihin ja väärinkäsitykset olivat yleisiä. Luiden piirtäminen oli kaikista vaikeaa. Lapset eivät hahmottaneet luurankoa kokonaisuutena eikä kallon, selkärangan, kylkiluiden ja raajojen yhteyttä toisiinsa ymmärretty. Pojilla oli luista enemmän tietoja kuin tytöillä. Noin puolet lapsista sijoitti lihaksia käsiin ja jalkoihin ja tiesi niitä tarvittavan liikkumiseen ja voimankäyttöön. Pojat tiesivät sisäelimestä tyttöjä enemmän. Kaikki tiesivät sydämen ja useimmat osasivat kertoa jotakin ruuansulatuksesta. (Jeronen ym., 2010, 145–148).

Edelliset tutkimukset osoittavat, että 4–16-vuotiaat tietävät parhaiten ihmiskehon elimet, joita voi konkreettisesti tunnustella. Heillä on tietoja yksittäisistä elimistä, mutta elinten muodostamaa toiminnallista kokonaisuutta he eivät ymmärrä.

5.2 Lasten käsitykset ihmisen pään sisällöstä ja aivoista

Lasten käsityksistä ihmisen pään sisällöstä on vain vähän tutkittua tietoa. Johnson ja Wellman (1982) tutkivat 3–14-vuotiaiden lasten käsityksiä aivoista. 3-vuotiaat eivät tiedäneet aivojen sijaitsevan pään sisällä, mutta jotkut 4- ja 5-vuotiaat tiesivät. Osalla 4-vuotiaista oli käsityksiä aivojen tehtävistä. Suurin osa yli 5-vuotiaista ymmärsi aivoja tarvittavan esimerkiksi koulutehtävien tekemiseen. Nuorimmat lapset tiesivät aivojen liittyvän ajatteluun, mutta he eivät ymmärtäneet esimerkiksi tarinan kertomiseen tai pään pudistamiseenkin tarvittavan aivoja. Vasta noin 10-vuotias osasi yhdistää aivot kehon osien toimintaan. 8–11-vuotiaat lapset tiesivät aivojen liittyvän käyttäytymiseen, ja 14-vuotiaat ymmärsivät aivoja tarvittavan kaikkien tekemiseen ja käyttäytymiseen. (Johnson & Wellman, 1982, 222–234.)

Bartoszeck ja Bartoszeck (2012) tutkivat brasilialaisten 4–10-vuotiaiden lasten käsityksiä ihmisen pään sisällöstä. He tarkastelivat aivoja koskevien käsitysten kehittymistä ja aivojen kuvaamistapoja. Lapset piirsivät kuvan pään sisällöstä. Osa lapsista haastateltiin piirtämisen jälkeen. Lasten ikä ja sukupuoli otettiin huomioon, kun piirroksia luokiteltiin mielikuva-, virtaus-, koiranluu-, sisälmys-, pintakerros-, kalotti- ja hermostolliseen malliin. Piirroksissa oli kaikkia luokittelusteikkojen malleja. Pääosa nuorimmista lapsista kuvasi aivoja virtausmallin mukaisesti virtaa tai pieniä puroja muistuttavilla viivoilla. Osa lapsista kuvasi pään sisältöä mielikuva- tai koiranluumallin mukaisesti. Edellisessä pään sisälle on piirretty mielikuvitusshahmoja ja jälkimmäisessä koiranluita muistuttavia kuvioita. Kolmannen vuosiluokan jälkeen tuloksissa ei ollut koiranluumallin mukaisia piirroksia. Osa vanhemmista lapsista kuvasi aivoja sisälmys- tai pintakerrosmallin mukaisesti. Edellisessä aivot kuvataan putkina, jälkimmäisessä laattoina. Kalottimallin mukainen kuvaustapa yleistyi iän myötä. Siinä aivot sijoitetaan pään yläosaan. Osa vanhemmista lapsista kuvasi hermostollisen mallin mukaisesti aivot aivopuoliskoina. Tätä kuvaustapaa ei ollut vielä ensimmäisen vuosiluokan eikä sitä nuorempien lasten piirroksissa. Haastattelut osoittivat, että vaikka jotkut lapset piirsivät hermostollisen mallin mukaisia kuvia, he eivät erottaneet aivojen biologista rakennetta ja ajatuksia toisistaan.

Edelliset tutkimukset osoittavat, että lasten käsitykset pään sisällöstä poikkeavat toisistaan. Nuoremmat lapset kuvaavat vanhempia lapsia useammin aivoja niiden toiminnan kautta, kun taas vanhempien lasten kuvauksissa yleistyy rakenteellinen kuvaustapa.

6 Ihmisen biologian opetus varhaiskasvatuksen ja peruskoulun opetussuunnitelmissa

Varhaiskasvatuksen tavoitteena on edistää lasten tasapainoista kasvua, kehitystä ja oppimista. Eräänä lähtökohtana on luonnontieteellinen orientaatio, jonka mukaan lapsia

perehdytetään luonnon ilmiöihin kokeellisten menetelmien avulla (Sosiaali- ja terveystieteen ..., 2005, 11, 28). Päiväkotien omista suunnitelmista ja opettajien tekemistä sisältövalinnoista riippuu, minkä verran lapset perehtyvät ihmiskehon rakenteeseen ja toimintaan.

Peruskoulussa ihmisen biologiaa koskeva tietämys laajenee ja syvenee vuosiluokalta toiselle siirryttäessä. Vuosiluokilla 1–6 ihmisen biologiaa opiskellaan ympäristöopissa ja vuosiluokilla 7–9 biologiassa. Ympäristöoppi on biologiasta, maantiedosta, fysiikasta, kemiasta ja terveystiedosta koostuva oppiaine. Sen lähtökohtana on luonnon kunnioittaminen ja ihmisoikeuksien mukainen arvokas elämä. Lasten ajatellaan olevan osa elämysympäristöään. Heitä ohjataan tuntemaan ja ymmärtämään luontoa ja rakennettua ympäristöä, niiden ilmiöitä, itseään ja muita ihmisiä sekä terveyden ja hyvinvoinnin merkitystä. Opetus perustuu tieteelliseen tietoon tavoitteena kriittisen ajattelun kehittäminen. (Opetushallitus, 2015, 130, 239.)

Vuosiluokkien 1–2 yhtenä tavoitteena on ohjata lasta pohtimaan terveyttä ja hyvinvointia tukevia tekijöitä sekä elämän perusedellytyksiä. Monitieteiset sisällöt auttavat ymmärtämään kehon osia ja elintoimintoja sekä omaa kasvua ja kehitystä. Oppimisympäristöjen ja työtapojen valinnassa kiinnitetään huomiota toiminnallisuuteen, kokemuksellisuuteen ja elämyksellisyyteen. (Opetushallitus, 2015, 130–132.)

Vuosiluokilla 3–6 tietoa ja ymmärrystä kehosta syvennetään ohjaamalla lasta ymmärtämään aikaisempaa laajemmin ihmiskehon rakennetta ja elintoimintoja sekä tiedostamaan omia ajatuksiaan, tarpeitaan, asenteitaan ja arvojaan, tunnistamaan, ilmaisemaan ja säätelemään tunteitaan sekä tunnistamaan omaa oppimistaan tukevia asioita. Lisäksi perehdytään terveyden osa-alueisiin ja voimavaroihin, arjen terveystottumuksiin, mielenterveystaitoihin, sairauksien ehkäisyyn ja itsehoitotaitoihin. (Opetushallitus, 2015, 239–241.)

Vuosiluokilla 7–9 biologian opetus auttaa ymmärtämään elämää ja sen kehittymistä, ihmisen elintoimintoja sekä perinnöllisyyden ja evoluution perusteita tutkimalla kehon toimintaa ja syventämällä tietämystä ihmisen rakenteesta, elintoiminnoista ja säätelyjärjestelmistä. Lisäksi tarkastellaan kasvuun, kehitykseen ja terveyteen vaikuttavia tekijöitä sekä perimän ja ympäristön vaikutusta ominaisuuksien kehittymiseen. (Opetushallitus, 2015, 379–381.)

7 Aineisto ja menetelmät

Tutkimus on fenomenografinen kvalitatiivinen tutkimus kvantitatiivisin piirtein (Hirsjärvi ym., 2009, 135–137; Morse, 2010, 339–352; Collins, 2010, 353–378). Fenomenografisessa tutkimuksessa kuvataan yksilöiden kokemuksista johtuvia, laadullisesti erilaisia käsityksiä maailmasta (Niikko, 2003, 16–46). Käsitteet on ihmisen itselleen rakentama kuva jostakin asiasta tietyin perustein. Sen varassa ihminen jäsentää uutta asiaa koskevaa tietoa. (Ahonen, 1994, 116–117.) Riippuen kulttuurista samoille käsitteille annetaan erilaisia merkityksiä, joten ihmiset tulkitsevat ja ymmärtävät ilmiöitä eri tavoin (Häkkinen, 1996, 24–25).

Tutkimuksessa kartoitetaan ja kuvataan laadullisia eroja 4-11-vuotiaiden lasten käsityksissä ihmisen pään sisällöstä ja aivoista.

Larsson (1986, 14–20) jakaa fenomenografiset tutkimukset ainedidaktisiin, yleispedagogisiin, koulutuksen vaikuttavuutta mittaaviin ja muihin kuin pedagogisiin tutkimuksiin. Tämä tutkimus on ainedidaktinen tutkimus. Ainedidaktisissa tutkimuksissa tarkastellaan eri tieteenalojen käsitteiden osaamista ja käsitteitä koskevia väärinymmärryksiä. Käsitysten tutkiminen on tärkeää, sillä opettaja pystyy tukemaan oppimista vain, kun hän ymmärtää lasten tapoja hahmottaa tieteellisiä ilmiöitä (Häkkinen, 1996, 16–17). Aarnosin (2010, 180) mukaan fenomenografinen tutkimusote on parhaita lasten käsitysten tutkimiseen soveltuvia suuntauksia.

Tutkimukseen osallistui vapaaehtoisesti 138 pohjoissuomalaista lasta (4–5-vuotiaita 14, 6–7-vuotiaita 41, 8–11-vuotiaita 83). Larssonin (1986, 31) mukaan fenomenografisissa tutkimuksissa on yleensä keskimäärin 20–50 tutkittavaa, joten otos on laaja. Aineisto koostuu lasten piirroksista ja niitä koskevista haastatteluista. Se kerättiin päiväkodeissa ja kouluissa. Yhdessä koulussa oli ensimmäisellä vuosiluokalla juuri ennen tutkimusta opiskeltu ihmisteemaa. Jokaisessa keräyspaikassa oli yksi tutkija, joka antoi ohjeet, keräsi piirrokset ja haastatteli lapset yhdessä sovittujen sääntöjen mukaisesti. Lapsille kerrottiin, ettei väärää vastauksia ole, vaan tutkijoita kiinnostavat vain lasten käsitykset tutkimusaiheesta. Lapset eivät saaneet keskustella keskenään, joten itsenäistä työskentelyä korostettiin. Lapset kirjoittivat aluksi papereihin nimensä ja ikänsä. Tämän jälkeen he piirsivät kuvan ihmisen pään sisällöstä. Piirrosaikaa oli noin 15 minuuttia. Piirtäminen sujui hyvin. Vain yhdessä luokassa oli pari rauhatonta oppilasta, jolloin tutkija muistutti ohjeista. Joistakin lapsista oli vaikea piirtää kuvaa pään sisällöstä. Tällöin tutkija kehotti miettimään, miltä vierustoverin pään sisällä näyttäisi, jos sinne voisi nähdä.

Prokop ja Fancovicová (2006) ovat epäilleet, etteivät piirrokset kuvasta juuri sitä, mitä lapset todella tietävät ihmisruumiista. Sen vuoksi lapsia haastateltiin heidän piirrostensa pohjalta. Haastattelut toteutettiin jokaisessa päiväkodissa ja koulussa yhden tutkijan toimesta puolistrukturoituina teemahaastatteluina välittömästi piirtämisen jälkeen. Teemahaastattelulla haluttiin varmistaa tutkimuskysymyksiin vastaaminen sekä se, että tutkijat ymmärsivät lasten piirustukset lasten tarkoittamalla tavalla. Haastattelussa tutkija voi päästä lähelle tutkittavia ja ymmärtää paremmin heidän käsityksiään (Puusa, 2011, 78). Jotta lapsilla olisi turvallinen olo, lasten omat opettajat jakoivat lapset 2–4 hengen haastatteluryhmiin (Hirsjärvi ym., 2009, 211), haastattelupaikaksi valittiin lapsille tuttu, mahdollisimman rauhallinen ympäristö (Eskola & Vastamäki, 2001, 29) ja haastattelun alussa kerrottiin haastattelun etenemisen pääpiirteet (Hirsjärvi & Hurme, 2000, 47).

Aineisto numeroitiin sukupuoli- ja ikäkohtaisesti (esim. T1, 4 v = neljävuotiaiden ryhmässä tyttö numero 1, P1, 4 v = neljävuotiaiden ryhmässä poika numero 1). Haastatteluaineisto analysoitiin fenomenografisen analyysin keinoin (Niikko, 2003) ja piirrokset luokittelemalla kvantitatiivisesti (Greene ym., 1989) Bartoszeck ja Bartoszeck`n (2012) luokitteluasteikon mukaisesti (taulukko 1). Luokitteluasteikon soveltamisen

tavoitteena ei ollut tehdä tilastollisia johtopäätöksiä, vaan kuvata sitä, miten eri-ikäisten lasten piirrokset sijoittuvat näihin luokkiin.

Ensin kukin tutkija analysoi keräämänsä aineiston, jonka jälkeen yksi tutkijoista analysoi itsenäisesti kaikki kerätyt aineistot. Tarkasteltaessa tämän jälkeen kahden tutkijan samasta aineistosta tekemiä analyysejä niiden välillä ei havaittu merkittäviä eroja.

Taulukko 1. Aineiston luokittelu (Bartoszeck & Bartoszeck, 2012).

Piirrosmalli	Kuvaustapa
Mielikuvamalli	Pään sisältöä kuvataan mielikuvien avulla.
Virtausmalli	Aivot kuvataan virtaa tai puroja muistuttavilla viivoilla.
Koiranluumalli	Aivot kuvataan ympäri kalloa sijaitsevina koiranluuta muistuttavina rakenteina.
Sisälmysmalli	Aivot kuvataan putkimaisina tai suoliston kaltaisina lankakerinä.
Pintarakennemalli	Aivot kuvataan kudoslaikkuina.
Kalottimalli	Aivot kuvataan kallon lakiosaan.
Hermostollinen rakennemalli	Aivot kuvataan oikeana ja vasempana aivopuoliskona.

8 Tulokset ja niiden tarkastelu

Lasten käsitykset esitetään kuvauskategorioiden yleisyyden mukaan (Niikko, 2003, 37–38). Ilmauksissa oli eniten aivoihin liittyviä käsityksiä, joten ne esitetään ensin. Toiseksi eniten oli verisuoniin ja kolmanneksi eniten hermoihin liittyviä käsityksiä. Nämä käsitykset selostetaan edellä mainitussa järjestyksessä aivoja koskevien käsitysten jälkeen. Viimeisenä esitetään muut käsitykset pään sisällöstä.

8.1 Käsitykset aivojen sijainnista ja koosta

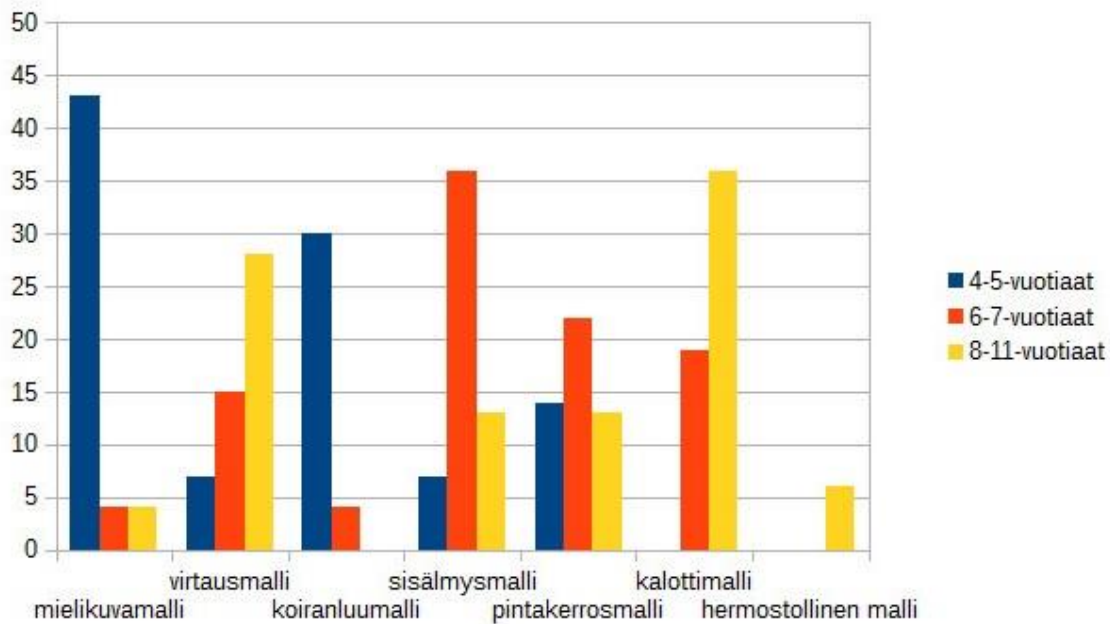
Johnsonin ja Wellmanin (1982) mukaan osa 4–5-vuotiaista lapsista tietää, että päässä on aivot. Tulos tukee havaintoa, sillä vain kolme lasta ei kuvannut tai kirjoittanut aivoja piirroksensa. Yksi lapsista (P30, 8 v) palautti tyhjän paperin, eikä hänellä omien sanojensa mukaan tullut mitään mieleen ihmisen pään sisällöstä. Toinen lapsi (P29, 9 v) oli piirtänyt ”rinkulan” eikä osannut kertoa, mitä hän sillä tarkoitti. Kolmas lapsi (P22, 9 v) oli piirtänyt synnyinmaansa lipun ja kertoi kaipaavansa synnyinmaataan puhumatta mitään aivoista.

Suurin osa tutkimukseen osallistuneista lapsista sijoitti aivot pään yläosaan. Vain kahdessa 8–11-vuotiaan piirroksessa aivot oli sijoitettu liian alas. Toisessa aivot olivat pään keskiosassa ja toisessa nenän ja suun välissä. Aivojen koko vaihteli piirroksissa samankin ikäryhmän sisällä. Osa lapsista piirsi aivot pään koko yläosaan, osa vain pienelle alueelle.

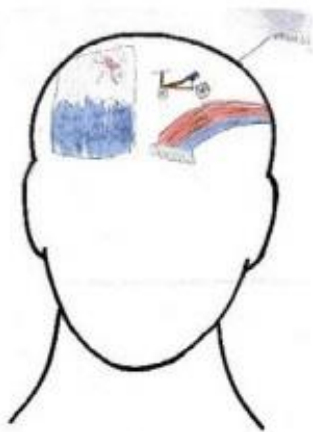
Tulos tukee Zoldosova ja Prokopin (2007) havaintoa, jonka mukaan saman asian ilmaiseminen voi olla eritasoista samassakin ikäryhmässä.

8.2 Käsitteet aivojen rakenteesta

Kuten Bartoszeck ja Bartoszeck'n (2012) tutkimuksessa piirroksissa oli kaikkia luokitteluasteikon mukaisia malleja (kuva 1). 4–5-vuotiaat kuvasivat yleisesti aivoja mielikuvamallin mukaisesti (kuva 3). 43 % heistä piirsi pään sisälle mielikuvitusolentoja tai arkisia esineitä (kuva 2) ja selosti pään sisältöä tyypillisesti näin: [Päässä on] ”perhosia...kun mä tykkään niistä.” (T1, 4 v) ja: ”mun oma puhelin. Puhelin on siks tärkeä, et voi soittaa.” (P2, 7 v). Muissa ikäryhmissä oli joitakin tähän luokkaan kuuluvia piirroksia.



Kuva 2. Pään sisältöä ja aivoja kuvaavien piirrosten prosentuaalinen jakautuminen ikäryhmittäin (N = 138).



Kuva 3. Esimerkki mielikuvamallin mukaisesta piirroksista.

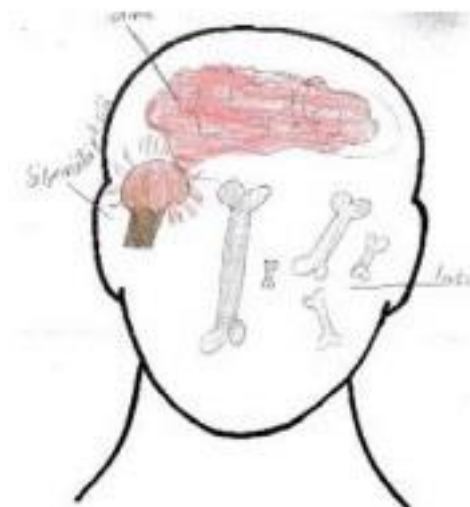
Kuvauksissa on havaittavissa esioperationaalisessa vaiheessa olevan lapsen pyrkimys korvata puuttuva tieteellinen tieto intuitiivisesti itse keksimillään asioilla (Piaget & Inhelder, 1977, 61–118; Piaget, 1988, 13–53).

Virtausmallin mukaisia piirroksia oli eniten 8–11-vuotiailla (kuva 2, kuva 4). Liki kolmannes piirroksista kuului tähän luokkaan. Myös 6–7-vuotiailla oli virtausmallin mukaisia piirroksia runsaasti (15 %), kun taas 4–5-vuotiailla tällaisia piirroksia oli vähän. Aivojen kuvaamista viivoilla eräs lapsi perusteli näin: ”Kun aivoista etupuoli menee taakse ja takapuoli eteen.” (P2, 6 v).



Kuva 4. Esimerkki virtausmallin mukaisesta piirroksesta.

Kolmannes 4–5-vuotiaista kuvasi aivot koiranluumallin mukaisesti (kuva 2, kuva 5). Piirroksia perusteltiin tyypillisesti näin: ”[Aivot] on semmosia. Tämäkin on luuta.” (P2, 5 v).



Kuva 5. Esimerkki koiranluumallin mukaisesta piirroksesta.

Virtausmallin ja koiranluumallin mukaisesti aivoja kuvaavat lapset ovat esioperationaalisisessa vaiheessa. Kaksi 6–7-vuotiasta koiranluita piirtänyttä lasta ei kuitenkaan tarkoittanut niillä aivoja (kuva 5), vaan muualla päässä olevia luita: ”No ku täällähän [koputtaa päätään] on tää pääkallo.” (T24, 7 v). Nämä konkreettisten operaatioiden vaiheessa olevat lapset hahmottivat pään sisältöä käsin tunnustellen (Piaget & Inhelder, 1977, 127–128). 8–11-vuotiailla ei ollut koiranluumallin mukaisia piirroksia.

Osa lapsista kuvasi aivoja sisälmysmallin (kuva 6) tai pintakerrosmallin (kuva 7) mukaisesti. Tällaisia piirroksia oli eniten 6–7-vuotiailla (36 % ja 22 %). Lapset kuvailivat sisälmysmallin mukaisia aivopiirroksiaan tyypillisesti näin: [Aivoissa on] ”paljon ... mutkuloita.” (T1, 5 v) ja: ”sellasia madonmuotoisia juttuja.” (P19, 8 v). Pintakerrosmallin mukainen on kuvaus: [Aivoissa on] ”pilven näköisiä ympyröitä” (T1, 6 v).



Kuva 6. Esimerkki sisälmysmallin mukaisesta piirroksista.

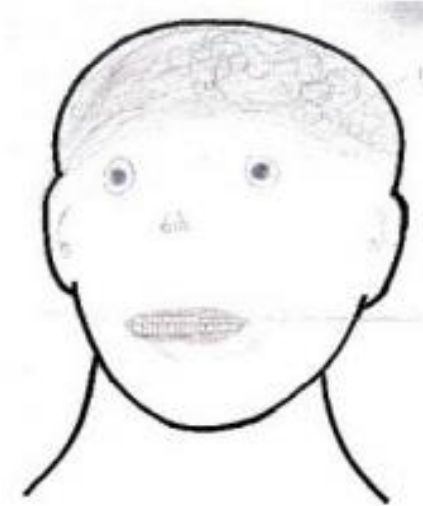


Kuva 7. Esimerkki pintakerrosmallin mukaisesta piirroksista.

Sisälmys- ja pintakerrosmallin mukaisista kuvauksista voidaan päätellä, että useilla 6–7-vuotiailla ja joillakin 4–5-vuotiailla on käsityksiä, joita voidaan verrata isoaivojen poimuihin (Nienstedt ym., 2009, 529–530).

Kalottimallin mukaiset piirrokset (kuva 8) olivat yleisimpiä 8–11-vuotiailla. Myös 6–7-vuotiaiden piirroksista liki viidennes kuului tähän luokkaan, vain 4–5-vuotiaat eivät

piirtäneet kalottimallin mukaisia kuvia. Myös Bartoszeck ja Bartoszeck`n (2012) tutkimuksessa tässä luokassa oli eniten 8–11-vuotiaiden lasten piirroksia. Suuri osa 6–11-vuotiaista tietää siis aivojen sijaitsevan pään yläosassa (Nienstedt ym., 2009, 516).



Kuva 8. Esimerkki kalottimallin mukaisesta piirroksista.

Hermostollisen rakennemallin mukaisia piirroksia oli vain muutamilla 8–11-vuotiailla (kuva 9). Eräs lapsi kuvaili piirrostaan näin: ”Aivot koostuu aivosoluista, hormoneista ja hermostosta ja kaikenlaisesta semmosesta.” (P7, 8 v).



Kuva 9. Esimerkki hermostollisen rakennemallin mukaisesta piirroksista.

Osa lapsista tiesi nimeltä aivojen osia: [Aivoissa on] ”isoaivot, pikkuaivot.” (P1, 10 v). Yksi lapsi oli kuvannut pikkuaivot piirroksensa, mutta selvästi erilleen muista aivojen osista. Hän kertoi seuraavaa: ”Aivot ja pikkuaivot, jotka on nämä peukalon kärjen kokoiset [näyttää piirrosta]” (P14, 7 v). Toinen kuvaili näin: ”Tässä on aivot ja nää on erilaisia aivokeskuksia. Esimerkiksi tuntokeskus, puhekeskus, liikuntakeskus. Jos vaikka tekee näin [koputtaa jalalla lattiaan], niin se on sitten liikuntakeskuksessa. Ja sitten jos mää vaikka lyön [kopauttaa nyrkillä toiseen käteen], niin se on tuntokeskuksessa.” (T18, 8 v). Pikkuaivot piirtänyt poika oli saanut tietonsa televisiosarjasta. Tyttö oli kuullut vanhempiansa puhuvan

aivokeskuksista. Eräs lapsi (T4, 8 v) kertoi lukeneensa aivorungosta ensiapuoppaasta. Haastattelussa ilmeni, ettei hän ollut ymmärtänyt lukemaansa (Eloranta, 2003, 243–244). Hän arveli aivorungon pitävän aivoja paikoillaan. Lapsen aivorungolle antama konkreettinen merkitys vahvistaa Kronqvist ja Pulkkisen (2007, 137) näkemystä. Tulokset eroavat Bartoszeck ja Bartoszeck`n (2012) tuloksista, joiden mukaan toisesta vuosiluokasta alkaen lapset kuvasivat yleisesti hermostollisen rakennemallin mukaisesti aivoja.

Lasten mukaan ihmisellä on useita aivoja: ”*Kahet aivot.. pikkuaivot ja ne isoivot.*” (P1, 7 v). Ympäristöopissa käsitellään aivoja (Opetushallitus, 2014, 268). Käsitys useista aivoista saattaa johtua monikollisesta aivojen nimistöstä. Tähän viittaa se, että osalla oppilaista oli käsitys useista aivoista myös koulussa, jossa oli opiskeltu aivoja juuri ennen tutkimuksen toteutusta. Kaikilla heistäkään ei opetuksesta huolimatta ollut jäsentynyttä kuvaa aivoista. Lasten saattaa olla vaikea ymmärtää, että aivoja on vain yksi ja että isoivot, pikkuaivot ja aivorunko ovat aivojen pääosat (Nienstedt ym., 2009, 529). Tulos tukee Reissin ym. (2002, 58–63) tulosta, jonka mukaan lapsella voi olla tietoa eri elimistä ja niiden osista mutta ei niiden muodostamasta kokonaisuudesta.

8.3 Käsitukset aivojen tehtävistä

Kuudesta ikävuodesta alkaen lapset sijoittivat pään sisälle ajattelun ym. toimintoja. Enemmistö 8–11-vuotiaiden lasten tiedoista koski ajattelua, muistamista ja toimintojen ohjausta: ”*Aivot ajattelee, pannee muistiin ja käskee.*” (T2, 6 v). Lapset puhuivat myös keksimisestä ja miettimisestä. Osa 8–11-vuotiaiden kuvauksista perustui mielikuviin (Dunderfelt, 2011, 81–82): ”*Toi on siis... semmonen kuvakone. Silloin ku mä olin vauva, niin sillon tuota ei vielä ollut mulla siellä päässä, mut paitsi nyt se mulla on. Ja sit tuolta tulee niinku semmosia kuvia ku tuota pyörittää, niin sitten tulee enemmän niitä dioja. Niin ja siitä tulee niinku.... joistain päivistä semmosia muistoja.*” (T21, 8 v). Mielikuvat liittyvät käsitteiden rakentumiseen (Vinner, 1991, 65–73) ja sisäisen mallin kehittymiseen (Piaget, 1988, 159).

Jotkut 8–11-vuotiaat kuvasivat aivojen tehtäviä symbolein. Yksi lapsi oli piirtänyt pään sisälle sydämen ja kirjoittanut siihen rakkaus: ”*Ku aivohan sen kertoo ketä rakastaa.*” (T17, 9 v). Lapsella oli siis tietoa siitä, että tunteet syntyvät aivoissa. Tulos poikkeaa Gellertin (1962) tuloksesta. Muutamalla 8–11-vuotiaalla lapsella oli myös käsitys aivoista elämän edellytyksenä: ”*Ihminen ei ees vois elää ilman aivoja.*” (P13, 8 v). Pääosa lapsista ei kuitenkaan ymmärtänyt aivojen merkitystä tältä kannalta: ”*Koska muuten se ei pystyis ajattelemaan. Jos ihmisellä ei olis aivoja niin se ei pystyis hallitsemaan kehonosia.*” (P11, 8 v).

Yhteenvedon aivojen sijaintia, rakennetta ja tehtäviä koskevista käsityksistä voidaan todeta, että suurin osa 4–11-vuotiaista lapsista tiesi aivojen sijaitsevan päässä. Vaikka aivot-käsite ei ollut hahmottunut, jo 6-vuotiaat tiesivät, että aivoilla ajatellaan ja että aivot ohjaavat ihmisen toimintaa. Useimmilla 8–11-vuotiailla ei ollut selvää käsitystä aivoista elämän edellytyksenä, vaikka heillä oli tieteenmukaisia käsityksiä aivojen tehtävistä. Ihmisen aivojen

rakenne ja toiminta näyttää olevan pääosalle 4–11-vuotiaista liian abstraktista ymmärtää. Tulos tukee Bartoszeck ja Bartoszeck'n (2012) tulosta, jonka mukaan nuorimmat lapset kuvaavat aivoja yleisellä tasolla yksittäisten toimintojen kautta neuroanatomisen kuvaamisen lisääntyessä iän myötä.

8.4 Käsitykset pään sisäisistä verisuonista

Päiväkoti-ikäisillä lapsilla ei ollut käsityksiä pään sisäisistä verisuonista; vasta kouluikäiset lapset kuvasivat niitä. Osalle verisuonia piirtäneistä lapsista käsite verisuoni oli tuntematon. Sen sijasta he käyttivät sanaa ”putket”. Jotkut 8–11-vuotiaat tiesivät, että [verisuonten tehtävänä on] ”*kuljettaa verta.*” (T22, 8 v). Yksi lapsista osasi selittää veren tehtäviä muita lapsia tarkemmin: [veri] ”*kantaa ravintoaineita ja happea lihaksille ja semmosille.*” (P16, 9 v). Lapsilla oli siis tieteenmukaista tietoa verisuonten tehtävistä (Nienstedt ym., 2009, 184–185). Enimmäkseen lasten käsitykset olivat hataria: ”*En mä tiä ku mä vaan muistin, et aivoissa on jotain niitä verisuonia. Niinku en mä oikein osaa sanoa, mut jotain tehtävää niilläkin vähän niinku on.*” (T27, 9 v). Usein tiedot olivat virheellisiä: ”*Tuolla on aivot, tuossa [näyttää kädellään] ja sitten siitä menee verisuonet silmiin, neniin ja korviin.*” (P19, 8 v) ja: ”*Verisuonet kuljettaa niitä käskyjä siellä ympäri päätä ja kaikkialla ihmisessä.*” (P23, 9 v). Verisuonia piirtäneet olivat kuvanneet niitä usein punaisella värillä. Tähän saattavat vaikuttaa lasten kokemukset verestä, sillä todennäköisesti kaikki alakouluikäiset ovat nähneet verta. Jotkut lapset piirsivät sinisiä ja punaisia verisuonia: ”*Sinisistä verisuonista ne menee toiseen suuntaan ja punaisesta toiseen.*” (P27, 8 v). Vaikka lapsi ei osannut nimetä suonia, hänellä oli esiyymmärrys laskimoista ja valtimoista (Nienstedt ym., 2009, 185). Idean väreihin lapset olivat saaneet kirjoista.

Yhteenvetona voidaan todeta, että seitsemästä ikävuodesta lähtien lapset tiesivät pään sisältävän verisuonia ja selittivät aivojen toimintaa niiden avulla. Pääosalla lapsista käsitys verisuonten tehtävistä oli hatara tai tieteenmukaiseen tietoon nähden virheellinen. Enimmäkseen lapset kuvasivat verisuonia verenkuljettajina, vain yhdellä lapsella oli varsinaista tietoa verisuonten ja veren tehtävistä.

8.5 Käsitykset pään sisäisistä hermoista

Hermoja pään sisälle piirtäneet lapset olivat kaikki koulusta, jossa oli juuri käsitelty ihmisteemaa. Tiedot olivat heidän mukaansa peräisin oppitunnilta ja opettajalta. Osa lapsista muisti kuulleensa hermoista ja niiden tehtävistä, mutta käsitykset olivat vielä hataria: ”*No, jos sää tunnet kipua, niin niitä pitkin kulkee se viesti, et siellä on kipee.*” (P14, 7 v) ja [Opettaja] ”*on sanonut mulle, että hermot voi jotakin tehdä, että niistä tulee joitain aivoihin. Hermot voi tehdä silleen, et vaikka joku koskettaa niin siitä taitaa tulla ne tunteet.*” (P27, 8 v)

Yhteenvetona voidaan todeta, että osalla alakouluikäisistä oli jo käsityksiä päässä olevista hermoista, mutta käsitykset olivat hataria ja sisälsivät väärinkäsityksiä. Usein lapset sekoittivat hermojen ja verisuonten tehtävät toisiinsa. Hermoista kertoneet lapset olivat

koulusta, jossa oli juuri opiskeltu ihmisteemaa ja hermoja. Opiskellut tiedot vaikuttavat lasten käsityksiin.

8.6 Käsitykset korvista, nenästä ja suusta

Noin puolet tutkimukseen osallistuneista 7–11-vuotiaista lapsista kuvasi piirroksiinsa ulkoisia piirteitä kuten silmät, korvat, nenän ja suun. Silmien kohdalle osa oli kirjoittanut ”*silmämuna*” selittämättä asiaa enempää. Osalla 7–11-vuotiaista oli tieteenmukaista tietoa, mutta yleisimmin käsitykset olivat hataria ja virheellisiä: ”*Ääniputki [menee] suuhun [ja lähtee] keuhkoista.*” (T26, 8 v). Piirroksensa lapsi oli kuvannut ääniputken korvista aivoihin. Useat muutkin 7–11-vuotiaat kuvasivat putkia korvista aivoihin, korvasta korvaan tai aivoista nenään, silmiin ja suuhun. Putket he liittivät kokemuksiinsa: ”*Tuo on semmonen tärkeä osa, että siinä on ihan sellainen litteä taik jos siihen koskee se saattaa mennä rikki ja kuulu mennä pois. Mää tiän kun mää oon käyny lääkäriässä ja siihen laitettiin pakoputki.*” (T9, 7 v). Lapsella oli omakohtaisen kokemuksen kautta saatu tieto ulko- ja keskikorvan välisestä tärykalvosta (Nienstedt ym., 1987, 493). Tarkkaa käsitystä korvan rakenteesta ei ollut kenelläkään. Piirroksissa ja niiden selostuksissa kuvastui 8–11-vuotiaiden konkreettisiin esineisiin perustuva ajattelu. Käsitys voi pohjautua vanhempien tai opettajan tapaan selittää lapsille asioita.

Yhteenvetona voidaan todeta, että osa alakouluikäisistä lapsista käyttää sellaisia tieteellisiä käsitteitä kuten ruokatorvi, nenäontelo, korvakäytävä ja korvatorvi, mutta heidän näitä rakenteita koskevat tietonsa ovat hataria ja osin virheellisiä.

8.7 Muut päät koskevat käsitykset

Haastattelujen lopussa lapsi sai halutessaan kertoa lisää piirroksestaan tai jostakin muusta aiheeseen liittyvästä asiasta. Yksi lapsista kertoi virusten aiheuttavan ihmisille oireita: ”*Sen takia mulla on pää kipeä, kun siellä tapahtuu virusten omaa sotaa.*” (P23, 9 v). Monet lapset kertoivat pään lihaksista sekä pääkallosta, nenä-, leuka- ja kuuloluusta. Yksi lapsista piirsi päähän luurangon, joten hänellä ei ollut käsitystä siitä, että pääkallo on osa luurankoa. Lapset kertoivat myös isältä kuulemistaan asioista, joita he eivät osanneet piirtää: ”*No veritulppa ois aika vaikee piirtää.*” (P4, 7 v) ja ”*Mun isi kertoo semmosista ihme valkosolupoliiseista, et ne torjuu pöpöt.*” (P15, 8 v). Eräs lapsi kuvaili verenmyrkytystä näkemänsä animaationsarjan perusteella: ”*Jos tänne hampaisiin tulee reikä ja ne bakteerit lähtee liikkua tänne aivoihin...Kaivaa sitä reikää ja pesiintyy sinne. Ja sitten ku se pääsee verisuoneen kii, niin se tulee siitä läpi ja sit se lähtee kulkemaan ja tulee verenmyrkytys ja tappaa.*” (P14, 7 v).

Yhteenvetona voidaan todeta, että lapsen arjessa saamat kokemukset vaikuttavat käsityksiin pään sisällöstä (Eloranta, 2003, 238–248). Muut käsitykset pään sisällöstä olivat hataria ja perustuivat usein lasten vanhempien sanomisiin tai lasten näkemisiin lastenohjelmiin.

9 Pohdinta

Ihmisen elimistön rakenteen ja toiminnan tuntemus on tärkeää sen vuoksi, että ymmärrettäisiin elintapojen vaikutus fyysiseen, psyykkiseen ja sosiaaliseen terveyteen ja toimintakykyyn (Andersson, 2008) mutta myös siksi, että ihmisen tekemillä valinnoilla on vaikutusta ympäristöön (Palmberg & Svens, 2011). Oppilaiden ymmärryksen kehittymiseen vaikuttaa olennaisesti opetus. Jotta opettaja voisi mielekkäällä tavalla tukea oppimista, hänen on tiedettävä, mitä oppilas ennestään opiskeltavasta asiasta tietää ja ajattelee. Ulkomaiset tutkimukset osoittavat, että pääosa 15-vuotiaistakaan ei ymmärrä ihmisen elimistöä kokonaisuutena (Reiss, ym., 2002, 58–63). Suomalaisten lasten ihmiskehoa koskevia käsityksiä ei ole juurikaan tutkittu. Tämän tutkimuksen tehtävänä oli kartoittaa 4–11-vuotiaiden lasten käsityksiä ihmisen pään sisällöstä ja aivoista sekä tarkastella, miten käsitykset vastaavat tieteellistä tietoa ja pohtia, miten opettaja voi tukea biologisen tiedon omaksumista.

Lasten käsitykset ihmisen pään sisällöstä olivat moninaisia ja samallakin ikäryhmällä vaihtelevia. Osalla lapsista oli alkavaa tieteenmukaista tietoa, osalla arkikäsitteitä. Mitä nuorempia lapset olivat, sitä voimakkaammin mielikuviutus hallitsi heidän kuvauksiaan. Suurin osa lapsista tiesi, että pään sisällä on aivot. Tyypillistä oli, että lapset sijoittivat aivoihin yksittäisiä asioita. Kuudesta ikävuodesta alkaen useat lapset osasivat luetella aivojen osia ja kertoa aivojen ajattelevan. Monet tiesivät aivojen liittyvän jollakin tavalla silmiin ja korviin sekä ohjaavan ihmisen toimintaa. Käsite aivot ei ollut selvä kaikille 7–11-vuotiaillekaan. Moni heistä kertoi aivoja olevan useita. Myös tiedot aivojen tehtävistä olivat hataria ja virheellisiä. Aivojen osien toiminta oli hahmottunut muita paremmin vain yhdellä 10-vuotiaalla työllä. Tulos tukee Bartoszeck ja Bartoszeck'n (2012) tulosta, jonka mukaan vasta noin 10-vuotiaat kykenevät realistiseen havainnointiin. Kukaan tutkimukseen osallistuneista lapsista ei osannut kertoa, miten aivojen osat ja toiminnat muodostavat kokonaisuuden. Myös Johnsonin ja Wellmanin (1982, 223) mukaan lapsille kehittyy ensin käsitys aivoista ajattelevana elimenä, ja vasta myöhemmin lapset ymmärtävät aivojen säätelevän elimistön koko toimintaa. Jotta oppilaille voisi muodostua käsitys elimistöstä toiminnallisena kokonaisuutena, elimistön opetus tulisi aloittaa yksittäisistä elimistä ja siirtyä vähitellen kohti elinjärjestelmiä (Reiss ym., 2002).

Ulkoisesti havaittavat ominaisuudet ja käsin tunnusteltavat rakenteet ovat lapsille tärkeitä ja muodostavat merkittävän osan heidän elämismaailmaansa. Pään sisältö on heille vieras ja hankala hahmottaa. Yhteistä lasten käsityksille pään sisällöstä oli atomistisuus ja virheellisyys. Vaikka monet alakouluikäiset osasivat käyttää pään sisältöön liittyviä tieteellisiä käsitteitä, tieto pään ja sen osien toiminnasta oli vähäistä. Esimerkiksi hermojen ja verisuonten toiminta sekoittui toisiinsa. Tulos tukee Vygotskin (1982) näkemystä, että lapsi tiedostaa tieteellisen käsitteen paremmin kuin sen kohteen. 8–11-vuotiaan lapsen tavassa ymmärtää tieteellisiä käsitteitä oli tunnistettavissa konkreettisten operaatioiden vaiheessa olevan lapsen tapa selittää tieteellinen käsite itselle ymmärrettävässä muodossa ja käyttää sitä tieteellisestä tiedosta poikkeavalla tavalla. Opetuksessa ei riitä, että lapset

ilmaisevat tietonsa, vaan opettajan täytyy selvittää, millaisen merkityksen kukin lapsi antaa käyttämälleen tieteelliselle käsitteelle. Jos lasten virhekäsityksiä ei korjata alaluokilla, ne voivat estää tieteellisen tiedon omaksumista yläluokilla.

Lapsen käsityksiin vaikuttavat sosiaaliset kokemukset ja perheen sisäinen kulttuuri (Latomaa, 2000). Samassakin kehitysvaiheessa olevilla lapsilla oli erilaisia käsityksiä pään sisällöstä. Vaikka joillakin lapsilla oli tieteentuntemusta tietoa, pääosa lasten käsityksistä perustui kokemusten pohjalta muodostuneisiin arkikäsityksiin (vrt. Havu-Nuutisen, 2005). Useat lapset selittivät pään sisältöä ja aivoja jonkin havainnollisen toiminnon avulla ja perustelivat käsitystään opettajan tai vanhempiansa sanomisilla ja näkemillään lastenohjelmilla. Lapsen käyttämät käsitteet eivät ole useinkaan tieteentuntemukaisia, mutta ne ovat lapsen tarkoitukseen sopivia (Jarasto & Sinervo, 1997, 98–99). Oppilaantuntemus ja lasten kokemusten ja arkikäsitysten ymmärtäminen on tärkeää, sillä opettaja voi vaikuttaa käsitysten rakentumiseen tieteentuntemukaisiksi vain sen kautta, että opetus vastaa lapsen ajatusrakenteita.

Opetus vaikuttaa opiskeltavaa asiaa koskeviin lasten käsityksiin (Vygotski, 1982, 169). Ennen tutkimusta ihmiselämästä opiskelevien lasten piirroksissa oli kuvattu vähemmän ulkoisia piirteitä kuin muissa ryhmissä, eikä näiden lasten piirroksissa ollut yhtään mielikuvituksen tuotteita sisältänyttä piirrosta. Vasta äskettäin elimistöä opiskelevat lapset kuvasivat pään sisälle myös hermoja. Paitsi oppilaantuntemuksella myös opettajan sisältötiedolla on tässä suhteessa merkitystä. (pedagogical content knowledge, Shulman, 1987). Sisältötieto käsittää sekä oppiainesta että opetustietoa. Oppiainetiedon avulla opettaja voi havaita virheet ja puutteellisuudet oppilaan käsityksissä ja opetustiedon avulla päättää sellaisista tavoitteista, oppimisympäristöistä ja työtavoista sekä oppimateriaaleista ja arviointimenetelyistä, joilla hän voi tukea oppilaan oppimista. Tutkimusten mukaan sillä ei ole merkitystä, rakennetaanko oppisisältö oppiainejakoisesti vai eheyttäen (Åström, 2007). Sen sijaan oppimiseen vaikuttavat oppilaan kiinnostus, asenteet ja motivaatio (Duit & Treagust, 2003). Niihin vaikuttavat sekä tieto sinällään (Helldén, Lindahl, & Redfors, 2005) että elämykset, oppimisen ilo ja onnistumisen kokemukset (Osborne, Simon & Collins, 2003). Myös oppimisympäristöillä ja työtavoilla on oma merkityksensä (Echinger, 1997).

Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet (Opetushallitus, 2014, 2015) rohkaisee opettajia käyttämään erilaisia oppimisympäristöjä ja monipuolisia työtapoja. Vaikeiden asioiden oppimista voidaan helpottaa autenttisten opetus- ja oppimistilanteiden avulla (Ahopelto, Mikkilä-Erdman, Penttinen, & Anto, 2009) ja käyttämällä ongelmalähtöisiä, osallistavia työtapoja (Yli-Panula, 2005). Esimerkiksi Smeds ym. (2015) totesivat oppilaiden maataloutta koskevien virhekäsitysten vähenneen, kun opetus toteutettiin maataloilla. Szczepanski ja Dahlgren (1997) puolestaan havaitsivat oppimisen tehostuvan, kun oppilaat saivat käyttää oppimistehtävien ratkaisussa useita aisteja. Kun oppimistehtävät sidotaan oppilaille merkityksellisiin asioihin tai toimintaan, oppilaat ymmärtävät oppimistehtävän paremmin ja muistavat oppimansa pidempään kuin muutoin (Krogh & Jolly, 2012).

Ihmisen elimistön rakennetta ja toimintaa voidaan opiskella kokemuksellisesti sellaisilla tutkivaan oppimiseen ja ongelmanratkaisuun perustuvilla työtavoilla kuten ongelmalähtöinen oppiminen, projektityöskentely, luonnontieteellinen tutkimus, ryhmätyö, pysäkkityöskentely ja käsitekartat. Ongelmakeskeisen oppimisen työtavoista laboroinnit, demonstraatiot ja mikroskopiointit ovat erinomaisia keinoja havainnollistaa ihmiselimistöön liittyviä asioita ja ilmiöitä. Opintorekillä ja vierailuilla tutkimuslaitoksiin saadaan lisää aitousa havainnoinnin tueksi. Myös opetukseen hyvin nivelletyillä leikeillä ja peleillä sekä tieto- ja viestintäteknikalla on oma kasvatuksellinen arvonsa (Eloranta, Jeronen, & Palmberg, 2005, 97–158). Opetuskeskustelu ja yhdessä tekemällä oppiminen tukevat yleensä käsitysten rakentumista (Gelman ym., 2010). Siitä, miten eri työtavat ja yhteistoiminnallinen tiedon rakentaminen vaikuttavat biologisen tiedon ymmärtämiseen ja oppilaiden käsittemuodostukseen tarvitaan lisää tutkimusta.

Ihmisen biologiaa koskevan tiedon ymmärtämistä voidaan tukea erilaisilla aktiviteeteilla (Bajd & Ivekovič, 2010, 31–37). Jo päiväkotii- ja alakouluikäiset voivat esimerkiksi tehdä yksinkertaisia laborointeja ja tunnustella itseltään tai kaveriltaan luita ja lihaksia, tarkastella mallinukkien ja elinmallien avulla sisäelinten kokoja, muotoja ja keskinäisiä suhteita sekä etsiä internetistä tietoja elimistön toiminnasta ja siihen vaikuttavista tekijöistä. Opettajan merkitys työhön motivoijana ja työn ohjaajana korostuu oppilaskeskeisissä työtavoissa (Vauras, Kinnunen, Kajamies, & Lehtinen, 2013). Osa lapsista on luontaisesti uteliaita kokeilemaan ja oppimaan uutta, toisilla taas on uutuuden pelkoa. Temperamentti ei kuitenkaan määrää lopullista oppimistasoa. Kasvatuksen, tuen ja kokemusten myötä arkakin lapsi oppii luottamaan itseensä ja toimimaan tavoitteiden mukaisesti uusissa oppimistilanteissa (Keltikangas-Järvinen, 2004).

Myös oppimateriaalien valintaan ja kriittisen lukutaidon opettamiseen tulee kiinnittää erityistä huomiota. Kriittinen lukeminen tarkoittaa ydinasioiden erottamista tekstimassoista, tiedon luotettavuuden arviointia ja oman näkemyksen muodostamista. Tekstiä luettaessa tulisi miettiä, kuka on tekstin kirjoittanut, mikä on tekstin tavoite ja mihin tiedot perustuvat. Verkkotekstiä luettaessa on lisäksi pohdittava, kuka sivut on tehnyt, kuka vastaa niiden sisällöstä ja milloin sivut on viimeksi päivitetty. (Reading skills for academic study: Reading critically.) Tulevaisuudessa median ja tietoverkkojen rooli oppimisessa kasvaa. Ihmisen elimistöä ja muuta biologista oppiainesta koskevaa opetusmateriaalia ei kuitenkaan ole suomeksi juurikaan tarjolla. Sen kehittäminen ja ainedidaktinen tutkiminen on iso tehtävä, johon opettajankouluttajien ja opettajien tulisi yhdessä paneutua.

Fenomenografisen tutkimuksen luotettavuuskriteereinä pidetään luotettavuutta ja vahvistettavuutta (Ahonen, 1994, 130). Tutkimuksen luotettavuutta lisättiin keräämällä kahdenlaista aineistoa, piirroksia ja niihin pohjautuvia haastatteluja (Morse, 2010, 339–352; Collins, 2010, 353–378). Fenomenografisessa tutkimuksen luotettavuuteen vaikuttaa myös varmuus (Eskola & Suoranta, 2008, 212). Varmuutta lisättiin ottamalla huomioon tutkijoiden lähtökohdat ja esioletukset. Niiden sulkeistamiseksi käytiin jatkuvaa vuoropuhelua teorian, aineiston sekä tutkijoiden oman ajattelun kesken (Niikko, 2003, 35).

JERONEN ET AL.,

Tutkimuksen vahvistettavuuden vuoksi aineistosta löydetyt erilaiset tutkittavien käsitykset on raportoitu avoimesti lisäämällä kuvauksiin suoria lainauksia lasten ilmauksista (Miles & Huberman, 1994).

Kiitokset

Kiitämme kaikkia tutkimuksemme mahdollistaneita opettajia. Kiitämme myös KM Kai Koskista tutkimusavusta.

Lähteet

- Aaltio, I. & Puusa, A. (2011). Laadullisen tutkimuksen luotettavuus. Teoksessa A. Puusa & P. Juuti, (toim.) *Menetelmäviidakon raivaajat: perusteita laadullisen tutkimusl^äähestymistavan valintaan* (153–165). Helsinki: JTO.
- Aarnos, E. (2010). Kouluun lapsia tutkimaan: havainnointi, haastattelu ja dokumentit. Teoksessa J. Aaltola & R. Valli (toim.) *Ikkunoita tutkimusmetodeihin I. Metodⁱⁿ valinta ja aineistonkeruu: virikkeitä aloittelevalle tutkijalle* (172–187). Jyväskylä: PS-Kustannus.
- Ahonen, S. (1994). Fenomenografinen tutkimus. Teoksessa L. Syrjälä, S. Ahonen, E. Syrjäläinen, & S. Saari. *Laadullisen tutkimuksen ty^ööt^äpoja* (113–160). Helsinki: Kirjayhtymä.
- Ahopelto, I., Mikkilä-Erdman, M., Penttinen, M., & Anto, E. (2009). Yhteyttäminen ja käsitteellinen muutos – interventio luokanopettajaopiskelijoilla. *Kasvatus*, 40(4), 307–316.
- Andersson, B. (2008). *Att förstå skolans naturvetenskap. Forskningsresultat och nya idéer*. Lund: Studentlitteratur.
- Bajd, B. & Ivekovic, J. (2010). Preschool children`s conceptions about digestion. Teoksessa A. Sandusová & R. Dyrtrtová (toim.) *Teacher training in the context of current changes in education* (31–37). Book Series: EDUCO, 10. Brno: Tribun EU.
- Bandura, A. (1997). Sosiaalis-kognitiivinen teoria. Teoksessa R. Vasta (toim.) *Kuusi teoriaa lapsen kehityksestä* (13–82). (A. Toppi, suom.) Kuopio: Kustannusosakeyhtiö Puijo.
- Bartoszeck, A.B. & Bartoszeck, F.K. (2012). Investigating children`s conceptions of the brain: first steps. *International Journal of Environmental & Science Education*, 7(1), 123–139.
- Brotherus, A., Hytönen, J., & Krokfors, L. (2002). *Esi- ja alkuopetuksen didaktikka*. Helsinki: WSOY.
- Carey, S. (1985, 1987). *Conceptual Change in Childhood*. Cambridge, Mass: MIT Press.
- Collins, K.M. (2010). Advanced sampling designs in mixed research. Current practices and emerging trends in the social and behavioral sciences. Teoksessa A. Tashakkori & C. Teddlie (toim.). *Handbook of mixed methods in social and behavioural research* (353–378). London: Sage publications.
- Duit, R. & Treagust, D.F. (2003). Conceptual Change. A powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), 671–688.
- Dunderfelt, T. (2011). *Elinkaaripsykologia: lapsen kasvusta yksilön henkiseen kehitykseen*. Helsinki: WSOYpro.
- Echinger, J. (1997). Successful students` perceptions of secondary school science. *School Science & Mathematics*, 97(3), 122–132.
- Eloranta, V. (2003). Mitä ja miten biologiasta opitaan luokilla 1–6? Teoksessa V. Meisalo (toim.) *Aineenopettajankoulutuksen vaihtoehdot ja tutkimus 2002: ainedidaktiikan symposiumi 1.2.2002* (238–248). Helsinki: Helsingin yliopiston opettajankoulutuslaitos.
- Eskola, J. & Suoranta, J. (2008). *Johdatus laadulliseen tutkimukseen*. Tampere: Vastapaino.
- Eskola, J. & Vastamäki, J. (2001). Teemahaastattelu: opit ja opetukset. Teoksessa J. Aaltola & R. Valli (toim.) *Ikkunoita tutkimusmetodeihin I. Metodⁱⁿ valinta ja aineiston keruu: virikkeitä aloittelevalle tutkijalle* (24–42). Jyväskylä: PS-Kustannus.
- Fadel, C., Bialik, M., & Trilling, B. (2015). *Four-dimensional education: The competencies learners need to succeed*. 1 edition. Boston, MA: Center for Curriculum Redesign.
- Gellert, E. (1962). Children's conceptions of the content and functions of the human body. *Genetic Psychology Monographs*, 65, 293–405.
- Gelman, R., Breenneman, K., Macdonald, G., & Román, M. (2010). *Preschool pathways to science: facilitating scientific ways of thinking, talking, doing and understanding*. Baltimore: Paul H. Brookes Publishers.
- Greene, J.C., Caracelli, V.J., & Graham, W.F. (1989). Toward a conceptual framework for mixed-method evaluation design. *Educational Evaluation and Policy Analysis*, 11(3), 255–274.

- Hautamäki, J. (1984). Peruskoululaisten loogisen ajattelun mittaamisesta ja esiintymisestä. *Joensuun yliopiston yhteiskuntatieteellisiä julkaisuja, 1*. Joensuu: Joensuun yliopisto.
- Havu-Nuutinen, S. & Järvinen, H. (2002). Ympäristö- ja luonnontiedon opettaminen ja oppiminen ala-asteella. Teoksessa M-L. Julkunen (toim.) *Opetus, oppiminen, vuorovaikutus* (135–156). Porvoo: WSOY.
- Helldén, G., Lindahl, B., & Redfors, A. (2005). *Lärande och undervisning i naturvetenskap: en forskningsöversikt*. Stockholm: Vetenskapsrådets rapport, 2.
- Hirsjärvi, S. (toim.) (1983). *Kasvatustieteen käsitteistä*. Helsinki: Otava.
- Hirsjärvi, S. & Hurme, H. (1982). *Teemahaastattelu*. Helsinki: Gaudeamus.
- Hirsjärvi, S. & Hurme, H. (2000). *Tutkimushaastattelu. Teemahaastattelun teoria ja käytäntö*. Helsinki: Yliopistopaino.
- Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. (2009). *Tutki ja kirjoita*. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi.
- Häkkinen, K. (1996). *Fenomenografisen tutkimuksen juuria etsimässä. Teoreettinen katsaus fenomenografisen tutkimuksen lähtökohtiin*. Jyväskylä: Jyväskylän yliopistopaino.
- Jarasto, P. & Sinervo, N. (1997). *Alle kouluikäisen lapsen maailma*. Jyväskylä: Gummerus.
- Jeronen, E., Niemitalo, H., Jeronen, J., & Korkeamäki, R-L. (2010). Conceptions of Finnish 7–8 years old pupils on human anatomy and physiology – A phenomenographic case study. Teoksessa G. Çakmakci & M.F. Tasar (toim.) *Contemporary science education research: Learning and assessment, A collection of papers presented at ESERA 2009 Conference* (145–149). ESERA 2010.
- Johnson, C.N. & Wellman, H.M. (1982). Children`s Developing Conceptions of the Mind and Brain. *Child Development, 53*(1), 222–234. doi:10.1111/1467-8624.ep858771.
- Keltikangas-Järvinen L. (2004). *Temperamentti – ihmisen yksilöllisyys*. WSOY.
- Khosa, D.K. & Volet, S.E. (2014). Productive group engagement in cognitive activity and metacognitive regulation during collaborative learning: can it explain differences in students' conceptual understanding? *Metacognition and Learning, 9*(3). DOI:10.1007/s11409-014-9117-z. New York: Springer Science+Business Media. Luettu 12.11.2015, http://www.researchgate.net/publication/264001864_Productive_group_engagement_in_cognitive_activity_and_metacognitive_regulation_during_collaborative_learning_can_it_explain_differences_in_students'_conceptual_understanding.
- Krogh, E. & Jolly, L. (2012). Relationship-based experiential learning in practical outdoor tasks. Teoksessa A.E.J. Wals & P.B. Corcoran (toim.) *Learning for Sustainability in Times of Accelerating Change* (213–224). The Netherlands: Wageningenin Academic Publishers.
- Kronqvist, E-L. & Pulkkinen, M-L. (2007). *Kehityopsykologia. Matkalla muutokseen*. Helsinki: WSOY oppimateriaalit.
- Laine, K. (1984). Ympäristöopin käsitteiden hallinta koulunkäynnin alussa ja luokittavan käsitteiden opetusstrategian vaikutus siihen. *Turun yliopiston julkaisuja, C 49*.
- Laine, K. (1999). Käsitteellinen ymmärtäminen ja sen ohjaaminen. Teoksessa K. Laine & J. Tähtinen (toim.) *Oppimisen ohjaaminen esi- ja alkuopetuksessa* (29–76). Turku: Turun yliopisto.
- Larsson, S. (1986). *Kvalitativ analys – exemplet fenomenografi*. Lund: Studentlitteratur.
- Latomaa, T. (2000). *Psykologinen ymmärtäminen: psykodynaamisen metapsykologisen ja näyttämöllisen ymmärtämisen perusteet*. Oulu: Oulun yliopistopaino.
- Lehtinen, E., Kuusinen, J., & Vauras, M. (2007). *Kasvatopsykologia*. Helsinki: WSOY oppimateriaalit.
- Luopa, P., Kivimäki, H., Matikka, A., Vilkki, S. Joela, J., Laukkarinen, E., & Paananen, R. (2014). Nuorten hyvinvointi Suomessa 2000–2013. Kouluterveyskyselyn tulokset. Raportti, 25. Terveiden ja hyvinvoinnin laitos. Helsinki.
- Miles, M. & Huberman, A. (1994). *Qualitative Data Analysis: an expanded sourcebook*. Thousand Oaks: Sage.

- Morse, J.M. (2010). Procedure and practice of mixed method design. Maintaining control, rigor and complexity. Teoksessa A. Tashakkori & C. Teddlie (toim.) *Handbook of mixed methods in social and behavioural research* (339–352). London: Sage Publications.
- Nienstedt, W., Hänninen, O., Arstila, A., & Björkqvist, S-E. (1987, 2009). *Ihmisen fysiologia ja anatomia*. Helsinki: WSOY.
- Niikko, A. (2003). Fenomenografia kasvatustieteellisessä tutkimuksessa. *Kasvatustieteiden tiedekunnan tutkimuksia*, 85. Joensuun yliopisto.
- Opetushallitus (2014, 2015). Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet. Määräykset ja ohjeet 2014, 96. Tampere: Suomen Yliopistopaino.
- Osborne, J., Simon, S. & Collins, S. (2003). Attitudes towards science: a review of the literature and its implications. *International Journal of Science Education*, 25(9), 1049–1079.
- Palmberg, I. & Svens, M. (2011). Klasslärarstuderandes intresse för och kunskaper i biologi och hållbar utveckling. Teoksessa L. Tainio, K. Juuti, A. Kallioniemi, P. Seitamaa-Hakkarainen & A. Uitto (toim.) *Näkökulmia tutkimusperustaiseen opetukseen*. Suomen ainedidaktisen tutkimusseuran julkaisu. Ainedidaktisia tutkimuksia, 1, 201–223.
- Piaget, J. (1988). *Lapsi maailmansa rakentajana*. (S. Palmgren, suom.) Juva: WSOY.
- Piaget, J. & Inhelder, B. (1977). *Lapsen psykologia*. (M. Rutanen, suom.) Jyväskylä: Gummerus.
- Prokop, P. & Fančovičová, J. (2006). Students ideas about the human body: do they really draw what they know? *Journal of Baltic Science Education*, 2(10), 86–95.
- Prokop, P. & Fančovičová, J. & Tunnicliffe, S.D. (2009). The effect of instruction on expression of children's knowledge: How do children see the endocrine and urinary system? *International Journal of Environmental & Science Education* 4(1), 75–93.
- Puusa, A. (2011). Haastattelu laadullisen tutkimuksen menetelmänä. Teoksessa A. Puusa & P. Juuti (toim.) *Menetelmäviidakon raivaajat: perusteita laadullisen tutkimuslähestymistavan valintaan* (73–87). Helsinki: JTO.
- Reiss, M.J. , Tunnicliffe, S.D, Møller Andersen, A., Bartosszeck, A., Carvalho, G.S., Chen, S-Y., Jarman, R., Jónsson, S., Manokore, V., Marchenko, N., Mulemwa, J., Novikova, T., Otuka, J.,
- Teppa, S., & Van Rooy, W. (2002). An international study of young people's drawings of what is inside themselves. *Journal of Biological Education*, 36(2), 58–64.
- Reading skills for academic study: Reading critically. Luettu 12.11.2015
<http://www.uefap.com/reading/crit/critfram.htm>
- Ronkainen, S., Pehkonen, L., Lindblom-Ylänne, S., & Paavilainen, E. (2011). *Tutkimuksen voimasanat*. Helsinki: WSOYpro.
- Ruusuvuori, J. (2010). Litteroijan muistilista. Teoksessa J. Ruusuvuori, P. Nikander, & M. Hyvärinen (toim.). *Haastattelun analyysi* (424–431). Tampere: Vastapaino.
- Shulman, L.S. (1987). Knowledge and teaching. Foundations of a new reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1–22.
- Smeds, P., Jeronen, E., & Kurppa, S. (2015). Farm education and value of learning in an authentic learning environment. *International Journal of Environmental & Science Education*, 10(3), 381–404.
- Sosiaali- ja terveystieteiden tutkimus- ja kehittämiskeskus (2005). Varhaiskasvatuksen suunnitelman perusteet. Oppaita, 56. Saarijärvi: Gummerus Kirjapaino.
- Szczepanski, A. & Dahlgren, L-O. (1997). *Boklig bildning och sinnlig erfarenhet. Ett försök till bestämning av Utomhuspedagogikens särart*. Sweden: Skapande vetande, Linköpings universitet.
- Turner, J. C. & Fulmer, S. M. (2013). Observing interpersonal regulation of engagement during instruction in middle school classrooms. Teoksessa S. Volet & M. Vauras (toim.) *Interpersonal regulation of learning and motivation: Methodological advances* (147–169). New York: Routledge.
- Vauras, M., Kinnunen, R., Kajamies, A., & Lehtinen, E. (2013). Interpersonal regulation in instructional interaction: A dynamic systems analysis of scaffolding. Teoksessa S. Volet & M.

- Vauras (toim.) *Interpersonal regulation of learning and motivation: Methodological advances* (125–146). New York: Routledge.
- Vauras, M., Lehtinen, E., Volet, S. & the SciLes reseach group (2014). *Science learning environments for future schools. Scaffolding disciplinary engagement co.construction and -regulation of disciplinary understanding through digital tools*. The emotional, social and cultural aspects of collective action: Joint seminar with Academy programmes SKIDI-KIDS, MIND and TULOS, Tallinna 27.-28.2014. Luettu 12.11.2015, <http://www.aka.fi/globalassets/awanhat/documents/ohjelmat/vauras-tallinn-28112014.pdf>
- Vinner, S. (1991). The role of definitions in the teaching and learning of mathematics. Teoksessa D. Tall (toim.) *Advanced Mathematical Thinking* (65-81). Hingham, MA: Kluwer Academic Publishers.
- Volet, S.E., Summers, M., & Thurman, J. (2009). High-level co-regulation in collaborative learning: How does it emerge and how is it sustained? *Learning and Instruction*, 19(2), 128–143.
- Volet, S., Vauras, M., Khosa, D., & Iiskala, T. (2013). Metacognitive regulation in collaborative learning: Conceptual developments and methodological contextualizations. Teoksessa S. Volet & M. Vauras (toim.) *Interpersonal regulation of learning and motivation. Methodological advances* (67–101). New York: Routledge.
- Vygotski, L.S. (1982). *Ajattelu ja kieli*. (K. Helkama & A. Koski-Jännes, suom.) Espoo: Weilin+Göös.
- Yli-Panula, E. (2005). Tutkivaan oppimiseen ja ongelmanratkaisuun perustuvat työtavat. Teoksessa V. Eloranta, E. Jeronen, & I. Palmberg (toim.) *Biologia eläväksi – biologian didaktiikka* (97–110). Jyväskylä: PS-Kustannus.
- Zoldosova, K. & Prokop, P. (2007). Primary Pupils` Preconceptions About Child Prenatal Development. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 3(3), 239–246.
- Åström, M. (2007). *Integrated and subject-specific. An empirical exploration of science education in Swedish compulsory schools*. Norrköping: The Swedish National Graduate School in Science and Technology Education, FontD. Linköping University, Department of Social and Welfare Studies.